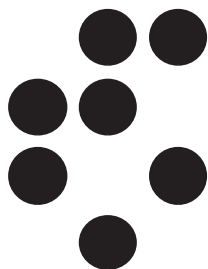
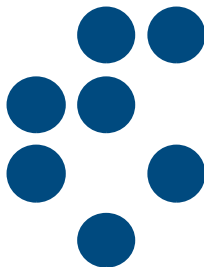


Poročilo o delu v letu 2022





Poročilo o delu v letu 2022



Poročilo o delu v letu 2022 je izdano tudi v angleškem jeziku.

Založnik: Institut "Jožef Stefan", Jamova cesta 39, Ljubljana, Slovenija
(<http://www.ijs.si>)

Urednika: dr. Luka Šušteršič in mag. Marjan Verč

Lektorica: Špela Komac, dipl. slov.

ISSN 1318-7392, e-ISSN 3023-9044

Fotografije: mag. Marjan Verč, Marjan Smerke, inž., in arhivi odsekov

Zbiranje gradiva: Suzi Korošec, inž. rač., mag. Marjan Verč

Računalniški prelom: Suzi Korošec, inž. rač.

Tisk: ABO grafika, d. o. o., Ljubljana

Ljubljana, 2024

KAZALO

Spremna beseda.....	5
Pomembni mejniki v zgodovini IJS.....	6
Organizacijska shema IJS.....	8
Vodstvo IJS.....	10
Število in sestava sodelavcev po enotah.....	11
Izobrazba sodelavcev IJS.....	12
Prejemniki priznanj IJS.....	13
Mednarodni odbor svetovalcev.....	14
Umetniške razstave v galeriji IJS.....	14
Mednarodno sodelovanje.....	15
Podpisani dogovori o sodelovanju.....	15
ERC-projekti.....	15
Sodelovanje z univerzami.....	16
Kolokviji na IJS.....	19
Število študentov.....	20
Število mladih raziskovalcev, sprejetih v financiranje.....	21
Finance.....	22
Objave in dela.....	23
Opravljen doktorski dela.....	24
Podeljeni patenti.....	24
Nagrade in priznanja.....	25
Institut v številkah.....	29
Raziskovalni odseki	
Odsek za teoretično fiziko (F-1).....	33
Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2).....	43
Odsek za tanke plasti in površine (F-3).....	55
Odsek za tehnologijo površin (F-4).....	59
Odsek za fiziko trdne snovi (F-5).....	67
Laboratorij za plinsko elektroniko (F-6).....	87
Odsek za kompleksne snovi (F-7).....	95
Odsek za reaktorsko fiziko (F-8).....	103
Odsek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev (F-9).....	113
Odsek za anorgansko kemijo in tehnologijo (K-1).....	123
Odsek za fizikalno in organsko kemijo (K-3).....	129
Odsek za elektronsko keramiko (K-5).....	139
Odsek za nanostrukturne materiale (K-7).....	145
Odsek za sintezo materialov (K-8).....	161
Odsek za raziskave sodobnih materialov (K-9).....	167
Odsek za biokemijo, molekularno in strukturno biologijo (B-1).....	175
Odsek za molekularne in biomedicinske znanosti (B-2).....	179
Odsek za biotehnologijo (B-3).....	185
Odsek za znanosti o okolju (O-2).....	191
Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko (E-1).....	211
Odsek za sisteme in vodenje (E-2).....	219
Odsek za umetno inteligenco (E-3).....	225
Laboratorij za odprte sisteme in mreže (E-5).....	239
Odsek za komunikacijske sisteme (E-6).....	245
Odsek za računalniške sisteme (E-7).....	253
Odsek za tehnologije znanja (E-8).....	265
Odsek za inteligentne sisteme (E-9).....	275
Odsek za reaktorsko tehniko (R-4).....	281
Centri in službe	
Reaktorski infrastrukturni center (RIC).....	289
Center za mrežno infrastrukturo (CMI).....	293
Znanstvenoinformacijski center (ZIC).....	297
Center za energetske učinkovitost (CEU).....	299
Center za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM).....	305
Center za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij (CT-3).....	309
Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča (ICJT).....	315
Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem (SVPIS).....	319
Center za prenos tehnologij in inovacij (CIT).....	321
Center za pametna mesta in skupnosti (CPMiS).....	327
Center tovarne prihodnosti (CToP).....	329

SPREMNA BESEDA

POMEMBNI MEJNIKI V ZGODOVINI IJS

1946

- ~ Ustanovljen je Fizikalni inštitut pri Slovenski akademiji znanosti in umetnosti (SAZU).

1949

- ~ Fizikalni inštitut SAZU se preusmeri na raziskave, povezane z miroljubno uporabo jedrske energije.

1952

- ~ Inštitut se preimenuje v Fizikalni inštitut "Jožef Stefan" in se vseli v novo stavbo.

1954

- ~ Inštitut dobi prvo večjo opremo: betatron in elektronski mikroskop.

1956

- ~ Obratovati začne pospeševalnik Van de Graaff, izdelan na Inštitutu.

1958

- ~ Inštitut se na novo organizira in določena so naslednja področja dela: jedrska fizika, fizika trdne snovi, kemija, radiobiologija.

1959

- ~ Inštitut se preimenuje v Nuklearni inštitut "Jožef Stefan" in ga financira Zvezna komisija za nuklearno energijo.



Masni spektrometer na IJS (okoli leta 1960)

1962

- ~ Na Inštitutu je sintetizirana nova spojina XeF_6 , ena prvih spojin žlahtnih plinov.
- ~ Kupljen je prvi računalnik za raziskovalno delo ZUSE Z23.

1966

- ~ Obratovati začne jedrski raziskovalni reaktor TRIGA.

1968

- ~ Zvezna komisija za nuklearno energijo (ZKNE) preneha obstajati, financiranje od Republike Slovenije postane vse pomembnejše.

1969

- ~ Inštitut se preusmeri na »nejedrski« dejavnosti in iz imena izpusti besedo »nuklearni«.

1970

- ~ Univerza v Ljubljani postane soustanoviteljica IJS (poleg Zveznega izvršnega sveta).

1971

- ~ Ustanovljena je INOVA, inštitutska enota, ki naj bi skrbela za vključitev IJS v gospodarstvo.



Inštitutske zgradbe po odprtju leta 1953

1972

- ~ Kupljen je nov računalnik Cyber 72 in ustanovljen Republiški računski center kot samostojna enota IJS.

1974

- ~ Začne se sodelovanje z mednarodnim centrom CERN pri projektih fizike visokih energij.
- ~ Ustanovljena je skupina za evalvacijo posegov v okolje SEPO.

1976

- ~ Prvi jugoslovanski procesni računalnik z 8-bitno obdelavo podatkov DARTA 80

1979

- ~ Podpisana je pogodba o sodelovanju med IJS in Nuklearno elektrarno Krško.
- ~ Izdelan je prvi robot v Sloveniji GORO-1.

1982

- ~ Ustanovljen je Ekološki laboratorij z mobilno enoto, ki deluje kot specialna enota Republiške uprave za civilno zaščito.

1983

- ~ Izoliran je prvi od stefinov (inhibitorji cisteinskih proteinaz, imenovani po J. Stefanu) in določena njegova primarna struktura.



Reaktorski center, Podgorica, zgrajen leta 1966

1985

- ~ Raziskovalna skupnost Slovenije začne financirati projekt 2000 novih raziskovalcev.
- ~ IJS in podjetje SMELT ustanovita Center za trde prevleke.

1987

- ~ IJS ustanovi samostojno podjetje INEA, ki skrbi za prenos in uporabo raziskovalnih dosežkov na področju vodenja procesov in industrijske energetike.

1989

- ~ Ustanovljen je Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča.

1990

- ~ Na IJS je postavljen prvi superračunalnik v Sloveniji CONVEX.
- ~ Končana je večletna graditev novih laboratorijev.

1992

- ~ Ministrstvo za znanost in tehnologijo ustanovi več tehnoloških središč (infrastrukturnih centrov).
- ~ IJS postane z odlokom Vlade Republike Slovenije javni raziskovalni zavod.
- ~ Ustanovljen je Tehnološki park IJS, ki se kasneje razvije v Tehnološki park Ljubljana.



Začetki robotike na IJS leta 1985

2013

- ~ Pridobljen je prvi ERC-projekt.

2015

- ~ 23. novembra 2015 je Institut "Jožef Stefan" na Reaktorskem centru v Podgorici slavnostno predal v uporabo novo in obnovljeno raziskovalno infrastrukturo za okoljske raziskave.



Jedrski magnetresonančni spektrometer

1995

- ~ IJS je soustanovitelj mednarodne podiplomske šole za znanosti o okolju Politehnika Nova Gorica.
- ~ IJS ustanovi mrežo inštitutov in centrov: ERICo – Velenje, Raziskovalni inštitut Valdoltra.

1997

- ~ Postavljen je nov pospeševalnik TANDETRON 3,5 MeV.

1999

- ~ IJS praznuje 50-letnico delovanja.

2004

- ~ IJS ustanovi Mednarodno podiplomsko šolo Jožefa Stefana.
- ~ Institut je izbran za koordinatorja štirih centrov odličnosti.

2007

- ~ Nanomanipulacija posameznih atomov z nizkotemperaturnim vrstičnim tunelskim mikroskopom.
- ~ Postavljena je nova žarkovna linija ERDA/RBS na pospeševalniku TANDETRON v Mikroanalitskem centru.



Nova in obnovljena raziskovalna infrastruktura za okoljske raziskave na IJS leta 2015

2020

- ~ Ustanovljen je Mednarodni raziskovalni center za umetno inteligenco pod okriljem Unesca.
- ~ Objavljen je prvi razpis Inovacijskega sklada Centra za prenos tehnologij in inovacij za podporo razvoju tehnologij k višji stopnji pripravljenosti za trg.

ORGANIZACIJSKA SHEMA INSTITUTA "JOŽEF STEFAN"

UPRAVNI ODBOR

DIREKTOR

ZNANSTVENI SVET

RAZISKOVALNI ODSEKI

Fizika

Teoretična fizika (F-1)

prof. dr. Jernej Fesl Kamenik

Fizika nizkih in srednjih energij (F-2)

prof. dr. Primož Pelicon

Tanke plasti in površine (F-3)

prof. dr. Miha Čekada

Tehnologija površin (F-4)

prof. dr. Alenka Vesel

Fizika trdne snovi (F-5)

prof. dr. Igor Muševič¹, prof. dr. Denis Arčon²

Plinska elektronika (F-6)

prof. dr. Uroš Cvelbar

Kompleksne snovi (F-7)

prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović

Reaktorska fizika (F-8)

prof. dr. Luka Snoj

Ekperimentalna fizika osnovnih delcev (F-9)

prof. dr. Marko Mikuz³, prof. dr. Borut Paul Kerševan⁴

Kemija in biokemija

Anorganska kemija in tehnologija (K-1)

doc. dr. Gašper Tavčar

Fizikalna in organska kemija (K-3)

prof. dr. Ingrid Milošev

Elektronska keramika (K-5)

prof. dr. Barbara Malič

Nanostrukturni materiali (K-7)

prof. dr. Sašo Šturm

Sinteza materialov (K-8)

prof. dr. Darko Makovec

Raziskave sodobnih materialov (K-9)

prof. dr. Matjaž Spreitzer

Biokemija, molekularna in strukturna biologija (B-1)

prof. dr. Boris Turk

Molekularne in biomedicinske znanosti (B-2)

prof. dr. Igor Kržaj

Biotehnologija (B-3)

prof. dr. Boris Rogelj

Znanosti o okolju (O-2)

prof. dr. Milena Horvat

Elektronika in informacijske tehnologije

Avtomatika, biokibernatika in robotika (E-1)

prof. dr. Aleš Ude

Sistemi in vodenje (E-2)

doc. dr. Gregor Dolanc

Umetna inteligenca (E-3)

prof. dr. Dunja Mladenič

Odprti sistemi in mreže (E-5)

doc. dr. Tomaž Klobučar

Komunikacijski sistemi (E-6)

prof. dr. Mihael Mohorčič

Računalniški sistemi (E-7)

prof. dr. Gregor Papa

Tehnologije znanja (E-8)

prof. dr. Sašo Džeroski

Inteligentni sistemi (E-9)

prof. dr. Matjaž Gams

Jedrsko tehnika in energetika

Reaktorska tehnika (R-4)

prof. dr. Leon Cizelj

¹ do 13. 4. 2022

² od 14. 4. 2022

³ do 30. 4. 2022

⁴ od 1. 5. 2022



CENTRI

Reaktorski infrastrukturni center (RIC)
prof. dr. Borut Smodiš

Center za mrežno infrastrukturo (CMI)
dr. Jan Jona Javoršek

Znanstvenoinformacijski center (ZIC)
dr. Luka Šuštersič

Center za energetska učinkovitost (CEU)
mag. Stane Merše

Center za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij (CT-3)
mag. Mitja Jermol

Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča (ICJT)
dr. Igor Jenčič

Center za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM)
prof. dr. Miran Čeh

Center za prenos tehnologij in inovacij (CTT)
dr. Špela Stres, MBA, LL.M., dr. Levin Palč

Center za pametna mesta in skupnosti (CPMiS)
dr. Nevenka Cukjati

Center tovarne prihodnosti (CToP)
doc. dr. Igor Kovač

Mikroanalitski center (MIC)
prof. dr. Primož Pelicon

Center za mikroskopijo in detekcijo nanomaterialov (CMD-NANO)
prof. dr. Maja Remškar

Utekočinjevalnik helija s sistemom za regeneracijo helija
prof. dr. Janez Dolinšek

Center za masno spektrometrijo
dr. Dušan Žigon

Nacionalni center za elektronsko mikroskopijo in analizo površin (CEMAP)
prof. dr. Miran Čeh

NMR center
prof. dr. Janez Dolinšek

Center za proizvodnjo in strukturo proteinov
prof. dr. Dušan Turk

Center za nanolitografijo in nanoskopijo
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović

Center za izvedbo eksperimentov fizike delcev v mednarodnih središčih
prof. dr. Marko Mikuž

Objekt vroča celica (OVC)
prof. dr. Borut Smodiš

e-Raziskovalna infrastruktura navideznih sodelovalno-raziskovalnih okolij
dr. Dušan Gabrijelčič

SLUŽBE IN PODPORNE DEJAVNOSTI

Službe in servisi

Sekretariat (U-2)
Tamara Kotnik, univ. dipl. prav.

Nabavna služba (U-3)
Dejan Ratkovič, univ. dipl. ekon.

Finančno-računovodska služba (U-4)
mag. Regina Gruđen

Služba za poslovno informatiko (U-5)
Jože Kašman, prof. mat.

Mednarodna projektna pisarna (U-6)
mag. Marja Mali

Tehnični servisi (TS)

Aleš Cesar, univ. dipl. inž. grad.

Podporne dejavnosti

Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem (SVPIŠ)
mag. Matjaž Stepišnik

Služba za zagotovitev kakovosti (QA)
dr. Andrej Prošek

Delavnice
Franc Selnikar, inž. stroj. 7, Matjaž Nimac⁸

VKLJUČENOST IJS V REGIJSKI RAZVOJ RAZISKOVALNE DEJAVNOSTI

Tehnološki park Ljubljana

Univerza v Novi Gorici

Mednarodna podiplomska šola
Jožefa Stefana

Tehnološki centri

Nanotesla Institut Ljubljana

Razvojni center za vodikove tehnologije

Tehnološki center za avtomatizacijo, robotizacijo in informatizacijo proizvodnje (ARI)

Centri odličnosti

Nanoznanosti in nanotehnologije –
NANOCENTER

NAMASTE, zavod za raziskave in razvoj
naprednih nekovinskih materialov s
tehnologijami prihodnosti

Integrirani pristopi v kemiji in
biologiji proteinov – CIPKeBiP

Polimerni materiali in tehnologije
– PoliMaT

EN – FIST

Biosenzorika, instrumentacija in
procesna kontrola – CO BIK

Nizkoogljicne tehnologije – CO NOT

Vesolje, znanost in tehnologije –
SPACE.SI

⁵ do 31. 3. 2022, od 1. 6. 2022 do 31. 8. 2022

⁶ v. d. vodje od 1. 4. 2022 do 31. 5. 2022, od 1. 9. 2022

⁷ do 10. 12. 2022

⁸ v. d. vodje od 14. 12. 2022

VODSTVO IJS

VODSTVO

Direktor

Prof. dr. Boštjan Zalar

Pomočnica direktorja

Dr. Romana Jordan

Svetovalka

Marta Slokan, univ. dipl. prav.

UPRAVNI ODBOR

Dr. Mark Pleško, *Cosylab, d. d., Ljubljana, predsednik UO*

Ivo Boscarol, *MBA, Pipistrel, d. o. o., Ajdovščina, do 8. 12. 2022*

Prof. dr. Sašo Džeroski, *IJS, do 8. 12. 2022*

Dr. Gregor Kramberger, *IJS, do 8. 12. 2022*

Prof. dr. Ingrid Milošev, *IJS, do 8. 12. 2022, namestnica predsednika UO*

Janez Novak, *RLS Merilna tehnika, d. o. o., Komenda, do 8. 12. 2022*

Prof. dr. Primož Pelicon, *IJS, do 8. 12. 2022*

Stojan Petrič, *Kolektor Group, d. o. o., Idrija, do 8. 12. 2022*

Prof. dr. Jože Pungertar, *IJS, do 8. 12. 2022*

Dr. Tomaž Savšek, *TPV Group, d. o. o., Novo mesto, do 8. 12. 2022*

Peter Sterle, *Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport*

Dr. Jernej Štromajer, *Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo, od 8. 12. 2022*

Prof. dr. Aleš Švigelj, *IJS, od 8. 12. 2022*

Mag. Vojmir Urlep, *od 8. 12. 2022*

Mag. Tanja Vertelj, *Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, od 8. 12. 2022*

Urška Zupin, *Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo, do 8. 12. 2022*

ZNANSTVENI SVET

Prof. ddr. Boris Turk, *predsednik ZS IJS*

Prof. dr. Leon Cizelj

Prof. dr. Miran Čeh

Prof. dr. Sašo Džeroski, *namestnik predsednika*

Prof. dr. Svjetlana Fajfer

Prof. dr. Milena Horvat

Prof. dr. Matej Lipoglavšek

Dr. Mitja Luštrek

Prof. dr. Barbara Malič

Prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović

Prof. dr. Mihael Mohorčič

Prof. dr. Igor Muševič, *namestnik predsednika*

Doc. dr. Gašper Tavčar

Prof. dr. Aleš Ude

Prof. dr. Boštjan Zalar, *direktor Instituta*

NEKDANJI DIREKTORJI



*Akad. prof. dr.
Anton Peterlin,
prvi direktor IJS*

Akad. prof. dr. Anton Peterlin, ustanovitelj in prvi direktor IJS, 1949–1955

Karol Kajfež, 1955–1958

Lucijan Šinkovec, 1959–1963

Prof. dr. Milan Osredkar, 1963–1975

Prof. dr. Boris Frlec, 1975–1984

Prof. dr. Tomaž Kalin, 1984–1992

Prof. dr. Danilo Zavrtanik, 1992–1996

Prof. dr. Vito Turk, 1996–2005

Prof. dr. Jadran Lenarčič, 2005–2020

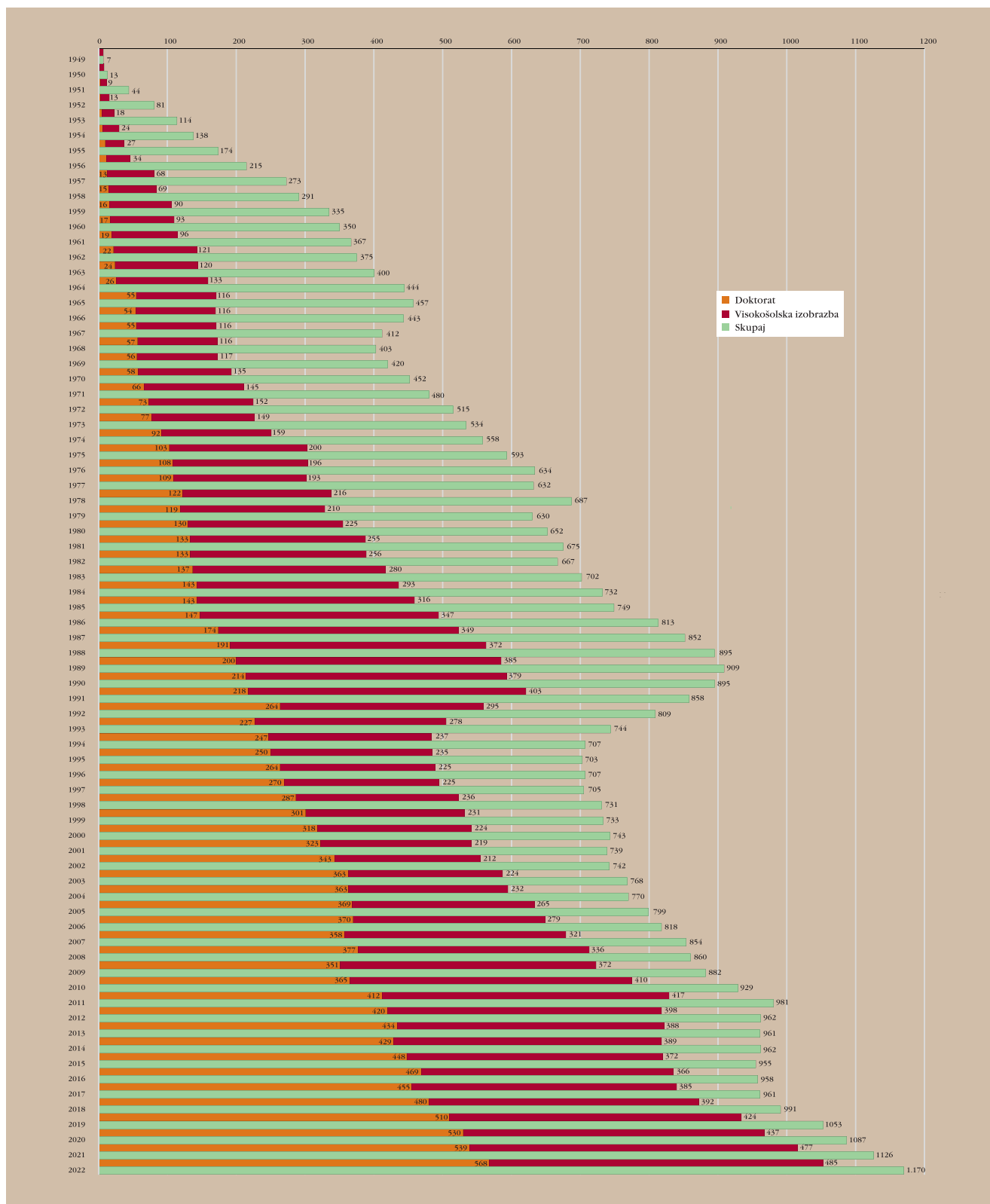
ŠTEVILO IN SESTAVA SODELAVCEV PO ENOTAH

Stanje 31. 12. 2022

Odsek	Raziskovalci	Podok. sod.	Mladi razisk.	Strok. sod.	Skupaj razisk.	Tehniški in admin. sod.	Skupaj
Odsek za teoretično fiziko (F-1)	32	6	16		54	2	56
Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2)	26	5	6	6	43	5	48
Odsek za tanke plasti in površine (F-3)	3		3	1	7	5	12
Odsek za tehnologijo površin (F-4)	7	2	4	2	15	1	16
Odsek za fiziko trdne snovi (F-5)	44	23	26	7	100	9	109
Laboratorij za plinsko elektroniko (F-6)	7	2	2	1	12	1	13
Odsek za kompleksne snovi (F-7)	15	6	7	4	32	4	36
Odsek za reaktorsko fiziko (F-8)	12	5	6	2	25	2	27
Odsek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev (F-9)	22	2	12	2	38	4	42
Odsek za anorgansko kemijo in tehnologijo (K-1)	9	4	8	1	22	4	26
Odsek za fizikalno in organsko kemijo (K-3)	3	3	4	1	11		11
Odsek za elektronsko keramiko (K-5)	9	4	13	3	29	2	31
Odsek za nanostrukturne materiale (K-7)	15	12	11	7	45	3	48
Odsek za sintezo materialov (K-8)	5	3	7	1	16	2	18
Odsek za raziskave sodobnih materialov (K-9)	10	5	7	4	26	1	27
Odsek za biokemijo, molekularno in strukturno biologijo (B-1)	11	8	16	4	39	3	42
Odsek za molekularne in biomedicinske znanosti (B-2)	7	3	6	2	18	2	20
Odsek za biotehnologijo (B-3)	7	6	3	3	19	1	20
Odsek za znanosti o okolju (O-2)	26	15	18	5	64	2	66
Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko (E-1)	13	7	16	7	43	2	45
Odsek za sisteme in vodenje (E-2)	14		8	3	25	2	27
Odsek za umetno inteligenco (E-3)	7	5	9	10	31	8	39
Laboratorij za odprte sisteme in mreže (E-5)	5	5		1	11	1	12
Odsek za komunikacijske sisteme (E-6)	14	4	9	6	33	2	35
Odsek za računalniške sisteme (E-7)	9	1	8	2	20	4	24
Odsek za tehnologije znanja (E-8)	23	10	14	2	49	1	50
Odsek za inteligentne sisteme (E-9)	6	3	6	7	22	8	30
Odsek za reaktorsko tehniko (R-4)	11	4	5	1	21	3	24
Center za energetske učinkovitost (CEU)	5	1		11	17	5	22
Center za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM)	1	1	2	2	6		6
Center za mrežno infrastrukturo (CMI)		1		4	5	4	9
Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča (ICJT)	1			4	5	3	8
Znanstvenoinformacijski center (ZIC)				2	2	6	8
Reaktorski infrastrukturni center (RIC)	1	1			2	4	6
Mrežni infrastrukturni center reaktorja (MICR)				1	1	1	2
Center za prenos znanja na področju inform. tehnologij (CT-3)			1	4	5	5	10
Center za prenos tehnologij in inovacij (CTT)	4		1	5	10	2	12
Center za pametna mesta in skupnosti (CPMiS)				1	1	2	3
Center tovarne prihodnosti (CToP)	1			2	3	1	4
Skupne službe	1			3	4	86	90
Tehnične in podporne službe				3	3	33	36
Institut "Jožef Stefan"	386	157	254	137	934	236	1170

IZOBRAZBA SODELAVCEV IJS

1949-2022



PREJEMNIKI PRIZNANJ IJS

ČASTNI ČLANI

Akad. prof. dr. Robert Blinc[☞], predsednik ZS od 1992 do 2007 (1933–2011)
 Prof. dr. Jean-Marie Dubois, Institut Jean Lamour, CNRS - Centre National de la Recherche Scientifique, Paris in Université Lorraine, Nancy, Francija
 Prof. dr. Boris Frlec, direktor Instituta "Jožef Stefan" od 1975 do 1984
 Prof. dr. Robert Huber, *Nobelov nagrajenec*, Max-Planck-Institut für Biochemie, München, Nemčija
 Prof. dr. Milan Osredkar[☞], direktor Instituta "Jožef Stefan" od 1963 do 1975 (1919–2003)
 Akad. prof. dr. Anton Peterlin[☞], ustanovitelj in prvi direktor Instituta "Jožef Stefan" od 1949 do 1955 (1908–1993)
 Akad. prof. dr. Vito Turk, direktor Instituta "Jožef Stefan" od 1996 do 2005

PRIDRUŽENI ČLANI

Prof. dr. David C. Ailion, University of Utah, Salt Lake City, Utah, ZDA
 Prof. dr. Neil Bartlett[☞], University of California, Berkeley, Kalifornija, ZDA
 Prof. dr. John H. Beynon, University of Wales Swansea, Swansea, Velika Britanija
 Prof. dr. Wolfram Bode, Max-Planck-Institut für Biochemie, München, Nemčija
 Prof. dr. Oscar D. Bonner[☞], University of South Carolina, Columbia, Južna Karolina, ZDA
 Dr. Horst Borrmann, Max-Planck-Institut für Chemische Physik fester Stoffe, Dresden, Nemčija
 Prof. dr. Henrik Buchowsky, Politehnika Warszawska, Varšava, Poljska
 Prof. dr. Rüdiger Dillmann, Karlsruhe Institute of Technology, Nemčija
 Prof. dr. Joseph W. Doane, Liquid Crystal Institute, Kent State University, Kent, Ohio, ZDA
 Prof. dr. Hans Fritz, Universität München, München, Nemčija
 Prof. dr. Oskar Glemser[☞], Universität Göttingen, Göttingen, Nemčija
 Prof. dr. Paul Hagenmuller[☞], Université de Bordeaux I, Bordeaux, Francija
 Prof. dr. John Holloway, University of Leicester, Leicester, Velika Britanija
 Prof. dr. Rudolf Hoppe[☞], Universität Giessen, Giessen, Nemčija
 Prof. dr. Robert J. Jaeger[☞], National Institute on Disability and Rehabilitation Research, US Department of Education, Washington, D. C., ZDA
 Prof. dr. Nikola Kallay[☞], Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvaška
 Prof. dr. Nobuhiko Katunuma, Tokushima Bunri University, Tokushima, Japonska
 Prof. dr. Raymond Kind, ETH, Zürich, Švica
 Prof. dr. Jože Koller, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
 Prof. dr. Rüdiger Mews, Universität Bremen, Bremen, Nemčija
 Prof. dr. Donald Michie[☞], Edinburgh University, Edinburgh, Velika Britanija
 Dr. Fani Milia, National Center for Scientific Research "Demokritos", Atene, Grčija
 Prof. dr. Tsuyoshi Nakajima, Aichi Institute of Technology, Toyota, Japonska
 Prof. dr. Vincenzo Parenti-Castelli, University of Bologna, Bologna, Italija

Prof. dr. Herbert W. Roesky, Universität Göttingen, Göttingen, Nemčija
 Prof. dr. John A. Rupley, The University of Arizona, Tucson, Arizona, ZDA
 Prof. dr. Findlay E. Russell, The University of Arizona, Tucson, Arizona, ZDA
 Prof. dr. Hugo V. Schmidt, Montana State University, Bozeman, Montana, ZDA
 Prof. dr. Lev A. Shuvalov[☞], Institute for Crystallography, Russian Academy of Sciences, Moskva, Rusija
 Prof. dr. Neil W. Tanner[☞], University of Oxford, Oxford, Velika Britanija
 Dr. Alain Tressaud, Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux, CNRS, Pessac, Francija
 Prof. dr. Vlado Valković, Zagreb, Hrvaška
 Prof. dr. John Waugh, M. I. T., Cambridge, Massachusetts, ZDA

ZASLUŽNI ZNANSTVENIKI

Prof. dr. France Bremšak[☞]
 Prof. dr. Mihael Drofenik
 Akad. prof. dr. Peter Gosar
 Prof. dr. Darko Jamnik[☞]
 Prof. dr. Gorazd Kandus
 Akad. prof. dr. Gabrijel Kernel
 Prof. dr. Borut Mavko
 Prof. dr. Miodrag V. Mihailović[☞]
 Akad. prof. dr. Raša Matija Pirc
 Prof. dr. Marjan Senegačnik[☞]
 Akad. prof. dr. Saša Svetina
 Akad. prof. dr. Boštjan Žekš
 Prof. dr. Boris Žemva

SVETOVALCI

Prof. dr. Savo Bratoš, Université Pierre et Marie Curie, Pariz, Francija
 Marko Bulc[☞], univ. dipl. inž., Ljubljana, Slovenija
 Akad. prof. dr. Davorin Dolar[☞], Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana, Slovenija
 Zdravko Gabrovšek, univ. dipl. inž., Krško, Slovenija
 Akad. prof. dr. Dušan Hadži[☞], Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
 Prof. dr. Karl A. Müller, *Nobelov nagrajenec*, IBM Research Laboratory, Zürich, Švica
 Prof. dr. Bogdan Povh, Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg, Nemčija
 Dr. Lev Premru[☞], Lek, d. d., Ljubljana, Slovenija
 Prof. dr. Momčilo M. Ristić[☞], Akademija znanosti Srbije, Beograd, Srbija
 Mag. Milan Slokan[☞], Ljubljana, Slovenija
 Prof. dr. Petar Strohal[☞], Zagreb, Hrvaška
 Dr. Novak Zuber[☞], Nuclear Regulatory Commission, Washington, D. C., ZDA
 Prof. dr. Črt Zupancič[☞], Ludwig-Maximilians-Universität München, Nemčija
 Akad. prof. dr. Andrej Župancič[☞], Slovenska akademija znanosti in umetnosti, Ljubljana, Slovenija

MEDNARODNI ODBOR SVETOVALCEV

Prof. dr. Robert Huber, *Nobelov nagrajenec*, Max-Planck-Institut, Martiensried, Nemčija

Prof. dr. Karl A. Müller, *Nobelov nagrajenec*, IBM Research Laboratory, Zürich, Švica

Prof. dr. Ernst Günther Afting, GSF, Neuherberg, Nemčija

Prof. dr. Akito Arima, Riken, Tokio, Japonska

Prof. dr. John H. Beynon, University of Wales Swansea, Swansea, Velika Britanija

Prof. dr. Richard Brook, EPSRC, Swindon, Velika Britanija

Prof. dr. Julio Celis, Aarhus University, Aarhus, Danska

Prof. dr. Brian Clark, Aarhus University, Aarhus, Danska

Prof. dr. Børge Diderichsen, Novo Nordisk, Bagsvaerd, Danska

Prof. dr. Jean Etourneau, Institut de Chimie de la Matière Condensée de Bordeaux,

CNRS, Pessac, Francija

Prof. dr. Reinosuke Hara, Seiko Instruments, Tokio, Japonska

Prof. dr. Oleg Jardetzky, Stanford University, Stanford, Kalifornija, ZDA

Prof. dr. Sergey P. Kapitza, Russian Academy of Sciences, Moskva, Rusija

Prof. dr. Karl-Hans Laermann, Bergische Universität, Wuppertal, Nemčija

Prof. dr. Egon Matijević, Clarkson University, Potsdam, New York, ZDA

Prof. dr. Federico Mayor, Madrid, Španija

Prof. dr. Dietrich Munz, Universität Karlsruhe, Karlsruhe, Nemčija

Prof. dr. Günther Petzow, Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart, Nemčija

Prof. dr. Bernard Roth, Stanford University, Stanford, Kalifornija, ZDA

Prof. dr. John Ryan, University of Oxford, Oxford, Velika Britanija

Prof. dr. Volker Sörgel, Ruprecht-Karis-Universität Heidelberg, Nemčija

Prof. dr. H. Eugene Stanley, Boston University, Boston, Mass., ZDA

Prof. dr. Thomas Walcher, Universität Mainz, Mainz, Nemčija

UMETNIŠKE RAZSTAVE V GALERIJI IJS



Ančka Gošnik Godec, 10. januar–14. februar

Dušan Fišer, 14. februar–21. marec

Zoran Didek, 21. marec–19. april

Anja Kranjc, 19. april–9. maj

Tomo Vran, 9. maj–30. maj

Boštjan Banfi, 30. maj–27. junij

Jur Samec, 27. junij–21. julij

Janez Korošin, 25. julij–2. september

Nataša Tajnik Stupar, 5. september–29. september

Mojca Fo, 3. oktober–3. november

Andrej Brumen Čop, 7. november–1. december

Danijel Demšar, 5. december–5. januar 2023

Danijel Demšar na odprtju svoje razstave

MEDNARODNO SODELOVANJE

Večstransko mednarodno sodelovanje	Št. projektov
OBZORJE EVROPA (OE, EDF, EIT) in OBZORJE EVROPA - EURATOM	37
OBZORJE 2020 (EUROPEAN INSTITUTE OF INNOVATION AND TECHNOLOGY, EXCELLENT SCIENCE, INDUSTRIAL LEADERSHIP, SOCIETAL CHALLENGES, SPREADING EXCELLENCE AND WIDENING PARTICIPATION, SCIENCE WITH AND FOR SOCIETY) IN OBZORJE 2020 - EURATOM	99
ESRR AND ESI (INTERREG, MED, ADRION, DANUBE, SI-IT, ALPINE SPACE, KTT, SRIP, KKP, RZ, NM & EGP ...)	18
DRUGI MEDNARODNI IN EU PROJEKTI (COST, IAEA, ICTP, JRC, ESA, CEF, EMPIR, ERASMUS+, LIFE+ ...)	108
MEDNARODNI TRŽNI PROJEKTI	15
DRUGI PROJEKTI (CERN, KEK, EPFL ...)	77
SKUPAJ	354

Bilateralno sodelovanje z	Št. projektov
Avstrijo	4
Bosno in Hercegovino	1
Črno goro	2
Dansko	2
Finsko	1
Francijo	7
Hrvaško	6
Indijo	4

Bilateralno sodelovanje z	Št. projektov
Italijo	3
Japonsko	3
Latvijo	1
Nemčijo	1
Norveško	1
Srbijo	5
Turčijo	2
ZDA	29
SKUPAJ	72

PODPISANI DOGOVORI O SODELOVANJU

Institut "Jožef Stefan" je v letu 2022 podpisal dogovore o sodelovanju s:

1. National Research Council of Italy (CNR), Rim, Italija (U-1)

ERC-PROJEKTI

1. H2020 - Cell-Lasers; Celični laserji: Sklopitev med optičnimi resonancami in biološkimi procesi
doc. dr. Matjaž Humar (F-5)
2. H2020 - LOGOS; Logična vezja iz fotonske mehke snovi
prof. dr. Igor Muševič (F-5)
3. H2020 - FAIME; Anomalije v fiziki okusov z naprednimi identifikacijskimi metodami
prof. dr. Peter Križan (F-9)
4. H2020 - HiPeR-F; Preizkušanje omejitev oksidacijskih stanj periodnega sistema s kemijo fluora pod visokimi tlaki
doc. dr. Matic Lozinšek (K-1)



European Research Council
Established by the European Commission

SODELOVANJE Z UNIVERZAMI

DOPOLNILNI SODELAVCI IJS

Visokošolski učitelji

1. Prof. dr. Denis Arčon, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
2. Prof. dr. Iztok Arčon, Univerza v Novi Gorici
3. Doc. dr. Rok Bojanc, Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije
4. Prof. dr. Janez Bonča, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
5. Doc. dr. Marko Bračko, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Fakulteta za naravoslovje in matematiko
6. Prof. dr. Dean Cvetko, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
7. Prof. dr. Mojca Čepič, Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta
8. Doc. dr. Rok Dolenc, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
9. Prof. dr. Janez Dolinšek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
10. Prof. dr. Irena Drevenšek Olenik, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
11. Prof. dr. Svjetlana Fajfer, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
12. Prof. dr. Darja Fišer, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta
13. Prof. dr. Boštjan Golob, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
14. Prof. dr. Ke Guan, Beijing Jiaotong University, Beijing, Kitajska
15. Prof. dr. Tomaž Gyergyek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
16. Prof. dr. Polona Jaki Mekjavič, Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta
17. Doc. dr. Branko Kavšek, Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije
18. Prof. dr. Borut Paul Kerševan, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
19. Prof. dr. Samo Korpar, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
20. Prof. dr. Janko Kos, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
21. Prof. dr. Samo Kralj, Univerza v Mariboru, Pedagoška fakulteta
22. Prof. dr. Peter Križan, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
23. Prof. dr. Zoran Levnajič, Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto
24. Prof. dr. Andrej Lipej, Univerza v Novem mestu, Fakulteta za strojništvo
25. Prof. dr. Marko Mikuž, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
26. Doc. dr. Matija Milanič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
27. Prof. dr. Igor Muševič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
28. Doc. dr. Natan Osterman, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
29. Doc. dr. Veljko Pejović, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko
30. Prof. dr. Uroš Petrovič, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
31. Doc. dr. Tomaž Podobnik, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
32. Doc. dr. Paula Pongrac, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
33. Prof. dr. Peter Prelovšek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
34. Prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
35. Prof. dr. Anton Ramšak, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
36. Prof. dr. John Shawe-Taylor, University College London, Centre for Computational Statistics and Machine Learning, Velika Britanija
37. Doc. dr. Urban Simončič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
38. Doc. dr. Lea Spindler, Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo

39. Doc. dr. Andrej Studen, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
40. Prof. dr. Simon Širca, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
41. Doc. dr. Primož Škraba, Queen Mary University of London, Velika Britanija
42. Prof. dr. Borut Strukelj, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za farmacijo
43. Prof. dr. Tanja Urbančič, Univerza v Novi Gorici
44. Prof. dr. Nataša Vaupotič, Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko
45. Prof. dr. Katarina Vogel-Mikuš, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
46. Prof. dr. Danilo Zavrtanik, Univerza v Novi Gorici
47. Prof. dr. Primož Ziherl, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
48. Doc. dr. Dejan Žontar, Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta

Visokošolski sodelavci

1. Dr. Jurij Leskovec, Stanford University, Palo Alto, Kalifornija, ZDA
2. Dr. Jure Praznikar, Univerza na Primorskem, Fakulteta za matematiko, naravoslovje in informacijske tehnologije
3. Dr. Tomaž Rejec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

REDNI SODELAVCI IJS, KI SODELUJEJO Z VISOKOŠOLSKIMI USTANOVAMI

Visokošolski učitelji

1. Prof. dr. Jan Babič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
2. Prof. dr. Andreja Benčan Golob, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
3. Prof. dr. Ljudmila Benedik, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Fakulteta za matematiko in fiziko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
4. Prof. dr. Aleš Berlec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo; Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede
5. Prof. dr. Slavko Bernik, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
6. Doc. dr. Anton Biasizzo, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
7. Prof. dr. Vid Bobnar, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
8. Prof. dr. Marko Bohanec, Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
9. Prof. dr. Biljana Mileva Boshkoska, Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto
10. Doc. dr. Klemen Bučar, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
11. Prof. dr. Leon Cizelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
12. Prof. dr. Uroš Cvelbar, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
13. Prof. dr. Miran Čeh, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
14. Prof. dr. Miha Čekada, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
15. Doc. dr. Nina Daneu, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
16. Prof. dr. Marko Debeljak, Univerza v Ljubljani; Univerza v Novi Gorici; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
17. Doc. dr. Tadej Debevec, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport
18. Doc. dr. Gregor Dolanc, Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto
19. Doc. dr. Goran Dražić, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana



20. Prof. dr. Jean – Marie Dubois, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
21. Prof. dr. Sašo Džeroski, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko
22. Prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
23. Doc. dr. Tome Eftimov, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko
24. Prof. dr. Tomaž Erjavec, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
25. Doc. dr. Ingrid Falnoga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet, Biotehniška fakulteta
26. Prof. dr. Andrej Filipič, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za aplikativno naravoslovje
27. Prof. dr. Bogdan Filipič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko; Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
28. Prof. dr. Marko Fonovič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
29. Doc. dr. Andrej Gams, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
30. Prof. dr. Matjaž Gams, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
31. Prof. dr. Marko Gerbec, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
32. Doc. dr. Evgeny Goreschnik, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
33. Doc. dr. Anton Gradišek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
34. Doc. dr. Sašo Gyergyek, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
35. Prof. dr. Ester Heath, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Fakulteta za strojništvo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za zdravstvene vede; Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
36. Prof. dr. Milena Horvat, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
37. Doc. dr. Andrej Hrovat, Beijing Jiaotong University, Beijing, Kitajska; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
38. Prof. dr. Tomaž Javornik, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
39. Prof. dr. Robert Jeraj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; University of Wisconsin, School of Medical Physics, Madison, Wisconsin, ZDA
40. Doc. dr. Ita Junkar, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
41. Prof. dr. Đani Juričić, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju; Univerza v Mariboru, Fakulteta za logistiko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
42. Prof. dr. Viktor Kabanov, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
43. Doc. dr. Matjaž Kavčič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
44. Doc. dr. Ivo Kljenak, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
45. Doc. dr. Tomaž Klobučar, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; DOBA Fakulteta za uporabne poslovne in družbene študije, Maribor; Fakulteta za komercialne in poslovne vede, Celje
46. Prof. dr. Spomenka Kobe, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
47. Prof. dr. Juš Kocijan, Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
48. Prof. dr. Andraž Kocjan, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Medicinska fakulteta
49. Doc. dr. Robert Kocjančič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
50. Prof. dr. Ivan Aleksander Kodeli, Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko
51. Prof. dr. Anton Kokalj, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
52. Doc. dr. Matej Andrej Komelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
53. Doc. dr. Boštjan Končar, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
54. Prof. dr. Nataša Kopitar – Jerala, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
55. Prof. dr. Dušan Kordiš, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Medicinska fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
56. Prof. dr. Barbara Koroušič Seljak, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
57. Doc. dr. Tina Kosjek, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Fakulteta za strojništvo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za zdravstvene vede; Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
58. Doc. dr. Igor Kovač, FH Joanneum, Gradec, Avstrija
59. Prof. dr. Janez Kovač, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
60. Doc. dr. Petra Kralj Novak, Central European University, Dunaj, Avstrija
61. Doc. dr. Slavko Kralj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
62. Prof. dr. Igor Kržaj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Biotehniška fakulteta, Medicinska fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
63. Doc. dr. Marjan Kromar, Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko
64. Prof. dr. Danjela Kuščer Hrovatin, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
65. Prof. dr. Zdravko Kutnjak, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Fakulteta za strojništvo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
66. Prof. dr. Nada Lavrač, Univerza v Novi Gorici; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Ljubljani
67. Doc. dr. Adrijana Leonardi, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
68. Prof. dr. Darja Lisjak, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za naravoslovje; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
69. Prof. dr. Sonja Lojen, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju
70. Prof. dr. Boris Majaron, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
71. Prof. dr. Darko Makovec, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Medicinska fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
72. Prof. dr. Barbara Malič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
73. Doc. dr. Sabina Markelj, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
74. Prof. dr. Igor Mekjavič, Univerza Simon Fraser, Britanska Kolumbija, Kanada
75. Doc. dr. Alenka Mertelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
76. Doc. dr. Tomaž Mertelj, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
77. Prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
78. Doc. dr. Andrej Mihelič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
79. Doc. dr. Miha Mihovilovič, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Nemčija
80. Prof. dr. Radmila Milačič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
81. Prof. dr. Ingrid Milošev, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Zagrebu, Fakulteta za kemijsko inženirstvo in tehnologijo
82. Prof. dr. Dunja Mladenec, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Univerza v Zagrebu; Univerza v Ljubljani, Pedagoška fakulteta; Univerza v Novi Gorici; Univerza na Primorskem
83. Prof. dr. Mihael Mohorčič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
84. Doc. dr. Helena Motaln, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
85. Prof. dr. Miran Mozetič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
86. Doc. dr. Bojan Nemeč, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
87. Doc. dr. Roman Novak, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
88. Prof. dr. Saša Novak Krmptič, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
89. Prof. dr. Nives Ogrinc, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
90. Doc. dr. Mojca Otoničar, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana

91. **Doc. dr. Panče Panov**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto
92. **Prof. dr. Gregor Papa**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
93. **Doc. dr. Matija Perne**, Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto
94. **Prof. dr. Rok Pestotnik**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
95. **Prof. dr. Toni Petan**, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
96. **Prof. dr. Maja Ponikvar - Svet**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
97. **Doc. dr. Gregor Primc**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
98. **Prof. dr. Jože Pungerčar**, Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
99. **Prof. dr. Matthew Purver**, Queen Mary University of London, School of Electronic Engineering & Computer Science, Velika Britanija
100. **Doc. dr. Aleksandra Rashkovska Koceva**, Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto
101. **Prof. dr. Aleksander Rečnik**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
102. **Prof. dr. Maja Remškar**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
103. **Doc. dr. Peter Rodič**, Mednarodna podiplomska šola Jožeta Stefana
104. **Prof. dr. Boris Rogelj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Medicinska fakulteta, Biotehniška fakulteta
105. **Prof. dr. Tadej Rojac**, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
106. **Prof. dr. Igor Serša**, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
107. **Doc. dr. Tomaž Skapin**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
108. **Prof. dr. Borut Smodiš**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
109. **Prof. dr. Luka Snoj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Virginia Tech University, ZDA
110. **Prof. dr. Matjaž Spreitzer**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
111. **Prof. dr. Veronika Stoka**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
112. **Doc. dr. Luka Šantelj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
113. **Prof. dr. Janez Ščančar**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
114. **Doc. dr. Srečo Davor Škapin**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
115. **Prof. dr. Miha Škarabot**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
116. **Doc. dr. Zdenka Šlejkevč**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
117. **Prof. dr. Janez Štrancar**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo; Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
118. **Prof. dr. Sašo Šturm**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
119. **Prof. dr. Aleš Švigelj**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
120. **Doc. dr. Gašper Tavčar**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
121. **Prof. dr. Iztok Tiselj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
122. **Prof. dr. Andrej Trkov**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko
123. **Prof. ddr. Boris Turk**, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
124. **Prof. dr. Dušan Turk**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Medicinska fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
125. **Doc. dr. Livija Tušar**, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede
126. **Doc. dr. Tea Tušar**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Università' degli studi di Trieste, Italija
127. **Prof. dr. Aleš Ude**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
128. **Doc. dr. Hana Uršič Nemevšek**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
129. **Prof. dr. Olga Vasiljeva**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
130. **Prof. dr. Janja Vaupotič**, Univerza v Novi Gorici; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
131. **Doc. dr. Matjaž Vencelj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
132. **Prof. dr. Alenka Vesel**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
133. **Doc. dr. Mojca Vilfan**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
134. **Doc. dr. Damir Vrančič**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana; Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto
135. **Prof. dr. Boštjan Zalar**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
136. **Doc. dr. Rok Zaplotnik**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
137. **Prof. dr. Marko Zavrtanik**, Univerza v Novi Gorici
138. **Prof. dr. Aleksander Zidanšek**, Univerza v Mariboru, Pedagoška fakulteta; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
139. **Doc. dr. Benjamin Zorko**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
140. **Doc. dr. Kristina Žagar Soderžnik**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
141. **Doc. dr. Bernard Ženko**, Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto, Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
142. **Prof. dr. Eva Žerovnik**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
143. **Prof. dr. Matjaž Žitnik**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
144. **Doc. dr. Leon Žlajpah**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
145. **Doc. dr. Martin Žnidaršič**, Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto; Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
146. **Prof. dr. Slobodan Žumer**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
147. **Prof. dr. Kristina Žužek Rožman**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana

Visokošolski sodelavci

1. **Dr. Tilen Breclj**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
2. **Dr. Matjaž Depolli**, Univerza v Novem mestu, Fakulteta za strojništvo
3. **Dr. Martin Draksler**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
4. **Dr. Samir El Shawish**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
5. **Dr. Blaž Fortuna**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
6. **Dr. Carolina Fortuna**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
7. **Dr. Dejan Gradišar**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko; Fakulteta za industrijski inženiring Novo mesto
8. **Dr. Radojko Jačimovič**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
9. **Dr. Peter Jeglič**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
10. **Dr. Petra Jenuš**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
11. **Dr. Martin Klanjšek**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
12. **Dr. Dragi Kocev**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
13. **Dr. Igor Lengar**, Univerza v Mariboru, Fakulteta za energetiko
14. **Dr. Matjaž Leskovar**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
15. **Dr. Mitja Luštrek**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
16. **Dr. Aljaž Osojnik**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
17. **Dr. Matej Petkovič**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
18. **Dr. Senja Pollak**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
19. **Dr. Andrej Prošek**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
20. **Dr. Vladimir Radulović**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
21. **Dr. Adam Rambousek**, Faculty of Informatics Masaryk University, Brno, Češka
22. **Dr. Jošt Stergar**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
23. **Dr. Špela Stres**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
24. **Dr. Andrej Šali**, Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
25. **Dr. Mitja Uršič**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
26. **Dr. Jelena Vesić**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko
27. **Dr. Darko Vrečko**, Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju
28. **Dr. Andrej Zorko**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Fakulteta za matematiko in fiziko
29. **Dr. Andrej Žohar**, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko

KOLOKVIJI NA IJS

12. januar 2022: **Rok Žitko**

Institut "Jožef Stefan" in Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani
Od kvantnih nečistoč do kvantnih naprav

16. marec 2022: **Paolo Giubellino** in **Joerg Blaurock**

GSI in FAIR, Darmstadt, Nemčija
FAIR - vesolje v laboratoriju

21. marec 2022: **Griša Močnik**

Univerza v Novi Gorici, Haze Instruments, d. o. o., Institut "Jožef Stefan"
Absorpcija svetlobe v aerosolih vpliva na podnebje - kako to merimo?

21. marec 2022: **Luka Drinovec**

Univerza v Novi Gorici, Institut "Jožef Stefan", Haze Instruments, d. o. o.
Merjenje absorpcije aerosolov s fototerminčnim interferometrom

22. marec 2022: **Goran Dražič**

Kemijski inštitut, Institut "Jožef Stefan", Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
Kaj vse nam pove črno-bela slika atomov?

23. marec 2022: **Borka Jerman Blažič**

Institut "Jožef Stefan"
Izziv interneta prihodnosti: varnost, povezljivost in vidiki humanosti

24. marec 2022: **Tamim Asfour**

Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Nemčija
Humanoidna robotika - razumevanje človeških sposobnosti in inteligence

5. maj 2022: **Peter Fantke**

Tehniška univerza Danske, Danska
Modeliranje kemičnega onesnaževanja za podporo varnemu in trajnostnemu ravnanju s kemikalijami

15. junij 2022: **Stephen M. Morris**

Univerza v Oxfordu, Velika Britanija
Aditivna proizvodnja in tehnologije tekočih kristalov

7. september 2022: **Thomas Rockwell Mackie**

Univerza v Wisconsinu, ZDA
Inovacije v radiacijski medicini

21. september 2022: **Bogdan Parakhonskiy**

Univerza v Ghentu, Belgija
Geološko navdihnjeni keramični nosilci: od oblikovanja do medicinske uporabe

26. oktober 2022: **Geoff Brennecka**

Rudarska šola Colorada, ZDA
Pomen obdelave: izzivi materialov za drugo četrtino 21. stoletja

10. november 2022: **Saša Prelovšek Komelj**

Institut "Jožef Stefan" in Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani
Običajna in neobičajna stanja sestavljena iz kvarkov

16. november 2022: **Tadej Rojac**

Institut "Jožef Stefan"
Dinamika domenskih sten v feroelektričnih in relaksorskih keramičnih materialih

23. november 2022: **Alojz Kodre**

Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani
V globinah atoma

1. december 2022: **Atish Dabholkar**

Mednarodno središče za teoretično fiziko (ICTP), Trst, Italija
Kvantne črne luknje: Hawkingovo srečanje z Ramanujanom

7. december 2022: **Enej Ilievski**

Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani
Superdifuzija v Heisenbergovi magnetni verigi

ŠTEVILO ŠTIPENDISTOV

1977-2022

Leto	FMF		FKKT UNI LJ	FKKT UNI MB	NTF	FDV	FU	BF	FE in FRI	Drugo UNI LJ	FG in FERI	UNG	MPŠ	Skupaj
	Oddelek za fiziko	Oddelek za matematiko												
... 1989	242	75	144					4	181	21	4			671
1990	26	5	11					2	25		1			70
1991	23	2	9					2	24	2	1			63
1992	22	3	16					3	17	1				62
1993	21	1	15					3	13	1				54
1994	7	1	8					3	6					25
1995	2		9					3	5					19
1996	2		9					3	5					19
1997	2		12					1	4		1			20
1998	1		6					1	7		1			16
1999	2		7					4	7					20
2000	1		5					3	9					18
2001	3		13					3	10					29
2002	4		20					3	10					37
2003	3		18					2	12	1				36
2004	4		17					1	15	1	2	2		42
2005	3		12			1		2	19		2	1		40
2006	2		12			1		1	17		2	2		37
2007	3		14			1		2	18		2	1		41
2008	2	1	13	3		1		2	15		1	1		39
2009	2	1	17	4		1		5	16		1	2		49
2010	2		11	5	2	1	1	3	10		1	2	5	43
2011	2	1	11	5	4	1	1	4	7		1		6	43
2012	2		10	6	3	1		3	6				5	36
2013	3	2	3	2	1		1		2	2			6	22
2014	14	6	3		2		1		3	2			1	32
2015	21	6	4		1				9	1			10	52
2016	16	2	5						7	1			15	46
2017	11	2	4					2	7				12	38
2018	9	3	5					2	6	1	1		7	34
2019	16	1	5						7		1		12	42
2020	17	1	4						5	1			8	36
2021	19		3						5	1			6	34
2022	15	2	2						4	1			4	28
SKUPAJ	524	115	457	25	13	8	4	67	513	37	22	11	97	1893

FMF Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani
 FKKT (Uni-Lj) Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Ljubljani
 FKKT (Uni-Mb) Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Mariboru
 NTF Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani
 FDV Fakulteta za družbene vede, Univerza v Ljubljani
 FU Fakulteta za upravo, Univerza v Ljubljani
 BF Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani

FE Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani
 FRI Fakulteta za računalništvo in informatiko, Univerza v Ljubljani
 FG Fakulteta za gradbeništvo, Univerza v Mariboru
 FERI Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Univerza v Mariboru
 UNG Univerza v Novi Gorici
 MPŠ Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana
 Drugo (Uni-Lj) Fakulteta za farmacijo, Fakulteta za strojništvo, Ekonomska fakulteta, Medicinska fakulteta, UL

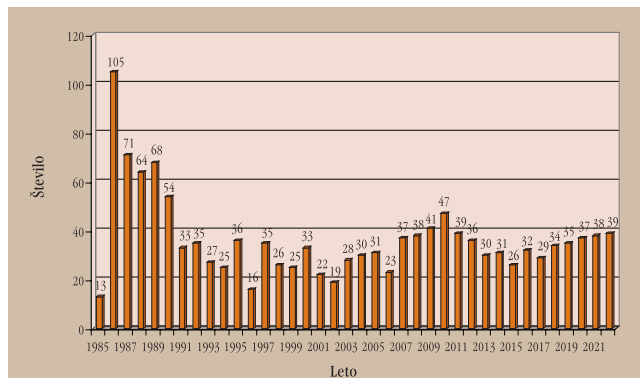
ŠTEVILO MLADIH RAZISKOVALCEV, SPREJETIH V FINANCIRANJE

1985–2022

Odsek	Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije				Gospodarstvo	Skupaj
	Magisterij in doktorat	Doktorat	Magisterij	Specializacija	Doktorat	
Odsek za teoretično fiziko (F-1)	4	63	1	2		70
Odsek za fiziko nizkih in srednjih energij (F-2)	14	35	3	2	1	55
Odsek za tanke plasti in površine (F-3)	2	7	2		2	13
Odsek za tehnologijo površin (F-4)		20			2	22
Odsek za fiziko trdne snovi (F-5)	22	95	5	25	3	150
Odsek za kompleksne snovi (F-7)	2	43	2	3	2	52
Odsek za reaktorsko fiziko (F-8)	11	21	4	2		38
Odsek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev (F-9)	13	47			3	63
Odsek za anorgansko kemijo in tehnologijo (K-1)	9	22	1	1	2	35
Odsek za fizikalno in organsko kemijo (K-3)	13	31	9	6		59
Odsek za elektronsko keramiko (K-5)	3	34	6	3	1	47
Odsek za inženirsko keramiko (K-6)	1	10	3	3	1	18
Odsek za nanostrukturne materiale (K-7)	4	46	3	2	2	57
Odsek za sintezo materialov (K-8)	1	21	4		1	27
Odsek za raziskave sodobnih materialov (K-9)	6	26	5	1	2	40
Odsek za biokemijo, molekularno in strukturno biologijo (B-1)	24	66	2	4		96
Odsek za molekularne in biomedicinske znanosti (B-2)	4	22	3	1		30
Odsek za biotehnologijo (B-3)	3	18	2	1		24
Odsek za znanosti o okolju (O-2)	34	76	5	2	4	121
Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko (E-1)	14	31	18	8		71
Odsek za sisteme in vodenje (E-2)	10	34	10	4	1	59
Odsek za umetno inteligenco (E-3)		4				4
Laboratorij za odprte sisteme in mreže (E-5)	5	7	3		1	16
Odsek za komunikacijske sisteme (E-6)	15	22	17	1		55
Odsek za računalniške sisteme (E-7)	14	10	6	2	4	36
Odsek za tehnologije znanja (E-8)	14	31	8			53
Odsek za inteligentne sisteme (E-9)	11	18	7	2	5	43
Odsek za reaktorsko tehniko (R-4)	11	17	9	3		40
Center za energetska učinkovitost (CEU)	3	1	18	6	4	32
Center za informatiko in zunajšolsko izobraževanje (CT-1)	6		6	1		13
SKUPAJ	273	878	162	85	41	1439

ŠTEVILO MLADIH RAZISKOVALCEV, SPREJETIH V FINANCIRANJE

Javna agencija za raziskovalno dejavnost
Republike Slovenije*



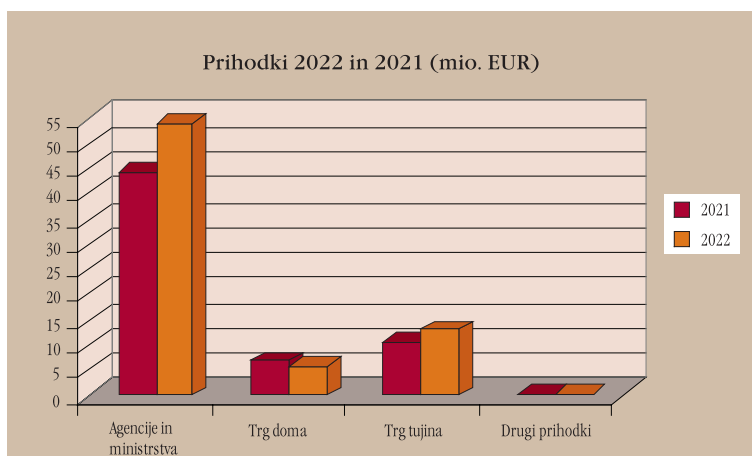
* Na grafu je skupno število mladih raziskovalcev, sprejetih v financiranje od ARRS, manjše. Razlika je posledica dejstva, da je nekaj mladih raziskovalcev v tem obdobju spremenilo vrsto usposabljanja.

FINANCE

PRIHODKI IJS (V EUR) IN ŠTEVILO POGODB

IJS je prihodke pridobil v tekmi z drugimi, domačimi in tujimi, raziskovalnimi organizacijami: 74,1 % na razpisih na državnih ministrstvih in agencijah, 17,9 % na mednarodnih razpisih (pretežno na okvirnih programih EU) in 7,8 % na domačem trgu.

	2022	delež 2022	2021	delež 2021	indeks 2022/2021	št. pogodb v letu 2022
Agencije in ministrstva	54.148.283	74,1 %	44.596.210	71,4 %	121,4	513
Trg doma	5.660.661	7,8 %	6.896.083	11 %	82,1	328
Trg tujina	13.070.884	17,9 %	10.648.758	17,1 %	122,7	220
Drugi prihodki	146.524	0,2 %	309.334	0,5 %	47,4	
SKUPAJ	73.026.352	100 %	62.450.385	100 %	116,9	1061



OBJAVE IN DELA

2022

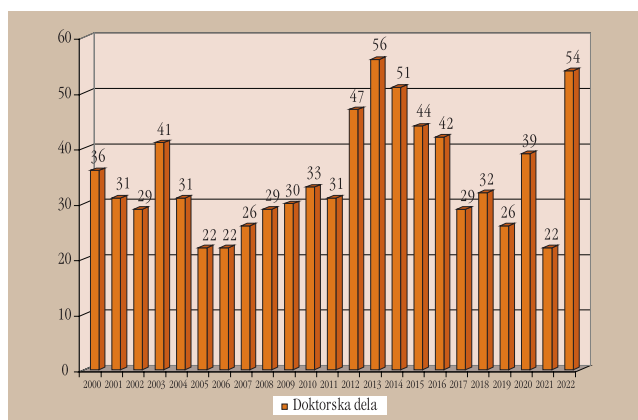
Vir podatkov COBISS

Odsek	Članki		Monografije		Patenti		Doktorati
	Znanstveni	Strokovni	Znanstvene	Strokovne	Podeljeni	Prijave	
Teoretična fizika (F-1)	66	3					2
Fizika nizkih in srednjih energij (F-2)	67	1					1
Tanke plasti in površine (F-3)	9						
Tehnologija površin (F-4)	58				4	1	2
Fizika trdne snovi (F-5)	125	11		4			9
Plinska elektronika (F-6)	43				1		1
Kompleksne snovi (F-7)	59	4			1		3
Reaktorska fizika (F-8)	67	7		1			4
Eksperimentalna fizika osnovnih delcev (F-9)	84	2					1
Anorganska kemija in tehnologija (K-1)	42	3			2		1
Fizikalna in organska kemija (K-3)	13	1					2
Elektronska keramika (K-5)	55				1		3
Nanostrukturni materiali (K-7)	51				1		2
Sinteza materialov (K-8)	25						1
Sodobni materiali (K-9)	50						1
Biokemija, molekularna in strukturna biologija (B-1)	16						1
Molekularne in biomedicinske znanosti (B-2)	14						
Biotehnologija (B-3)	32	2				1	3
Znanosti o okolju (O-2)	101	2			1		8
Avtomatika, biokibernetika in robotika (E-1)	41	1					3
Sistemi in vodenje (E-2)	19						
Umetna inteligenca (E-3)	75						
Odprti sistemi in mreže (E-5)	11						
Komunikacijski sistemi (E-6)	52	2					1
Računalniški sistemi (E-7)	44		1				1
Tehnologije znanja (E-8)	115			1	1		9
Inteligentni sistemi (E-9)	39	2					
Reaktorska tehnika (R-4)	34						1
Reaktorski infrastrukturni center (RIC)	5						
Center za mrežno infrastrukturo (CMI)	4						
Center za energetska učinkovitost (CEU)	7	1					
Center za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM)	6						
Center za prenos znanja na področju inf. tehn. (CT-3)	1						
Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča (ICJT)	3	1					
Center za prenos tehnologij in inovacij (CTT)	3						
Institut "Jožef Stefan"	1264	37	1	6	10	2	54

OPRAVLJENA DOKTORSKA DELA

DO 2022

Leto	Doktorati	Leto	Doktorati
...1999	524	2011	31
2000	36	2012	47
2001	31	2013	56
2002	29	2014	51
2003	41	2015	44
2004	31	2016	42
2005	22	2017	29
2006	22	2018	32
2007	26	2019	26
2008	29	2020	39
2009	30	2021	22
2010	33	2022	54
		SKUPAJ	1327



PODELJENI PATENTI

- Jihed Khiari, Luis Moreira-Matias, Sašo Džeroski, Bernard Ženko, Method and system for model integration in ensemble learning, US11423336 (B2), US Patent Office, 23. 8. 2022
- Marko Kazič, Nejc Lukač, Blaž Tašič Muc, Matjaž Lukač, Micro-pulsed liquid spray for cooling, US11490945 (B2), US Patent Office, 8. 11. 2022
- Mirko Faccini, Morillo Martín, David Amantia, Danjela Kuščer, Darko Belavič, Tadej Rojac, A vibration system and a filtering plate for filtering substances, EP3454977 (B1), European Patent Office, 9. 2. 2022
- Piotr Polczyński, Rafał Jurczakowski, Piotr J. Leszczyński, Wojciech Rafał Grochala, Zoran Mazej, Metoda elektrosintezy związków srebra(II) i produkty otrzymane tą metodą, PL240270 (B1), Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, 7. 3. 2022
- Alenka Vesel, Miran Mozetič, Rok Zaplotnik, Gregor Primc, Nina Recek, Method of increasing the hydrophilicity of a surface of an object of polymer containing fluorine atoms, EP3757155 (B1), European Patent Office, 18. 5. 2022
- Rok Zaplotnik, Miran Mozetič, Gregor Primc, Alenka Vesel, Masaru Hori, Methods for forming carbon nanostructured materials, EP3802418 (B1), European Patent Office, 8. 6. 2022
- Piotr J. Leszczyński, Adam Krzysztof Budniak, Wojciech Marek Adamczyk, Jakub Henryk Gawraczyński, Tomasz Edward Gilewski, Piotr Polczyński, Rafał Jurczakowski, Wojciech Rafał Grochala, Zoran Mazej, Methods for obtaining salts of silver(II) and hydrates thereof, products obtained by the methods and use of the same, EP3347309 (B1), European Patent Office, 20. 7. 2022
- Ksenija Renner-Sitar, Ita Junkar, Uroš Cvelbar, Miran Mozetič, Metoda za izboljšanje vezave dentalne silikatne keramike s kompozitnimi cementi, SI26082 (A), Urad RS za intelektualno lastnino, 29. 4. 2022
- Alenka Vesel, Nives Ogrinc, Metoda za funkcionalizacijo poliolefinov s sočasno kombinacijo dušikovih in kisikovih funkcionalnih skupin, SI26091 (A), Urad RS za intelektualno lastnino, 29. 4. 2022
- Matic Korent, Marko Soderžnik, Urška Ročnik, Karla Kosmač, Zoran Samardžija, Boris Saje, Spomenka Kobe, Postopek za izboljšanje magnetnih lastnosti prahov MQP-B+Nd-Fe-B z majhnim deležem intergranularne faze in postopek izdelave polimerno-vezanih magnetov iz teh magnetnih prahov, SI26141 (A), Urad RS za intelektualno lastnino, 29. 7. 2022

NAGRADE IN PRIZNANJA

NAGRADE REPUBLIKE SLOVENIJE

Zoisovi nagradi in Zoisovo priznanje

Ester Heath

Zoisova nagrada za vrhunske dosežke za rabo organske analize na področju okolja, hrane in zdravja

Nada Lavrač

Zoisova nagrada za vrhunske znanstvene dosežke na področju strojnega učenja

Rok Žitko

Zoisovo priznanje za razvoj teorije nanoskopskih kvantnih sistemov

Puhova nagrada

Uroš Stanič

Puhova nagrada za življenjsko delo na področju funkcionalne električne stimulacije in robotizacije

Posebno priznanje

Leon Cizelj, Matjaž Leskovar

Spominski znak za požrtvovalnost v boju proti COVIDU-19

NAGRADE IJS

Blinčeve nagrade

Alojz Kodre

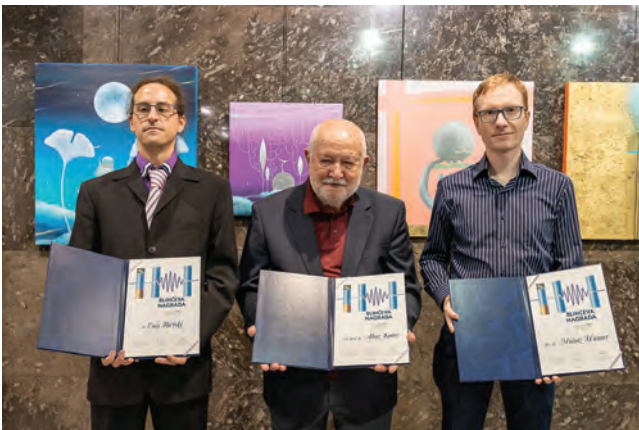
Blinčeva nagrada za življenjsko delo s področja fizike

Enej Ilievski

Blinčeva nagrada za vrhunske enkratne dosežke

Matjaž Humar

Blinčeva nagrada za fizike na začetku kariere



Prejemniki Blinčevih nagrad: dr. Enej Ilievski, prof. dr. Alojz Kodre in doc. dr. Matjaž Humar



Prejemniki Zoisovih nagrad in priznanj ter Puhovih nagrad: prof. dr. Rok Žitko, prof. dr. Nada Lavrač, prof. dr. Ester Heath in prof. dr. Uroš Stanič

Zlati znak Jožefa Stefana

Zlati znak Jožefa Stefana za uspešnost in odmevnost doktorskih del doma in v tujini so prejeli raziskovalci:

Pavel Kos

Točne rešitve mnogodelčnih kvantnih kaotičnih sistemov

Žiga Kos

Mikrofluidne strukture na osnovi nematskih tekočih kristalov

Matija Gatalo

Razvoj sinteze nanodelcev binarnih in ternarnih zlitin platine na ogljikovem nosilcu kot elektrokatalizatorju

Častna listina Instituta "Jožef Stefan"

Podeljena je bila podjetjem za sodelovanje pri prenosu znanstvenih in tehnoloških dosežkov ter znanj, ustvarjenih na Institutu, v družbeno in gospodarsko zaledje doma in v tujini:

Dito, d. o. o., Gorica pri Slivnici

Eles, d. o. o., Ljubljana

Gorenje, d. o. o., Velenje

Kolektor Group, d. o. o., Idrija

Unior, d. d., Zreče

in osebam:

Rafael Kitak, Dito, d. o. o.

Srečko Bizjak, Dito, d. o. o.

Janko Kosmač, Eles, d. o. o.

Uroš Salobir, Eles, d. o. o.

Samo Gazvoda, Gorenje, d. o. o.

Boris Saje, R&D Magnetika, Kolektor Group, d. o. o.

Karla Kosmač, Kolektor KFH, d. o. o.

Ludvik Kumar, Kolektor Group, d. o. o.

Jože Ravničan, Unior, d. d.

DRUGA ODMEVNEJŠA PRIZNANJA RAZISKOVALCEM IJS

Odsek za umetno inteligenco (E-3), 2022 European Heritage Awards, Europa Nostra Awards: H2020 Silknow projekt, European Heritage Europa Nostra, SILKNOW

Odsek za umetno inteligenco (E-3), Europa Nostra Grand Prix Award: H2020 Silknow projekt, Praga, Češka, SILKNOW

Aleš Berlec, priznanje za delo v uredništvu revije *Acta Chimica Slovenica*, Slovensko kemijsko društvo

Blaž Bertalančič, Gregor Cerar, Carolina Fortuna, Halil Yetgin, Student Best Paper Award, Bologna, Italija, WiMob 2021, A Deep Learning Model for Anomalous Wireless Link Detection

Veronika Bračič, Krkina posebna pohvala na razpisu za 52. Krkine nagrade za leto 2022, delo z naslovom Korozijska zaščita aluminijeve zlitine s konverzijsko in hibridno sol-gel prevleko je opravila pod mentorstvom Petra Rodiča.

Oana-Andreea Condurache, študentska nagrada za prispevek: *In situ* študija dinamike domenskih sten bizmutovega ferita pod električnim poljem s presevnim elektronskim mikroskopom z atomsko ločljivostjo, organizacijski odbor konference Microscopy & Microanalysis 2022

Miran Čeh, nagrada Spiridion Brusina za sodelovanje s hrvaškimi znanstveniki na področju prirodoslovja in promoviranja hrvaške znanosti v svetu, Hrvaško prirodoslovno društvo, Zagreb, Hrvaška

Jean-Marie Dubois, mednarodna znanstvena nagrada Stoddart (imenovane po siru Frazerju Stoddartu, Nobelovem nagrajencu za kemijo) za življenjske dosežke na področju znanosti o materialih, Flogen Star Outreach (neprofitna organizacija) na kongresu SIPS 2022 v Phuketu na Tajskem

Jernej Ekar, nagrada za predavanje z naslovom Reduction of Matrix Effect in ToF-SIMS Depth Profiling via H₂ Flooding, ECASIA Student Travel Grant, Limerick, Irska, European Association on Applications of Surface and Interface Analysis, 19th ECASIA conference

Martin Gjoreski, Mitja Luštrek, 2020 Best Paper Runner-up Award for IEEE Pervasive Computing, virtualno, IEEE Computer Society, za članek Veljko Pejovič, Martin Gjoreski, Christoph Anderson, Klaus David, Mitja Luštrek, Toward Cognitive Load Inference for Attention Management in Ubiquitous Systems, IEEE Pervasive Computing 19, 2020

Matjaž Gomilšek, svečana listina za mlade visokošolske učiteljice in učitelje ter visokošolske sodelavke in sodelavce, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, za izjemno uspešno znanstvenoraziskovalno delo, predano in inovativno pedagoško delo ter soorganizacijo poletne Šole Physics in Ljubljana 2022 na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani

Katja Gosar, nagrada dr. Uroša Seljaka, Univerza v Ljubljani, ASEF (Ameriško-slovenska izobraževalna fundacija) za članek Single-shot Stern-Gerlach magnetic gradiometer with an expanding cloud of cold cesium atoms

Anton Gradišek, član uredniškega odbora spletne revije *Alternator*, prometej znanosti, Ljubljana, Slovenska znanstvena fundacija, za človeku prijazno predstavljanje raziskovalnih dosežkov v spletni obliki revije za znanost in o znanosti izdajatelja ZRC SAZU

Anton Gradišek, Anja Pogačnik Krajnc, Luka Pirker, Maja Remškar, prometej znanosti, Ljubljana, Slovenska znanstvena fundacija, za obsežno strokovno neoporečno seznanjanje javnosti o rezultatih testiranja zaščitnih mask različnih proizvajalcev

Ester Heath, David Heath, Ana Kovačič, David Škufca, Odlični v znanosti 2022 (področje medicine), ARRS, Novodobna organska onesažila – kako jih lahko obvladamo z algami?, 2022

Aljaž Kavčič, nagrada dr. Uroša Seljaka, Univerza v Ljubljani, ASEF (Ameriško-slovenska izobraževalna fundacija) za delo Deep tissue localization and sensing using optical microcavity probes (*Nature Communications*)

Bosho Koloski, Ilija Tavchioski, prvo mesto na tekmovanju DragonHack 2022 v splošni kategoriji in kategoriji Best Google Cloud Hack. Zmagala sta s predstavitvijo kreativne rešitve za problem odvoza kosovnih odpadkov.

Špela Koren, Krkina posebna pohvala, Novo mesto, Krka, d. d., magistrska naloga z naslovom Povezave med lipidnimi kapljicami in avtofagijo v rakavih celicah, izpostavljenih stresu

Žiga Kos, priznanje za najodličnejši raziskovalni dosežek Univerze v Ljubljani v letu 2022

Domen Kotnik, Anil Kumar Basavaraj, Igor Lengar, nagrada za najboljše mlade avtorje, Portorož, mednarodna konferenca 31st International Conference Nuclear Energy for New Europe – NENE 202, september 2022, članek z naslovom Analysis of water activation loop at the JSI TRIGA research reactor

Samo Kralj, nagrada za izjemne raziskovalne dosežke, Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko



Prejemniki zlatega znaka: dr. Pavel Kos, dr. Žiga Kos in dr. Nejc Hodnik
(na podelitvi je nadomeščal odsotnega dr. Matijo Gatala)



- Benjamin Krull, Ronald Lehnigk, Richard Meller, Fabian Schlegel, Matej Tekavčič**, nagrada za najboljši prispevek OpenFOAM hybrid – a morphology adaptive multifield two-fluid model, 19th International Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics – NURETH19
- Pasquale Lisena, Daniel Schwabe, Marieke van Erp, Raphaël Troncy, William Tullett, Inger Leemans, Lizzie Marx**, Best Resources Paper, Heraklion, Grčija, ESWC konferenca, Capturing the Semantics of Smell: The Odeuropa Data Model for Olfactory Heritage Information
- Barbara Malič**, nagrada za izjemen prispevek k razjasnitvi odnosov med kemijskimi in fizikalnimi lastnostmi feroelektrične keramike, odbor za feroelektrike pri društvu Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control Society (UFFC-S) v okviru zveze Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
- Biljana Mileva Boshkoska**, 2022 IFIP Service award for outstanding contributions to the IFIP and the informatics community
- Ana Mitrović**, Lapanjetovo priznanje za vrhunske znanstvenoraziskovalne in strokovne dosežke na področju biokemijskih znanosti, Slovensko biokemijsko društvo
- Ana Mitrović**, Odlični v znanosti 2022, Ljubljana, Slovenija, ARRS, za članek Vrednotenje novih zaviralcev katepsina X *in vitro* ter *in vivo* ter njihove sposobnosti za izboljšanje protitumorne terapije, usmerjene proti katepsinu B
- Jernej Mlinarič**, priznanje Tehnološke mreže Tehnologija vodenja procesov za najboljšo magistrsko delo z naslovom: Diagnostika in prognozika elektromehanskih sklopov na podlagi mehanskih, električnih, vibracijskih in akustičnih signalov, Ljubljana
- Aleš Mohorič**, priznanje DMFA Slovenije za bogato strokovno dejavnost in dolgoletno uredniško delo pri reviji *Preseki* in drugih društvenih publikacijah, Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije
- Klemen Motaln**, Best presentation by a young scientist, 28th Croatian-Slovenian Crystallographic Meeting, september 2022, Poreč, Hrvaška
- Klemen Motaln**, Best abstract in the field of Nanosciences and Nanotechnologies, 14th Jožef Stefan International Postgraduate School Students' Conference, junij 2022, Kamnik
- Miran Mozetič**, nagrada Svetovne organizacije za intelektualno lastnino, medalja WIPO za izumitelje
- Sebastjan Nemeč**, dekanova nagrada za objavo prispevka z naslovom A versatile interfacial coassembly method for fabrication of tunable silica shells with radially aligned dual mesopores on diverse magnetic core nanoparticles v znanstveni reviji *ACS Applied Materials & Interfaces* z velikim dejavnikom vpliva. Nagrada je bila podeljena 30. 11. 2022 v sklopu Raziskovalnega dne na Fakulteti za farmacijo, Univerza v Ljubljani.
- Peter Nimac**, Prešernova nagrada študentom Univerze v Ljubljani, Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko, Zasnova in izvedba radarja za pametni prometni semafor
- Saša Novak Krmpotič**, častni letni naziv Komunikatorica znanosti 2022 na področju pomena komuniciranja znanstvenikov javnosti, Slovenska znanstvena fundacija
- Gregor Papa, Marina Santo Zarnik, Vida Vukašinović**, ARRS Odlični v znanosti 2022 na področju tehnike za znanstveni članek: Proge električnih avtobusov v hribovitih mestnih območjih: pregled in izzivi, Electric-bus routes in hilly urban areas: overview and challenges, *Renewable & sustainable energy reviews*: an international journal, 2022
- Tina Vida Plavec**, glavna Krkina nagrada, Krka, d. d., Novo mesto, Slovenija, nagrada za doktorsko disertacijo z naslovom Površinska predstavitev vezalcev tumorskih antigenov na bakterijah *Lactococcus lactis* NZ9000 in vrednotenje njihove vezave na izbrane človeške tumorske celične linije
- Rok Poličnik, Barbara Koroušič Seljak**, ARRS Odlični v znanosti 2022 na področju javnega zdravja za raziskovalno delo: Energijska in hranilna sestava šolskih kosil v Sloveniji: rezultati kemijske analize v okviru nacionalne raziskave o šolski prehrani (Poličnik, Rok, Rostohar, Katja, Škrjanc, Barbara, Koroušič-Seljak, Barbara, Blaznik, Urška, Farkaš-Lainščak, Jerneja), Energy and nutritional composition of school lunches in Slovenia: the results of a chemical analysis in the framework of the national school meals survey, *Nutrients*, 2021
- Kity Požek**, Krkina nagrada, Novo mesto, Krka, d. d., magistrska naloga z naslovom Izolacija in karakterizacija proteina VaaMPIII-3 iz modrasovega strupa
- Kity Požek**, Prešernova nagrada študentkam in študentom Univerze v Ljubljani, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, magistrska naloga z naslovom Izolacija in karakterizacija proteina VaaMPIII-3 iz modrasovega strupa
- Alja Prah**, Preglova nagrada Kemijskega inštituta za izjemno doktorsko delo z naslovom *Raziskovanje vloge elektrostatskih interakcij pri encimski katalizi monoamin-oksidadaz s pomočjo večnivojskega računskega modela* pod mentorstvom Jerneja Stareta in somentorstvom Marije Sollner Dolenc
- Matthew Purver, Senja Pollak** in sodelavci, priznanje za najboljši prispevek delavnice The First Computing Social Responsibility Workshop-NLP Approaches to Corporate Social Responsibilities v okviru konference LREC 2022, prispevek Tracking Changes in ESG Representation: Initial Investigations in UK Annual Reports
- Anna Razumnaya**, nagrada za projekt Nastavljiva topološka kiralnost v feroelektričnih nanomaterialih, pečat odličnosti, Bruselj, Belgija, Obzorje Evropa
- Aleksander Rečnik**, častno priznanje za dolgoletno sodelovanje in pomoč pri doktorskem programu na Univerzi Pannonia v Veszprému, Senat Univerze Pannonia, Veszprém na Madžarskem
- Maja Remškar, Anton Gradišek, Luka Pirker, Anja Pogačnik Kranjc**, prometej znanosti, Ljubljana, Slovenska znanstvena fundacija, za obsežno strokovno neoporečno seznanjanje javnosti o rezultatih testiranja zaščitnih mask različnih proizvajalcev
- Barbara Repič**, nagrada za najboljšo predstavitev v sklopu kategorije Senzorskih tehnologij, organizacijski odbor 14. študentske konference Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana
- Vesna Ribič**, nagrada za najboljši članek z naslovom: New inversion boundary structure in Sb-doped ZnO pre dicit d by DFTcalculations and confirmed by experimental HRTEM (objavljen v reviji *Acta Materialia*), Znanstveni svet Instituta za multidisciplinarne raziskave v Beogradu, Srbija
- Sorour Semsari Parapari**, 2. najboljša ustna predstavitev na mednarodni konferenci ELMINA z naslovom: Heterogeno Electrochemical Dissolution of Gold Nanoparticles Observed via *In-situ* Liquid TEM, Srbska akademija znanosti in umetnosti in Tehnološko-metalurška fakulteta Univerze v Beogradu, Srbija
- Sorour Semsari Parapari**, Stipendija Evropskega združenja za mikroskopijo na konferenci 16 MCM (Multinational Microscopy Congress) v Brnu na Češkem, Evropsko združenje za mikroskopijo
- Emanuela Senior**, Odlični v znanosti 2022, Ljubljana, Slovenija, ARRS, za članek: Infiltrating natural killer cells bind, lyse and increase chemotherapy efficacy in glioblastoma stem-like tumorspheres
- Vasyil Shvalya, et al.**, Plazmonske površine za prepoznavo mikotoksinov, Odlični v znanosti 2022
- Gašper Slapničar**, najboljši referat, Ljubljana, Slovenska konferenca o umetni inteligenci, za članek Gašper Slapničar, Peter Us, Erna Alukič, Nejc Mekšič, Miha Mlakar, Janez Žibert, IMF Quality Assurance of Mammograms Using Deep Convolutional Neural Networks and Transfer Learning

Anja Stajnko, Agneta A. Runkel, Tina Kosjek, Janja S. Tratnik, Darja Mazej, Ingrid Falnoga, Milena Horvat, Odlični v znanosti 2022 (področje interdisciplinarnih raziskav), ARRS, Ocena dozvetnosti za izpostavljenost ftalatom in DINCH-u prek polimorfizmov posameznega nukleotida v genih, ki kodirajo CYP in UGT encime, 2022

Marjan Stojmchev, nagrada za najboljši prispevek na ICT-programu na dogodku The 14th Jožef Stefan International Postgraduate School Students Conference (IPSSC) v Kamniku

Spase Stojanov, priznanje za visoko stopnjo znanstvene multidisciplinarnosti, Alessandro de Vita, Trst, Italija, Crossnano workshop

Lidija Strojnik, Best poster award, Rafa 2022, 10th International Symposium in Food Analysis, Praga Tracing the geographical origin of fruits and vegetables: the Slovenian model, 2022

Melita Tramšek, priznanje za uredniško delo pri reviji *Acta Chimica*, Slovenski kemijski dnevi 2022, september 2022, Portorož, Slovenija

Melita Tramšek, priznanje prometelj znanosti za odličnost v komuniciranju za leto 2021

Hanh Thi Hong Tran s sodelavci in mentorico Senjo Pollak, prvo mesto na tekmovanju TextGraphs-16 Natural Language Premise Selection Task, ki se uvršča na področje razumevanja naravnega jezika na področju matematične logike.

Ana Marija Udovič, Würdigungspreis 2022 - nagrada za najboljša diplomska in magistrska dela, Dunaj, Avstrija, podeljuje avstrijsko zvezno ministrstvo za izobraževanje, za študijski uspeh in magistrsko delo The Role of Bicycling for the Resilience and Sustainability of Transport in Urban Areas in the Post-COVID-19 World

Erik Uran, 3rd Place Prize at the Student Paper Contest, Slovenski kemijski dnevi 2022, september 2022, Portorož

Erik Uran, Best Poster Award, 20th European Symposium on Fluorine Chemistry, avgust 2022, Berlin, Nemčija

Erik Uran, Best Student Oral Presentation Award, 4th International Congress of Chemists and Chemical Engineers of Bosnia and Herzegovina, julij 2022, Sarajevo, Bosna in Hercegovina

Eva Valenčič, nagrada za najboljši članek doktorskih študentov na Univerzi v Newcastleu: Digital Nudging in Online Grocery Stores: A Scoping Review on Current Practices and Gaps, Newcastle, Avstralija, december 2022

Taja Verovšek, Best Oral Presentation by Young Reseracher, 26th International symposium on Separation Sciences, 2022

Abida Zahirovič, nagrada za predstavitev znanstvenega prispevka, Pariz, Francija, Mednarodno združenje za mikrobioto, Rekombinantne mlečnokislinske bakterije za zdravljenje kronične vnetne črevesne bolezni

Andrej Zorko, 2022 Science Impact Award, Science and Technology Facilities Council, Velika Britanija, nagrajeno delo: The Ising triangular-lattice antiferromagnet neodymium heptatantalate as a quantum spin liquid candidate, *Nat. Mater.*, 2022

Mark Zver, Best Contribution Recognized by Peers Award, Kamnik, Jožef Stefan International Postgraduate School, za predstavitev z naslovom Creating antimicrobial surfaces via advanced functionalization techniques

Katarina Žiberna, nagrada za uvrstitev med najboljše tri postre s področja materialov, organizacijski odbor 16th Multinational Congress on Microscopy

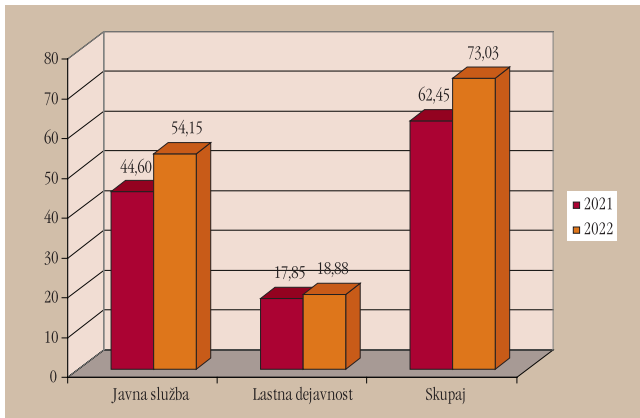
Slobodan Žumer, The Pierre Gilles de Gennes ILCS Prize - najvišja nagrada ILCS, Mednarodno združenje za tekoče kristale

Slobodan Žumer, American Physical Society Outstanding referee for the journals of APS - priznanje, podeljeno izbranim ocenjevalcem revij ameriškega fizikalnega združenja

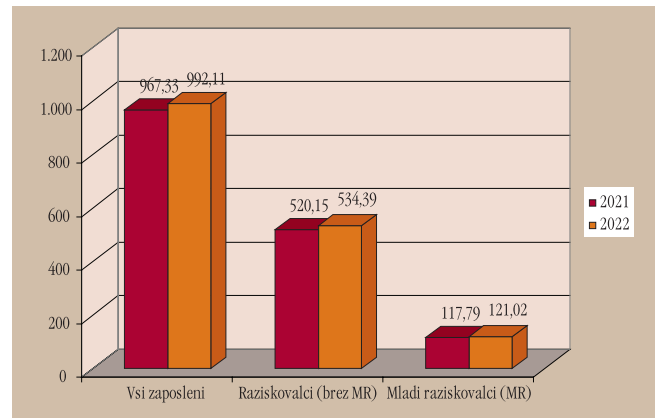
INSTITUT V ŠTEVILKAH

2021-2022

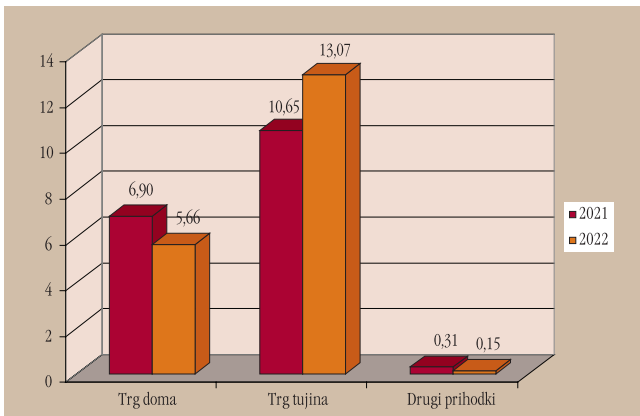
PRIMERJAVA PRIHODKOV (MIO. EUR)



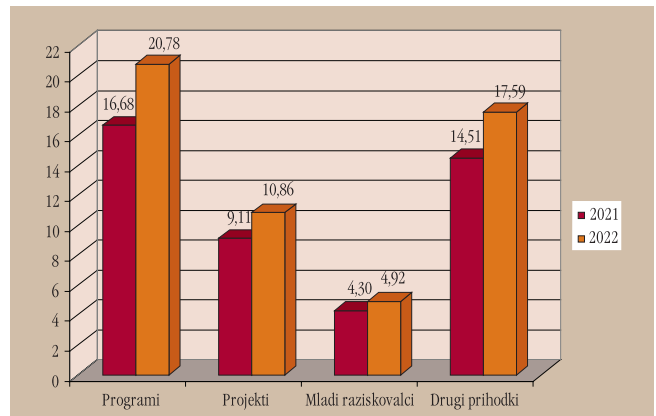
ŠTEVILO ZAPOSLENIH PO KAPACITETAH



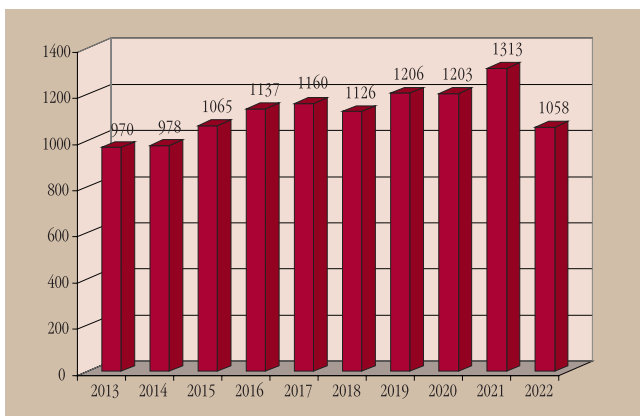
PRIHODEK IZ LASTNE DEJAVNOSTI (MIO. EUR)



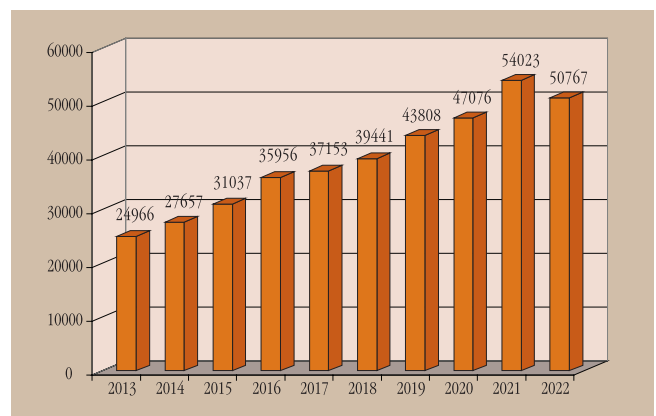
PRIHODKI JAVNE SLUŽBE (MIO. EUR)



ŠTEVILO OBJAV V WEB OF SCIENCE*



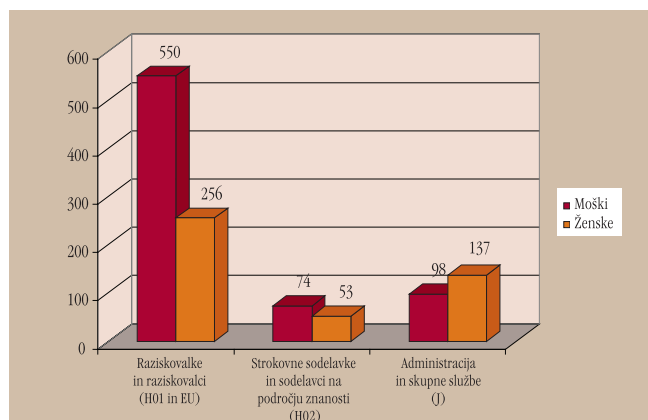
ŠTEVILO CITATOV V WEB OF SCIENCE*



* Podatki pridobljeni 3. 11. 2023

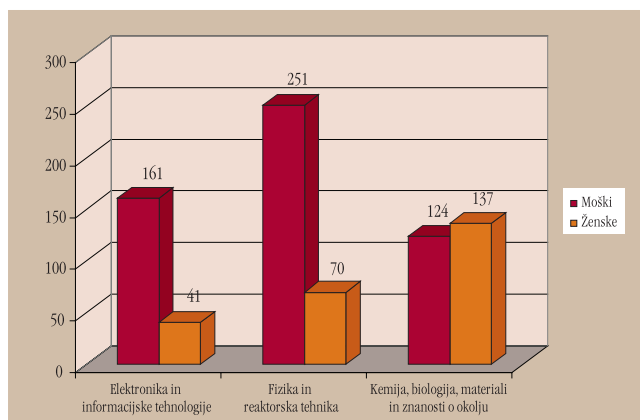
* Podatki pridobljeni 3. 11. 2023

ŠTEVILO ZAPOSLENIH PO PLAČNIH SKUPINAH IN SPOLU*



* Dne 31. 12. 2022

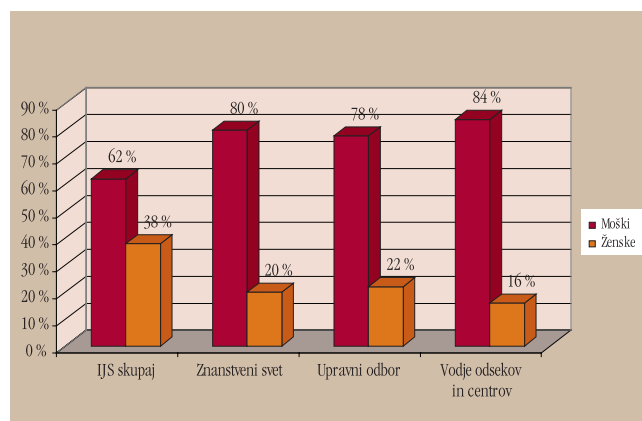
ŠTEVILO RAZISKOVALK IN RAZISKOVALCEV PO ZNANSTVENIH PODROČJIH*



* Dne 31. 12. 2022

DELEŽ ZAPOSLENIH PO SPOLU* TER DELEŽ ČLANIC IN ČLANOV ODLOČEVALSKIH IN VODSTVENIH TELES IJS PO SPOLU

	Število	Moški	Ženske
Znanstveni svet	15	80 %	20 %
Upravni odbor	9	78 %	22 %
Vodje odsekov in centrov	38	84 %	16 %
IJS SKUPAJ	1170	62 %	38 %



* Dne 31. 12. 2022

RAZISKOVALNI ODSEKI

Sodelavci programske skupine za teorijo jadra, osnovnih delcev in polj smo v letu 2022 nadaljevali raziskave v fiziki kvarkovskih in leptonskih okusov ter kršitev CP, fenomenologiji delcev na visokoenergijskih trkalnikih, poenoteni teoriji umeritvenih interakcij, fiziki nevtrinov, astrofiziki delcev in kozmologiji, v jedrski in hadronski fiziki s pomočjo metod kvantne kromodinamike na mreži ter raziskave strojnega učenja v fiziki visokih energij s poudarkom na fiziki zunaj standardnega modela.

Študirali smo sklopitve interakcij treh leptokvarkov in vpliv na stabilnost snovi za dve specifični topologiji protonskega razpada, ki nastaneta na ravni drevesa in ene zanke. Dokazali smo, da je topologija na ravni ene zanke veliko pomembnejša od topologije na ravni drevesa. Uporabili smo model, ki vsebuje dva skalarna leptokvarka z masami reda velikosti 1 TeV. Model lahko opiše anomalije v razpadih mezona B. Posodobili smo analizo njegovega prostora parametrov in pokazali, da je model ostal realističen, skladen s številnimi fizikalnimi omejitvami okusa nba nizkih in visokih energij.

Prispevali smo k poročilu o potencialu eksperimenta LHCb za odkrivanje fizike zunaj standardnega modela, ki bi se izognila iskanjem, ki se osredotočajo na visokoenergijske opazljivke ali natančne meritve znanih procesov.

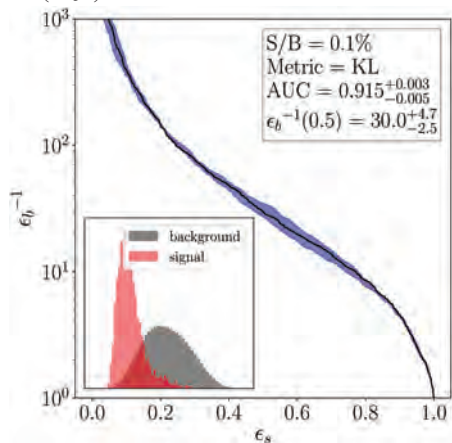
Predlagali smo novo statistično metodo, ki je sposobna ločiti signal tvorbe 4 kvarkov t od prevladujočih ozadij v dileptonskem kanalu na LHC, hkrati pa popravljati morebitne nepopolnosti simulacij Monte Carlo pri modeliranju najpomembnejših diskriminatorskih opazljivk – porazdelitev množice curkov. Predstavili smo fizikalno arhitekturo variacijskega samodejnega kodirnika (VAE), ki deluje konkurenčno in robustno na naborih podatkov LHC Olympics Machine Learning Challenge.

Z uporabo korespondence AdS/CFT smo modelirali obnašanje dvotočkovnega korelatorskega operatorja s poljubno skalno dimenzijo v poljubni dimenziji prostora-časa za majhne, a neničelne temperature. Študirali smo fazni diagram teorije poenotenja E6 s skalarnim poljem dimenzije 650, ki omogoča osnovna stanja s simetrijami SU(3)³, SO(10)xU(1) in SU(6)xSU(2).

Izračunali smo razpadne širine lažnega vakuuma na eni zanki. V limit tanke stene smo izpeljali analitično rešitev za semiklasično akcijo v poljubni dimenziji, skupaj s popravki višjega reda. Našli smo izraz za fluktuacije in sešteli multipole v končno zaključeno rešitev.

S teoretičnimi izračuni *ab-initio* smo prvi potrdili obstoj najbolj dolgoživega eksotičnega stanja Tcc+, sestavljenega iz dveh kvarkov c ter antikvarkov u in d, ki ga je julija 2021 eksperimentalno odkrila kolaboracija LHCb v CERNu. Vsebuje več kot tri kvarke in zato spada med eksotične hadrone.

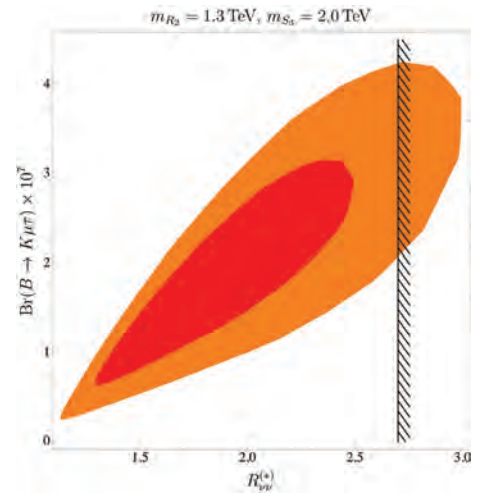
Proučevali smo splošne značilnosti sipalne matrike za eksotična hadronska stanja v primeru sklopljenega sipanja, kršitve izospina in nestabilnih konstituentov. Pristop smo uporabili za stanje Tcc+. Identificirali in raziskali smo možen generični mehanizem za obstoj hadronskih molekul zaradi močne sklopitve kompaktnega stanja z dvohadronskim kontinuumom. Ugotovili smo kvalitativno skladnost tega scenarija s fenomenologijo čarobnih mezonov Ds1(2460) in Ds1(2536).



Slika 1: Učinkovitost fizikalno usmerjenega variacijskega samodejnega kodirnika na podatkih LHC Olympics Machine Learning Challenge



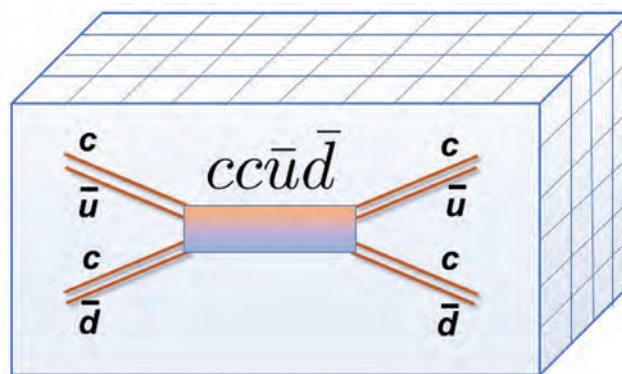
Vodja: **prof. dr. Jernej Fesl Kamenik**



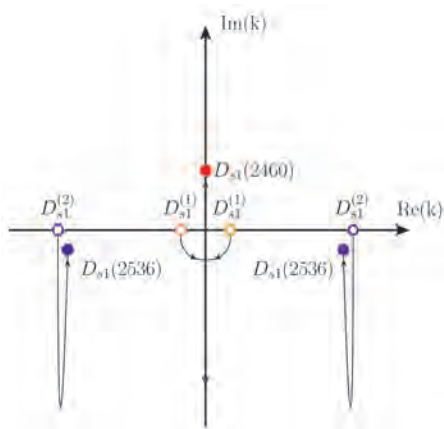
Slika 2: Korelacija med razpadom s kršenim leptonskim okusom $B \rightarrow K \tau \mu$ in razpadom z nevtrini v modelu z leptokvarkoma R_2 in S_3

- Raziskali smo razširitve standardnega modela s skalarnimi leptokvarki.
- Predlagali smo novo statistično metodo, ki je sposobna ločiti signal tvorbe 4 kvarkov t od prevladujočih ozadij v dileptonskem kanalu na LHC.
- Izračunali smo prva dva popravka propagatorja kot razvoj pri majhni temperaturi v splošni konformni teoriji.

- **Analično smo rešili star problem izračuna razpadne širine lažnega vakuum na eni zanki za poljubno dimenzijo prostora-časa.**
- **S teoretičnimi izračuni *ab-initio* smo prvi potrdili obstoj najbolj dolgoživega eksotičnega stanja, ki je sestavljeno iz kvarkov.**
- **Identificirali smo možen generični mehanizem za obstoj hadronskih molekul blizu praga, ki napoveduje tudi bogat spekter eksotičnih stanj v spektru botomonija.**
- **Razvili smo programsko opremo za analizo trotočkovnih korelacijskih funkcij v kromodinamiki na mreži.**



Slika 3: S simulacijo sipanja dveh običajnih hadronov smo na mreži prvi dokazali obstoj eksotičnega štirikvarkovskega hadrona.



Slika 4: Gibanje polov, ki prikazuje predlagani mehanizem tvorbe čarobnega mezona $D_{s1}(2460)$ kot molekularno stanje blizu praga v režimu močne sklopitve.

Izračunali smo mase ter močne in elektromagnetne razpadne širine osnovnih in vzbujenih barionskih stanj, sestavljenih iz kvarkov usc in usb . Razpadne širine smo določili z modelom elementarne emisije in modelom 3P_0 ter obravnavali vse razpade, dovoljene z izbirnimi pravili.

Pripravili smo 10-letni načrt raziskav na področju hadronske spektroskopije v ZDA in vodili načrtovanje teh raziskav na mreži.

Razvili smo visokozmogljivostno programsko opremo za analizo trotočkovnih korelacijskih funkcij v kromodinamiki na mreži (programski paket HLS_3pt). Hkrati smo razvili modele za trotočkovne korelacijske funkcije, kjer so upoštevani vplivi eksitiranih stanj, ter jih implementirali v programski opremi za prilagajanje trotočkovnih korelacijskih funkcij (programski paket CorrFit). Razvili smo tudi paket za redukcijo matričnih elementov na ireducibilne komponente – faktorje oblike (programski paket LorentzDecomp). Za določanje limite neskončnega volumna pa smo razvili programski paket MatrixElementFit, ki opravlja naloge, kot so izračun residuumске matrike R, implementacija več razredov parameterizacijskih modelov za faktorje prehodne oblike, globalna analiza matričnih elementov oz. prilagajanje modelov prehodnih faktorjev oblike na matrične elemente in analitična kontinuacija faktorjev prehodne oblike v kompleksno ravnino.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Borsato, M., Kamenik, Jernej, Zupan, Jure, *et al.*, Unleashing the full power of LHCb to probe stealth new physics: report on progress, *Reports on Progress in Physics*, 2022, 85, 2, 024201-024201-45, DOI: 10.1088/1361-6633/ac4649
2. Ivanov, Aleksandar, Matteini, Marco, Nemevšek, Miha, Ubaldi, Lorenzo, Analytic thin wall false vacuum decay rate, *The journal of high energy physics*, 2022, 2022, 3, 209-1-209-63, DOI: 10.1007/JHEP03(2022)209
3. Padmanath, M., Prelovšek, Saša, Signature of a doubly charm tetraquark pole in DD^* scattering on the lattice, *Physical review letters*, 2022, 129, 3, 032002-1-032002-6, DOI: 10.1103/PhysRevLett.129.032002
4. Hanhart, Christoph, Nefediev, Alexey, Do near-threshold molecular states mix with neighboring $\bar{c}c$ states?, *Physical review. D.*, 2022, 106, 11, 114003-1-114003-14, DOI: 10.1103/PhysRevD.106.114003

Sodelavci teorije trdnih snovi in statistične fizike so proučevali lastnosti koreliranih elektronov v ravnovesju in zunaj njega, neurejene večdelčne sisteme, termodinamične in transportne lastnosti spinskih sistemov, nanosistemov in kvantnih pik ter kompleksne mreže in samoorganizirane strukture.

Nadaljevali smo raziskave transporta v neurejenih kvantnih sistemih. V spinskih verigah z naključnimi polji smo pokazali na veliko disperzijo difuzijskih konstant glede na realizacije polj, kar je mogoče razložiti s pojavom lokaliziranih otokov. Pri problematiki zmotenih integrabilnih kvantnih modelov smo študirali približevanje ravnovesju, ki kaže v območju balističnega transporta obstoj več relaksacijskih časov. V primeru verige z enoosno spinsko asimetrijo pa rezultati nakazujejo, da motnja nezvezno spremeni difuzijo v normalno, vendar nepovezано s tisto brez motnje.

Raziskali smo verigo sklopljenih fermionov z naključno motnjo v kontekstu lokalizacije več teles. Pokazali smo, da le majhen del interakcije

- **Le majhen del interakcije dveh teles predstavlja dejansko lokalno motnjo Andersonovega izolatorja.**
- **Spinsko-toplotna difuzija in toplotna difuzija v slabih kovinah.**

dveh teles predstavlja dejansko lokalno motnjo Andersonovega izolatorja. Medtem ko je prava motnja različna od nič pri kateri koli končni jakosti nerada W , se ta zmanjšuje z naraščanjem W . To vzpostavlja stališče, da je treba močno neurejen sistem obravnavati kot šibko moten integrabilni model, tj. šibko moten Andersonov izolator.

Proučevali smo fazne prehode z zlomom ergodičnosti v mnogodelčnih kvantnih sistemih. Osredotočili smo se na primer t. i. modela kvantnega sonca, ki opisuje zlom ergodičnosti na podlagi teorije kvantnih plazov. Pokazali smo nekatere ključne lastnosti, ki opišejo ta fazni prehod. Naše numerične metode potrjuje pričakovano odsotnost prehoda med lokalizirano in delokalizirano fazo v dvodimenzionalnem Andersonovem modelu.

Raziskali smo tudi povezave med spektralnimi lastnostmi in verjetnostjo preživetja pri prehodih med lastnimi stanji v neurejenih modelih z enim delcem, kot sta 3D Andersonov model in Aubry-Andrejev model, ter v medsebojno delujočem mnogodelčnem modelu Avalanche. Ugotovili smo skalno invariantnost verjetnosti preživetja v okolici prehoda.

Prek numeričnih simulacij v Hubbardovemu modelu smo obravnavali vpliv spinskega Seebeckovega pojava na spinsko difuzijo in pokazali, da je obnašanje možno razumeti prek preslikave spinov na naboj, ki razkrije različne stopnje sipanja večinskih in manjšinskih spinov prek izračuna spektralnih funkcij. Preiskovali smo vpliv van-Hovejeve singularnosti na magnetno susceptibilnost in rezultate aplicirali na meritve Knightovega premika v Sr_2RuO_4 . Začeli smo razvijati metode za izračun elektronskega Ramanovega sipanja v realističnih pristopih. Obravnavali smo toplotno prevodnost v 2d Hubbardovem in Heisenbergovem modelu, opazili kršitev Wiedemann-Franzevega zakona ter razložili znatno zmanjšanje toplotne difuzije z nižanjem temperature kot učinkovito zmanjšanje hitrosti relevantnih eksitacij.

V materialih z močnimi korelacijami lahko interakcija med elektroni povzroči prehod med kovino in izolatorjem (Mottovi izolatorji). V ravnovesju kemijsko dopiranje teh snovi pogosto vodi do superprevodnega odziva pri visokih temperaturah. Pokazali smo, da tudi v primeru neravnovesne vzbuditve Mottovega izolatorja (fotodopiranje) lahko stabiliziramo eksotično superprevodno stanje, ki temelji na t. i. eta sklopitvi.

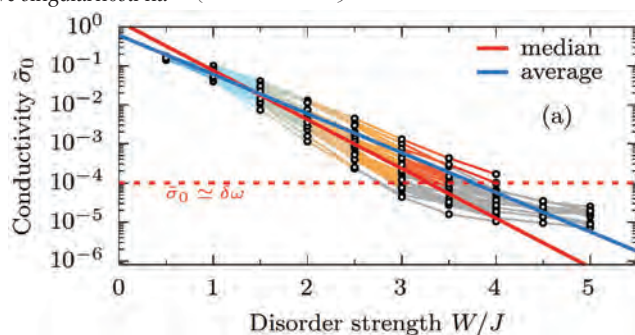
Raziskali smo nekatere zanimive lastnosti spinskega transporta pri končni temperaturi v motenih integrabilnih kvantnih spinskih verigah, zlasti v kontekstu nenormalne difuzije in superdifuzije. V podobnih povezanih paradigmah smo raziskali primerjavo transportnih koeficientov, ekstrahiranih prek linearnega odziva v zaprtih kvantnih sistemih, s tistimi, pridobljenimi v šibko gnanih in šibko sklopljenih odprtih kvantnih sistemih. Na področju uporabe strojnega učenja v kvantni fiziki več teles smo predlagali algoritem za Hamiltonovo rekonstrukcijo, ki temelji na nenadzorovani predhodni obdelavi podatkov s strojnimi učenjem. Nabor podatkov izberemo tako, da vsebuje termične meritve lokalnih operatorjev.

Z uporabo *ab-initio* tehnik smo raziskali elektronsko strukturo in načine nihanja rešetke v spojini chanchengite ($IrBiS$) v prisotnosti in odsotnosti učinkov sklopitve spin-tir. Rezultate smo primerjali z eksperimentalno izmerjenimi spektri Ramanovih fononov pri sobni temperaturi. Proučili smo interferenčni vzorec Friedelovih nihanj v prisotnosti več nabitih nečistoč v koreliranih mrežnih fermionih z uporabo teorije DMFT in poročali o odsotnosti nihanj v režimu Mottovega izolatorja.

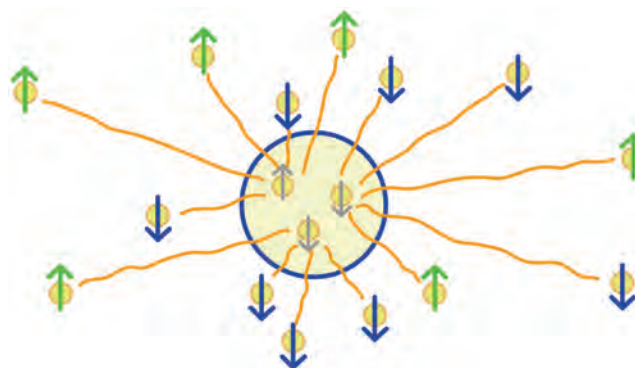
Z uporabo numeričnih simulacij in analize časovnih vrst na kompleksnih omrežjih smo proučevali vpliv arhitekture sistema na kolektivno vedenje v dinamičnih kritičnih stanjih, ki se pojavljajo na histerezni zanki in v stohastičnih procesih. Natančneje, naše študije obračanja magnetizacije v antiferomagnetno-feromagnetnih dvoslojih razkrivajo, kako spreminjajoča se debelina in interakcija med plastmi spreminjata obliko histerezne zanke in naravo kolektivnih fluktuacij magnetizacije. Raziskali smo tudi, kako struktura simplicialnih kompleksov v omrežjih človeških možganov vzdržuje potrebno fazno sinhronizacijo na nizki ravni z razvijanjem nasprotnih faz na skupinah vozlišč, kar vodi do



Slika 5: Asimetrična osrednja mreža človeškega konektoma s simplicialnimi kompleksi, ki so pritrjeni na osem ključnih možganskih regij (velika vozlišča).



Slika 6: Spinska prevodnost v verigi kot funkcija neurejenosti slučajnih polj, za različne realizacije nerada



Slika 7: Model t. i. kvantnega sonca, v katerem so delci s spinom $\frac{1}{2}$ sklopljeni z ergodičnim zrnom v sredini.

- Razvoj metod za izračun elektronskega Ramanovega sipanja v realističnih pristopih.
- Študij ključnih lastnosti vzorčnega modela za fazni prehod z zlomom ergodičnosti.
- Stabilnost superdifuzijskega spinskega transporta v prisotnosti motenj, ki ohranjajo simetrijo $SU(2)$.
- Uspešna prijava na ERC StG 2022.
- Struktura simplicialnih kompleksov v osrednjih možganskih omrežjih ohranja nizko raven fazne sinhronizacije z večfraktalnimi nihanji parametra reda.

večfraktalnih nihanj parametra reda. Naša analiza svetovnih časovnih vrst okužb s covidom-19 pred imunizacijo in po njej razkriva obstoj treh velikih skupin držav s podobnimi cikli okužb.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Šuntajs, Jan, Vidmar, Lev, Ergodicity breaking transition in zero dimensions, *Physical review letters*, 2022, 129, 6, 060602-1-060602-6, DOI: 10.1103/PhysRevLett.129.060602
2. Krajewski, Bartosz, Vidmar, Lev, Bonča, Janez, Mierzejewski, Marcin, Restoring ergodicity in a strongly disordered interacting chain, *Physical review letters*, 2022, 129, 26, 260601-1-260601-7, DOI: 10.1103/PhysRevLett.129.260601
3. Gourgout, A., Mravlje, Jernej, *et al.*, Seebeck coefficient in a cuprate superconductor : particle-hole asymmetry in the strange metal phase and fermi surface transformation in the pseudogap phase, *Physical review X*, 2022, 12, 1, 011037-1-011037-14, DOI: 10.1103/PhysRevX.12.011037
4. Schmitt, Markus, Lenarčič, Zala, From observations to complexity of quantum states via unsupervised learning. *Physical review B*, 2022, 106, 4, 041110-1-041110-7, DOI: 10.1103/PhysRevB.106.041110
5. Brink, M. Ten, Gräber, S., Hopjan, Miroslav, Jansen, David, Stolpp, Jan, Heidrich-Meisner, Fabian, Blöchl, P. E., Real-time non-adiabatic dynamics in the one-dimensional Holstein model : trajectory-based vs exact methods, *The Journal of chemical physics*, 2022, 156, 23, 234109-1-234109-42, DOI: 10.1063/5.0092063
6. Prelovšek, Peter, Nandy, Sourav, Lenarčič, Zala, Mierzejewski, Marcin, Herbrych, Jacek, From dissipationless to normal diffusion in the easy-axis Heisenberg spin chain, *Physical review B*, 2022, 106, 24, 245104-1-245104-8, DOI: 10.1103/PhysRevB.106.245104
7. Tadić, Bosiljka, Chutani, Malayaja, Gupte, Neelima, Multiscale fractality in partial phase synchronisation on simplicial complexes around brain hubs, *Chaos, solitons and fractals*, 2022, 160, 112201-1-112201-8, DOI: 10.1016/j.chaos.2022.112201

Sodelavci programske skupine za biofiziko in mehko kondenzirano snov smo proučevali polielektrolite, tekoče in koloidne kristale ter fosfolipidne in biološke membrane.

Proučevali smo adsorpcijo kratkoverižnih tenzidov na različnih površinah in pokazali, da tenzidi ojačajo omakanje na zelo hidrofilnih in hidrofobnih površinah, medtem ko imajo na zmerno hidrofilne površine manj vpliva. Razvili smo teorijo za izračun prispevka tenzidov k navidezni linijski napetosti v vodnih kapljicah. Dognali smo, da so že sledi dolgoverižnih tenzidov v kontaminirani tekočini dovolj, da vplivajo na meritve navidezne linijske napetosti. Da bi dobili vpogled v kompleksne polisulfidne strukture v tipičnih elektrolitih za litij/žveplove baterije, smo kombinirali eksperimentalne raziskave z nevtronskim sipanjem s simulacijami molekularne dinamike. Ugotovili smo, da neželena rast polisulfidnih dendrimerov žene občutljivo ravnovesje interakcij med ioni ter ioni in molekulami topila. Predstavili smo teoretično razširitev koncepta membranske prepustnosti za neravnovesne sisteme. Uvedli smo koncept diferencialne prepustnosti, pri kateri gonilna sila uravnava selektivnost onkraj režima linearne odziva. Izpeljali smo enačbo za adsorpcijski koeficient, ki je eksponentno odvisen od molekularne površine in od omočitenega koeficienta ter se dobro ujema z rezultati simulacij. Enačbo smo uporabili za interpretacijo vodnih kapljic z dodatkom surfaktantov na substratu, kjer vpliva tekmovalno med adsorpcijo surfaktantov na obeh površinah na kontaktni in na netrivialen način.



Slika 8: Membransko prepustnost v neravnovesju je mogoče uravnovati z gonilnimi silami.

Pokazali smo, kako uporabiti paket pyDAMPF za izbiro optimalne nanosonde za eksperimente s higroskopskimi polimeri. Pokazali smo, kako ovrednotiti parametre tipala mikroskopa na atomsko silo. Raziskovali smo elektrostatične interakcije, ki na svetlobi prispevajo k deaktivaciji virusov v zaščitnih obraznih maskah. Razvili smo metodo, ki povzame konformacijske spremembe mRNA med translacijo ter trirazsežno pozicijsko interakcijo med organelom in lokalizirano mRNA z razdaljo med koncema.

Razvili smo algoritem za zaznavanje trkov med elipsami na površini sfere. Algoritem smo nato uporabili pri študiji konfiguracij pakiranja v dvodimenzionalnem modelu sferičnih geodezičnih elips. Proučevali smo, kako se principi pakiranja proteinov in mehanizmi morfoloških prehodov v kapsidah odražajo v ikozaedričnih virusnih kapsidah, sestavljenih iz identičnih, simetričnih strukturnih enot. Z elastičnim modelom smo raziskali mehaniko zatekanja zrn peloda in vlogo mehkih krožnih por pri tem ter tako identificirali in kvantificirali mehnično šibkost teh por, ki se nenadoma napihnejo, ko zrna zatečejo do neke kritične mere. S stohastičnim mikromodelom smo

S stohastičnim mikromodelom smo raziskali pasivno reološko obnašanje progastih mišic.

raziskali pasivno reološko obnašanje progastih mišic in ga uporabili za razlago izrazite kvalitativne razlike med relaksacijo v eksperimentih, pri katerih sprožimo odziv s perturbacijo dolžine oziroma s perturbacijo sile.

Proučevali smo strukturo tridimenzionalnih kubičnih tekočokristalnih faz z zveznimi mrežami kanalov. Raziskovali smo polarne in nepolarne načine nihanja v feroelektričnih nematikih ter fazne prehode v teh materialih pod vplivom zunanje električne polja.

Najpomembnejša objava v preteklem letu

1. Park, Chanbum, Kanduč, Matej, Headen, Thomas F., Youngs, Tristan G. A., Dzubiella, Joachim, Risse, Sebastian, Toward unveiling structure and property relationships from ionic ordering in Li/S battery electrolytes: neutron total scattering and Molecular dynamics simulations, *Energy storage materials*, 2022, 52, 85–93

Sodelavci skupine za fiziko kvantnih tehnologij smo raziskovali lastnosti hibridnih naprav, sestavljenih iz polprevodnih in superprevodnih materialov, ter probleme kvantnih nečistoč, adsorbiranih magnetnih molekul in kvantnih pik.

Reševali smo kvantne modele nečistoč v kontekstu fizike nanoskopskih naprav, zgrajenih iz polprevodnega in superprevodnega dela. V sodelovanju s tujimi eksperimentalnimi skupinami smo pojasnili eksperimentalne rezultate, kjer je superprevodni del naprave tako majhen, da postane pomemben Coulombski odboj med elektroni. Razvili smo lažje rešljiv poenostavljen model, ki je uporaben za kvalitativne napovedi lastnosti naprav. Sodelovali smo pri analizi delovanja Josephsonovih spojev z vgrajeno kvantno piko.

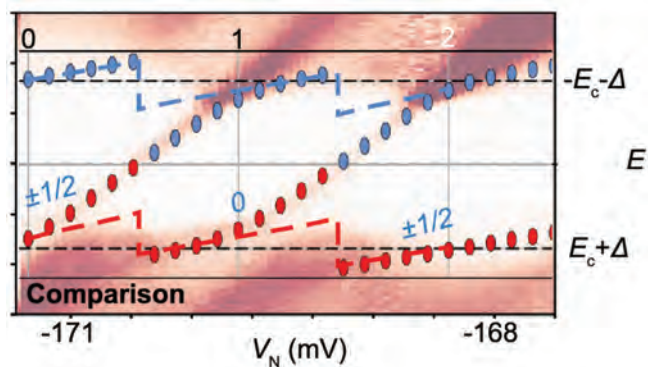
Najpomembnejša objava v preteklem letu

1. Estrada Saldaña, Juan Carlos, Vekris, Alexandros, Pavešič, Luka, Krogstrup, Peter, Žitko, Rok, Grove-Rasmussen, Kasper, Nygård, Jasper, Excitations in a superconducting Coulombic energy gap, *Nature communications*, 2022, 13, 2243-1-2243-8, DOI: 10.1038/s41467-022-29634-5

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. International workshop: Quantum many-body dynamics: Thermalization and its violations Institute for basic science (PCS-IBS), Daejeon, Južna Koreja, 24.-28. 5. 2022 (virtualno)
2. Brda 2022, Izbrana poglavja v visoko energetske fiziki, astrofiziki in kozmologiji, Medana, Slovenija, 28. 9.-30. 9. 2022
3. Trilateralno srečanje na IFPU, Trst, Italija, junij 2022
4. Trilateralno srečanje na IJS v Ljubljani, december 2022
5. Many-body systems out of equilibrium: recent advances and future directions, Logarska dolina, Slovenija 19.-23. 9. 2022
6. Satellite Symposium Higher-Order Topology and Dynamics in Complex Networks, Šanghaj, 11.-13. 7. 2022 (virtualno)
7. 11th Nonequilibrium quantum workshop, Kravec, Slovenija, 11.-15. 12. 2022

Razložili smo naravo vzbuditev v heterostrukturah, kjer je pomemben elektronski odboj v superprevodniku.



Slika 9: Primerjava izračunov (krogci) z izmerjenimi energijami za vzbuditev znotraj superprevodne energijske reže

MEDNARODNI PROJEKTI

1. COST CA17139; Evropska interdisciplinarna topološka akcija
COST Association AISBL
dr. Anže Rapoš Božič
2. Okus nevidnega vesolja
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Nejc Košnik
3. Določitev izvora okusa v preciznih eksperimentih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Nejc Košnik
4. Strojno učenje v fiziki visokih energij
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Jernej Fesl Kamenik
5. Raziskave meja mnogodelčnega kvantnega kaosa
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Lev Vidmar

PROGRAMI

1. Teorija trdnih snovi in statistična fizika
prof. dr. Janez Bonča
2. Teorija jadra, osnovnih delcev in polj
prof. dr. Jernej Fesl Kamenik
3. Biofizika polimerov, membran, gelov, koloidov in celic
prof. dr. Primož Zihel
4. Fizika kvantnih tehnologij
prof. dr. Rok Žitko

PROJEKTI

1. Diagnoza neravnovesne kvantne materije
prof. dr. Lev Vidmar

2. Vpliv aditivov na nanoskopsko močenje
dr. Matej Kanduč
3. Modeliranje neravnovesnih kvantnih materialov na različnih skalah
dr. Denis Golež
4. Tri izboljšave na poti do realističnega opisa transporta močno koreliranih elektronov
doc. dr. Jernej Mravlje
5. Vloga simetriji pri vzbujujanju kvantnih sistemov
dr. Zala Lenarčič
6. Kvantno procesiranje fullerenskih kubitov z diamantnimi senzorji
prof. dr. Rok Žitko
7. Coulombska stanja v energijski reži superprevodnih kvantnih naprav
prof. dr. Rok Žitko
8. Nelinearna mehanika bioloških tkiv in njihovih tumorjev
dr. Matej Krajnc
9. Precizne študije okusov s pomočjo strojnega učenja
prof. dr. Jernej Fesl Kamenik
10. Elektrosibki prehodi med težkimi mezoni in lahкими hadronskimi resonancami v kromodinamiki na mreži
doc. dr. Luka Leskovec
11. FLAMENCO: Okus, leptonsko število in raziskovanje mas nevtrinov na CMS
prof. dr. Miha Nemevšek
12. Stabilnost bioloških tekočin pod natezno obremenitvijo
dr. Matej Kanduč
13. Izvor nevtrinskih mas: od trkalnikov do gravitacijskih valov
prof. dr. Miha Nemevšek
14. Kriptografsko varen generator naključnih števil
prof. dr. Rok Žitko
15. T-NiSQ - Tenzorske mreže za simulacijo kvantne snovi
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
dr. Zala Lenarčič
16. Financiranje projektnih gostovanj na slovenskih visokošolskih zavodih
Javni študentski, razvojni, invalidski in preživitveni sklad RS
Nevenka Hauschild
17. Kriptografsko varen generator naključnih števil
Urad Vlade Republike Slovenije za varovanje tajnih podatkov
prof. dr. Rok Žitko

OBISKI

1. prof. dr. Ilja Doršner, Univerza v Splitu, Split, Hrvaška, 10.-12. 3. 2022
2. mag. fiz. Maksymilian Sroda, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska, 1.-15. 5. 2022
3. prof. Marcin Mierzejewski, University of Silesia, Katowice, Poljska, 9.-11. 5. 2022
4. Jacek Herbrych, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska, 10.-13. 5. 2022, 10.-11. 12. 2022
5. dr. Francesco D' Eramo, University of Padua in INFN, Padova, Italija, 1.-2. 6. 2022
6. dr. Luca Tubiana, Università di Trento, Trento, Italija, 1.-3. 6. 2022
7. dr. Angelo Rosa, Scuola Internazionale Superiore di Studi Avanzati (SISSA), Trst, Italija, 1.-3. 6. 2022
8. dr. Joseph Davighi, University of Zürich, Zürich, Švica, 8.-11. 6. 2022
9. prof. dr. Andreas Honecker, CY Cergy Paris Université, Pariz, Francija, 9. 6. 2022
10. prof. dr. Benjamin Fuks, Laboratory of Theoretical and High Energy Physics (LPTHE), Pariz, Francija, 14.-17. 6. 2022
11. dr. Nina Megier, University of Gdansk, Gdansk, Poljska, 14. 6. 2022
12. dr. Bary Dillon, University of Heidelberg, Heidelberg, Nemčija, 21.-26. 6. 2022
13. prof. dr. Jakub Zakrewski, Jagiellonian University, Krakow, Poljska, 23.-25. 6. 2022
14. prof. dr. Jure Zupan, University of Cincinnati, ZDA, 23.-24. 6. 2022, 14.-15. 7. 2022, 20.-23. 12. 2022
15. doc. dr. Adam Basci, Szechenyi Istvan University, Győr, Madžarska, 27.-29. 6. 2022, 10.-12. 11. 2022
16. dr. Patrycja Lydzba, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska, 15.-23. 7. 2022, 18.-19. 9. 2022, 23.-24. 9. 2022, 10.-11. 12. 2022
17. prof. dr. Haim Taitelbaum, Bar-Ilan University, Ramat Gan, Izrael, 19. 7. 2022
18. prof. dr. Guillermo Silva, Instituto de Física de La Plata-CONICET, Buenos Aires, Argentina, 11. 8. 2022
19. Maria Pedrosa Bustos, University of Granada, Granada, Španija, 15. 8.-15. 11. 2022
20. Bartosz Krajewski, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska, 3.-19. 9. 2022
21. Adithi Udupa, Indian Institute of Science, Bengaluru, Indija, 6. 9. 2022
22. dr. Philipp M. Schicho, Institute for Theoretical Physics, Goethe University, Frankfurt, Nemčija, 14.-20. 9. 2022
23. prof. dr. Fabrizio Nesti, University of L'Aquila, L'Aquila, Italija, 25.-28. 9. 2022
24. prof. dr. Joan Elias Miró, ICTP, Trst, Italija, 6. 10. 2022
25. dr. Luiz Vale Silva, University of Valencia, Valencia, Španija, 31. 10.-30. 11. 2022
26. Kohei Ogane, Tohoku University, Sendai, Japonska, 2. 11. 2022-26. 1. 2023
27. Tim Hoehne, Technical University Dortmund, Dortmund, Nemčija, 15.-18. 11. 2022
28. Simon Jiricek, University of Göttingen, Göttingen, Nemčija, 16. 11.-3. 12. 2022

29. dr. Martin Novoa Brunet, National Institute for Nuclear Physics - Bari, Bari, Italija, 19.-26. 11. 2022
30. prof. dr. Bernd Riederer, University of Graz, Gradec, Avstrija, 30. 11.-1. 12. 2022
31. dr. Aleks Smolkovič, University of Bern, Albert Einstein Center for Fundamental Physics, Bern, Švica, 9. 12. 2022-7. 1. 2023
32. Adrian Feiguin, Northeastern University, Boston, ZDA, 10.-11. 12. 2022, 15.-16. 12. 2022
33. dr. Salvador Rosauro Alcaraz, Institut Joliot Curie, Orsay, Francija, 14.-17. 12. 2022
34. dr. Alaska Subedi, Ecole Polytechnique, Palaiseau, Pariz, Francija, 15. 12.-17. 12. 2022
35. dr. Jan Hajer, CFTP, IST, Universidade de Lisboa, Lizbona, Portugalska, 19.-21. 12. 2022
36. dr. Friedrich Krien, Technische Universität Wien, Dunaj, Avstrija, 19. 12. 2022-8. 1. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Toshikaze Chiba, Tohoku University, Tohoku, Japonska: Deformation and rearrangement of membranes in adhering vesicles, 4. 1. 2022
2. Marin Šako, Institut "Jožef Stefan": Soft matter under tension and cavitation, 11. 1. 2022 (virtualno)
3. dr. Preeti Bhandari, Ben-Gurion University, Israel: Equilibrium and non-equilibrium properties of the Coulomb glass model, 11. 1. 2022 (virtualno)
4. Domen Vaupotič, Institut "Jožef Stefan": Viral RNA as a randomly branching polymer, 18. 1. 2022 (virtualno)
5. Urška Andrenšek, Institut "Jožef Stefan": The continuum approximation of the vertex model, 18. 1. 2022 (virtualno)
6. dr. Titas Chanda, ICTP, Trst, Italija: Quantized Bubble Nucleations, 18. 1. 2022
7. dr. Antonio Vairo, Physics Department, TUM, München, Nemčija: The static force from generalized Wilson loops, 20. 1. 2022
8. dr. Tomer Stern, Princeton University, Princeton, ZDA: Deconstructing Gastrulation at Single-Cell Resolution, 25. 1. 2022 (virtualno)
9. dr. Lorenzo Ubaldi, INFN, Istituto Nazionale di Fisica Nucleare, Trst, Italija: Particle physics in the early universe, 27. 1. 2022
10. dr. Robert Ziegler, Institute for Theoretical Particle Physics, Karlsruhe, Nemčija: Exploring flavored Axion Dark Matter on Earth, the Stars and in the Universe, 10. 2. 2022 (virtualno)
11. dr. Madhumita Sarkar, Indian Association for the Cultivation of Science, Kolkata, India: Multifractality in driven Aubry-Andre models with and without interaction, 15. 2. 2022 (virtualno)
12. dr. Matej Krajnc, Institut "Jožef Stefan": Preliminary results discussion, 15. 2. 2022 (virtualno)
13. dr. Richard Ruiz, Institute of Nuclear Physics Polish Academy of Science, Poljska: Nu ideas for the Large Hadron Collider and beyond, 17. 2. 2022

14. dr. Gregor Posnjak, Ludwig Maximilian University of Munich, München, Nemčija: From DNA origami to photonic crystals, 1. 3. 2022 (virtualno)
15. dr. Darius Faroughy, Rutgers University, Piscataway, ZDA: High- ρ T Semi-Leptonics, 24. 2. 2022 (virtualno)
16. dr. Elna Fuchs, Department of Theoretical Physics, CERN, Ženeva, Švica: Between quantum sensing and Higgs properties: New Physics searches across frontiers, 3. 3. 2022 (virtualno)
17. dr. Horacio Vargas Guzman, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Španija: Polymer swelling model based on dynamic AFM experiments, 8. 3. 2022 (virtualno)
18. dr. Miha Nemevšek, Institut Jožef Stefan: Analytic thin wall false vacuum decay rate, 10. 3. 2022
19. prof. dr. Simon Čopar, Fakulteta za matematiko in fiziko: Hyperuniformity and spherical structure factor, 24. 3. 2022 (virtualno)
20. dr. Matias Gonzalez, Sorbonne Universit'e, CNRS, Paris, France: Interpolation methods for high-temperature series expansions. Application to spin systems, 22. 3. 2022
21. dr. Aljaž Godec, MPI Interdisciplinary Studies, Göttingen, Nemčija: From the kinetic Ising model to specific cell adhesion, and back, 29. 3. 2022
22. dr. Manuel Szewc, Institut "Jožef Stefan": Enhancing statistical tests with Machine Learning, 7. 4. 2022
23. dr. Nejc Košnik, Institut "Jožef Stefan": LFU and CP violation with S_3 , 14. 4. 2022
24. Veronika Bukina, Institut "Jožef Stefan": PhD Thesis Topic Presentation, 3. 5. 2022
25. dr. Kaladi Babu, Department of Physics at Oklahoma State University, ZDA: Probing BSM in Neutrino Physics, 5. 5. 2022 (virtualno)
26. dr. Maksymilian Środa, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska: Orbital selective Mott transition studied by DMRG approach, 10. 5. 2022
27. dr. Robert Vacha, CEITEC Masaryk University, Brno, Češka: How Non-Enveloped Viruses Can Infect Cells, 10. 5. 2022 (virtualno)
28. prof. dr. Saša Prelovšek, Institut "Jožef Stefan": Evidence for a doubly charm tetraquark pole from lattice QCD, 12. 5. 2022
29. dr. Miguel Vanvlasselaer, SISSA, Trst, Italija: Production of heavy states in bubble expansion and baryogenesis, 19. 5. 2022
30. prof. dr. Svjetlana Fajfer, Institut "Jožef Stefan": Triple-leptoquark interactions for tree- and loop-level proton decays, 26. 5. 2022
31. prof. dr. Benjamin Fuks, Laboratory of Theoretical and High Energy Physics (LPTHE), Pariz, Francija: Composite dark matter: simplified models, non-minimality and overlooked channels, 30. 3. 2022
32. prof. dr. Jacek Herbrich, University of Katowice, Poljska: Quasiballistic transport within long-range anisotropic Heisenberg model, 12. 5. 2022
33. Luka Medic, Institut "Jožef Stefan": Topological transconductance in multi-terminal Josephson junctions, 24. 5. 2022
34. dr. Tatsuya Kaneko, Osaka University, Japonska: Excitonic effects on nonlinear optical responses, 31. 5. 2022 (virtualno)
35. Yuta Murakami, RIKEN CEMS, Japan: Emerging nonequilibrium phases due to relaxation bottlenecks in strongly correlated systems, 17. 5. 2022
36. dr. Francesco D'Eramo, University of Padua in INFN, Padova, Italija: Thermal Axions: Production Mechanisms and Cosmological Signals, 2. 6. 2022 (virtualno)
37. prof. dr. Andreas Honecker, CY Cergy Paris Université, Pariz, Francija: Thermodynamic properties of the Shastry-Sutherland model for $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$, 9. 6. 2022
38. dr. Joseph Davighi, University of Zürich, Švica: Leptoquarks with exactly stable protons, 9. 6. 2022
39. dr. Himadri Barman, Institute of Mathematical Sciences, Chennai, India: Dynamic Mott transition in non-Hermitian correlated systems, 22. 6. 2022 (virtualno)
40. dr. Jakub Zakrzewski, Jagiellonian University in Krakow, Poland: Quantum boomerang, 24. 6. 2022
41. doc. dr. Adam Basci, Szechenyi Istvan University, Gyor, Madžarska: Dissipation induced Luttinger liquid correlations in a one-dimensional Fermi gas, 28. 6. 2022
42. dr. Nina Megier, University of Gdansk, Poljska: Time local and time non-local master equations and quantum non-Markovity, 14. 6. 2022
43. dr. Bary Dillon, University of Heidelberg, Heidelberg, Nemčija: What's Anomalous in LHC Jets?, 23. 6. 2022
44. dr. Patrycja Lydzb, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska: Signatures of quantum chaos in low-energy mixtures of few fermions, 18. 7. 2022
45. prof. dr. Haim Taitelbaum, Bar-Ilan University, Ramat Gan, Izrael: Spreading of Metal on Metal-on-glass at Room Temperature, 19. 7. 2022
46. prof. dr. Guillermo Silva, Instituto de Física de La Plata-CONICET, Buenos Aires, Argentina: Holographic Wilson loops, defect CFTs and RG flows, 11. 8. 2022
47. Maria Pedrosa Bustos, University of Granada, Granada, Španija: Biophysics approach in anticancer therapies: Studying anticancer drug interactions with extracted and model cell membranes by Langmuir films and computer simulations, 18. 8. 2022
48. Bartosz Krajewski, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska: Modeling sample-to-sample fluctuations of the gap ratio in finite disordered spin chains, 13. 9. 2022
49. Adithi Udupa, Indian Institute of Science, Bengaluru, Indija: Driven Hubbard model on a triangular lattice, 6. 9. 2022
50. dr. Philipp M. Schicho, Institute for Theoretical Physics, Goethe University, Frankfurt, Nemčija: Gauge independent bubble nucleation rate at finite temperature, 15. 9. 2022
51. Fabio Staniscia: Institut "Jožef Stefan": Tuning Contact Angles of Aqueous Droplets on Hydrophilic and Hydrophobic Surfaces by Surfactants, 16. 9. 2022
52. dr. Maciej Masko, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska: Temperature-driven BCS-BEC crossover and Cooper-paired metallic phase in coupled boson-fermion systems, 8. 9. 2022
53. prof. dr. Joan Elias Miró, ICTP, Trst, Italija: Bridging Positivity and S-matrix Bootstrap Bounds, 6. 10. 2022
54. dr. Horacio Vargas Guzman, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, Španija: RNA-substrate interactions, 6. 10. 2022 (virtualno)
55. dr. Miroslav Hopjan, Institut "Jožef Stefan": Universality of survival probability in disordered systems and real-time non-adiabatic dynamics in the one-dimensional Holstein model, 11. 10. 2022
56. dr. Jordi Parauo, Institute of Materials Science of Barcelona, Španija: Molecular Dynamics simulations and the SARS-CoV-2 virus, 17. 10. 2022 (virtualno)
57. dr. Matej Kanduč, Institut "Jožef Stefan": Monolayer Adsorption Versus Bulk Micellization: Insights from Molecular Simulations, 20. 10. 2022
58. Marin Šako, Institut "Jožef Stefan": Tensile strength of water, 24. 10. 2022
59. Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia: M. N. Mikheev Institute of Metal Physics of Ural Branch of Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Rusija, 25. 10. 2022 (virtualno)
60. dr. Madhumita Sarkar, Institut "Jožef Stefan": Emergent Z2 transition in the magnetisation plateau, 4. 11. 2022
61. dr. Dillip Nandy, Institute for Basic Science, Daejeon, Južna Koreja: Understanding Many-body localization through Adiabatic Gauge Potential (AGP), 8. 11. 2022
62. Sašo Grozdanov, Fakulteta za matematiko in fiziko, UL: Journal club on Noninvertible Global Symmetries in the Standard Model, 10. 11. 2022
63. Maria Pedrosa Bustos, University of Granada, Španija: Langmuir monolayers as membrane models to study anticancer drugs, 10. 11. 2022
64. Kohei Ogane, Tohoku University, Sendai, Japonska: Quasiperiodic Ising Model with Temporally Fluctuating Transverse Field, 30. 11. 2022
65. Tim Hoehne, Technical University Dortmund, Dortmund, Nemčija: Stabilizing the SM with vector-like Fermions, Vector-like Fermion Portals into Higgs Stability, 17. 11. 2022
66. dr. Matej Krajnc, Institut "Jožef Stefan": Modeling epithelial tissues as active-elastic sheets, 17. 11. 2022
67. Simon Jiricek, University of Göttingen, Göttingen, Nemčija: Dynamics of imbalance in disordered systems, 22. 11. 2022
68. dr. Martin Novoa Brunet, National Institute for Nuclear Physics - Bari, Bari, Italija: New Physics IN FCNC $B \rightarrow K l l$ and $K \rightarrow \pi l l$, 23. 11. 2022
69. Veronika Bukina, Institut "Jožef Stefan": Packaging-signal mediated assembly of phage MS2, 24. 11. 2022
70. dr. Matej Kanduč, Institut "Jožef Stefan": What can we learn from proteins about polymer transitions?, 30. 11. 2022
71. dr. Aleks Smolkovič, University of Bern, Albert Einstein Center for Fundamental Physics, Bern, Švica: Contact interactions from the high-mass Drell-Yan tails, 15. 12. 2022
72. Adrian Feiguin, Northeastern University, Boston, ZDA: Neutrino electroweak baryogenesis, 15. 12. 2022
73. dr. Salvador Rosaro Alcaraz, Institut Joliot Curie, Orsay, Francija: Neutrino electroweak baryogenesis, 16. 12. 2022
74. dr. Alaska Subedi, Ecole Polytechnique, Palaiseau, Pariz, Francija: Light-induced translation symmetry breaking via nonlinear phononics, 15. 12. 2022
75. dr. Jan Hajer, CFTP, IST, Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugalska, 6th Trilateral meeting at the IFPU, 20. 12. 2022
76. Iris Ulčakar, Institut "Jožef Stefan": Tight-binding billiards, 20. 12. 2022
77. dr. Friedrich Krien, Technische Universität Wien, Dunaj, Avstrija: Single- and multi-boson exchange in the two-dimensional Hubbard model, 21. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJIH

1. Urška Andrenšek, Marin Šako, dr. Matej Krajnc, prof. dr. Primož Zihler, dr. Horacio Vargas Guzman, dr. Anže Rapoš Božič, dr. Fabio Staniscia, dr. Matej Kanduč, dr. Anže Rapoš Božič, dr. Horacio Vargas Guzman, 15th Biophysics Easter Workshop, Tinje, Avstrija, 20.-21. 4. 2022 (več predavanj, posterji)
2. Urška Andrenšek, dr. Matej Kanduč, dr. Matej Krajnc, prof. dr. Primož Zihler, Dnevi biofizike 2022, Celje, Slovenija, 30.-31. 5. 2022 (več vabljenih predavanj, posterji)
3. Urška Andrenšek, EMBL Summer School, Heidelberg, Nemčija, 3.-19. 7. 2022
4. Urška Andrenšek, prof. dr. Borut Bajc, prof. dr. Janez Bonča, dr. Matej Kanduč, Klemen Kovač, dr. Matej Krajnc, dr. Zala Lenarčič, dr. Luka Leskovec, Luka Pavešič, prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, prof. dr. Peter Prelovšek, Fon Rolihi, Martin Ulaga, doc. dr. Lev Vidmar, prof. dr. Rok Žitko, 12. Konferenca fizikov v osnovnih raziskavah, Terme Čatež, Slovenija, 11. 11. 2022 (več vabljenih predavanj, posterji)
5. Urška Andrenšek, Veronika Bukina, dr. Matej Kanduč, dr. Matej Krajnc, dr. Anže Rapoš Božič, dr. Fabio Staniscia, Marin Šako, prof. dr. Primož Zihler, Christmas Biophysics Workshop 2022, Brdo pri Kranju, 12.-13. 12. 2022 (več vabljenih predavanj, posterji)
6. prof. dr. Borut Bajc, BPU11 CONGRESS, SEENET-MTP BWAM22, COST CA18108 Workshop, CERN - SEENET-MTP - ICTP PhD School, Beograd, Srbija, 30. 8.-7. 9. 2022 (vabljen predavanje, ciklus vabljenih predavanj)
7. prof. dr. Borut Bajc, Blaž Bortolato, prof. dr. Ilja Doršner, prof. dr. Svjetlana Fajfer, prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, Arman Korajac, doc. dr. Nejc Košnik, dr. Jonathan Kriewald, dr. Luka Leskovec, Marco Matteini, doc. dr. Miha Nemevšek, dr. Emmanuel Ortiz Pacheco, dr. Manuel Szewc, dr. Michele Tammaro, Fizika visokih energij, astrofizika in kozmologija, Medana, Slovenija, 28.-30. 9. 2022 (več vabljenih predavanj, posterji)

8. prof. dr. Borut Bajc, prof. dr. Janez Bonča, doc. dr. Miha Nemevšek, prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, prof. dr. Peter Prelovšek, prof. dr. Primož Zihlerl, prof. dr. Rok Žitko, 19. Simpozij fizikov, Maribor, Slovenija, 14.–18. 12. 2022 (več vabljenih predavanj, posterji)
9. dr. German Blesio, prof. dr. Janez Bonča, dr. Banhi Chatterjee, Jože Gašperlin, dr. Denis Golež, dr. Miroslav Hopjan, prof. dr. Janez Bonča, dr. Zala Lenarčič, Luka Medic, doc. dr. Jernej Mravlje, dr. Sourav Nandy, prof. dr. Peter Prelovšek, Rafal Swietek, dr. Jan Šuntajs, Martin Ulaga, Iris Ulčakar, doc. dr. Lev Vidmar, 11th Nonequilibrium Quantum workshop, Krvavec, Slovenija, 11.–15. 12. 2022 (več vabljenih predavanj, posterji)
10. prof. dr. Janez Bonča, dr. Miroslav Hopjan, dr. Zala Lenarčič, doc. dr. Jernej Mravlje, dr. Sourav Nandy, prof. dr. Peter Prelovšek, dr. Madhumita Sarkar, Rafal Swietek, Iris Ulčakar, doc. dr. Lev Vidmar, Many-body systems out of equilibrium: recent advances and future directions, Logarska dolina, Slovenija, 19.–23. 9. 2022 (več vabljenih predavanj, posterji)
11. Blaž Bortolato, prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, Arman Korajac, Marco Matteini, prof. dr. Miha Nemevšek, 5th Trilateral meeting, Trst, Italija, 23. 6. 2022 (več predavanj)
12. Blaž Bortolato, Saalburg Summer School 2022, Bayrischzell, Nemčija, 28. 8.–9. 9. 2022
13. Veronika Bukina, EUTOPIA Summer School, Pariz, Francija, 26. 6.–7. 7. 2022
14. Veronika Bukina, SynBioPoly 22, Halle, Nemčija, 27. 8.–3. 9. 2022
15. dr. Banhi Chatterjee, New Generation in Strongly Correlated Electron Systems, Iseo, Italija, 4.–10. 9. 2022 (predavanje)
16. prof. dr. Sveltana Fajfer, FLASY 2022, Lizbona, Portugalska, 27. 6.–1. 7. 2022 (vabljeno predavanje)
17. prof. dr. Sveltana Fajfer, prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, LHC days, Split, Hrvaška, 2.–6. 10. 2022 (vabljeno predavanje)
18. prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, dr. Manuel Szewc, Bayesian Inference in High Energy Physics Durham, Durham, Velika Britanija, 21.–31. 5. 2022 (organizacija konference in vabljeno predavanje)
19. prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, dr. Luka Leskovec, Quirks 2022, Zadar, Hrvaška, 14.–15. 6. 2022 (vabljeno predavanje)
20. prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, Sestanek konzorcija COFUND SMASH, Nova Gorica, Slovenija, 10. 8. 2022 in 15. 9. 2022
21. prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, Flavour @ FCC-ee, Ženeva, Švica, 11.–13. 9. 2022 (vabljeno predavanje)
22. prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, Flavour of BSM in the LHC Era, Mainz, Nemčija, 13.–15. 10. 2022 (vabljeno predavanje)
23. dr. Szczepan Glodzik, XX Krajowa Konferencja Nadprzewodnictwa, Lublin, Poljska, 21.–30. 5. 2022 (organizacija konference)
24. dr. Szczepan Glodzik, Frontiers in Condensed Matter Physics, Copenhagen, Danska, 3.–8. 7. 2022
25. dr. Denis Golež, M2S, Vancouver, Kanada, 17.–22. 7. 2022 (predavanje)
26. dr. Denis Golež, New trends in Nonequilibrium Many-Body Systems: Methods and Concepts, Dresden, Nemčija, 31. 7.–5. 8. 2022 (vabljeno predavanje)
27. dr. Denis Golež, CCQ Harnessing Light Matter Workshop, New York, ZDA, 7.–10. 8. 2022 (vabljeno predavanje)
28. dr. Miroslav Hopjan, Klemen Kovač, dr. Zala Lenarčič, dr. Sourav Nandy, Rafal Swietek, dr. Jan Šuntajs, Iris Ulčakar, doc. dr. Lev Vidmar, New Edition of the Trieste-Ljubljana meeting of StatPhys and CondMatt groups, Trst, Italija, 6. 12. 2022 (več predavanj)
29. dr. Matej Kanduč, Telluride Hydrophobicity Workshop, Telluride, Newark, ZDA, 24. 6.–8. 7. 2022 (vabljeno predavanje)
30. dr. Matej Kanduč, Matej Krajnc, dr. Anže Rapoš Božič, Marin Šako, Regional biophysics congress, Pecs, Madžarska, 22.–26. 8. 2022 (več vabljenih predavanj)
31. dr. Matej Kanduč, International Conference on Nanobubbles, Nanodroplets and their Applications, Magdeburg, Nemčija, 18.–23. 9. 2022 (predavanje)
32. dr. Matej Kanduč, SEPAWA Congress, Berlin, Nemčija, 25.–29. 10. 2022 (vabljeno predavanje)
33. Arman Korajac, Conference on the interface of particle, gravity and quantum physics, Kitzbühel, Nemčija, 26. 6.–1. 7. 2022 (poster)
34. Arman Korajac, LF(U)V Workshop, Zürich, Švica, 4.–6. 7. 2022 (predavanje)
35. Arman Korajac, SMEFT'2022 Physics School, Siegen, Nemčija, 10.–15. 7. 2022
36. doc. dr. Nejc Košnik, Flavor at the Crossroads, Mainz, Nemčija, 18.–23. 4. 2022
37. doc. dr. Nejc Košnik, Invisibles workshop '22, Orsay, Francija, 20.–24. 6. 2022 (predavanje)
38. doc. dr. Nejc Košnik, Kaon Physics, Osaka, Japonska, 11.–17. 9. 2022 (predavanje)
39. dr. Matej Krajnc, Physics of Living Matter Symposium, Cambridge, Velika Britanija, 28. 9.–1. 10. 2022 (predavanje)
40. dr. Jonathan Kriewald, doc. dr. Miha Nemevšek, DISCRETE 2022, Baden-Baden, Nemčija, 6.–12. 11. 2022 (predavanje)
41. dr. Zala Lenarčič, Entangled states of matter, Berlin, Nemčija, 1.–7. 5. 2022 (vabljeno predavanje)
42. dr. Zala Lenarčič, dr. Sourav Nandy, Quantum Many-Body Physics in the presence of an environment, Pariz, Francija, 6.–10. 6. 2022 (vabljeno predavanje)
43. dr. Zala Lenarčič, New trends in complex quantum systems dynamics 2022, Bilbao, Španija, 18.–24. 6. 2022 (vabljeno predavanje)
44. dr. Zala Lenarčič, Kick-off meeting QuantERA konzorcija, Mainz, Nemčija, 14.–16. 7. 2022 (predavanje)
45. dr. Zala Lenarčič, dr. Madhumita Sarkar, Rafal Swietek, Martin Ulaga, Quantum Dynamics: From Electrons to Qbits, Trst, Italija, 28. 8.–2. 9. 2022 (več predavanj, posterji)
46. dr. Luka Leskovec, The 39th International Symposium on Lattice Field Theory (Lattice 2022), Bonn, Nemčija, 7.–13. 8. 2022 (predavanje)
47. Marco Matteini, Theoretical Aspects of Astroparticle Physics, Cosmology and Gravitation, Arcetri, Italija, 13.–25. 3. 2022
48. Marco Matteini, Humboldt conference on the interface of particle, gravity and quantum physics, Kitzbühel, Avstrija, 26. 6.–1. 7. 2022 (poster)
49. Marco Matteini, Workshop on the Standard Model and Beyond, Krf, Grčija, 28. 8.–9. 9. 2022 (vabljeno predavanje)
50. Marco Matteini, doc. dr. Miha Nemevšek, BSM2, Aveiro, Portugalska, 9.–15. 10. 2022 (vabljeno predavanje)
51. doc. dr. Jernej Mravlje, Amalfi ECEPQM, Amalfi, Italija, 8.–9. 4. 2022 (vabljeno predavanje)
52. dr. Sourav Nandy, Non-Equilibrium Emergence in Quantum Design, Mainz, Nemčija, 20.–23. 6. 2022 (poster)
53. doc. dr. Miha Nemevšek, Probing new physics with gravitational waves, Mainz, Nemčija, 24. 7.–5. 8. 2022 (predavanje)
54. doc. dr. Miha Nemevšek, Particle Avenues in the Dark Universe Arena (PADUA): Axions, Padova, Italija, 12.–14. 9. 2022
55. dr. Emmanuel Ortiz Pacheco, 44th International Symposium on Nuclear Physics, Mexico City, Mehika, 23.–27. 12. 2022
56. Luka Pavešič, 2022 – Computational Quantum Materials, Quebec, Kanada, 5. 6.–1. 7. 2022 (poster)
57. Luka Pavešič, Frontiers in Condensed Matter Physics, Kopenhagen, Danska, 3.–8. 7. 2022
58. prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, Lepton Photon, Manchester, Velika Britanija, 9.–15. 1. 2022 (vabljeno predavanje)
59. prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, Workshop on heavy quarkonium, Darmstadt, Nemčija, 27.–30. 9. 2022 (predavanje)
60. dr. Anže Rapoš Božič, Microsymposium on RNA Biology, Dunaj, Avstrija, 15.–20. 3. 2022
61. dr. Anže Rapoš Božič, Charged Species in Bulk and Interfaces, Dunaj, Avstrija, 12.–15. 9. 2022
62. dr. Fabio Staniscia, International Soft Matter Conference 2022, Poznan, Poljska, 18.–23. 9. 2022 (predavanje)
63. Rafal Swietek, Frontiers of Condensed Matter, Les Houches, Francija, 10.–22. 10. 2022
64. dr. Manuel Szewc, A Deep-Learning Era of Particle Theory, Mainz, Nemčija, 26. 6.–10. 7. 2022 (predavanje)
65. dr. Manuel Szewc, Machine Learning at GGI, Firenze, Italija, 28. 8.–12. 9. 2022 (predavanje)
66. Marin Šako, 7th Warsaw School of Statistical Physics, Varšava, Poljska, 26. 6.–2. 7. 2022 (poster)
67. dr. Michele Tammaro, Snowmass Rare Processes and Precision Measurements Frontier Spring Meeting, Cincinnati, ZDA, 16.–19. 5. 2022
68. dr. Michele Tammaro, Flavour of BSM in the LHC era, Ženeva, Švica, 6.–21. 10. 2022 (predavanje)
69. Iris Ulčakar, The Beg Rohu Summer School, Saint Pierre Quiberon, Francija, 5.–18. 6. 2022
70. dr. Horacio Vargas Guzman, Computer Simulation and Theory of Macromolecules 2022, Huenfeld, Nemčija, 8.–9. 4. 2022 (predavanje)
71. dr. Horacio Vargas Guzman, Workshop on Molecular Modeling form CECAM, Zaragoza, Španija, 31. 5.–2. 6. 2022 (predavanje)
72. dr. Horacio Vargas Guzman, Gordon Research Conference, Barcelona, Španija, 31. 5.–2. 6. 2022 (poster)
73. dr. Horacio Vargas Guzman, CASP15 Critical Assessment of Structure Prediction Conference, Antalya, Turčija, 9.–13. 12. 2022 (predavanje)
74. doc. dr. Lev Vidmar, APS March meeting 2022, Chicago, ZDA, 13.–19. 3. 2022 (vabljeno predavanje)
75. doc. dr. Lev Vidmar, Integrable and chaotic dynamics, Pokljuka, Slovenija, 3.–6. 7. 2022 (predavanje)
76. prof. dr. Primož Zihlerl, Executive Committee of the European Biophysical Societies Association, Stockholm, Švedska, 16.–18. 6. 2022
77. prof. dr. Primož Zihlerl, CECAM Flagship Workshop, Dunaj, Avstrija, 10.–15. 7. 2022 (predavanje)
78. prof. dr. Primož Zihlerl, 36th European Colloid and Interface Society Conference, Chania, Grčija, 4.–8. 9. 2022 (predavanje)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. prof. dr. Janez Bonča: Nacionalni laboratorij v Los Alamosu, ZDA, 26. 1.–10. 2. 2022 in 31. 8.–15. 9. 2022 (delovni obisk)
2. prof. dr. Borut Bajc: La Plata University, La Plata, Argentina, 28. 11.–13. 12. 2022 (delovni obisk)
3. dr. German Blesio: Centre de Physique Theorique, Ecole Polytechnique, Pariz, Francija, 26. 6.–2. 7. 2022 (delovni obisk)
4. dr. Banhi Chatterjee: National Institute of Science Education and Research, Bhubaneswar, Indija, 8.–30. 6. 2022 (delovni obisk)
5. dr. Szczepan Glodzik: Institute of Physics, Maria Curie-Skłodowska University, Lublin, Poljska, 30. 4.–9. 5. 2022 (delovni obisk)
6. dr. Denis Golež: Universität zu Köln, Köln, Nemčija, 7.–10. 12. 2022 (delovni obisk)
7. dr. Miroslav Hopjan: Goettingen University, Goettingen, Nemčija, 9.–31. 7. 2022 (delovni obisk)
8. dr. Miroslav Hopjan: ICTP, Trst, Italija, 7. 9. 2022 (delovni obisk)
9. dr. Miroslav Hopjan: Institute of Physics of Charles University, Praga, Češka, 24. 9.–9. 10. 2022 (delovni obisk)

10. dr. Miroslav Hopjan: University of Paderborn, Paderborn, Nemčija, 12.–27. 11. 2022 (delovni obisk)
11. dr. Matej Kanduč: Fachbereich Physik, Freie Universität Berlin, Physikalisches Institut, Universität Freiburg, Berlin, Freiburg, Nemčija, 28. 4.–4. 5. 2022 (delovni obisk)
12. dr. Matej Kanduč: Department of Applied Physics I at the University of Málaga in Department of Applied Physics of the University of Granada, Málaga, Granada, Španija, 15.–20. 5. 2022 (delovni obisk)
13. dr. Jonathan Kriewald: Laboratoire de Physique de Clermont-Ferrand, Aubiere, Francija, 11.–17. 12. 2022 (delovni obisk)
14. dr. Zala Lenarčič: ICFO – The Institute of Photonic Sciences, Barcelona, Španija, 4.–10. 3. 2022 (delovni obisk)
15. dr. Zala Lenerčič: Universität zu Köln, Köln, Nemčija, 7.–10. 12. 2022 (delovni obisk)
16. doc. dr. Jernej Mravlje: Centre de Physique Théorique Ecole Polytechnique, Pariz, Francija, 26. 6.–2. 7. 2022 (delovni obisk)
17. doc. dr. Jernej Mravlje, prof. dr. Peter Prelovšek: Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska, 11.–17. 7. 2022 (delovni obisk)
18. doc. dr. Miha Nemevšek: Laboratoire de Physique du Clermont, Clermont-Ferrand, Francija, 5.–8. 7. 2022 (delovni obisk)
19. doc. dr. Miha Nemevšek: University of Padova, Padova, Italija, 26. 10. 2022 (vabljen predavanje in delovni obisk)
20. doc. dr. Miha Nemevšek: Laboratoire de Physique du Clermont, Clermont, Francija, 5.–8. 7. 2022 (delovni obisk in seminar)
21. prof. dr. Peter Prelovšek: Centre de Physique Theorique, Ecole Polytechnique, Wrocław, Poljska, 13.–17. 6. 2022 (delovni obisk in seminar)
22. dr. Michele Tammaro: University of Cincinnati, ZDA, 6.–30. 5. 2022 (delovni obisk v okviru bilateralnega projekta)
23. dr. Michele Tammaro: IJCLAB Laboratoire De Physique Des 2 Infinite Irène Joliot-Curie, Orsay, Francija, 11.–17. 9. 2022 (delovni obisk v okviru bilateralnega projekta)
24. dr. Michele Tammaro: Institute for Theoretical Physics Heidelberg, Heidelberg, Nemčija, 18.–23. 9. 2022 (delovni obisk)
25. doc. dr. Lev Vidmar: Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska, 6.–9. 4. 2022 (delovni obisk)
26. doc. dr. Lev Vidmar: ICTP, Trst, Italija, 7. 9. 2022 (delovni obisk)
27. doc. dr. Lev Vidmar: Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska, 6.–9. 4. 2022 (delovni obisk)
28. doc. dr. Lev Vidmar: ICTP, Trst, Italija, 7. 9. 2022 (delovni obisk)
29. doc. dr. Lev Vidmar: university of Göttingen, Nemčija, 13.–16. 11. 2022 (delovni obisk)
30. prof. dr. Rok Žitko: CNRS, Grenoble, Francija, 4.–10. 12. 2022 (delovni obisk in vabljen predavanje)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Lamprini Athanasopoulou, *odšla 1. 3. 2022*
2. prof. dr. Borut Bajc, znanstveni svetnik
3. prof. dr. Janez Bonča*, znanstveni svetnik
4. Banhi Chatterjee, PhD., Poljska
5. prof. dr. Mojca Čepič*, znanstveni svetnik
6. Ilija Doršner, PhD., USA
7. prof. dr. Svjetlana Fajfer, znanstveni svetnik
8. **prof. dr. Jernej Fesl Kamenik, znanstveni svetnik - vodja odseka**
9. Szczepan Glodzik, PhD., Poljska
10. dr. Denis Golež
11. Miroslav Hopjan, PhD., Švedska
12. dr. Matej Kanduč
13. doc. dr. Jure Kokalj*
14. doc. dr. Nejc Košnik
15. dr. Matej Krajnc
16. dr. Zala Lenarčič
17. doc. dr. Luka Leskovec
18. *Adrian Rene Lugo, PhD., Italija, odšel 23. 8. 2022*
19. doc. dr. Jernej Mravlje
20. Sourav Nandy, PhD., Indija
21. Alexey Vladimirovich Nefediev, PhD., Rusija, znanstveni svetnik
22. doc. dr. Miha Nemevšek
23. prof. dr. Peter Prelovšek, znanstveni svetnik
24. prof. dr. Saša Prelovšek Komelj, znanstveni svetnik
25. prof. dr. Anton Ramšak*, znanstveni svetnik
26. dr. Anže Rapoš Božič
27. doc. dr. Tomaž Rejec*
28. Madhumita Sarkar, PhD., Indija
29. prof. dr. Bostiljka Tadić, znanstveni svetnik
30. Horacio Andres Vargas Guzman, Strokovni/Dokončni naziv
31. prof. dr. Nataša Vaupotič*, znanstveni svetnik
32. prof. dr. Lev Vidmar
33. prof. dr. Primož Zihnerl*, znanstveni svetnik
34. prof. dr. Rok Žitko, znanstveni svetnik

Podoktorski sodelavci

35. German Gabriel Blesio, PhD., Argentina
36. *Luis Cort Barrada, PhD., odšel 1. 9. 2022*
37. Jonathan Kriewald, PhD., Francija
38. Emmanuel Ortiz Pacheco, PhD., Mehika
39. Fabio Staniscia, PhD., Italija
40. *Manuel Szewc, PhD., Argentina, odšel 1. 11. 2022*
41. Michele Tammaro, PhD.
42. dr. Lara Ulčakar*

Mlajši raziskovalci

43. Urška Andrenšek, mag. fiz.
44. Blaž Bortolato, mag. fiz.
45. Veronika Bukina, mag. fiz.
46. Jože Gašperlin, Msc., Anglija
47. Arman Korajac, Msc., Nemčija
48. Klemen Kovač, mag. fiz.
49. Marco Matteini, Msc., Italija
50. Luka Medic, mag. fiz.
51. Luka Pavešič, mag. fiz.
52. Lovre Pavičić, Msc., Hrvaška

53. Don Rolih, mag. fiz.
 54. *Jan Rozman, mag. fiz., odšel 16. 6. 2022*
 55. Rafal Piotr Swietek, Msc., Poljska
 56. Marin Šako, Msc., Hrvaška
 57. Jan Šuntajs*, mag. fiz.
 58. Martin Ulaga, mag. fiz.
 59. Iris Ulčakar, mag. fiz.
- Tehniški in administrativni sodelavci**
60. Nevenka Hauschild
 61. Tjaša Lazič, univ. dipl. var.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Centro Atomico Bariloche (CAB) – Grupo de Particulas Elementales, Bariloche, RN, Argentina
2. Consejo Nacional de Investigaciones Cientificas y Tecnicas (CONICET), Buenos Aires, Argentina
3. Universidad de Buenos Aires – Departamento de Fisica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN), Buenos Aires, Argentina
4. CP3-Origins, University of Southern Denmark, Odense, Danska
5. Syddansk Unversitet, Odense M, Danska
6. Center for quantum devices, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen, Copenhagen, Danska
7. University of Southern Denmark, Centre for Cosmology and Particle Physics Phenomenology, Danska
8. Johannes Gutenberg University Mainz (JGU) – PRISMA Cluster of Excellence, Mainz, Nemčija
9. Regensburg University, Nemčija
10. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Physikalisches Institut, Freiburg, Nemčija
11. Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie, Berlin, Nemčija
12. Institut für Theoretical Physics, Georg-August-Universität Göttingen, Göttingen, Nemčija
13. Dipartimento di Fisica ed Astronomia, Università di Padova, Padova, Italija
14. Dipartimento di Scienze Fisiche e Chimiche, Università dell'Aquila, L'Aquila, Italija
15. INFN Sez. Trst, Italija
16. Scuola Internazionale di Studi Avanzati, Trst, Italija
17. ICTP, Trst, Italija
18. SISSA, Trst, Italija
19. European Organization for Nuclear Research (CERN), Ženeva, Švica
20. Paul Scherrer Institut (PSI), Švica
21. Swiss Federal Institute of Technology, Zurich, Švica
22. Laboratoire de Physique Théorique (Bât. 210), Université Paris-Sud and CNRS, Orsay-Cedex, Francija
23. Ecole Supérieure de Physique et Chimie Industrielles, Pariz, Francija Université Grenoble Alpes, Institut nanosciences et cryogenie, Grenoble, Francija College de France (Pariz, Francija)
24. Centre de Physique Theorique, Ecole Polytechnique (Palaiseau, Francija)
25. Instituto de Astrofisica de Canarias (IAC), La Laguna (Tenerife), Španija
26. Universidad de Málaga, Facultad de Ciencias, Málaga, Španija
27. Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid, Madrid, Španija
28. University of Warsaw, Department of Chemistry, Varšava, Poljska
29. Department of Theoretical Physics, Faculty of Fundamental Problems of Technology, Wrocław University of Science and Technology, Wrocław, Poljska
30. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Science, Poznan, Poljska

31. University of Graz, Avstrija
32. University of Vienna, Faculty of Physics, Dunaj, Avstrija
33. Technische Universitaet Graz (Gradec, Avstrija)
34. Institut Rudjer Bošković, Division of Theoretical Physics, Zagreb, Hrvaška
35. University of Split, Faculty of Electrical Engineering, Split, Hrvaška
36. Institute of Physics, Zagreb, Hrvaška; Institute of Physics Belgrade, University of Belgrade, Belgrade, Srbija
37. Mimar Sinan University, Turčija
38. Plymouth University, Plymouth, Velika Britanija
39. School of Physics and Astronomy, University of Edinburgh, Edinburgh, Velika Britanija
40. University of Oxford – Rudolf Peierls Centre for Theoretical Physics, Oxford, Velika Britanija
41. University of Sussex, Department of Physics and Astronomy, Falmer, Brighton, Velika Britanija
42. University of Aberdeen, Department of Chemistry, Aberdeen, Velika Britanija
43. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, Kalifornija, ZDA
44. National Institutes of Health, Frederick, Maryland, ZDA
45. Department of Physics, Princeton University, Princeton, ZDA
46. Northeastern University, Boston, ZDA
47. University of California Santa Cruz, Santa Cruz, ZDA
48. Flatiron Institute (New York, ZDA)
49. The Pennsylvania State University, Department of Physics, University Park, PA, ZDA
50. Department of Physics, Oklahoma State University, Stillwater, ZDA
51. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, ZDA
52. Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Kanada
53. Canadian Institute for Advanced Research, Toronto, Kanada
54. High Energy Accelerator Research Organization (KEK), Tsukuba, Japonska
55. Kindai University, Department of Physics, Osaka, Japonska
56. Tohoku University, Faculty of Science, Sendai, Japonska
57. Toyota Physical and Chemical Research Institute, Nagakute, Japonska
58. Tel Aviv University, Raymond & Beverly Sackler School of Physics & Astronomy, Tel Aviv, Izrael
59. Institute for Research in Fundamental Sciences, Tehran, Iran
60. Universidad Técnica Federico Santa María, Centro-Científico-Tecnológico de Valparaíso, Valparaíso, Čile
61. Department of physics, Center for Condensed Matter Theory, Indian Institute of Science, Bengaluru, Indija
62. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Ljubljana
63. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Inštitut za biofiziko, Ljubljana
64. Inštitut za fizikalno biologijo, Ljubljana
65. Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor
66. Univerza v Novi Gorici

ODSEK ZA FIZIKO NIZKIH IN SREDNJIH ENERGIJ

F-2

Na Odseku za fiziko nizkih in srednjih energij posvečamo svoje delo raziskavam na področju jedrske, atomske in molekularne fizike ter optike. Pridobljeno znanje na področju atomske in jedrske fizike uporabljamo na mnogih interdisciplinarnih področjih, kot so radiološki nadzor okolja, raziskave materialov, fuzija, biologija, shranjevanje energije, medicina, farmacija, varstvo okolja in arheometrija. Pri delu uporabljamo obsežen sklop lastne raziskovalne opreme: ionski pospeševalnik s petimi žarkovnimi linijami, detektorske sisteme ionizirajočega sevanja, kalibrirana sevalna polja in eksperimentalne naprave za atomsko fiziko.

Raziskovalci z Odseka pri svojih raziskavah intenzivno uporabljamo velike eksperimentalne naprave v tujini. V okviru mednarodnih kolaboracij ali z lastnimi prijavi eksperimentov dostopamo do pospeševalnikov, sinhrotronov, laserjev na proste elektrone in tokamakov, ki jih v državi nimamo. Kot protiutež gostovanjem naših raziskovalcev na raziskovalni infrastrukturi v tujini omogočamo dostop raziskovalcem iz tujine na merilne sklope pospeševalnika IJS v okviru programa Mednarodnega dostopa EU.

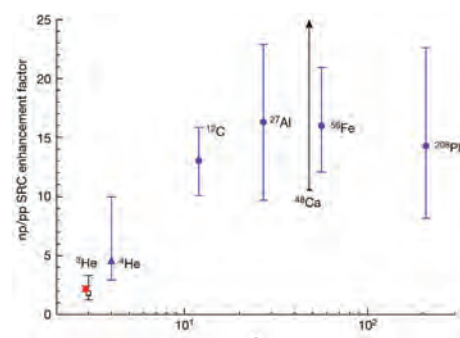


Vodja:

prof. dr. Primož Pelicon

Nadaljevali smo delo na spektrometskem sistemu kolaboracije A1 v laboratoriju Mainz Microtron (MAMI), s poudarkom na analizi in objavljanju rezultatov na podlagi podatkov, pridobljenih v nedavnih produkcijskih meritvah. Objavili smo prve rezultate meritev elektronske vijačnosti asimetrije v kvazielastičnem izbitju elektronov iz jeder ^3H in z ^{12}C polariziranimi elektroni (Kolar *et al.*, *Phys. Lett. B* 2022). Ta asimetrija je odvisna od tako imenovane pete strukturne funkcije, je antisimetrična glede na sipalno ravnino, je identično enaka nič v odsotnosti interakcij v končnem stanju in je prav zato primerna kot orodje za njihov študij. Podatki za 2H se zelo dobro ujemajo s teoretičnimi računi, napovedi za ^{12}C pa se znatno razlikujejo od podatkov. Naše raziskave elastičnega sipanja elektronov na protonih pri nizkih vrednostih Q^2 so zdaj prav tako objavljene (Wang *et al.*, *Phys. Rev. C* 2022): merili smo električni oblikovni faktor protona v razponu četverca prenosa gibalne količine $0,01 < Q^2 < 0,045 \text{ GeV}^2$, rezultati pa so konsistentni s starejšimi meritvami. Kar je še bolj pomembno z vidika prihodnjega eksperimenta MAGIX (s spektrometskimi sistemom v izgradnji), pa je to, da so podatki pokazali upravičenost zasnove in uporabe tarče s plinskim curkom in potencial za njeno uporabo v prihodnjih eksperimentih z visokoločljivostnimi spektrometri.

Naše delo v laboratoriju Thomas Jefferson National Accelerator Facility (Jefferson Lab) je bilo osredotočeno na analizo podatkov iz več eksperimentov iz 6 GeV obdobja pospeševalnika CEBAF, objavili pa smo tudi nove rezultate, ki smo jih pridobili že z novim žarkom po posodobitvi sistema na 12 GeV. Odkar se nam je ponudila izjemna in v svetovnem merilu edinstvena priložnost za uporabo tritijeve tarče, še vedno analiziramo velik nabor podatkov na jedrih ^3H in ^3He , zajetih v okviru kolaboracije Hall A. Objavili smo rezultate masnospektroskopskega eksperimenta, pri katerem smo uporabili visokoločljivostna spektrometra HRS in tritijevo tarčo (Pandey *et al.*, *Phys. Rev. C* 2022): z uporabo reakcije $(e, e'K^+)$ smo opazili presežke v preseku, ki morda ustrezajo hipotetični resonanci Ann in paru stanj ΣNN , ob energijski ločljivosti 1.2 MeV, četudi bodo za zanesljivejšo identifikacijo stanj potrebne dodatne meritve. Ugotovili smo tudi, da je bilo kljub napovedi obstoja vezanih stanj $A=3$ in $A=4 \Sigma$ -hiperjeder dejansko opaženo samo eno, in sicer $A=4 \Sigma$ -hiperjedo; za meritev smo izkoristili reakcijo (K^-, π^-) na jedru ^4He . V eksperimentu MARATHON smo določili razmerje nukleonskih strukturnih funkcij, F_{2n}/F_{2p} , iz meritev globoko neelastičnega sipanja elektronov na jedrih ^3H in ^3He (Abrams *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* 2022). Te podatke smo analizirali z novo tehniko, kjer izkoriščamo zrcalno simetrijo teh dveh tarčnih jeder, in ta skoraj docela izloči mnoge teoretične negotovosti pri določitvi razmerja. Rezultati, ki pokrivajo razpon Bjorkenove skalirne spremenljivke $0,19 < x < 0,83$, pomenijo znatno izboljšavo v primerjavi z obstoječimi meritvami tega razmerja v laboratorijih SLAC in Jefferson Lab. Naše raziskave zrcalnega sistema $^3\text{H}/^3\text{He}$ so bile kronane z objavo v reviji *Nature* (Li *et al.*, *Nature* 2022): poročali smo o ekstrakciji razmerja np/pp korelacij kratkega dosega, dobljenega iz inkluzivnega sipanja na jedrih ^3H in ^3He , in naleteli na znatno odstopanje od skoraj popolne prevlade parov np , opaženo pri težkih jedrih (slika 1). Ta rezultat implicira nenavadno strukturo v tistem delu valovne funkcije ^3H in ^3He , ki ustreza visokim gibalnim količinam.



Slika 1: Razmerje korelacij np/pp kratkega dosega relativno glede na celotno število parov np in pp . Rezultati, ki jih dobimo iz inkluzivnega sipanja na jedrih ^3H in ^3He (rdeč krog), so skladni s tistimi, ki smo jih dobili iz razmerja ekskluzivnih presekov $^3\text{He}(e, e'p)/^3\text{H}(e, e'p)$ (črna kvadrata), vendar znatno odstopajo od razmerij pri težkih jedrih, kjer opazimo skoraj popolno prevlado parov np (modri trikotniki in krogi). Ta presenetljiv rezultat kaže na to, da je vloga nevtrona v delu valovne funkcije ^3H in ^3He , ki ustreza visokim gibalnim količinam, manjša kot pri težkih jedrih (Li *et al.*, *Nature* 2022).

Sipalni preseki iz našega tesno povezanega (nepolariziranega) eksperimenta na jedrih ${}^4\text{He}$ so zdaj prav tako na voljo (Iqbal et al., *Phys. Rev. C* 2022): opazili smo izrazite fluktuacije v razmerju podatkov in izračuna na podlagi distorziranih valov, kar lahko interpretiramo kot potencialne signale multinukleonskih korelacij v začetnem stanju. Objavili smo tudi rezultate raziskav virtualnega comptonskega sipanja (Georges et al., *Phys. Rev. Lett.* 2022) in (posplošenih) nukleonskih polariziranosti (Ruth et al., *Nat. Phys.* 2022); z njimi lahko diskriminiramo med obstoječimi konkurenčnimi izračuni v okviru kiralne perturbacijske teorije, pomagali pa bodo tudi pri boljšem razumevanju močnega režima QCD. Obelodanili smo nove precizijske meritve elastičnega sipanja elektronov na protonih pri prenosih gibalne količine tja do 15.75 GeV^2 (Christy et al., *Phys. Rev. Lett.* 2022). V kombinaciji z obstoječimi podatki te meritve omogočajo zanesljivejšo določitev magnetnega oblikovnega faktorja protona pri visokih vrednostih Q^2 in podvajajo razpon, na katerem je mogoče separirati longitudinalni sipalni presek od transversalnega. Objavljene so bile tudi naše meritve sipalnih presekov za inkluzivno sipanje na argonovih jedrih (Jiang et al., *Phys. Rev. D* 2022).

Naše sodelovanje pri teoretičnih raziskavah je privedlo do članka, v katerem razpravljamo o tvorbi in razpadu resonance $\Lambda(1405)$, z opisom v okviru formalizma sklopljenih kanalov in s kiralnim kvarkovskim modelom za izračun osnovnih reakcijskih amplitud (Golli et al., *Eur. Phys. J.* 2022). Uporabili smo fenomenološke amplitude, pridobljene iz analiz parcialnih valov (PWA) enopionske fotoprodukcije, da bi tako izvedli prispevek teh procesov h Gerasimov-Drell-Hearnovemu, Baldinovemu in Gell-Mann-Goldberger-Thirringovemu vsotnemu pravilu, in sicer z integracijo do 2 GeV v fotoniki energiji (Strakovsky et al., *Phys. Rev. C* 2022). Naša raziskava je potrdila, da enopionski prispevek k vsem tem vsotnim pravilom konvergira celo pred najvišjo upoštevano fotoniko energijo, toda stopnje nasičenja so v vseh treh primerih zelo različne.

Vzporedno z izgradnjo Evropskega centra za raziskave z antiprotoni in ioni FAIR, ki spada med največje projekte za temeljne raziskave v svetu, že poteka t. i. faza 0 raziskovalnega programa na obstoječih pospeševalniških kapacitetah Instituta GSI v Darmstadtu. Pretežno smo usmerjeni v fizikalni program NUSTAR, ki obsega študijo jedrske strukture in reakcije eksotičnih atomskih jeder, ključnih za oblikovanje snovi v vesolju. Močneje smo vpeti v dve kolaboraciji: HISPEC/DESPEC in Super-FRS.

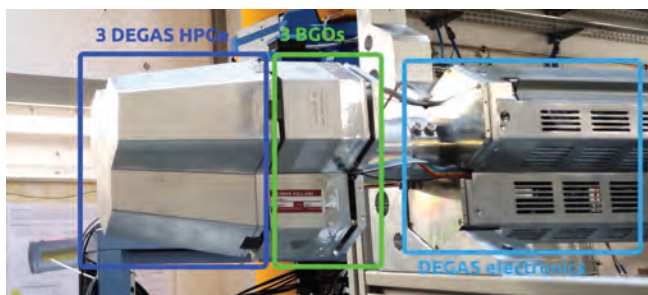
Z eksperimenti HISPEC/DESPEC odgovarjamo na osnovna vprašanja o jedrski strukturi in astrofiziki na mejah jedrskega obstoja. Za kolaboracijo DESPEC v GSI/FAIR smo na IJS razvili scintilacijske detektorje BGO, ki smo jih v spektrometru DEGAS prvič uporabili v eksperimentih v letu 2022 (slika 2). Scintilatorji tipa BGO zagotavljajo aktivno ščitenje germanijevih detektorjev in zmanjšajo spektralni šum, ki je posledica comptonso sipanih fotonov. V okviru kolaboracije HISPEC/DESPEC smo pripravili in izvedli test eksperimentalne postavitve HISPEC-10 na GSI/FAIR. Eksperiment HISPEC-10 bo del nizkoenergijske žarkovne linije na FAIR in bo namenjen eksperimentom z upočasnjenimi eksotičnimi ioni. Za HISPEC-10 na IJS pripravljamo hlajene segmentirane silicijeve detektorje za meritev energijskih izgub, trajektorij in celotne kinetične energije ionov. Začeli smo konstrukcijo novega implantacijskega detektorja FIMP (Fiber Implanter)

za eksperimente DESPEC. Detektor FIMP bo sestavljen iz scintilacijskih vlaken, zloženih v plasti. Signal z vlaken bomo zaznavali s silicijevimi fotopomoževalkami. V letu 2022 smo sodelovali tudi pri meritvi razpadov v izotopih Os-202 in Ir-203 ter pri proučevanju t. i. *procesa r* (angl. *r-process*), ki ga je treba razumeti pri vprašanju o obstoju vesolja.

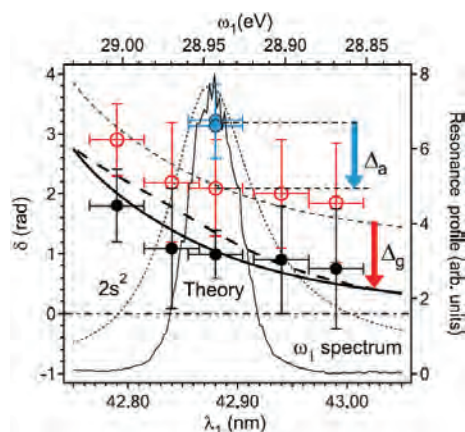
V letu 2022 smo v kolaboraciji Super-FRS (angl. Superconducting Fragment Separator) sodelovali v dveh obsežnih sklopnih meritvah z detektorskim sistemom WASA v vmesni goriščni ravnini masnega spektrometra FRS. Kampanji sta bili usmerjeni v iskanje mezonskih jeder η' v reakciji C-12(p, dp) oziroma v meritve razpadnih časov hiperjeder ${}^3\text{H}$ in ${}^4\text{H}$. Sodelovali smo tudi pri eksperimentu na t. i. lovilcu ionov (angl. Ion Catcher) z masnim spektrometrom na večkratni prelet za precizne meritve mas cepitvenih produktov Cf-252 in njihovih relativnih fisijskih pridelkov.

Naše delo na FAIR smo v letu 2022 predstavili v štirih objavah: The DESPEC setup for GSI and FAIR (Mistry et al., *Nucl. Instr. Meth. A* 2022), Nature of seniority symmetry breaking in the semimagic nucleus Ru-94 (Das et al., *Phys. Rev. C* 2022), Commissioning the FAST TIMing array (FATIMA) at FAIR Phase-0: Half-lives of excited states in the N=50 isotones Pd-96 and Ru-94 (Jazrawi et al., *Rad. Phys. Chem.* 2022). Naš raziskovalni aganžma na FAIR-u smo opisali v članku *Nuclear Physics at the Jožef Stefan Institute* v reviji *Nuclear Physics News*.

Na področju raziskav v atomski, molekularni in optični fiziki smo v letu 2022 objavili rezultate poskusa z laserjem na proste elektrone FERMI, pri katerem smo opazovali interferenco med



Slika 2: DEGAS detektor z montiranimi scintilacijskimi detektorji BGO na eksperimentalni postavitvi kolaboracije DESPEC na GSI/FAIR. Detektorje BGO smo razvili in izdelali na IJS.



Slika 3: Izmerjena in izračunana fazna razlika med dvofotonskima amplitudama $\omega_1 + \omega_2$ in $3\omega_1 - \omega_2$ za vzbuditev resonanc $2s^2$ v heliju v odvisnosti od valovne dolžine svetlobe (Žitnik et al., *Optica* 2022). Δ_g in Δ_a sta fazna premika zaradi potovanja obeh harmonskih komponent skozi plinski atenuator in razlike v njuni fokusaciji.

fotoionizacijskima amplitudama $\omega_1 + \omega_1$ ter $\omega_3 - \omega_1$ v He (Žitnik et al., *Optica* 2022). Merili smo odvisnost pridelka elektronov iz avtoionizacijskega razpada dvojno vzbujenega stanja $2s^2\ ^1S$ v odvisnosti od fazne razlike svetlobe z enojno (ω_1) in trojno (ω_3) frekvenco svetlobe. Pri prehodu vpadne svetlobe XUV skozi attenuator, ki je bil napolnjen z dušikom, je He atomski interferometer zaznal fazni premik (slika 3). Februarja smo izvedli nadaljevalni poskus, pri katerem smo preverjali, ali je lahko občutljivost atomskega interferometra dovolj velika, da bi lahko deloval tudi na energijskem področju, ki ne sovpa z resonanco in kjer je posledično elektronski pridelek precej manjši. Preizkusili smo tudi, ali lahko dobimo podobne rezultate z drugim plinom (neon), vendar se je pokazalo, da se ozadje precej poveča, ker je zaradi večjega števila elektronov v Ne precej višja relativna verjetnost za sekvenčno dvofotonsko absorpcijo kot v He. Namesto dušika je bil v attenuatorju argon, zato da bi z atomskim interferometrom na He izmerili spremembo fazne razlike pri prehodu svetlobe čez resonanco Ar $3s^14p$. Do konca leta 2022 analiza teh zahtevnih meritev še ni bila končana, ker prisotnost fazno odvisne modulacije primesi tretjega harmonika v vpadni svetlobi povzroča netrivialno ozadje.

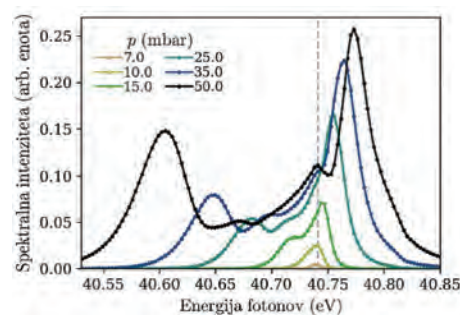
V letu 2022 smo dokončali analizo resonantnih Augerjevih spektrov na območju dvojno vzbujenih stanj $1s^1nl$ v argonu, ki smo jih v sodelovanju s skupino, ki jo vodi Marc Simon iz laboratorija LCPMR v Parizu, izmerili na žarkovni liniji Galaxies na sinhrotronu Soleil v Parizu. Gre za prvi posnetek resonančne mape dvojno vzbujenih stanj sploh. V zvezi s tem smo razvili model, s katerim smo pojasnili spektralno mapo in izpostavili njeno povezavo z enostavnejšimi meritvami fotoabsorpcijskega spektra na istem energijskem področju. Pri tem je bilo treba upoštevati interferenčne efekte in kotno selektivno detekcijo elektronov, pri analizi pa smo uporabili tudi nekaj novih prijemov, ki bodo aktualni pri tovrstnih študijah dvojno vzbujenih stanj v prihodnosti. Rezultate smo predstavili na konferenci EGAS14/ECAMP53, ki je bila leta 2022 v Vilni (Litva).

Špela Krušič je leta 2022 doktorirala z delom *Spektralne lastnosti superfluorescence v daljnem ultravijoličnem in rentgenskem področju*, v katerem opisuje prehod močne svetlobe XUV skozi helijevo plinsko tarčo v paraksialnem približku ter verodostojno upošteva spontano emisijo, ki v resnici odloča o tem, kako poteka njena samoojačitev v smeri vzbujevalnega žarka. Na podlagi njenih računskih rezultatov, ki so bili sprejeti v objavo konec leta 2022, smo istega leta predlagali eksperiment s svetlobo laserja na proste elektrone, kjer bi poskušali stimulirano emisijo v He ne le opazovati v nadzorovanih pogojih, ampak tudi izpeljati kvantitativno primerjavo morebitnega signala s simulacijo (slika 4). V skladu s prizadevanji za prepričljiv eksperimentalni projekt smo v letu 2022 sprožili sodelovanje z laboratorijem CNR-ISN v Milanu. Tam so za prihodnje skupne eksperimente izdelali prototip odprte steklene kapilare za zadrževanje plina.

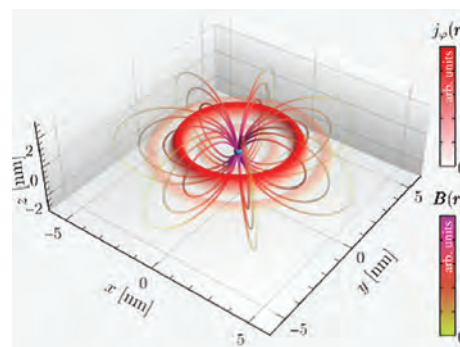
V letu 2022 smo se ukvarjali tudi z analizo rezultatov poskusa, ki smo ga pod vodstvom Andreja Miheliča izvedli na FEL FERMI konec leta 2021 (20209086: Strong continuum-continuum coupling via core excitation in above threshold ionization). Namen poskusa je bil raziskati, ali vzbujanje z močno svetlobo, ki je resonantna s prehodom v helijevem ionu, vpliva na fotoionizacijo atoma He iz osnovnega stanja. Zaradi neidealnega prekrivanja dveh barv, ki smo ju uporabili za vzbujanje plina, nismo mogli potrditi dikroičnega efekta, opazili pa smo resonančni odziv signala enobarvne dvofotonske ionizacije ter odvisnost širine absorpcijske črte od intenzitete svetlobe pri sekvenčni vzbuditvi prehoda $1s \rightarrow 2p$ v He⁺. Ker gre deloma za signal, ki je na meji detekcije, je potrebna izjemno natančna simulacija vseh pojavov, ki bi utegnili vplivati na končni rezultat. To je močno povečalo časovno zahtevnost problema, kjer je treba natančne modele najprej razviti in šele potem primerno poenostaviti, da lahko pridemo do rezultatov za primerjavo z eksperimentom v doglednem času.

Na področju raziskav z zavrteno svetlobo, ki jih vodi Giovanni De Ninno (Fermi/UNG), nam je uspelo objaviti nove rezultate (Wätzel et al., *Phys. Rev. Lett* 2022). Pokazali smo, da je mogoče prek interakcije svetlobe s snovjo generirati magnetizacijo na nanometrski skali. Analiza dikroizma pri poskusu na FEL FERMI, kjer smo s kratkim in močno fokusiranim sunkom svetlobe XUV vzbudili He atome v enojno vzbujena stanja, od tam pa jih s sunkom zavrtene svetlobe dvignili v vrteča se Rydbergova stanja, je pokazala nastanek prostorsko omejenih (na osi žarka XUV) in obstojnih (življenjski čas Rydbergovih stanj) magnetnih polj, ki jih generirajo atomske tokovne zanke vrtečih se Rydbergovih valovnih paketov (slika 5).

V sodelovanju s skupino francoskih raziskovalcev pod vodstvom Francisa Penenta iz Laboratorija LCPMR v Parizu smo v letu 2022 objavili članek, v katerem poročamo o izboljššanem filtriranju multielektronskih koincidenč pri enofotonski večkratni ionizaciji Xe nad ionizacijskim pragom 4d (Ismail et al., *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2022). V merilno shemo elektronskega spektrometra na magnetno steklenico smo namreč vpeljali detekcijo končnega ionskega stanja po relaksaciji, ki ga je mogoče združevati s signalom enega ali več detektiranih elektronov hkrati. S koincidenčnimi podatki smo lahko podrobno mapirali končna stanja večkratno nabitih ionov, recimo Xe³⁺, ki jih ni mogoče izolirati samo iz elektronskih spektrov.

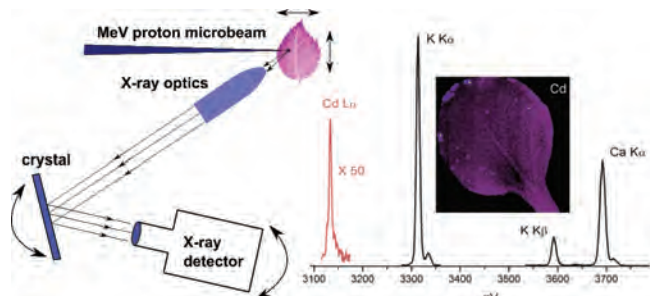


Slika 4: Evolucija spektralne intenzitete samoojačane spontane emisije v smeri vzbujevalnega žarka svetlobe po prehodu skozi 8 mm dolgo plinsko kolono He, izračunana pri različnih vrednostih pritiska (iz doktorata Š. Krušič 2022, objavljeno v Š. Krušič in sod. *Phys. Rev. A* 107, 013113, 2023).



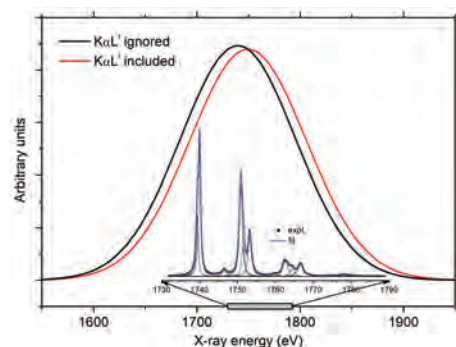
Slika 5: Izračunane tokovnice gostote magnetnega polja v zavrtinem valovnem paketu Rydbergovih stanj za atom nedaleč od osi svetlobnega žarka (Wätzel et al., *Phys. Rev. Lett.* 2022). Po izračunih je vzbujanje z zavrteno svetlobo (svetlobo z neničelnim topološkim nabojem) v plinskem vzorcu ustvarilo magnetni moment $\mu_z = 5.9 \times 10^{-20}$ J/T ($6378\mu_B$), ki je vztrajal do razpada Rydbergovega paketa.

V letu 2022 smo analizirali rezultate poskusa z laserjem na proste elektrone XFEL na žarkovni liniji SCS v Hamburgu, ki smo ga izvedli v sodelovanju z Laurentom Mercadierjem. Začetna faza kvantitativne interpretacije rezultatov poskusa, kjer gre za prvi primer tranzientne absorpcije na področju XUV svetlobe (robova $L_{2,3}$ v Cu), je bila uspešno izvedena. Za objavo v ugledni reviji je treba podrobneje modelirati razvoj plazme in njenega hitrega ohlajanja na kratki časovni skali pri pogojih visoke gostote snovi in visoke intenzitete svetlobe.



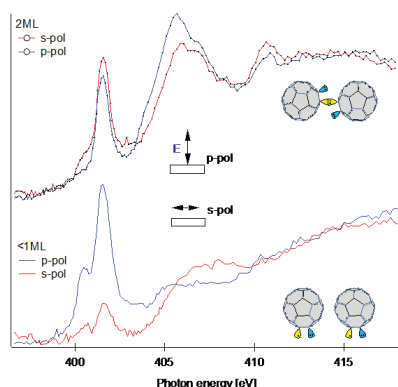
Slika 6: Shematski prikaz spektrometra PB-WDS na žarkovni liniji z zunanjim žarkom in izmerjena porazdelitev kadmija v listu hiperakumulacijske rasiline *Noccaea praecox*.

V okviru raziskav na ionskem pospeševalniku Mikroanalitskega centra IJS smo opravili meritve rentgenskih emisijskih spektrov (XES) žvepla v različnih heteroaromatskih sistemih na osnovi ditenilena (DTE), ki predstavljajo potencialna organska molekularna stikala. Za vzbujanje smo uporabili curek pospešenih protonov z energijo 2 MeV. Emisijske spektre K β smo posneli z Braggovim kristalnim spektrometrom v Johanssonovi geometriji, s katerim dosežemo visoko energijsko ločljivost, primerljivo z razširitvijo črt zaradi končnega življenjskega časa vrzeli v notranji lupini. Visoka energijska ločljivost je ključni eksperimentalni parameter, ki zagotavlja občutljivost in omogoča proučevanje aromatičnosti organskih spojin. Meritve so del projekta ARRS, kjer skupaj z madžarskimi raziskovalci z Wignerjevega raziskovalnega centra za fiziko v Budimpešti proučujemo napredne materiale na osnovi žvepla s področja molekularne elektronike. Rezultati raziskav bodo omogočili boljše razumevanje osnovnih mehanizmov delovanja, kar bo pospešilo njihov nadaljnji tehnološki razvoj.



Slika 7: Rentgenski emisijski spekter K α , izmerjen z visoko energijsko ločljivostjo, pri vzbujanju tarče Si z ioni He z energijo 3 MeV. Konvolucija izmerjenega spektra z Gaussovo krivuljo s širino, ki ustreza energijski ločljivosti polvodniškega detektorja, pokaže vpliv satelitskih prispevkov, ki so posledica večkratne ionizacije v notranjih lupinah K in L.

V okviru razvoja analitskih metod z ionskimi žarki, ki poteka na Mikroanalitskem centru, smo letos zaključili razvoj in gradnjo rentgenskega spektrometra PB-WDS (parallel-beam wavelength dispersive). Spektrometer z uporabo rentgenske polikapilarne optike zagotavlja učinkovito zbiranje izsevane rentgenske svetlobe in jo združuje z visoko energijsko ločljivostjo, ki jo dosežemo z uklonom na ravnem kristalu. Visoka energijska ločljivost odpravi prekrivanje črt v spektrih PIXE, izmerjenih s polvodniškim detektorjem rentgenske svetlobe, in s tem izboljša občutljivost metode. Spektrometer smo vgradili na prenovljeno žarkovno linijo z zunanjim protonskim žarkom, ki omogoča analizo objektov v zunanji atmosferi. Z meritvami standardnih referenčnih vzorcev smo natančno karakterizirali glavne parametre spektrometra in opravili prve meritve porazdelitve elementov v posameznih vzorcih. Z visoko energijsko ločljivostjo spektrometer dopolnjuje standardne polvodniške detektorje, ki se običajno uporabljajo v analizi PIXE in povečujejo analitski potencial zunanjega žarka (sliki 6 in 7).



Slika 8: Spekter NEXAFS, izmerjen na $C_{59}N/Au(111)$. Dvomolekulska plast (zgoraj) ne kaže linearnega dikroizma in povzema bulk fazo dimerov $(C_{59}N)_2$. Monoplast $C_{59}N$ monomerov (spodaj) je orientirana z dušikovim delom fullerena proti površini Au in izkazuje močan dikroizem. Opazno izražena je polovično zasedena orbitala (SUMO) pri 400.5 eV, kar izkazuje povišan radikalen značaj nanosa.

V letu 2022 smo objavili rezultate meritev rentgenskega ramanskega sipanja v okolici kisikovega absorpcijskega roba, s katerimi smo proučevali elektrokemijske mehanizme v baterijah na osnovi redoks aktivnih organskih materialov (*Rajh et al. J. Phys. Chem. C 2022*). Meritve so potekale na žarkovni liniji P01 sinhrotrona PETRA III v Hamburgu v sodelovanju s skupino za moderne baterijske sisteme s Kemijskega inštituta. Na področju meritev PIXE z visoko energijsko ločljivostjo smo objavili rezultate študije satelitskih spektralnih prispevkov pri vzbujanju s He ioni, kar omogoča izboljšavo natančnosti analitske tehnike PIXE pri vzbujanju z ioni He (*Cureatz et al., Spectrochim. Acta B: Atomic Spectroscopy 2022*). Objavili smo rezultate proučevanja občutljivosti emisijskih spektrov K α na kemijsko stanje elementov Ti in Cr v različnih spojinah (*Fazinić in et al., Spectrochim. Acta B: Atomic Spectroscopy 2022*) in vpliva večelektronskih prispevkov v emisijskih spektrih K α v spojinah z elementi tretje periode (*Kavčič and Petric, X-Ray Spectrom. 2022*). Objavili smo tudi rezultate posodobitve žarkovne linije z zunanjim protonskim žarkom na Mikroanalitskem centru, ki po prenovi omogoča meritve porazdelitve elementov v vzorcih z lateralno ločljivostjo nekaj 10 μm (*Isaković et al., Nucl. Instr. Meth. B 2022*).

V okviru raziskav tankih organskih filmov s prirejenimi elektronskimi lastnostmi smo proučevali stabilnost radikalnih filmov azafulerenov ($C_{59}N$) in njihovo potencialno uporabo za molekulske qubite. V sodelovanju z Odsekom za fiziko trdne snovi (F-5, IJS) smo v letu 2022 pridobili dva merilna termina s sinhrotronsko svetlobo na pospeševalniku Elettra (žarkovna linija ID 20220129). S pomočjo meritev NEXAFS in resonančne rentgenske fotoemisije smo pokazali, da se enomolekulska plast $C_{59}N$ na površini Au(111) sklopi z dušikovim delom fullerena proti površini Au in tvori mrežo molekulkovih monomerov z reducirano radikalno strukturo orbital ter služi kot pasivacijska plast za nadaljnjo radikalno fazo $C_{59}N$, ki zraste na njej. Nanosi, debelejši od dveh monoplasti, pa že tvorijo dimere $(C_{59}N)_2$ s spinsko neaktivno diamagnetno strukturo (slika 8). Pojav spinsko aktivne faze azafulerenov v supramonoplastnem nanosu in proučevanje

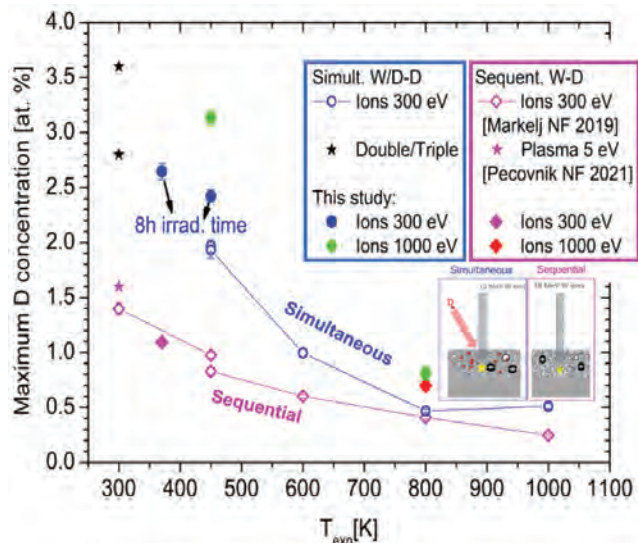
pogojev stabilnosti faze organskih radikalov odpira možnosti novih načinov pri snovanju organskih molekularnih arhitektur za molekularno spintroniko. Na podlagi izsledkov raziskav azafulerenskih radikalov s sinhrotronsko svetlobo smo pridobili dva merilna termina na pospeševalniku Elettra tudi v letu 2023 (ID 20225294 in ID 20220289) in pridobili odobren projekt NFFA Europe (ID 447-2023). Poleg tega smo razširili polje raziskav radikalnih monomerov $C_{59}N$ tudi na meritve z nizkotemperaturno tunelsko mikroskopijo (LT STM).

V Laboratoriju za fuzijske raziskave smo izvajali več nalog, ki jih usklajujemo v okviru konzorcija EUROfusion. Med njimi smo nadaljevali študijo sinergije med kreacijo poškodb in prisotnostjo vodika v kristalni rešetki volframa (Markelj et al., Phys. Scr. 2022). Tokrat smo se osredotočili na vpliv energije in toka devterijevih ionov. Vzorce volframa smo obstrlevali z ioni W energije 10,8 MeV, ob prisotnosti devterijevih ionov ali brez nje, z dvema različnima energijama 300 eV/D in 1000 eV/D, ter pri različnih temperaturah. S povečanjem časa obsevanja W, ionskega toka in energije smo opazili povečanje koncentracije devterija in zadrževanja D. S prilagajanjem globinskih profilov devterija in desorpcijskih spektrov devterija s kodo MHIMS-R smo opazili, da smo z višjim tokom in višjo ionsko energijo lahko dodatno napolnili napake v kristalni rešetki z atomi devterija. To vodi v višjo končno koncentracijo in zadrževanje devterija v primerjavi s poskusi z nižjim tokom in energijo devterijevih ionov (slika 9).

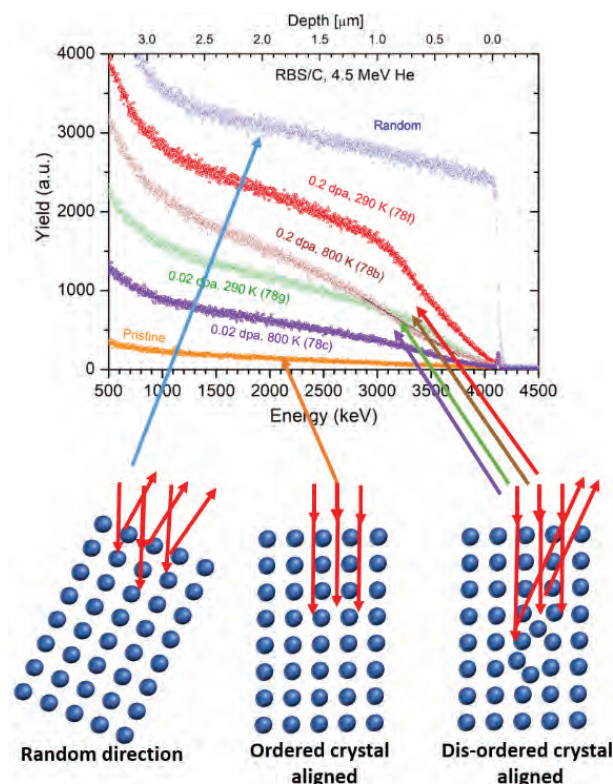
Z meritvijo zadrževanja in transporta devterija smo raziskovali vpliv velikosti zrn na nastanek poškodb zaradi obstrlejanja z visokoenergijskimi ioni v volframu. Opazili smo, da je v nanometrsko zrnatih vzorcih devterij napolnil poškodovano območje več kot trikrat hitreje kot pri vzorcih z večjimi zrni. S tem smo pokazali, da difuzija na mejah zrn poveča transport D skozi material. Koncentracijo defektov smo ocenili s končno koncentracijo devterija v vzorcih. Vzorci z manjšo velikostjo zrn so pokazali večjo koncentracijo devterija v obsevanem območju. Vendar pa razlika v koncentraciji devterija med različno zrnatimi vzorci ni bistvena. Tako lahko zaključimo, da nanokristalinska mikrostruktura ni bistveno vplivala na nastajanje napak zaradi obsevanja, kar bi se lahko zgodilo z anihilacijo napak na mejah zrn v volframu.

V letu 2021 smo pridobili Evropski raziskovalni projekt ENR-MAT.01. JSI z naslovom *Detekcija napak in vodika s pomočjo metod z ionskim žarkom v načinu kanaliziranja za fuzijo - DeHydroC*. Da bi pridobili izkušnje s tehniko ionskega kanaliziranja, smo zaprosili za žarkovni čas pri The Centro de Microanálisis de Materiales (CMAM) – Universidad Autónoma de Madrid, koda predloga P01139. Ta je bil odobren za oktober 2022. Tam smo izvedli meritve na monokristalih W (111), obsevanih z W ioni z energijo 10,8 MeV pri različnih tokovih ionov in temperaturah, da bi ustvarili različne napake v materialu. Izvedli smo meritve z Rutherfordovo spektroskopijo povratnega sipanja v konfiguraciji kanaliziranja z različnimi energijami žarkov ionov 4He , da bi pridobili podrobnejše informacije o vrsti napak in njihovi razširjenosti v kristalni rešetki. Primer izmerjenih spektrov je prikazan na sliki 10, kjer vidimo različne pridelke povratno sipanih ionov na različno pripravljenih vzorcih, med drugim tudi na nepoškodovanem monokristalu volframa v poravnani in naključni konfiguraciji.

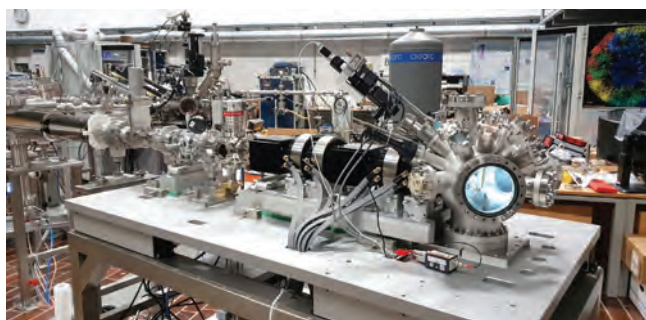
Ionski pospeševalnik je v letu 2022 uporabnikom omogočil delo v obsegu 4000 žarkovnih ur. Obratovanje pospeševalnika je podpiralo nacionalne in mednarodne raziskovalne programe/projekte. Del obratovanja smo namenili programu Mednarodnega dostopa EU v okviru projekta H2020 RADIATE (<https://www.ionbeamcenters.eu/radiate/>). Izvedli smo osem projektov Mednarodnega dostopa v skupnem obsegu 370 žarkovnih ur. V letu 2022 smo sodelovali pri uspešni projektni prijavi ReMade@ARI v okviru mednarodnega združenja ARIE (The Analytical Research Infrastructures in Europe) na področju krožnega gospodarstva. Tako bo projekt ReMade@ARI zagotavljal mednarodni dostop na več kot



Slika 9: Najvišje koncentracije v izmerjenih globinskih profilih devterija v eksperimentu, kjer smo istočasno in zaporedno izpostavljali volfram pri različnih temperaturah obsevanja z volframovimi ioni in izpostavitvi nizkoenergijskim devterijevim ionom. Slike prikazujejo povečano koncentracijo devterija in zato tudi več napak, ustvarjenih ob prisotnosti devterija (Markelj et al., Phys. Scr. 2022).



Slika 10: Pridetek povratno sipanih ionov v konfiguraciji kanaliziranja na poravnani in naključno usmerjenem monokristalu W. Monokristal volframa smo obsevali z različnimi dozami hitrih volframovih ionov in s tem simulirali nevtronske poškodbe med obratovanjem fuzijskega reaktorja ITER.



Slika 11: Nova žarkovna linija za kreacijo in uporabo visokoenergijskih ionskih nanožarkov na tandemske ionem pospeševalniku Instituta "Jožef Stefan".

50 elitnih evropskih analitskih infrastruktur raziskovalcem s področja krožnega gospodarstva in s tem močno podprl napore pri razvoju okoljsko vzdržnih tehnologij. Projekt ReMade@ARI vključuje mednarodni dostop na ionski pospeševalnik IJS v skupnem obsegu 1600 žarkovnih ur.

V letu 2022 smo nadaljevali intenzivne raziskave v biologiji in medicini z visokoenergijskimi fokusiranimi ionskimi žarki. Tako smo z metodo mikro-PIXE določali porazdelitve kroma in drugih elementov v koreninah rastlin, ki sestavljajo umetno mokrišče (*Chen et al., J. Hazard. Mater. 2022*). Histološko smo proučili vzorce tkiv ob protezi kolenskega sklepa, ki je bila zgrajena iz titana in obloge iz poroznega tantalata. V tkivu smo našli območja z visoko koncentracijo titanovih in tantalovih mikrodelcev ter s tem izboljšali razumevanje procesov, ki vodijo k odpovedi umetnih kolenskih sklepov (*Fokter et al., Materials 2022*). Nadaljevali smo z

nadaljnjim razvojem metode kemijske mikroskopije MeV-SIMS, hkrati pa metodo uporabljali pri raziskavah v biomedicini (*Jerome et al., PLoS ONE 2022*).

Med številnimi novimi instalacijami raziskovalne opreme na ionskem pospeševalniku IJS je treba posebej omeniti novo žarkovno linijo, namenjeno kreiranju in uporabi visokoenergijskih ionskih nanožarkov. Pri njeni izgradnji, ki smo jo izvedli v letu 2022, smo v laboratoriju prvič uporabili niz novih tehnologij, med drugim aktivno protivibracijsko zaščito, magnetno zaščito iz mumetala vzdolž poti ionskih žarkov in ionsko lečje, sestavljeno iz štirih magnetnih kvadrupolnih leč (slika 11). Med dolgim in zahtevnim procesom poravnave ionskooptičnih elementov nam je uspelo tvoriti ionske žarke s premeri, manjšimi od 500 nanometrov. Nova žarkovna linija zmora fokusirati ionske žarke z zelo visoko magnetno rigidnostjo do 70 MeV amu, kar je zelo pomembno za prihodnje aplikacije na področjih molekularnega slikanja in kreacije kvantnih centrov v diamantih.

Infrastrukturni center za meritve ionizirajočega sevanja (ICMIS) izvaja aktivnosti pri nadzoru radioaktivnosti življenjskega okolja v Republiki Sloveniji, ki vključujejo obratovalni radiološki nadzor jedrske elektrarne Krško (NEK), monitoring radioaktivnosti v okolici Centralnega skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju, neodvisni nadzor obratovalnega monitoringa NEK in nadzor radioaktivnosti pitne vode v RS. Poleg tega ICMIS meri osebne in okoljske doze ionizirajočega sevanja s termoluminiscenčnimi (TL) dozimetri. Naši laboratoriji, ki se ukvarjajo z dozimetrijo ionizirajočega sevanja, so akreditirani po standardu SIST EN ISO/IEC 17025. V okviru akreditacije smo v letu 2022 uspešno sodelovali pri mednarodnih interkomparacijah in pri teh aktivnostih izkazovali vrhunsko usposobljenost.

Po pooblastilu URSVS smo v letu 2022 opravili meritve osebnih doz s TL dozimetri pri 2168 izpostavljenih delavcih, od tega na IJS pri 140 sodelavcih. Podatke redno pošiljamo na Upravo RS za varstvo pred sevanji v centralni register prejetih doz sevanja. V letu 2022 smo opravili meritve okoljskega doznega ekvivalenta s TL dozimetri na 132 različnih lokacijah.

V letu 2022 smo v NDS opravili 265 kalibracij merilnikov ionizirajočega sevanja, od tega 167 kalibracij merilnikov hitrosti doze, 53 kalibracij elektronskih osebnih dozimetrov in 45 kalibracij merilnikov kontaminacije. Poleg tega smo opravili še 124 serij obsevanj pasivnih dozimetrov.

Skupno smo v laboratoriju LMR opravili 736 meritev v okviru rednih programov nadzora, za sporadične zunanje naročnike pa 41 meritev. V letu 2022 smo v okviru monitoringov radioaktivnosti v okolju opravili 191 meritev vsebnosti tritija v vodnih vzorcih.

V letu 2022 smo za različne naročnike pripravili različna strokovna mnenja:

- *izvajanje programa sistematičnega pregledovanja delovnega okolja v dejavnostih z materiali, ki vsebujejo naravno prisotne radionuklide za leto 2022;*
- *kakovostni in količinski monitoring podzemne vode na vplivnem območju zajezbe za HE Mokrice za INFRA izvajanje investicijske dejavnosti, d. o. o., in IRGO consulting, d. o. o. (v letu 2022 izdano evalvacijsko poročilo za vzorce, vzorčene v letu 2021);*
- *strokovna mnenja o ustreznosti merilnikov, ki jih zaposleni v jedrskih in sevalnih objektih uporabljajo pri svojem delu;*
- *ELME je po naročilu URSJV opravil radiološki pregled pošiljk v Poštnem logističnem centru (PLC) Ljubljana, Cesta v Mestni log 81, 1000 Ljubljana in zanje izdelal strokovno mnenje, ki je opredeljeno v delovnem poročilu IJS-DP-14232;*
- *v letu 2022 smo na Institutu "Jožef Stefan" kot pooblaščen izvajalec izrednega monitoringa pripravili oceno minimalnih kapacitet, ki bi bile potrebne za izvajanje izrednega monitoringa v primeru nesreče v Nuklearni elektrarni Krško;*
- *na pobudo Uprave RS za zaščito in reševanje smo leta 2022 v dopisu QA 138/22 pripravili predlog zaloga za zaščito prebivalstva pred jedrsko ali radiološko nesrečo, bodisi doma bodisi v tujini. Pri oceni smo se osredotočili na merilnike za merjenje sevanja, dozimetrijo prebivalstva in osebno varovalno opremo, s katero bi lahko z našega vidika ustrezno zaščitili populacijo.*

V letu 2022 smo nadaljevali tesno sodelovanje z Uradom RS za meroslovje (MIRS). Kot imenovana institucija znotraj organizacije EURAMET (angl. European Association of National Metrology Institutes) delujemo kot nosilec nacionalnega etalona za področje ionizirajočega sevanja v Sloveniji. V okviru metroloških dejavnosti smo izvajali aktivnosti pri projektih:

- EMPIR 2019, JNT-w08 supportBSS – podpora Evropski metrološki mreži za zanesljivo zakonodajo na področju zaščite pred sevanji,
- PR-02570-1 - Priprava referenčnih in interkomparacijskih vzorcev, sodelovanje z IARMA.

1. 6. 2022 se je začel izvajati evropski projekt Partnerstvo za raziskave na področju varstva pred ionizirajočimi sevanji (The Partnership for Radiation Protection Research) - PIANOFORTE; IJS je v partnerstvu odgovorna institucija za Slovenijo; predvideni so trije klici za prijavo projektov s področja znanosti in raziskav na področju ionizirajočega sevanja.

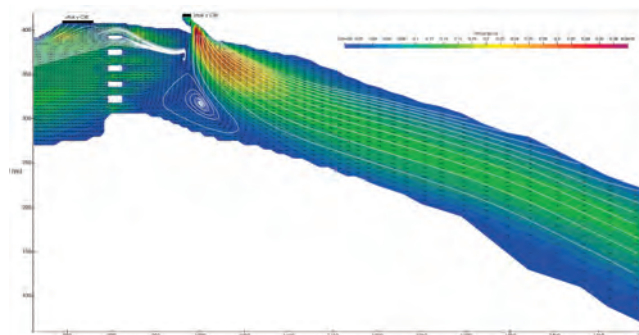
Sodelujemo v programu MEREIA pod pokroviteljstvom IAEA; program združuje znanstvenike in strokovnjake s področja varstva pred sevanji in radioekologije; IJS je bilo zaupano vodenje delovne skupine WG3 *Historical Marine Dumping of Radioactive Waste*.

10. 6. 2022 smo začeli delo na projektu št. SLO9022 v okviru programa Tehnične pomoči IAEA z naslovom *Strengthening the Capacity of Slovenia in Emergency Preparedness and Response Radiation Monitoring*.

V okviru financiranja URSZR smo v letu 2022 pridobili prenosni spektrometer FLIR SPIRACE, ki omogoča fleksibilno identifikacijo in kvantifikacijo radionuklidov na terenu in merilnik hitrosti doze nevtronov Berthold.

V letu 2022 smo zaključili projekt *The Third NEK Periodic Safety Review Program*, poglavje *Safety Factor 15 - Radiological Impact on the Environment*, v Tehničnih specifikacijah, št. SPES1388. Namen projektne naloge je pregled ustreznosti dokumentacije na področju varnostnega faktorja št. 15. Na podlagi ugotovitev pregleda smo bistveno prispevali k izdaji dovoljenja za obratovanje NEK v naslednjem obratovalnem obdobju.

V letu 2022 smo nadaljevali projektno nalogo Vpliv HE Brežice na NEK in Poročilo o vplivih na okolje za podaljšanje obratovalne dobe NEK. Po izgradnji HE Brežice so v reki Savi nastale nove hidravlične razmere, ki jih ne poznamo dobro. Na spremembe v režimu toka reke Save po izgradnji HE Brežice kažeta vizualna opazovanja lokalnega prebivalstva (ribiči) in vrednotenje izmerjenih koncentracij aktivnosti tritija na vzorčevalnih postajah (v pretočni akumulaciji HE Brežice, nad jezom HE Brežice in Brežice). Ugotavljamo, da se je spremenilo razredčitveno razmerje koncentracij aktivnosti v reki Savi pri Brežicah, na drugih lokacijah pa ni znano. V skladu s tehnično specifikacijo *DOSE CALCULATION and DILUTION MODELLING of RUN-OF-RIVER BREZICE HYDRO PLANT ACCUMULATION* št. TO. RZ-5/2020 je bil izdelan numerični program za oceno učinkov prebivalstva (DOSENEK), ki temelji na ovrednotenju razredčitvenih koeficientov oziroma razredčitvenih razmerij v pretočni akumulaciji HE Brežice z uporabo preizkušenega modela PCFLOW3D (slika 12).



Slika 12: Prikaz trajektorij v površinskem sloju (od 0,0 m do 0,4 m) za primer pretoka reke Save 50 m³/s od jezua NEK nizvodno v pretočni akumulaciji HE Brežice. Povzeto po B. Zorko, R. Rajar, G. Omahen, A. Širca, M. Četina, V. Hatič, Program za izračun efektivnih doz zaradi tekočinskih izpustov iz NEK št. 164/2022 in 9/2023.

Izvajali smo projektno nalogo Izdelava ocene upravičenosti za predmete splošne rabe, ki vsebujejo dodane radionuklide ter ocene varstva pred sevanji za minerale oz. kamnine z naravnimi radionuklidi. Nadaljevali smo dejavnosti v okviru projekta *Kakovostni in količinski monitoring podzemne vode na vplivnem območju zajeze za HE Mokrice*. Namen projekta je ugotavljanje stanja okolja pred začetkom gradnje HE Mokrice. Naša skupina pri nalogi sodeluje pri ugotavljanju koncentracije aktivnosti H-3 in skupne vsebnosti sevalcev alfa in beta v vodah iz vrtin na območju gradnje.

Nadaljevali smo optimizacijo metode za določevanje organsko vezanega tritija (OBT) in tritija v prosti celični vodi (tissue free water tritium, TFWT). V letu 2022 smo izvedli 58 meritev TFWT in OBT. V raziskovalni študiji o vsebnosti sevalcev alfa in beta v vzorcih pitne vode v Sloveniji smo vzorčili in analizirali 173 vzorcev. Opravili smo 165 meritev vsebnosti C-14 v vodi, bioti, pohištenih polizdelkih, urinu in gorivih ter etanolu v prvotni obliki in kot CO₂. V letu 2022 smo ugotavljali tudi vsebnosti tritija v urinu. Leto 2022 je bilo bogato z interkomparacijskimi testi, za vse metode skupaj smo opravili 104 meritve. V sklopu priprave, testiranja in karakterizacij interkomparacijskih vzorcev za agencijo IARMA smo pripravili in analizirali 139 meritev.

V letu 2022 smo zaključili inštalacijo rentgenske naprave Comet iXRS-320 z napetostjo 320 kV, s katero smo močno izboljšali naše zmogljivosti pri kalibraciji merilnikov v rentgenskem polju.

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. ICNMTA, Ljubljana, 11.-16. 9. 2022
2. Slovenski nacionalni FAIR dan, Ljubljana, 16. 11. 2022

MEDNARODNI PROJEKTI

1. EMPIR - supportBSS; Podpora Evropski metrološki mreži za zanesljivo zakonodajo o zaščiti pred sevanjem
EURAMET e.V.
mag. Denis Glavič Cindro
2. EMPIR; AEROMET II; Napredna metrologija aerosolov za znanost o atmosferi in za kvaliteto zraka
EURAMET e.V.
doc. dr. Klemen Bučar
3. COST CA18222; Atosekunda kemija
COST Association AISBL
doc. dr. Andrej Mihelič
4. COST CA18212; Molekularna dinamika v plinasti fazi
COST Association AISBL
prof. dr. Matjaž Žitnik
5. Regionalni projekt TC RER/7/014: Posodabljanje elementov nadzora radioaktivnosti okolja in ocene vplivov v regiji
IAEA - International Atomic Energy Agency
doc. dr. Benjamin Zorko
6. Eksperimenti in modeliranje in situ prevzemanja, transporta in sproščanja vodikovih izotopov v obstreljevanem volframu; Permeacija vodika v materialih pomembnih za fuzijo
IAEA - International Atomic Energy Agency
doc. dr. Sabina Markelj
7. Detekcija vodikovih izotopov preko NRA metode, preseki in dobre prakse; Razvoj in uporaba tehnik s pospešenimi ioni za obstreljevanje in karakterizacijo materialov pomembnih za fuzijsko tehnologijo
IAEA - International Atomic Energy Agency
doc. dr. Sabina Markelj
8. H2020 - TRANSAT; Povezujoče aktivnosti za tritij
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
9. H2020 - RADIATE; Raziskave in razvoj z ionskimi žarki - Napredna tehnologija v Evropi
European Commission
prof. dr. Matjaž Kavčič
10. H2020 - ČistaVKE; Čista energija iz vodika in kovin
European Commission
prof. dr. Matej Lipoglavšek
11. H2020 - HITRIplus; Integracija raziskav težko jonskih terapij
European Commission
doc. dr. Matjaž Vencelj
12. OE - EUROfusion; WP07: ENR-DeHydroc-1,2,3_OE-FU
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
13. OE - EUROfusion; WP18: MAT_OE-FU, IREMEV-MAT-1_OE-FU, IREMEV-MAT-2_OE-FU, IREMEV-MAT-3_OE-FU
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
14. OE - EUROfusion; WP21: PRD-1,2_OE-FU
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
15. OE - EUROfusion; WP05: PWIE-1,2,3_OE-FU, PWIE-4-pospeševalnik
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
16. OE - EUROfusion; WP24: TRED_OE-FU, EDU_OE-FU
European Commission
prof. dr. Primož Pelicon
17. OE - PIANOFORTE; Partnerstvo za raziskave na področju varstva pred ionizirajočimi sevanji
European Commission
doc. dr. Benjamin Zorko
18. OE - ReMade-at-ARI; Razvoj obnovljivih materialov na analitskih raziskovalnih infrastrukturah
European Commission
prof. dr. Primož Pelicon
19. OE - TITANS; Vpliv in prenos tritija v naprednih jedrskih reaktorjih
European Commission
doc. dr. Sabina Markelj
20. EMPIR; OpMetBat - Operando metrologija materialov za shranjevanje električne energije
EURAMET e.V.
prof. dr. Matjaž Kavčič

PROGRAMI

1. Raziskave arheološke dediščine
dr. Eva Menart
2. Predmet kot reprezentanca: okus, ugled, moč (Raziskave materialne kulture na Slovenskem)
dr. Marijan Nečemer
3. Vzporedni in porazdeljeni sistemi
prof. dr. Roman Trobec
4. Struktura hadronskih sistemov
prof. dr. Simon Širca
5. Raziskave atomov, molekul in struktur s fotoni in delci
prof. dr. Matjaž Žitnik
6. Fuzijske tehnologije
doc. dr. Sabina Markelj

PROJEKTI

1. Prostorska razporeditev elementov in metabolitov v rastlinah
prof. dr. Katarina Vogel-Mikuš
2. Strukturirana svetloba kot orodje za tvorbo in analizo novih stanj snovi
prof. dr. Matjaž Žitnik
3. Alternativni pristopi k zagotavljanju kvalitetnega in varnega mikrobioma ajde
prof. dr. Primož Pelicon
4. Š spoznanji iz delovanja rastlin z učinkovitim privzemom mineralnih hranil do izboljšane preskrbe z minerali
prof. dr. Primož Pelicon
5. Visoko energijski aluminij kovinski-organski akumulatorji
prof. dr. Matjaž Kavčič
6. Slikanje modularnih razdelitev na nivoju celice
prof. dr. Primož Pelicon
7. Novi indikatorji klimatskih sprememb v stalagmitih v Sloveniji
prof. dr. Primož Pelicon
8. Rentgenska spektroskopija v nežnem energijskem področju za proučevanje naprednih materialov in dinamičnih procesov
prof. dr. Matjaž Kavčič
9. Detekcija napak in vodika v kristalni rešetki s pomočjo ionskih metod v načinu kanaliziranja za fuzijo
doc. dr. Sabina Markelj
10. Precizijske študije inkluzivnega odziva jeder
prof. dr. Simon Širca
11. Načrtovanje in razvoj DT-procesiranih Fe-Al zlitin s samotvornimi preprekami za prepustnost vodika za najzahtevnejša okolja
doc. dr. Sabina Markelj
12. Izdelava posameznih NV centrov v diamantu z ionsko implantacijo
dr. Žiga Barba
13. SiMBION - EuBI
prof. dr. Primož Pelicon
14. FAIR
dr. Jelena Vesić
15. PLASMA SEED TREATMENT: Inovativna eko plazemska obdelava semen (za setev ter za prehrano ljudi in živali)
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Primož Pelicon
16. ELME - Ekološki laboratorij z mobilno enoto
Ministrstvo za obrambo
prof. dr. Matej Lipoglavšek
17. Monitoring radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS za leto 2022
Ministrstvo za okolje in prostor
doc. dr. Benjamin Zorko
18. Izvedba monitoringa radioaktivnosti pitne vode za leto 2022
Ministrstvo za zdravje
doc. dr. Benjamin Zorko
19. Izvajanje programa nadzora radioaktivnosti v okolici objekta CSRAO 2022
ARAO, Ljubljana
dr. Marijan Nečemer
20. Izdelava ocene upravičenosti za predmete splošne rabe, ki vsebujejo dodane radionuklide ter ocene varstva pred sevanji za minerale oz. kamnine z naravnimi radionuklidi
Ministrstvo za okolje in prostor
doc. dr. Benjamin Zorko
21. MANJŠE USLUGE
mag. Branko Vodenik
22. Kalibracije
Boštjan Črnič, mag. med. fiz.
23. Razne analize; Referenčni materiali
dr. Jasmina Kožar Logar

- CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
prof. dr. Primož Pelicon
- Meritve C-14
dr. Romana Krištof

- Podpora pri NEK PSR 3 Projektnih nalogah „Okolje“ in „Radiološka zaščita“ Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Benjamin Zorko
- Umerjanje prenosnih merilnikov radiološke zaščite v sekundarnem laboratoriju v letih 2022, 2023 in 2024
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
Boštjan Črnič, mag. med. fiz.
- SKLOP1: Meritve plinastih efluentov - Specifične analize H-3 in C-14 v letih 2022, 2023, 2024 in 2025; SKLOP 2: Meritve Plinastih efluentov - Spektrometrija gama in analiza stroncija Sr-89/90 v letih 2022, 2023, 2024 in 2025
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Benjamin Zorko
- Obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK v povezavi s HE Brežice za leti 2022 in 2023
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Benjamin Zorko

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

- Vzdrževanje pripravljenosti izrednega monitoringa radioaktivnosti ELME 2020-2023
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Benjamin Zorko
- Kakovostni in količinski monitoring podzemne vode na vplivnem območju zajeze za HE Mokrice
IRGO Consulting, d. o. o.
doc. dr. Benjamin Zorko
- Vpliv HE Brežice na NEK in poročilo o vplivih na podaljšanje obratovalne dobe NEK
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Benjamin Zorko

OBISKI

- Ioannis Krimitsas, University of Ioannina, Ioannina, Grčija, 1. 1.-6. 5. 2022
- dr. Juergen Gerl, FAIR/GSI, Darmstadt, Nemčija, 28.-30. 3. 2022
- Maxime Martin, University of Bordeaux, Bordeaux, Francija, 17. 4.-17. 6. 2022
- Rashid DALLAEV, University of Brno, Brno, Češka, 9. 5.-9. 8. 2022
- Marko Radosavljević, ISRN, Pariz, Francija, 18. 7.-5. 8. 2022
- Evgeniya Soboleva, IARMA Limited, Dunaj, 18.-19. 8. 2022
- Njomza Elezaj, University of Priština, Priština, Kosovo, 29. 8.-2. 9. 2022
- Agnieszka Fulara, Joanna Lemańska, Central Laboratory for Radiochemical Protection, Varšava, Poljska, 3.-14. 10. 2022
- Dvora Namdar, Hanita Zemah, Agricultural Research Organisation - Volcani Institute, Rishon LeZion, Izrael, 6.-11. 11. 2022

- Denis Glavič Cindro, Sandi Gobec, Toni Petrovič, Klara Poiškruh, Petra Prem, Rok Roš Opaškar, Branko Vodenik, Benjamin Zorko, RUME 1/22, Brinje, 21. 4. 2022
- Denis Glavič Cindro, Jasmina Kožar Logar, Toni Petrovič, ICRM-LLRMT 2022, Assegi, Italija, 1.-7. 5. 2022
- Denis Glavič Cindro, Sandi Gobec, Vodenik Branko, Krško, ROMENEK, 6.-8. 6. 2022
- Denis Glavič Cindro, sestanek dveh komitejev IFIN HH, sestanek ICRM, Bukarešta, Romunija, 14.-18. 11. 2022
- Denis Glavič Cindro, Miha Mihovilovič, Branko Vodenik, Benjamin Zorko, usposabljanje enot GEŠP, Radlje ob Savi, 21. 11. 2022
- Sandi Gobec, Miha Mihovilovič, Toni Petrovič, Petra Prem, Rok Roš Opaškar, Branko Vodenik, BDZIR 2022, Ptuj, 25.-28. 5. 2022
- Sandi Gobec, Miha Mihovilovič, Klara Poiškruh, Branko Vodenik, usposabljanje enot GEŠP, Jesenice, 7. 11. 2022
- Boštjan Jenčič, CAARI-SNEAP2022, Denton, ZDA, 28. 10.-5. 11. 2022
- Matjaž Kavčič, Marko Petric, Ava Rajh, EXRS2022, Bruges, Belgija, 26. 6.-1. 7. 2022
- Matjaž Kavčič, BTAP, Grenoble, Francija, 26.-29. 10. 2022
- Matjaž Kavčič, Ava Rajh, International Workshop on Laboratory-based X-ray Spectroscopies 2022, Helsinki, Finska, 23.-26. 11. 2022
- Mitja Kelemen, HEP CROSSING annual meeting 2022, Leipzig, Nemčija, 5.-7. 10. 2022
- Jasmina Kožar Logar, RadChem 2022, Marianske Lazne, Češka republika, 15.-21. 5. 2022
- Jasmina Kožar Logar, TRITUM2022, Bukarešta, Romunija, 16.-22. 10. 2022
- Jasmina Kožar Logar, 19th ALMERA Coordination Meeting, Monte Carlo, Monako, 21.-25. 11. 2022
- Matej Lipoglavšek, 17th Russbach School on Nuclear Astrophysics, Russbach, Avstrija, 13.-18. 3. 2022
- Matej Lipoglavšek, 15th International Workshop on Anomalies in Hydrogen Loaded Metals and CleanHME General Assembly, Assisi, Italija, 25.-29. 9. 2022
- Matej Lipoglavšek, Miha Mihovilovič, Strateški dnevi IJS, Kranjska Gora, 8.-9. 11. 2022
- Sabina Markelj, RCM 2, Zagreb, Hrvaška, 17.-21. 10. 2022
- Miha Mihovilovič, usposabljanje gasilcev, Ig, 22. 3. 2022
- Miha Mihovilovič, 14th CBRN Task Team Meeting - rescEU CBRN DSM, Bruselj, Belgija, 7.-8. 6. 2022
- Miha Mihovilovič, Toni Petrovič, Klara Poiškruh, Rok Roš Opaškar, ROMENEK 2/2022, Krško, 12.-14. 9. 2022
- Miha Mihovilovič, 7. radioamatersko usposabljanje ARON, Ig, 15. 10. 2022
- Miha Mihovilovič, Rok Roš Opaškar, Branko Vodenik, usposabljanje enot GEŠP, Bovec, 14. 11. 2022
- Primož Pelicon, Matjaž Kavčič, RADIATE Midterm Meeting, Lizbona, Portugalska, 12.-17. 7. 2022
- Primož Pelicon, kick-off meeting projekta EU ReM@e@ARI, Dresden, Nemčija, 21.-24. 9. 2022
- Primož Pelicon, Rajh Ava, Mirjana Vasić, RADIATE summer school and conference, Firenze, Italija, 4.-7. 10. 2022
- Primož Pelicon, EuNPC 2022, Santiago de Compostella, Španija, 23.-29. 10. 2022
- Klara Poiškruh, Benjamin Zorko, IRPA 2022, Budimpešta, Madžarska, 29. 5.-3. 6. 2022
- Paula Pongrac, Slovensko posvetovanje mikroskopicov, Ankaran, 12.-13. 5. 2022
- Paula Pongrac, The International Conference on Accelerators for Research and Sustainable Development, Dunaj, Avstrija, 22.-27. 5. 2022
- Esther Punzon Quijorna, The International Conference on Accelerators for Research and Sustainable Development, Dunaj, Avstrija, 22.-27. 5. 2022
- Rajh Ava, HERCULES 2022, Pariz, Francija, 20.-26. 3. 2022
- Primož Vavpetič, ECAART14, Sibiu, Romunija, 17.-23. 7. 2022
- Jelena Vesić, NUPPEC, Madrid, Španija, 5.-7. 5. 2022
- Jelena Vesić, NUSTAR Collaboration Meeting 2022, Darmstadt, Nemčija, 19.-23. 9. 2022
- Jelena Vesić, G-PAC 45 meeting, Darmstadt, Nemčija, 28.-30. 9. 2022
- Jelena Vesić, AGATA steering committee, Milano, Italija, 11.-13. 10. 2022
- Jelena Vesić, NUPECC meeting, Dunaj, Avstrija, 30. 11.-2. 12. 2022
- Benjamin Zorko, kick-off meeting PIANOFORTE, Pariz, Francija, 13.-15. 6. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- Žiga Brenčič: Exotic Isotopes and Exotic bound states, 3. 5. 2022
- Marco Durante, prof. dr., GSI, Darmstadt, Nemčija: Recent advances in particle therapy, 23. 5. 2022
- Dijana Djeordjić: Electron screening in nuclear reactions, 7. 3. 2022
- Juergen Gerl, dr., FAIR/GSI, Darmstadt, Nemčija: Research Opportunities and Perspectives of NUSTAR at FAIR, 29. 3. 2022
- Jan Gobec: Karakterizacija detektorja elektronov, 19. 9. 2022
- Boštjan Jenčič: MeV-SIMS imaging mass spectrometry at Jožef Stefan Institute, 13. 1. 2022
- Ioannis Krimitsas, University of Ioannina, Ioannina, Grčija: Calibration of the Silicon Drift Segmented Detector by Means of the GeoPIXE Software, 26. 4. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJIH

- Žiga Brenčič, 7th Superconductivity summer school, Oxford, Velika Britanija, 4.-11. 7. 2022
- Žiga Brenčič, Gregor Košir, Zakopane Conference on Nuclear Physics, 2022, Zakopane, Poljska, 27. 8.-4. 9. 2022
- Žiga Brenčič, Euroschool on exotic beams 2022, La Rábida, Španija, 10.-17. 9. 2022
- Klemen Bučar, Matjaž Žitnik, delovni sestanek za Aeromet projekt - M22, Berlin, Nemčija, 7.-10. 6. 2022
- Klemen Bučar, Matjaž Žitnik, Aeromet II Delovni sestanek M27, Bern, Švica, 6.-9. 11. 2022
- Klemen Bučar, Darko Hanžel, Mateja Hrast, Matjaž Kavčič, Janez Turnšek, Primož Vavpetič, Matjaž Žitnik, 12. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah, Terme Čatež, 11. 11. 2022
- Aleksandra Cvetinović, The 11th European Summer School on Experimental Nuclear Astrophysics Aula E. Migneco, Catania, Italija, 12.-19. 6. 2022
- Aleksandra Cvetinović, INPC2022, Cape Town, Južna Afrika, 10.-18. 9. 2022
- Boštjan Črnič, Miha Mihovilovič, Petra Prem, Rok Roš Opaškar, Branko Vodenik, ELME-RKBO, Brinje, 17. 2. 2022
- Boštjan Črnič, Toni Petrovič, Klara Poiškruh, EURADOS AM2022, Beograd, Srbija, 19.-24. 6. 2022
- Boštjan Črnič, Sandi Gobec, Miha Mihovilovič, Toni Petrovič, Klara Poiškruh, Petra Prem, Rok Roš Opaškar, Branko Vodenik, Benjamin Zorko, PRIMER 2022, Brinje, 27. 9. 2022
- Boštjan Črnič, Miha Mihovilovič, Rok Roš Opaškar, usposabljanje enot GEŠP, Nova Gorica, 28. 11. 2022
- Boštjan Črnič, Petra Prem, Rok Roš Opaškar, Branko Vodenik, RUME, Brinje, 22. 12. 2022

54. Benjamin Zorko, ICRR 2022, Oslo, Norveška, 4.-9. 9. 2022
55. Benjamin Zorko, 11. Simpozij KOPAČKI RIT JUCER, DANAS, SUTRA 2022, Osijek, Hrvaška, 28.-30. 9. 2022
56. Benjamin Zorko, 2nd Technical Meeting MEREIA, Dunaj, Avstrija, 27. 11.-2. 12. 2022
57. Matjaž Žitnik, ECAMP14, Vilnius, Litva, 26. 6.-1. 7. 2022

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Žiga Brenčič: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 21.-26. 2. 2022 (meritve)
2. Žiga Brenčič, Matjaž Vencelj: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 10.-18. 3. 2022 (meritve)
3. Žiga Brenčič, Matjaž Vencelj: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 16.-29. 6. 2022 (meritve)
4. Žiga Brenčič: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 17.-21. 10. 2022 (meritve)
5. Žiga Brenčič: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 21.-23. 11. 2022 (meritve)
6. Žiga Brenčič, Gregor Košir: Darmstadt, Nemčija, 4.-17. 12. 2022 (meritve)
7. Klemen Bučar, Špela Krušič, Matjaž Žitnik: Elettra, Trst, Italija, 10.-15. 2. 2022 (meritve)
8. Klemen Bučar, Špela Krušič, Matjaž Žitnik: Elettra, Trst, Italija, 9.-14. 5. 2022 (meritve)
9. Klemen Bučar: IRSN, Pariz, Francija, 15.-21. 5. 2022 (meritve)
10. Aleksandra Cvetinović, Matej Lipoglavšek: University of Szczecin, Szczecin, Poljska, 28. 11.-9. 12. 2022 (meritve)
11. Gregor Košir: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 15. 2.-31. 3. 2022 (priprava eksperimenta)

12. Gregor Košir, Jelena Vesic: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 3.-9. 4. 2022 (priprava eksperimenta)
13. Gregor Košir, Eva Seme: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 3.-17. 5. 2022 (priprava eksperimenta)
14. Gregor Košir, Eva Seme, Jelena Vesic: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 7.-29. 6. 2022 (priprava eksperimenta, meritve)
15. Gregor Košir, Eva Seme: ALto, IPN, Orsay, Francija, 17.-22. 10. 2022 (NuBall2 eksperiment)
16. Matej Lipoglavšek: Prometeon s.r.l., Belluno, Italija, 22. 9. 2022 (meritve)
17. Sabina Markelj, Esther Punzon Quijorna: CMAM, Madrid, Španija, 26.-29. 10. 2022 (meritve)
18. Miha Mihovilovič, Rok Roš Opaškar: BFS, Reust, Nemčija, 27.-30. 6. 2022 (meritve)
19. Miha Mihovilovič, Univerza v Mainz, Mainz, Nemčija, 18.-21. 7. 2022 (meritve)
20. Paula Pongrac, Katarina Vogel-Mikuš: Elettra, Trst, Italija, 8.-13. 8. 2022 (meritve)
21. Matjaž Vencelj, Jelena Vesic: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 5.-15. 5. 2022 (meritve)
22. Matjaž Vencelj: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 8.-15. 12. 2022 (meritve)
23. Jelena Vesic: ALto, IPN, Orsay, Francija, 11.-18. 7. 2022 (NuBall2 eksperiment)
24. Jelena Vesic: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 24.-27. 9. 2022 (meritve)
25. Jelena Vesic: RIKEN, Wako, Japonska, 5.-12. 12. 2022 (meritve)
26. Jelena Vesic: GSI-FAIR, Darmstadt, Nemčija, 13.-17. 12. 2022 (meritve)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Iztok Arčon*, znanstveni svetnik
2. doc. dr. Klemen Bučar
3. dr. Aleksandra Cvetinović
4. prof. dr. Dean Cvetko*, znanstveni svetnik
5. mag. Denis Glavič Cindro
6. dr. Darko Hanžel
7. prof. dr. Matjaž Kavčič
8. dr. Jasmina Kožar Logar
9. dr. Romana Krištof*
10. prof. dr. Matej Lipoglavšek
11. doc. dr. Sabina Markelj
12. doc. dr. Andrej Mihelič
13. doc. dr. Miha Mihovilovič
14. dr. Marijan Nečemer
15. **prof. dr. Primož Pelicon, znanstveni svetnik - vodja odseka**
16. dr. Toni Petrovič
17. dr. Paula Pongrac*
18. dr. Jurij Simič
19. prof. dr. Simon Širca*, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
20. dr. Primož Vavpetič
21. doc. dr. Matjaž Vencelj
22. dr. Jelena Vesic
23. mag. Branko Vodenik
24. prof. dr. Katarina Vogel-Mikuš*, znanstveni svetnik
25. doc. dr. Benjamin Zorko
26. prof. dr. Matjaž Žitnik, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine

Podoktorski sodelavci

27. dr. Žiga Barba
28. dr. Boštjan Jenčič
29. dr. Eva Menart*
30. dr. Marko Petric
31. Esther Punzon Quijorna, PhD. in Physics, Universidad Autonoma de Madrid, Advanced Materials and Nanotech

Mlajši raziskovalci

32. Žiga Brenčič, mag. fiz.
33. *Mateja Hrast, mag. fiz., odšla 25. 11. 2022*
34. Gregor Košir, mag. fiz.
35. *Špela Krušič, mag. fiz., odšla 1. 10. 2022*
36. Eva Lovšin, mag. fiz.
37. Ava Rajh, mag. fiz.
38. Janez Turnšek, mag. fiz.
39. Mirjana Vasič, Msc., Srbija

Strokovni sodelavci

40. Boštjan Črnič, mag. med. fiz.
41. Polona Gerjol, dipl. inž. teh. var. (UN)
42. Mitja Kelemen, mag. fiz.
43. Klara Poiskruh, mag. med. fiz.
44. Petra Prem, prof. biol. in gosp.
45. Matevž Skobe, dipl. inž. el. (VS)

Tehniški in administrativni sodelavci

46. Mojca Gantar
47. Sandi Gobec
48. Andrej Košiček, univ. dipl. fiz.

49. Mirko Ribič, kom. inž.
50. Rok Roš Opaškar

Opomba

- * delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

Domače

1. Acroni, Jesenice
2. Agencija za radioaktivne odpadke, Ljubljana
3. AMES, avtomatski merilni sistemi za okolje, d. o. o., Brezovica pri Ljubljani
4. BLAJ - Anton Blaj, d. o. o., Griže
5. Bolnišnica Sežana, Sežana
6. Calcit, d. o. o., Stahovica
7. Cosylab, d. d., Ljubljana
8. Domel, d. o. o., Železniki
9. EVT SISTEMI, d. o. o., Idrija
10. Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Univerza v Ljubljani
11. Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani
12. Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru
13. Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, Ljubljana
14. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana
15. Instrumentation Technologies, d. d., Solkan
16. Kemijski inštitut Ljubljana
17. Klinični center, Ljubljana
18. Krka, tovarna zdravil, d. d., Novo mesto
19. MEDENS, d. o. o., Mozirje
20. Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani
21. MEIS storitve za okolje, d. o. o., Mali Vrh pri Šmarju
22. Ministrstvo za finance, Carinska uprava Republike Slovenije, Generalni carinski urad, Ljubljana
23. Ministrstvo za finance, Finančna uprava Republike Slovenije, Generalni finančni urad, Ljubljana
24. Ministrstvo za kmetijstvo in okolje, Uprava RS za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, Ljubljana
25. Ministrstvo za notranje zadeve, Policija, Ljubljana
26. Ministrstvo za obrambo, Generalštab Slovenske vojske, Ljubljana
27. Ministrstvo za obrambo, Uprava Republike Slovenije za zaščito in sodelovanje, Ljubljana
28. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana
29. Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost, Ljubljana
30. Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in tehnologijo, Urad Republike Slovenije za meroslovje, Ljubljana
31. Ministrstvo za zdravje, Uprava Republike Slovenije za varstvo pred sevanji, Ljubljana
32. Narodna galerija, Ljubljana
33. Nacionalni Laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Maribor
34. Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana
35. Narodni muzej Slovenije, Ljubljana
36. Nuklearna elektrarna Krško, Krško
37. Onkološki inštitut, Ljubljana
38. Papirnica Vevče, d. o. o., Ljubljana
39. Pikas, d. o. o., Tolmin
40. Pošta Slovenije, d. o. o., Maribor
41. Rudnik Žirovski vrh, Javno podjetje za zapiranje rudnika urana, d. o. o., Gorenja vas

42. Splošna bolnišnica Dr. Franca Derganca Nova Gorica, Šempeter pri Gorici
43. Splošna bolnišnica Novo mesto, Novo mesto
44. Štore Steel, d. o. o., Štore
45. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za biologijo, Ljubljana
46. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za živilstvo, Ljubljana
47. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana
48. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana
49. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana
50. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Maribor
51. Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko, Maribor
52. Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica
53. Zavod za varstvo pri delu, d. d., Ljubljana

Tuje

1. Aix-Marseille Université - CNRS / PIIM Laboratory, Marseille, Francija
2. ATOMKI, Institut of Nuclear Research, Debrecen, Madžarska
3. AUTH, Aristotelio Panepistimio Thessalonikis, Thessaloniki, Grčija
4. BEV/PTP, Bundesamt fuer Eich- und Vermessungswesen, Physikalisch-Technischer Pruefdienst, Dunaj, Avstrija
5. BfS, Bundesamt fuer Strahlenschutz, Salzgitter, Nemčija
6. BOKU, Universitaet fuer Bodenkultur Wien, Dunaj, Avstrija
7. CEA, Commissariat a l' Energie Atomique, Francija
8. CIEMAT, Centro de investigaciones energeticas, medioambientales y tecnologicas, Madrid, Španija
9. CMI, Cesky Metrologicky Institut Brno, Brno, Češka republika
10. CSIC, Rocasolano, Madrid, Španija
11. DESY, HASYLAB, Hamburg, Nemčija
12. Die Leitseite der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen (RWTH Aachen University of Technology), Nemčija
13. ENEA, Agenzia Nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Rim, Italija
14. ENVINET, ENVINET a.s., Třebíč, Češka republika
15. European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, Francija
16. Elettra, Sinchrotrone Trieste, Italija
17. EURADOS - European Radiation Dosimetry e. V., Braunschweig, Nemčija
18. Experimental Institute for Plant Nutrition, Gorica, Italija
19. FAIR - GSI, Darmstadt, Nemčija
20. Hasselt University, Diepenbeek, Belgija
21. IFIN-HH, Institutul National de Cercetare Dezvoltare pentru Fizica si Inginerie Nucleara Horia Hulubei, Măgurele, Romunija
22. Institut za fiziku, Beograd, Srbija
23. Institut für Energie- und Klimaforschung – Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich, Nemčija
24. Institut für Kernphysik, Universität Mainz, Mainz, Nemčija
25. Institut für Plasmaphysik, Forschungszentrum Jülich, Jülich, Nemčija
26. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
27. International Atomic Energy Agency, Dunaj, Avstrija
28. IRSN, Institut de Radioprotection et de Surete Nucleaire, Fontenay-aux-Roses, Francija
29. iThemba LABS, Cape Town, Južna Afrika
30. ITN, Instituto Tecnológico e Nuclear, Bobadela LRS, Portugalska
31. JRC, JRC -Joint Research Centre- European Commission, EC
32. Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Nemčija
33. Kernfysisch Versneller Instituut, Groningen, Nizozemska
34. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, ZDA
35. Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart, Nemčija
36. Max-Planck-Institut für Plasmaphysik, Garching, Nemčija
37. MIKES, Mittatekniikan Keskus, Espoo, Finska
38. MKEH, Magyar Kereskedelmi Engedelyezesi Hivatal, Budimpešta, Madžarska
39. National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bukarešta, Romunija
40. NCBJ, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Poljska
41. NPL, NPL Management Limited, Velika Britanija
42. NRPA, Norwegian Radiation Protection Authority, Norveška
43. Oddelek za fiziko, Univerza v Coimbri, Coimbra, Portugalska
44. Patenting Proizvodnja, d. o. o., Beograd, Srbija
45. Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen, Švica
46. POLATOM, Institute of Atomic Energy POLATOM, Otwock, Poljska
47. PTB, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig, Nemčija
48. SCK • CEN, Studiecentrum Voor Kernenergie, Mol, Belgija
49. Synchrotron Soleil, Saint-Aubin, Francija
50. Synchrotron SLS Daresbury, Anglija
51. SMU, Slovenský Metrologický Ustav, Bratislava-Karlova Ves, Slovaška
52. Stanford Synchrotron Radiation Lightsource (SSRL), Stanford, ZDA
53. STUK, Sateilyturvakeskus, Helsinki, Finska
54. SURO, Statni ustav radiacni ochrany v.v.i., Praga, Češka republika
55. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Zagreb, Hrvaška
56. TAEEK, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara, Turčija
57. Technical University of Crete, Chania, Grčija
58. Tehnična univerza v Darmstadtu, Nemčija
59. Thomas Jefferson National Accelerator Facility, Newport News, ZDA
60. Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Španija
61. Université catholique de Louvain, Louvain, Belgija
62. Università degli Studi di Milano, Milano, Italija
63. University of Fribourg, Fribourg, Švica
64. Univerza J. Gutenberg, Mainz, Nemčija
65. Univerza v Exeterju, Cornwall, Anglija
66. Univerza v Göttingenu, Nemčija
67. Univerza v Konstanzi, Nemčija
68. Univerza Loránda Eötvösa, Budimpešta, Madžarska
69. Univerza v Madridu, Madrid, Španija
70. University Pierre and Marie Curie (UPMC), Pariz, Francija
71. UPC, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Španija

Osnovna usmeritev odseka obsega razvoj, pripravo in karakterizacijo trdih zaščitnih PVD-prevlak, raziskovanje pa poteka tudi na drugih področjih fizike tankih plasti in površin. Osnovne raziskave obsegajo študij fizikalno-kemijskih lastnosti različnih večkomponentnih, večplastnih in nanostrukturnih prevlek. V okviru aplikativnih raziskav razvijamo prevleke za zaščito orodij pri nekaterih proizvodnih procesih za potrebe industrije.



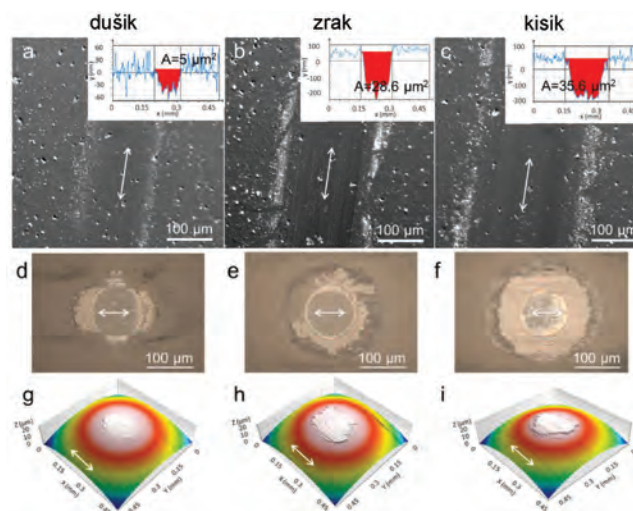
Vodja:
prof. dr. Miha Čekada

V preteklem letu smo se intenzivno ukvarjali s tematiko površin trdih prevlek in o tem objavili več člankov. Ožje tematike pokrivajo vprašanje kontaminacije površine podlage med ionskim jedkanjem, tribološke lastnosti prevleke TiN, nanesene s tremi različnimi PVD-postopki, ter mikrostrukturo in topografijo večplastne prevleke TiAlN/CrN. Gre za zaokrožitev naših več let trajajočih raziskav vpliva parametrov priprave trdih prevlek na njihovo površino, ki v stiku z obdelovancem tvori tribološki kontakt. Na podlagi našega dosedanjega dela sta dva sodelavca odseka uredila knjigo *Surface topography effects on the functional properties of PVD coatings*, kjer so zbrani prispevki, ki pokrivajo cel spekter od izbora podlage do končne prevleke. Poglavja v knjigi so osredotočena na mehanske in tribološke lastnosti prevlek, pokrivajo metode nanosa in obravnavajo široko tematiko defektov v trdih prevlekeh. Prispevki o napakah v PVD-prevlekeh so pogosto citirani, predvsem zaradi široke uporabe PVD-postopkov v optičnih aplikacijah in mikroelektroniki, kjer te napake tudi povzročajo največ težav.

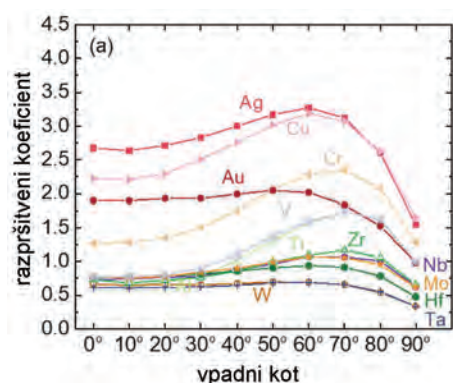
Naše raziskovalno delo na trdih PVD-prevlekeh, pripravljenih v industrijskih razmerah nanašanja, je zanimivo tudi zato, ker so take objave v literaturi redke. Raziskovalni inštituti namreč ponavadi objavljajo rezultate na laboratorijski ravni, medtem ko je dnevna uporaba industrijskih naprav domena proizvodnih podjetij, ki praviloma ne objavljajo člankov. Zaradi široke odmevnosti raziskav v tem nišem področju imamo sodelavci odseka o tej temi redna vabljena predavanja. V preteklem letu smo s tega področja ovrednotili odvisnost mehanskih lastnosti trdih prevlek od vertikalne lokacije v vakuumski komori. Čeprav je na prvi pogled morda vprašanje trivialno, pa ima velik vpliv pri tistih aplikacijah prevlek, kjer se zahtevajo ozke tolerance.

Na odseku se že vrsto let posvečamo raziskavam fizike plazme v magnetronskih razelektrivah. V preteklem letu smo se osredotočili na proučevanje kinetike ionizacijskih con v pulznem režimu magnetronskega napršenja pri visoki pulzni moči (ang. HiPIMS - *High Power Impulse Magnetron Sputtering*). Iz videoposnetkov plazme, posnetih s hitro kamero (milijon sličic na sekundo), smo podrobno analizirali hitrost vrtečih se ionizacijskih con. Dinamiko smo proučevali za različne tlake argona in vršne tokove razelektritve. Ugotovili smo, da se v začetni fazi ionizacijske cone gibljejo v nasprotni smeri od gibanja elektronov, tj. v smeri $-E \times B$, kar je enako kot v klasičnih enosmernih magnetronskih razelektrivah. Z naraščanjem toka pa cone obrnejo smer vrtenja in se začnejo gibati v smeri gibanja elektronov (tj. v smeri $E \times B$). Posamezna ionizacijska cona, ki nastane le pri najnižjih tlakih, se vrte v smeri $-E \times B$ in ima hitrosti v razponu 13–17 km/s. Pri tlakih nad 0,5 Pa pa nastaneta dve coni, ki se vrtita s hitrostjo 4–9 km/s. Pri tokovih nad 30–50 A se cone vrtijo v smeri $E \times B$, njihova hitrost pa je okoli 6–9 km/s. Na hitrost v smeri $-E \times B$ močno vpliva naraščanje razelektritvenega toka in deloma tudi tlak, medtem ko so v smeri $E \times B$ hitrosti praktično neodvisne od toka in le v manjši meri odvisne od delovnega tlaka.

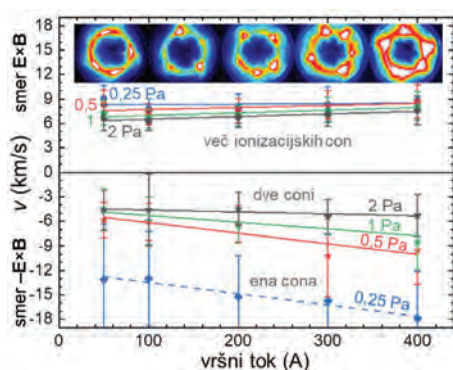
V preteklem letu smo nadaljevali raziskovanje fizikalnih procesov razpršenja. Za različne tarče elementov smo optimizirali proste parametre v programu SRIM in nato analizirali simulacije, da bi pridobili podatke o razpršitvenem koeficientu in kotnih porazdelitvah razpršenih atomov. Simulacije so bile narejene za pravokoten vpad argonovih ionov v območju 300–1200 eV in za vpad pod kotom za nekatere izbrane energije ionov. Izračunali smo razpršitveni koeficient in njegovo porazdelitev po kotih za prehodne kovine v skupinah 4–6 in 11, ki so pomembne za aplikacije razpršenja. Iz teh rezultatov smo ovrednotili odvisnost od periode in skupine v periodnem sistemu.



Slika 1: Tribološki testi prevleke TiN v različnih atmosferah: dušik (a, d, g), zrak (b, e, h) in kisik (c, f, i). Zgoraj (a, b, c) so SEM-posnetki raze na površini vzorca, v vogalu je linijski prečni prerez; v sredini (d, e, f) so optični posnetki obrabe protiitelesa iz Al_2O_3 ; spodaj (g, h, i) pa perspektivni pogled na topografijo obrabljenege protiitelesa.



Slika 2: Razpršitveni koeficienti kovin, ki se pogosto uporabljajo pri naprševanju, v odvisnosti od vpadnega kota argonovega iona pri 600 eV. Simulacija je bila opravljena s programom SRIM.



Slika 3: Hitrost ionizacijskih con v pulznem magnetronskem naprševanju pri visoki pulzni moči (HiPIMS) pri različnih tlakih in tokovih. Zgoraj so prikazani posnetki plazme z visokohitrostno kamero.

Preverili smo tudi kotno porazdelitev razpršenih atomov, ki je pri pravokotnem vpadu kosinusna, pri poševnem vpadu pa asimetrična. Tudi efekt asimetrije smo ovrednotili glede na parametre simuliranega eksperimenta.

Podrobno smo proučili tudi vpliv površinske vezavne energije, atomske mase in ionske energije na razpršitveni koeficient. Te parametre smo analizirali glede na poenostavljeno analitično formulo za razpršitveni koeficient, ki jo je izpeljal P. Sigmund. To formulo smo prilagodili z uvedbo potenčne odvisnosti od energije ionov. Enačba omogoča hitro oceno razpršitvenega koeficienta za elemente prehodnih kovin, razpršenih z argonovimi ioni z energijami do 1200 eV.

S Fakulteto za strojništvo Univerze v Ljubljani smo sodelovali na področju raziskav obstojnosti trdih prevlek z uporabo tekočega CO₂ kot hladilnega sredstva v laboratorijskem okolju na tribometru. Proučevali smo obrabno obstojnost prevleke TiAlN pri povišanih temperaturah do 700 °C in v različnih atmosferah (N₂, CO₂). Pri tem smo se osredotočili na koeficient trenja, obrabo na kroglici in disku ter mikrotredo prevleke na disku pred izvedenimi preizkusi pri povišanih temperaturah in po njih. V sodelovanju z Univerzo v Novem Sadu (Srbija) smo raziskovali tudi temperaturne pogoje v kontaktu in ožji okolici. Za vse standardne prevleke, ki jih nanašamo za naše industrijske partnerje, smo izvedli tudi tribološke meritve ter izmerili koeficient trenja in koeficient obrabe na testnem vzorcu in protitelesu (kroglico). Novo področje, ki se v svetu šele uvaja, je nanomehanska evalvacija tankih plasti. Izvajamo jo tako na našem domicilnem področju trdih prevlek kakor tudi na feroelektričnih keramikah (v sodelovanju z Odsekom za elektronsko keramiko).

Raziskovali smo prevleke refraktornih visokoentropijskih zlitin in njihovih nitridov. Ukvarjali smo se z nanosom s pomočjo magnetronskega naprševanja v sistemu za nanašanje prevlek, sestavljenem v lastni izvedbi. Nanesene prevleke smo karakterizirali s pomočjo vrstične elektronske mikroskopije (SEM), fokusiranega ionskega curka (FIB), energijsko disperzivne spektroskopije (EDS), profilometrije, nanoindentacije, mikroskopije na atomsko silo (AFM) in elektrokemijskih metod za analizo korozijskih procesov.

Veliko sodelujemo z različnimi raziskovalnimi partnerji, kjer je naš prispevek nanos prevlek ali pa zahtevnejša analitika površin. Na prvem mestu omenimo sodelovanje s Fakulteto za strojništvo Univerze v Ljubljani, s katerimi smo objavili članek v reviji *Photoacoustics* (faktor vpliva 10), ki je najboljša revija s tega področja. V članku smo opisali nanašanje in fotoakustične lastnosti nanokompozitne prevleke na fleksibilni podlagi. Za Inštitut za kovinske materiale in tehnologije raziskujemo postopke nanašanja prevleke CrVN za uporabo pri visokotemperaturnem tribološkem kontaktu.

V okviru konzorcija EUROfusion aktivno sodelujemo pri raziskavah površin materialov prve stene fuzijskega reaktorja. V preteklem letu smo nadaljevali analizo sprememb v morfologiji površine materialov, ki so bili izpostavljeni intenzivni plazmi v fuzijskem reaktorju ASDEX Upgrade v Garchingu (Nemčija). Poleg tega smo v okviru fuzijskih raziskav z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo (XPS) proučevali sestavo tankih plasti volframa in volframovega oksida.

V sodelovanju s kolegi z Odseka za fiziko trdne snovi in partnerji z Inštituta za nuklearne znanosti Vinča (Srbija) smo analizirali magnetne lastnosti večplastnih tankih plasti, ki smo jih pripravili v našem laboratoriju. V večplastni strukturi Si/Ni/Si z debelino niklja več kot 15 nm smo opazili močno pravokotno magnetno anizotropijo, ki je sicer tipično prisotna v precej tanjših plasteh niklja. Magnetna anizotropija v debelejših plasteh odpira nove možnosti za uporabo v magnetnih zapisovalnih medijih, različnih senzorjih, spintroniki in drugih aplikacijah.

Odsek intenzivno sodeluje s slovensko industrijo. Podjetja se na nas obračajo v primeru različnih izzivov, ki so povezani s površinami in tankimi plastmi. Bodisi gre za razvojne naloge, naprednejšo analitiko ali pa iskanje vzrokov za težave. V preteklem letu smo takšne analize delali za podjetja: Cetus, Difa, Kolektor, Kovinos, Krka, Le-tehnika, Orodjarstvo Koselj, Phos, Polident, Teroxal in Titus. Za podjetja ponujamo tudi storitve nanašanja trdih prevlek na njihova orodja, kar izvajamo v okviru Centra za trde prevleke, ki deluje v okviru odseka. Na leto imamo več kot sto partnerjev, kar vključuje tako velika podjetja (npr. SIJ, Kolektor, Mahle) kot tudi množnico malih orodjarn.

Najpomembnejši objavi v preteklem letu

1. P. Panjan, A. Drnovšek, P. Terek, A. Miletić, M. Čekada, M. Panjan, Comparative study of tribological behavior of TiN hard coatings deposited by various PVD deposition techniques, *Coatings*, 2022, 12, 3, 294
2. N. Mahne, M. Čekada, M. Panjan, Total and differential sputtering yields explored by SRIM simulations, *Coatings*, 2022, 12, 10, 1541-1-1541-33

MEDNARODNI PROJEKT

1. OE - EUROfusion; WP05: PWIE-1,2,3_OE-FU, PWIE-4-pospeševalnik
European Commission
dr. Matjaž Panjan

PROGRAM

1. Tankoplastne strukture in plazemsko inženirstvo površin
prof. dr. Miha Čekada

PROJEKTI

1. Začetne stopnje površinske funkcionalizacije polimerov s plazemskimi radikali
Uroš Stele, dipl. inž. fiz.

2. Samoorganizacija plazme v razelektrivah magnetronskega naprševanja
dr. Matjaž Panjan
3. Aktivna prevleka za zaščito pred elektromagnetnim sevanjem
dr. Matjaž Panjan
4. Ogljikove nanostene za superkondenzatorje prihodnosti
prof. dr. Miha Čekada
5. Površinsko omejena selektivna funkcionalizacija polimernih komponent
prof. dr. Miha Čekada
6. Učinkovitost inaktivacije z vodo prenosnih virusov s prototipno napravo, ki združuje neravnovesno plazmo in hidrodinamično kavitacijo
prof. dr. Miha Čekada
7. PLASMA SEED TREATMENT: Inovativna eko plazemska obdelava semen (za setev ter za prehrano ljudi in živali)
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Miha Čekada

OBISKI

1. Marco Beltrami, Univerza v Trstu, Trst, Italija, 8.-10. 3. 2022
2. Zoran Bobić, Univerza v Novem Sadu, Novi Sad, Srbija, 28. 8.-10. 10. 2022
3. Matěj Buřil, Jan Walter, Češka tehniška univerza v Pragi, Praga, Češka, 19. 9.-23. 12. 2022
4. dr. Marin Tadić, Institut za nuklearne znanosti Vinča, Beograd, Srbija, 29. 10.-13. 11. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. prof. dr. Miha Čekada, Delež žensk v vodstvu IJS (2000-2021), 13. 10. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI

STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. dr. Matjaž Panjan, Hipims Today, Linköping, Švedska (virtualno), 25.-27. 1. 2022
2. dr. Matjaž Panjan, E×B Plasma Workshop, Madrid, Španija (virtualno), 16.-18. 2. 2022 (1)

3. prof. dr. Miha Čekada, dr. Aljaž Drnovšek, Matej Drobnič, Nastja Mahne, dr. Matjaž Panjan, 28th International Scientific Meeting on Vacuum Science and Technique, Crikvenica, Hrvaška, 18.-20. 5. 2022 (5)
4. Žan Gostenčnik, 14. študentska konferenca Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana, Kamnik, 1.-3. 6. 2022 (1)
5. prof. dr. Miha Čekada, Matej Drobnič, Industrijski forum IRT, 6.-7. 6. 2022, Portorož, Slovenija (1)
6. dr. Aljaž Drnovšek, Nanobruken, 7.-11. 6. 2022, Praga, Češka (1)
7. dr. Matjaž Panjan, 23rd Annual Conference on Material Science YUCOMAT 2022, Herceg Novi, Črna gora, 29. 8.-2. 9. 2022 (1)
8. prof. dr. Miha Čekada, Matej Drobnič, Plasma Surface Engineering, Erfurt, Nemčija, 11.-15. 9. 2022 (2)
9. dr. Matjaž Panjan, Konferenca fizikov v osnovnih raziskavah, Čatež ob Savi, Slovenija, 11. 11. 2022 (1)
10. Nastja Mahne, dr. Matjaž Panjan, Reactive Sputtering Deposition Conference, Ghent, Belgija (virtualno), 7.-9. 12. 2022 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **prof. dr. Miha Čekada, vodja odseka**
2. dr. Aljaž Drnovšek
3. dr. Matjaž Panjan

Mlajši raziskovalci

4. Matej Drobnič, mag. inž. str.
5. Žan Gostenčnik, mag. kem.
6. Nastja Mahne, mag. med. fiz.

Strokovni sodelavci

7. Uroš Stele, dipl. inž. fiz.

Tehniški in administrativni sodelavci

8. Jožko Fišer
9. Damjan Matelič
10. Andrej Mohar
11. Tomaž Sirknik
12. Tadej Stele

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. CemeCon AG, Würselen, Nemčija
2. Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija
3. Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana
4. KCS Europe GmbH, Monschau, Nemčija
5. Kemijski inštitut, Ljubljana
6. Kolektor Sikom, d. o. o., Idrija
7. Kovinos, d. o. o., Horjul
8. Max Planck Institute of Plasma Physics, Garching, Nemčija
9. Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija
10. Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije, Ljubljana, Slovenija
11. PHOS, d. o. o., Parecag
12. Tecos, razvojni center orodjarstva Slovenije, Celje, Slovenija
13. University of California, Berkeley, ZDA
14. Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor
15. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana
16. Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehniških nauka, Novi Sad, Srbija

Odsek za tehnologijo površin opravlja raziskave na interdisciplinarnem področju načrtovanja površinskih lastnosti različnih materialov. Ključna znanstvena področja so raziskave površin in tankih plasti z metodami XPS, AES, SIMS in AFM, raziskave plinskih razelektritev in neravnovesne plinske plazme, raziskave interakcije plazemskih delcev z organskimi in anorganskimi materiali, razvoj plazemskih postopkov za sintezo in modifikacijo nanomaterialov, razvoj postopkov za uporabo plazemskih tehnologij v kmetijstvu, biotehnologiji in medicini, interakcija plinske plazme s površinami fuzijskih reaktorjev ter raziskave in razvoj postopkov za uporabo plinske plazme v industriji.



Vodja:
prof. dr. Alenka Vesel

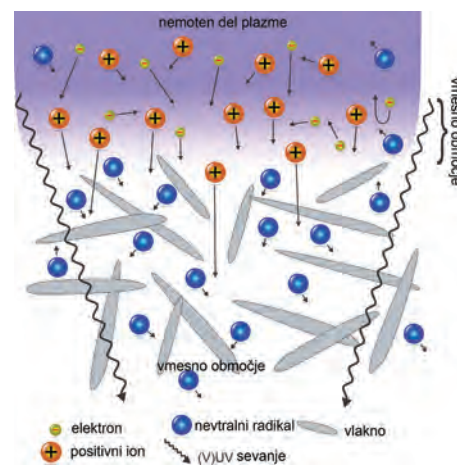
Poglavitna dejavnost našega odseka je načrtovanje površinskih lastnosti materialov z uporabo termodinamsko neravnovesne plinske plazme. Osnovni princip obdelave materialov s plinsko plazmo je preprost: najprej izberemo ustrezen plin ali plinsko mešanico, potem pa v izbranem plinu ustvarimo razelektritev, tako da dosežemo primerno gostoto prostih elektronov. Plinske molekule, ki so pri navadnih pogojih in sobni temperaturi blizu osnovnega stanja, se ob neelastičnih trkih s prostimi elektroni vzbudijo v različna stanja z visoko potencialno in/ali kinetično energijo. Molekule, ki so v takšnih energetskih stanjih, potem reagirajo s površinami materialov. Interakcije molekul v energetskih stanjih lahko vodijo k funkcionalizaciji, jedkanju ali nanosu prevlek.

Pri funkcionalizaciji vselej spremenimo zgolj sestavo površine. Najboljše učinke dosežemo z izbiro nevtralnih molekul ali molekularnih radikalov, vključno z nevtralnimi atomi v osnovnem elektronskem stanju. Nevtralni plinski delci ne čutijo električnega polja, zaradi česar imajo zanemarljivo kinetično energijo. Obdelava površine materialov z nevtralnimi plazemskimi delci vodi k spremembi površinske kemije zaradi ireverzibilne interakcije. Površina materialov, ki jo obdelamo z nevtralnimi plazemskimi delci, je pogosto daleč od termodinamsko stabilnega stanja, zaradi česar se tako obdelani materiali radi starajo – površinska energija se spontano manjša, dokler ne dosežemo stabilnega stanja. Plazemsko funkcionalizirani materiali so primerni za nadaljnjo obdelavo, na primer nanos neke prevleke, ki je lahko lepilo, tisk, tanka kovinska prevleka ali kakšna organska prevleka z značilnimi lastnostmi (npr. antibakterijskimi, antioksidativnimi itd.).

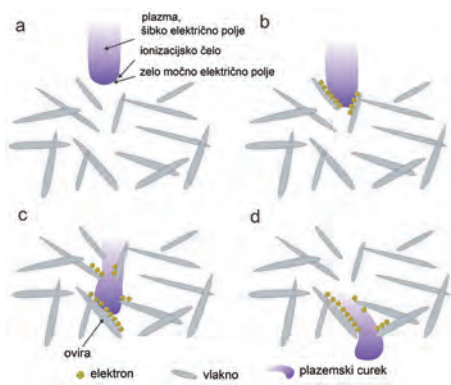
Jedkanje materialov je lahko posledica intenzivnih kemijskih reakcij ali izpostave površin energetskim pozitivno nabitim ionom iz plinske plazme. V prvem primeru pišemo o kemijskem plazemskem jedkanju, v drugem pa o razprševanju. Včasih izkoristimo kombinacijo obeh površinskih interakcij in tehniko imenujemo reaktivno ionsko jedkanje. Jedkanje obdelovancev s plazemskimi delci z veliko potencialno in/ali kinetično energijo je pogosto lateralno nehomogeno, zaradi česar lahko vodi k nanostrukturiranju površine obdelovancev. Nanostrukturirani materiali vselej izkazujejo izjemne površinske lastnosti. S pravilno izbiro vrste nevtralnih plazemskih delcev za obdelavo materialov, ki smo jih predhodno nanostrukturirali, lahko dosežemo izredno širok razpon omočljivosti površine, od superhidrofilnosti do superhidrofobnosti. Superhidrofilni učinek ni trajen zaradi staranja, superhidrofobni pa je, zaradi česar je taka obdelava pogosto zadnji korak k dosegu zelenih površinskih lastnosti.

Nanos tankih plasti z uporabo plazemskih delcev omogoča doseg stanja površine, ki ga ni mogoče doseči z nobeno drugo znano metodo. Za nanos tankih plasti so primerni nevtralni plazemski delci z veliko potencialno energijo, delci z veliko kinetično energijo pa niso zaželeni, ker primarno povzročajo jedkanje ob stiku s površino. Za nanos tankih plasti zato prednostno uporabljamo plazmo z majhno gostoto pozitivnih ionov, če to ni mogoče, pa so obdelovanci vselej na plavajočem potencialu, torej proč od elektrod, v bližini katerih je veliko električno polje. Nevtralni plazemski radikali z zmerno potencialno energijo na površinah materialov kondenzirajo, nekateri tudi polimerizirajo, tisti z veliko potencialno energijo pa lahko razpadajo, posebej če je material ogret do visoke temperature. Odvisno od vrste plazemskih delcev in temperature obdelovancev lahko na površini materialov tvorimo kompaktno tanke plasti ali pa porozne in nanostrukturirane. Tudi za nanos nanostrukturiranih poroznih plasti s plazemskimi radikali velja, da je tako pripravljena prevleka pogosto superhidrofobna.

Plinska plazma je tudi vir energetskih fotonov. V večini nizkotlačnih plazem je največ fotonov pri visoki energiji, ki ustreza vakuumskemu ultravijoličnemu (VUV) sevanju. Energetski fotoni v površinski plasti obdelovancev povzročajo cepljenje kemijskih vezi in s tem nastanek površinskih radikalov, ki so primerni za kemijsko interakcijo s plinskimi molekulami ali njihovimi radikali. Energija VUV-fotonov je večja od katerekoli kemijske vezi v trdnih materialih, zaradi česar je metoda primerna za obdelavo skoraj vsakega materiala.



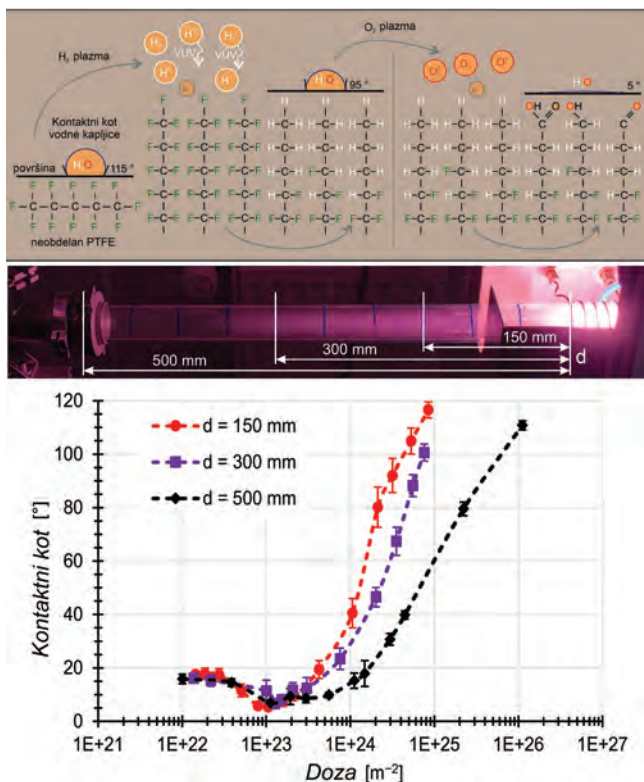
Slika 1: Ilustracija interakcije nizkotlačne plazme s tekstilom. Reproducirano iz objave 1.



Slika 2: Ilustracija interakcije atmosfirske plazme s tekstilom in faze prodiranja curka plazemskih radikalov (a-d). Reproducirano iz objave 1.

Površinska funkcionalizacija je posebej primerna za obdelavo polimernih in drugih organskih materialov. Čeprav se plazemska obdelava tovrstnih materialov uporablja v industriji že desetletja, je optimizacija procesnih parametrov še vedno tako znanstveni kot tehnološki izziv. Posebej to velja za zelo porozne materiale, na primer tekstil. Pojasnili smo mehanizem interakcije plazemskih delcev z veliko potencialno in zmerno kinetično energijo s tekstilnimi materiali (objava 1). Razložili smo ključno razliko med uporabo nizekpotlačne in atmosfirske plazme za obdelavo tekstila. Med izpostavo nizekpotlačni plazmi lahko delci s povečano kinetično energijo reagirajo zgolj s površino tekstila, vlakna v notranjosti pa so obdelana samo z nevtralnimi delci z veliko potencialno energijo, saj zlahka prodrejo v globino tekstila, ker ne izgubijo potencialne energije zaradi superelastičnih trkov v plinski fazi. Najboljše učinke dosežemo tako, da tekstila sploh ne namestimo v nizekpotlačno plazmo, ampak ga obdelujemo zgolj z nevtralnimi plazemskimi delci. Shema interakcije med nizekpotlačno plazmo in tekstilom je prikazana na sliki 1.

Pri atmosfirskem tlaku plazemski delci z veliko potencialno in/ali kinetično energijo ne morejo prodreti globoko v tekstil, saj se hitro nevtralizirajo, relaksirajo ali rekombinirajo zaradi velike frekvence trkov v plinski fazi. Zaradi tega je mogoče pri atmosfirskem tlaku tekstil obdelati zgolj s kratkotrajnimi pulzi močne plazme, ki lahko prodrejo globoko v porozne materiale, saj ionizacijsko čelo sprti zagotavlja ustrezno gostoto plazemskih delcev z veliko potencialno energijo in zmerno kinetično energijo (slika 2). Plazma lahko prodre med vlakna zaradi negativnega naboja na površini vlaken, kar je posledica večje mobilnosti elektronov v primerjavi s pozitivnimi ioni. Površinski naboj učinkovito prepreči izgubo elektronov v plazemskem curku, tako da lahko ta prodre globoko v tekstil. Iz primerjave slik 1 in 2 je razvidno, da omogoča nizekpotlačna plazma enakomerno obdelavo vseh vlaken v tekstilu, atmosfirska pa zgolj lokalizirano. Tovrstna lokalizirana obdelava omogoča dokaj uporabno funkcionalizacijo tekstila, če so pulzi močne plazme dovolj gosti in lateralno enakomerno porazdeljeni po površini obdelovanca.



Slika 3: Kontaktne kot vodne kapljice na površini teflona, ki smo ga najprej izpostavili močni vodikovi plazmi, potem pa šibki kisikovi pri različnih oddaljenostih od radiofrekvenčne tuljave. Prikazan je tudi mehanizem interakcije plazemskih radikalov s površino polimera. Reproducirano iz objave 3.

Podeljena sta bila evropska patenta EP3802418 za novo metodo za sintezo ogljikovih nanostruktur in EP3757155 za metodo za doseganje hidrofilitnosti fluoriranih polimerov.

Nizekpotlačno plazmo (slika 1) smo uporabili za obdelavo bombažnega tekstila pred nanosom zaščitne prevleke. Bombaž je naraven material z odličnimi lastnostmi, zaradi česar je najprimernejši material za udobna oblačila. Pomanjkljivosti bombažnih oblačil pa sta razmeroma slaba zaščita pred ultravijoličnim sevanjem (kadar jih nosimo poleti na prostem) in hidrofilitnost, ki je problematična zaradi navzemanja vode in s tem občutka nelagodnosti. Plazemsko obdelani tekstil smo impregnirali s cinkovim acetatom, potem pa izpostavili delovanju ekstraktov različnih rastlin. Ekstrakti so kemijsko reagirali s tanko homogeno plastjo cinkovega acetata in tvorili nanodelce cinkovega oksida, ki je med najboljšimi absorbenti ultravijoličnega sevanja. Nanodelci na površini vlaken so omogočili tudi superhidrofobnost tkanine, zaradi česar je bilo navzemanje vode zanemarljivo. Tako obdelani tekstil ohranja udobnost nošenja bombažnih oblačil, hkrati pa omogoči odlično zaščito pred ultravijoličnim sevanjem, oblačila pa se ne zmočijo. Podrobnosti postopka so razložene v znanstvenem članku (objava 2).

Omočljivost celuloze in mnogih drugih polimernih materialov za dober oprijem prevlek se hitro izboljša z uporabo plinske plazme, ki jo vzbujamo v kisiku. Nevtralni plazemski delci s povečano potencialno energijo (na primer kisikovi atomi) kemijsko reagirajo in na površini polimerov tvorijo kisikove funkcionalne skupine, ki so zelo polarne, zaradi česar postane polimer hidrofilen. Hidrofilna površina omogoči dober oprijem nanosov. Metoda pa ni primerna za obdelavo fluoriranih polimerov. Vež med ogljikom in fluorom v teflonu in podobnih materialih je močnejša od vezi med ogljikom in kisikom, zaradi česar obdelava s kisikovo plazmo povzroči trganje vezi med sosednjimi ogljikovimi atomi, ne pa med ogljikom in fluorom. Posledica je kemijsko jedkanje, ne pa funkcionalizacija površine fluoriranih polimerov s polarnimi kisikovimi funkcionalnimi skupinami. Pred nekaj leti smo razvili postopek za doseg superhidrofilitnosti sicer hidrofobnih polimerov. Ustrezni patent je bil podeljen v letu 2022. Znanstvene vidike tehnologije smo objavili v članku (objava 3). Fluorirani polimer najprej obdelamo s plazmo vodikova. Nizekpotlačna vodikova plazma je izjemno močan vir VUV-sevanja, ki zlahka cepi vezi med fluorom in ogljikom v površinski plasti obdelovanca. Vodikovi atomi reagirajo s

sproščenim fluorom in tvorijo močno vez HF. Zaradi velike gostote toka H atomov na površino obdelovanca se proste vezi napolnijo z vodikovimi atomi, tako da obdelava fluoriranega polimera z vodikovo plazmo omogoči nastanek zelo tanke površinske plasti poliolefina. Obdelovanec, ki smo ga obdelali z vodikovo plazmo, v naslednjem koraku obdelamo z atomi kisika iz kisikove plazme, ki poliolefinsko plast funkcionalizirajo s polarnimi skupinami. Primerna doza kisikovih atomov omogoči superhidrofilnost. S slike 3 je razvidno, da je pojav superhidrofilnosti materiala mogoče doseči v širokem razponu doz atomarnega kisika. Če je doza prevelika, pa atomi kisika jedkajo plast poliolefina in dosežemo ravno nasprotni učinek. Kontaktni kot vodne kapljice, ki je merilo za omočljivost materialov, je prikazan na sliki 3 v odvisnosti od doze atomarnega kisika.

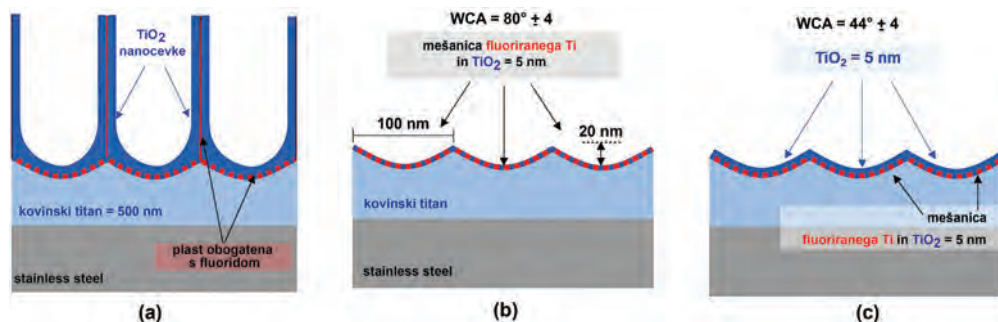
Kisikova plazma je primerna tudi za obdelavo semen pred setvijo. Plazemsko kmetijstvo spada med moderne veje plazemske znanosti, tako da mnoge raziskovalne skupine po svetu raziskujejo metode za optimizacijo obdelave semen. Večina znanstvenikov opravlja poskuse v laboratorijih, le redke skupine pa poročajo o poskusih na njivah in pridelku zrnja iz semen, ki so obdelana s plinsko plazmo. Naša raziskovalna skupina spada med vodilne v svetovnem merilu in sodeluje v dveh evropskih projektih na temo zelenega kmetijstva. V letu 2022 smo objavili šest znanstvenih člankov, v katerih smo obravnavali znanstvene vidike plazemske obdelave različnih semen. V članku (objava 4) poročamo o rezultatih sistematičnih raziskav na njivah. Plazemsko obdelana semena smo sejali v dveh letih, pri čemer smo primerjali pridelek s semeni, ki smo jih predhodno obdelali s tehnikami, ki se standardno uporabljajo v kmetijski praksi. Posejali smo semena različnih sort pšenice in ugotovili bistvena odstopanja glede na sorto plazemsko obdelane pšenice. Raziskave na njivah kažejo, da je treba za vsako sorto pšenice izbrati drugačne plazemske parametre. Za plazemsko obdelavo semen smo uporabili napravo, ki je mobilna, saj tudi za semena velja, da velika površinska energija ni stalna, ampak se hidrofilnost postopno slabša. Fotografija naprave je prikazana na sliki 4.



Slika 4: Fotografija mobilne naprave za obdelavo semen. Naprava je zdaj v lasti slovenskega podjetja Interkorn.

Kisikova plazma omogoča tudi optimalne lastnosti površine vsadkov, kot so npr. žilne opornice. Raziskali smo metodo za površinsko obdelavo žilnih opornic iz nerjavnega jekla, ki zagotavlja optimalne pogoje za vezavo endotelnih celic, hkrati pa preprečuje aktivacijo površine trombocitov in proliferacijo gladkih mišičnih celic. Slednje pogosto vodi do zapletov, kot so dolgotrajna uporaba zdravil za preprečevanje tromboze, revizijske operacije, povečanje stroškov zdravljenja in veliko tveganje za zdravje bolnikov. Inovativni postopek obdelave zajema nanos tanke plasti titana na površino nerjavnega jekla s postopkom plazemskega razprševanja, ki ustvari mehansko stabilen nanos. Kompaktno plast smo nato obdelali z elektrokemično metodo, da smo preoblikovali kompaktni film titana v nanostrukturiran titanijev oksid z gostim slojem nanocevk premera okoli 100 nm. V naslednjem koraku smo plast nanocevk odstranili z ultrazvokom, da smo dobili nanopore, visoke približno 20 nm. V zadnjem koraku smo material obdelali s kisikovo plazmo, da smo dosegli optimalno kemijsko sestavo površine in omočljivost. Shema inovativnega postopka izdelave nanostruktur titanovega oksida je prikazana na sliki 5. Takšna obdelava omogoča izboljšano proliferacijo endotelijskih celic, ki predstavljajo naravni antitrombogeni material, hkrati pa preprečujejo aktivacijo trombocitov in proliferacijo gladkih mišičnih celic. Slednje je zelo pomembno za zmanjšanje tromboze in restenoze, ki ju povzročijo opornice. Zaradi inovativnega pristopa je bila metoda za izdelavo zaščitena s patentno prijavo, znanstveni vidiki pa so bili objavljeni v članku (objava 5). Nanostrukturiranje nerjavnega jekla je izredno zanimivo področje raziskav, saj so medicinske naprave iz nerjavnega jekla pogosto uporabljene, ker imajo primerne mehanske lastnosti, kljub vsemu pa so njihove lastnosti površine daleč od optimalnih. Znanstveni vidiki tehnološkega procesa za površinsko obdelavo nerjavnega jekla še niso bili

Pojasnili smo vlogo VUV-radikalov pri doseganju superhidrofilnosti površin.



Slika 5: Ilustracija inovativne metode za optimizacijo površine stentov iz nerjavnega jekla.



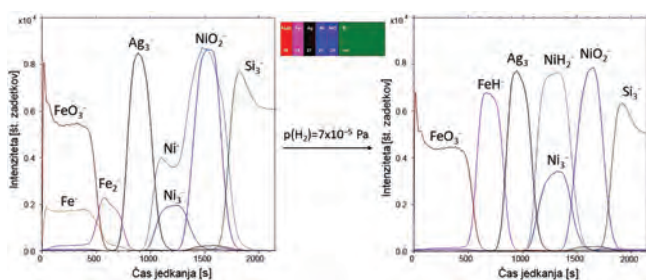
Slika 6: Odločba o podelitvi EU patenta za inovativno metodo za plazemski nanos nanoogljika

zadovoljivo pojasnjeni, kar smo izpostavili v preglednem članku (objava 6), kjer smo kritično analizirali razpoložljivo literaturo in podali priporočila za nadaljnje delo.

Neravnovesna plinska plazma je primerna tudi za nanos tankih plasti različnih materialov. Pred leti smo razvili postopek za sintezo plasti nanostrukturiranega ogljika z veliko vsebnostjo večplastnih grafenskih lističev debeline nekaj nm in površine reda 10000 nm. Postopek je zanimiv za uporabo v elektrokemijskih pretvornikih, zaradi česar smo ga zaščitili s patentno prijavo. Evropski in japonski patent sta bila podeljena leta 2022, na mnenje ameriškega patentnega urada pa še čakamo. Odločba o podelitvi EU patenta je prikazana na sliki 6. Kot vir ogljika za tvorbo plasti gosto razporejenih grafenskih lističev uporabljamo odpadno plastiko. Plastiko namestimo v reaktor, v katerem vzbujamo neravnovesno plinsko plazmo z močnostno radiofrekvenčno razelektrivostjo v H-načinu delovanja. V plazmo namestimo tudi podlago za nanos grafenskih lističev, ki jo ogrejemo do visoke temperature. Plazemski delci z veliko potencialno in zmerno kinetično energijo močno jedkajo plastiko, nastali radikali se v plazmi vzbudijo v stanja z visoko potencialno energijo in na ogreth površinah delno disociirajo, tako da tvorijo plasti, ki vsebujejo praktično zgolj grafenske lističe. Lističe je mogoče dopirati z želenimi atomi tako, da plazmo vzbujamo v različnih plinih ali plinskih mešanica. Znanstvene vidike tehnologije smo objavili v članku (objava 7).

Za analizo učinkov plinske plazme na obdelovance uporabljamo vrhunske tehnike za analizo površin in tankih plasti. Poleg analiz plazemsko obdelanih materialov pa opravljamo tudi analize drugih vzorcev. Naš laboratorij za površinske in tankoplastne analize ima 50-letno tradicijo karakterizacije površin in tankih plasti. Na voljo imamo naslednje metode: rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo – XPS, masno spektrometrijo sekundarnih ionov – SIMS in spektroskopijo Augerjevih elektronov – AES. Z navedenimi tehnikami omogočamo analitsko

podporo za slovenske raziskovalne organizacije, akademske ustanove in industrijske partnerje. Karakterizacija takšnih sistemov temelji na kompleksnih metodah, interpretacija zajetih spektrov pa je izjemno zahtevna. V zadnjem obdobju smo raziskovali podrobnosti karakterizacije tankih plasti z metodo ToF-SIMS. Osredotočili smo se na vpliv sestave površinske plasti na intenziteto posameznih vrhov v spektrih sekundarnih ionov, povečanje stopnje ioniziranosti materiala, ki se razpršuje med obstreljevanjem s težkimi ioni, in zmanjšanje hrapavosti površine med globinskim profiliranjem, ki je posledica lateralno nehomogenega jedkanja. Navedeni pojavi povzročajo težave pri interpretaciji spektrov. Izboljšanje kakovosti globinskih profilov smo dosegli z natančnim doziranjem reaktivnih plinov v analizo komoro SIMS instrumenta. Uporabili smo vodik, kisik, ogljikov monoksid in acetilen. Za vsak plin smo določili optimalno območje tlaka in primerjali učinke različnih plinov. Ugotovili smo, da se ioniziranost kovinskih atomov, njihovih oksidov in molekularnih skupkov najbolj poveča z doziranjem vodika. Učinkovitost postopka smo preverili na različnih vzorcih. Na sliki 7 ilustriramo izboljšanje ločljivosti na večplastni strukturi Fe₂O₃/Fe/Ag/Ni/NiO/Si, jedkane s curkom Cs⁺ ionov z energijo 1 keV v vakumu (levo) in v vodikovi atmosferi pri tlaku vodika 7×10⁻⁵ Pa (desno).



Slika 7: Globinski profil ToF-SIMS večplastne strukture FeO/Fe/Ag/Ni/NiO/Si, jedkane s curkom Cs⁺ ionov z energijo 1 keV v vakumu (levo) in v vodikovi atmosferi pri tlaku vodika 7×10⁻⁵ Pa (desno).

brez doziranja reaktivnega plina v analizo komoro SIMS instrumenta, na desni pa z vpihavanjem vodika, tako da je bil parcialni tlak 7×10⁻⁵ Pa. O izboljšanju metode smo poročali v članku (objava 8).

S področja analize tankih plasti z našimi tehnikami smo objavili okoli 40 znanstvenih člankov. Rezultate raziskav površine in tankih plasti z našimi analitskimi tehnikami pogosto nadgrajujemo z alternativnimi, ki so na voljo pri naših partnerjih v Sloveniji in tujini. Kombinacija različnih analitskih tehnik omogoča vpogled v kinetiko sinteze tankih plasti. V članku (objava 9) smo primerjali naši metodi SIMS in XPS z metodo optične spektrometrije razpršenih materialov (GDOES) s površine jekla, na katerega smo nanесли tanko polimerno plast z metodo plazemske polimerizacije.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Primc, Gregor, Zaplotnik, Rok, Vesel, Alenka, Mozetič, Miran, Mechanisms involved in the modification of textiles by non-equilibrium plasma treatment, *Molecules*, 2022, 27, 24, 9064
2. Verbič, Anja, Brenčič, Katja, Dolenc, Matej, Primc, Gregor, Recek, Nina, Šala, Martin, Gorjanc, Marija, Designing UV-protective and hydrophilic or hydrophobic cotton fabrics through *in-situ* ZnO synthesis using biodegradable waste extracts, *Applied Surface Science*, 2022, 599, 153931
3. Lojen, Dane, Zaplotnik, Rok, Primc, Gregor, Mozetič, Miran, Vesel, Alenka, Optimization of surface wettability of polytetrafluoroethylene (PTFE) by precise dosing of oxygen atoms, *Applied Surface Science*, 2022, 598, 153817-1-153817-7

- Holc, Matej, Mozetič, Miran, Zaplotnik, Rok, Vesel, Alenka, Gselman, Peter, Recek, Nina, Effect of oxygen plasma treatment on wheat emergence and yield in the field, *Plants*, 2022, 11, 19, 2489-1-2489-11
- Yelkarasi, Cagatay, Recek, Nina, Kazmalni, Kursat, Kovač, Janez, Mozetič, Miran, Urgan, Mustafa, Junkar, Ita, Biocompatibility and mechanical stability of nanopatterned titanium films on stainless steel vascular stents, *International journal of molecular sciences*, 2022, 23, 9, 4595-1-4595-19
- Benčina, Metka, Junkar, Ita, Vesel, Alenka, Mozetič, Miran, Igljč, Aleš, Nanoporous stainless steel materials for body implants—review of synthesizing procedures, *Nanomaterials*, 2022, 12, 17, 2924-1-2924-15
- Vesel, Alenka, Zaplotnik, Rok, Primc, Gregor, Paul, Domen, Mozetič, Miran, Comparison of plasma deposition of carbon nanomaterials using various polymer materials as a carbon atom source, *Nanomaterials*, 2022, 12, 2, 246-1-246-15
- Ekar, Jernej, Panjan, Peter, Drev, Sandra, Kovač, Janez, ToF-SIMS depth profiling of metal, metal oxide, and alloy multilayers in atmospheres of H₂, C₂H₂, CO, and O₂, *Journal of the American Society for Mass Spectrometry*, 2022, 33, 1, 31-44
- Kovač, Janez, Ekar, Jernej, Čekada, Miha, Zajičková, Lenka, Nečas, David, Blahová, Lucie, Wang, Jiang Yong, Mozetič, Miran, Depth profiling of thin plasma-polymerized amine films using GDOES in an Ar-O₂ plasma, *Applied Surface Science*, 2022, 581, 152292

Patenti

- Ksenija Rener-Sitar, Ita Junkar, Uroš Cvelbar, Miran Mozetič, Metoda za izboljšanje vezave dentalne silikatne keramike s kompozitnimi cementi, SI26082 (A), Urad RS za intelektualno lastnino, 29. 4. 2022
- Alenka Vesel, Nives Ogrinc, Metoda za funkcionalizacijo poliolefinov s sočasno kombinacijo dušikovih in kisikovih funkcionalnih skupin, SI26091 (A), Urad RS za intelektualno lastnino, 29. 4. 2022
- Rok Zaplotnik, Miran Mozetič, Gregor Primc, Alenka Vesel, Masaru Hori, Methods for forming carbon nanostructured materials, EP3802418 (B1), European Patent Office, 8. 6. 2022
- Alenka Vesel, Miran Mozetič, Rok Zaplotnik, Gregor Primc, Nina Recek, Method of increasing the hydrophilicity of a surface of an object of polymer containing fluorine atoms, EP3757155 (B1), European Patent Office, 18. 5. 2022

Nagrade in priznanja

- Jernej Ekar, ECASIA Student Travel Grant, Limerick, Irsko, European Association on Applications of Surface and Interface Analysis, 19th ECASIA conference, nagrada za predavanje z naslovom Reduction of Matrix Effect in ToF-SIMS Depth Profiling via H₂ Flooding
- Miran Mozetič, medalja WIPO za izumitelje (nagrada Svetovne organizacije za intelektualno lastnino)
- Mark Zver, Best Contribution Recognized by Peers Award, Kamnik, Jožef Stefan International Postgraduate School, za predstavitev z naslovom Creating antimicrobial surfaces via advanced functionalization techniques

MEDNARODNI PROJEKTI

- COST CA19110; Uporaba plazme za napredno in trajno kmetijstvo
COST Association AISBL
doc. dr. Gregor Primc
- COST CA20114 - PlasTHER; Terapevtski učinki hladne plinske plazme
COST Association AISBL
doc. dr. Ita Junkar
- H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
doc. dr. Ita Junkar
- Diagnostika nizkotemperaturne plazme in njena uporaba za obdelavo semen
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Miran Mozetič
- Funkcionalizacija površin Ti-materialov z uporabo curkov z visoko energijo in plazemske obdelave za biomedicinsko uporabo
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Gregor Primc
- Obetavna eko-sterilizacija patogenih gliv na semenih z uporabo reaktivnih vrstni plinski plazmi
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Miran Mozetič
- Priprava površine superhidrofobnih celuloznih nanovlaken in interakcija s PLA polimerom za uporabo kot inovativni material za pakiranje
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Miran Mozetič
- Karakterizacija kisikove plazme v močnostnih plinskih razelektirnih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Miran Mozetič
- Katalitične sonde za karakterizacijo vodikove plazme
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Gregor Primc
- OE - EUROfusion; WP05: PWIE-1,2,3_OE-FU, PWIE-4-pospeševalnik
European Commission
prof. dr. Janez Kovač
- OE - AgroServ; Integrirane storitve, ki podpirajo trajnostni prehod k agroekologiji
European Commission
prof. dr. Miran Mozetič

PROGRAMA

- Tankoplastne strukture in plazemsko inženirstvo površin
prof. dr. Miran Mozetič
- Fuzijske tehnologije
doc. dr. Rok Zaplotnik

PROJEKTI

- Strukture in površinske lastnosti vlakninskih membran za čiščenje in kromatografsko separacijo biomakromolekul
doc. dr. Ita Junkar
- Okolju prijazna in-situ sinteza ZnO nanodelcev za razvoj zaščitnih tekstilij
doc. dr. Gregor Primc
- Začetne stopnje površinske funkcionalizacije polimerov s plazemskimi radikali
prof. dr. Janez Kovač
- Alternativni pristopi k zagotavljanju kvalitetnega in varnega mikrobioma ajde
prof. dr. Miran Mozetič
- Plazemska obdelava poroznih heterogenih substratov na biološki osnovi
prof. dr. Janez Kovač
- Vpliv mehanike in topologije membrane na celično ujetje bakterij, virionov in anorganskih delcev
doc. dr. Ita Junkar
- Odstranjevanje izbranih protimikrobnih učinkovin s hibridno kavitacijsko-plazemsko tehnologijo iz vodnih matric različnih kompleksnosti (Causma)
doc. dr. Gregor Primc
- Samoorganizacija plazme v razelektrivah magnetronskega naprševanja
prof. dr. Miran Mozetič
- Novi postopki obdelave biomimetičnih vaskularnih vsadkov
doc. dr. Ita Junkar
- Inovativni postopki obdelave površin za napredne lastnosti medicinskega jekla
dr. Metka Benčina
- Inovativna obdelava površin zobnih nadomestkov s plinsko plazmo
dr. Metka Benčina
- Inovativni senzori za sprotno merjenje hitrosti nanosa v PECVD napravah
doc. dr. Rok Zaplotnik
- Novi kompozitni materiali s kovinsko matrico, ojačano z nanodelci ter izdelani s selektivnim laserskim taljenjem za aplikacije v orodjarstvu
prof. dr. Miran Mozetič
- Visokotrdnostna aluminijeva zlitina za selektivno lasersko taljenje in aplikacije z zahtevano nizko težo
prof. dr. Miran Mozetič
- Razvoj naprednih Ti6Al4V komponent rezervoarja za letalsko industrijo s hibridno SLM/DED dodajno tehnologijo
doc. dr. Ita Junkar
- Miniaturni optični-vlakninski senzori prostih radikalov za nadzor plazemskih procesov
doc. dr. Rok Zaplotnik
- Ogljikove nanostene za superkondenzatorje prihodnosti
prof. dr. Alenka Vesel
- Površinsko omejena selektivna funkcionalizacija polimernih komponent
prof. dr. Miran Mozetič
- Inovativna metoda za čiščenje odpadnih voda
doc. dr. Gregor Primc
- Razvoj varnih večnamenskih površin za katetre za preprečevanje nastanka biofilmov (DemoCat)
prof. dr. Alenka Vesel
- Učinkovitost inaktivacije z vodo prenosnih virusov s prototipno napravo, ki združuje neravnovesno plazmo in hidrodinamično kavitacijo
doc. dr. Rok Zaplotnik
- VUV in UV sevanje iz plazme - metoda za učinkovito dekontaminacijo Aflatoksinov
dr. Nina Recek
- Možnost izboljšanja produktivnosti in zmanjšanja odvisnosti od uporabe kemičnih fungicidov v kmetijstvu z uporabo plinske plazme
doc. dr. Ita Junkar
- PLASMA SEED TREATMENT: Inovativna eko plazemska obdelava semen (za setev ter za prehrano ljudi in živali)
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
dr. Nina Recek
- Metoda za doseganje bakteriostatskih lastnosti na površinah 3D tiskanih medicinskih vsadkov
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
dr. Matic Resnik
- Možnost izboljšanja produktivnosti in zmanjšanja odvisnosti od uporabe kemičnih fungicidov v kmetijstvu z uporabo plinske plazme
Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
doc. dr. Ita Junkar
- Manjše storitve
prof. dr. Janez Kovač
- Prihodki z naslova delnega prefakturiranja stroškov zaščite intelektualne lastnine med solastniki izuma na primeru EVT140_Mozetič_Carbon Nanowall
Nagoya University
prof. dr. Miran Mozetič
- EVT770_Mozetič_CNW2_prefakturiranje stroškov patenta; Prihodki iz naslova delnega prefakturiranja stroškov zaščite intelektualne lastnine med solastniki izuma v primeru EVT770_Mozetič_CNW2
Nagoya University
prof. dr. Miran Mozetič

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

- Manjše storitve
prof. dr. Janez Kovač
- L2-1834 Sofinanciranje L-projekta: Ogljikove nanostene za supekondenzatorje prihodnosti
Iskra, d. o. o.
prof. dr. Alenka Vesel
- L2-1835 Sofinanciranje L-projekta: Inovativni senzori za sprotno merjenje hitrosti nanosa v PECVD napravah
Iskra, d. o. o.
doc. dr. Rok Zaplotnik
- L2-2617 Sofinanciranje L-projekta: Inovativna metoda za čiščenje odpadnih voda
Induktio, d. o. o.
doc. dr. Gregor Primc
- L2-2616 Sofinanciranje L-projekta: Površinsko omejena selektivna funkcionalizacija polimernih komponent
Elvez, d. o. o.
prof. dr. Miran Mozetič
- Sofinanciranje L-projekta: Razvoj varnih večnamenskih površin za katetre za preprečevanje nastanka biofilmov (DemoCat)
Tik, d. o. o.
prof. dr. Alenka Vesel
- Sofinanciranje L-projekta: Učinkovitost inaktivacije z vodo prenosnih virusov s prototipno napravo, ki združuje neravnovesno plazmo in hidrodinamično kavitacijo
Kolektor Group, d. o. o.
doc. dr. Rok Zaplotnik
- Sofinanciranje L7-4567 „VUV on UV sevanje iz plazme - metoda za učinkovito dekontaminacijo Aflatoksinov“
Interkorn, d. o. o.
dr. Nina Recek

OBISKI

- Primož Eiselt, Franz Resch, Plasmait, Lannach, Avstrija, 23. 4. 2022
prof. Mahendra K. Sunkara, Univerza Louisville, Louisville, Kentucky, ZDA, Vasanthi Sunkara, Advanced Energy Materials, LLC, Louisville, Kentucky, ZDA, 2. 6. 2022
- prof. Petr Smolka, dr. Ilona Sergeevna, Fakulteta za tehnologijo, Univerza Tomaš Bata v Zlinu, Zlin, Češka republika, 20. 6.-24. 6. 2022
- Jan Sezemský, Češka tehniška univerza v Pragi, Praga, Češka republika, 12. 9.-30. 9. 2022, 17. 10.-21. 10. 2022, 28. 11.-2. 12. 2022
- Sanja Ercegović Ražić, Nikša Krstulović, Inštitut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 11. 10. 2022
- Claudia Zoani, ENEA Centro Ricerche Casaccia, Santa Maria di Galeria, Italija, 25. 10. 2022
- Daniilo Krstić in Vladimir Rajić, Nuklearni inštitut Vinča, Beograd, Republika Srbija, 5. 12.-9. 12. 2022
- Jon Simonnes, John Lyder, Provida Medical, Oslo, Norveška, 6. 12.-7. 12. 2022
- prof. Katsuhisa Kitano, Takashi Kunizawa, Univerza v Osaki, Osaka, Japonska, 4. 12.-8. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- Metka Benčina, dr.: Nanostrukturirane površine kovin za biomedicinske aplikacije, 17. 1. 2022
- Matic Resnik, dr.: Aplikativnost hladne plinske plazme v moderni biomedicini, 5. 4. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Metka Benčina, Ita Junkar, Biomaterials World Forum, Barcelona, Španija, 17. 3.-19. 3. 2022 (2) (virtualno)
- Metka Benčina, Ita Junkar, Pia Starič, Plasma Processing and Technology International Conference, Barcelona, Španija, 26. 4.-30. 4. 2022 (3)
- Metka Benčina, Jernej Ekar, Ita Junkar, Janez Kovač, Dane Lojen, Miran Mozetič, Domen Paul, Nina Recek, Matic Resnik, Mark Zver, 28th International Scientific Meeting on Vacuum Science and Technique, Crikvenica-Selce, Hrvaška, 18. 5.-20. 5. 2022 (8)

4. Metka Benčina, Ita Junkar, Nina Recek, 9th International Conference on Plasma Medicine (ICPM9), Utrecht, Nizozemska, 27. 6.–1. 7. 2022 (3)
5. Metka Benčina, 32nd Annual Conference of the European Society of Biomaterials (ESB 2022), 4. 9.–8. 9. 2022, Bordeaux, Francija (2)
6. Metka Benčina, 7th International Conference on Multifunctional, Hybrid and Nanomaterials, 18. 10.–23. 10. 2022, Genova, Italija (1)
7. Metka Benčina, NanoBio&Med 2022, 21. 11.–24. 11. 2022, Barcelona, Španija (1)
8. Jernej Ekar, Janez Kovač, The Tenth Serbian Ceramic Society Conference Advanced Ceramics and Application, Serbian Academy of Sciences and Arts, Beograd, Srbija, 26. 9.–27. 9. 2022 (1)
9. Jernej Ekar, Janez Kovač, Alenka Vesel, ECASIA 2022 – European Conference on Applications of Surface and Interface Analysis, Limerick, Irsko, 29. 5.–3. 6. 2022 (3)
10. Janez Kovač, 4th International Congress of Chemists and Chemical Engineers of Bosnia and Herzegovina (ICCEB&H 2022), Sarajevo, Bosna in Hercegovina, 30. 6.–2. 7. 2022 (1)
11. Ita Junkar, Forum IRT, Portorož, Slovenija, 6. 6. 2022 (1)
12. Ita Junkar, MIT2022, Piran, Slovenija, 4. 9.–6. 9. 2022 (1)
13. Miran Mozetič, Domen Paul, Nina Recek, Rok Zaplotnik, Mark Zver, 94th IUVSTA Workshop on reliable sensing and control of reactive plasmas, Kranjska Gora, Slovenija, 29. 5.–2. 6. 2022 (5)
14. Miran Mozetič, 2nd International Conference on Advances in Manufacturing and Material Science (ICAMMS 2022), Kochi, Indija, 7. 7.–9. 7. 2022 (1) (virtualno)
15. Miran Mozetič, 22nd International Vacuum Congress (IVC-22), Sapporo, Japonska, 10. 9.–16. 9. 2022 (1)
16. Miran Mozetič, 20th International Congress on Plasma Physics (ICPP 2022), Gyeongju, Koreja, 25. 11.–2. 12. 2022 (1)
17. Gregor Primc, COST Communication Seminar, Bruselj, Belgija, 18. 5.–19. 5. 2022 (1)
18. Gregor Primc, 15th Asia Pacific Physics Conference (APPC15), 21. 8.–26. 8. 2022, Seul, Južna Koreja (1) (virtualno)
19. Gregor Primc, Pia Starič, 9th Central European Symposium on Plasma Chemistry (CESPC-9), COST action CA19110 Plasma Applications for Smart and Sustainable Agriculture (PIAgri), 4. 9.–9. 9. 2022, Visoke Tatre, Slovaška (2)
20. Gregor Primc, Leibniz Institute for Agricultural Engineering and Bioeconomy (ATB), 13. 10.–14. 10. 2022, Leibnitz, Nemčija (1)
21. Pia Starič, 18th International Conference On Nuclear Microprobe Technology And Applications (ICNMTA 2022), 11. 9.–16. 9. 2022, Ljubljana, Slovenija (1)
22. Alenka Vesel, 18th International Conference on Plasma Surface Engineering 12. 9.–15. 9. 2022, Erfurt, Nemčija (1)
23. Mark Zver, 14th Jožef Stefan International Postgraduate School Student Conference (14th IPSSC), 1. 6.–3. 6., Kamnik, Slovenija
4. Miran Mozetič, CEPLANT, Masarykova univerza, Brno, Češka, 16. 1.–19. 1. 2022 (raziskovalno delo)
5. Miran Mozetič, Fakulteta za matematiko in fiziko, Karlova univerza, Praga, Češka, 30. 1.–4. 2. 2022 (raziskovalno delo)
6. Miran Mozetič, Univerza Sakarya, Sakarya, Turčija, 15. 2.–7. 2. 2022 (raziskovalno delo, projektno sodelovanje)
7. Miran Mozetič, Tehnična univerza v Istanbulu, Istanbul, Turčija, 22. 2.–26. 2. 2022 (eksperimentalno delo)
8. Miran Mozetič, Fakulteta za matematiko in fiziko, Karlova univerza, Praga, Češka, 20. 3.–25. 3. 2022 (eksperimentalno delo, raziskovalno delo)
9. Miran Mozetič, Institut BioSys, Tehnična univerza v Gradcu, Gradec, Avstrija, 5. 4.–7. 3. 2022 (raziskovalno delo)
10. Miran Mozetič, Tehnična univerza v Pragi, Praga, Češka, 26. 4.–1. 5. 2022 (eksperimentalno delo)
11. Miran Mozetič, TU Graz, Gradec, Avstrija, 9. 5.–13. 5. 2022 (raziskovalno delo, projektno sodelovanje)
12. Miran Mozetič, Univerza Tomaš Bata, Zlin, Češka republika, 13. 6.–17. 6. 2022 (raziskovalno delo, projektno sodelovanje)
13. Miran Mozetič, Tehnična univerza v Pragi, Praga, Češka, 26. 6.–1. 7. 2022 (eksperimentalno delo)
14. Miran Mozetič, Univerza Illinois, Univerza Louisville, Urbana, Louisville, ZDA, 11. 7.–27. 7. 2022 (bilateralno sodelovanje)
15. Miran Mozetič, CEITEC, Tehnološka univerza v Brnu, Brno, Češka, 2. 8.–5. 8. 2022 (eksperimentalno delo)
16. Miran Mozetič, Univerza v Osaki, Osaka, Japonska, 17. 9. 2022 (bilateralno sodelovanje)
17. Miran Mozetič, Univerza Tomaš Bata, Zlin, Češka univerza za kmetijstvo v Pragi, Tehnična univerza v Pragi, Zlin in Praga, Češka, 13. 10.–22. 10. 2022 (mednarodno sodelovanje, eksperimentalno delo)
18. Miran Mozetič, Fakulteta za znanost, Univerza v Splitu, Split, Hrvaška, 30. 10.–5. 11. 2022 (eksperimentalno delo, predavanje)
19. Miran Mozetič, Univerza Chiang Mai, Chiang Mai, Tajska, 3. 12.–8. 12. 2022 (eksperimentalno delo)
20. Miran Mozetič, Univerza Tomaš Bata, Zlin, Češka, 18. 12.–21. 12. 2022 (eksperimentalno delo)
21. Domen Paul, International School on Low Temperature Plasma Physics: Basics and Applications, Ruhruniversitat Bochum, Bad Honnef, Nemčija, 1. 10.–6. 10. 2022 (izobraževanje)
22. Gregor Primc, Odsek za materiale, Fakulteta za strojništvo, Tehnična univerza v Pragi, Praga, Češka, 1. 2.–31. 7. 2022 (raziskovalno delo)
23. Gregor Primc, Fakulteta za strojništvo, Tehnična univerza v Pragi, Praga, Češka, 21. 11.–25. 11. 2022 (eksperimentalno delo)
24. Matic Resnik, PlasTHER Training School 2022, Fundamental Aspects on Plasma Medicine, Caparica, Portugalska, 14. 6.–16. 6. 2022 (izobraževanje)
25. Pia Starič, 6th Berlin Summer School: NGS Data Analysis 2022, Berlin, Nemčija, 13. 6.–17. 6. 2022 (izobraževanje)
26. Pia Starič, Plasma applications for smart and sustainable agriculture (COST), Laboratorij za izolacijo in kvantifikacijo RNA molekul iz semen rastlin, Univerza v Nottinghamu, Nottingham, Združeno kraljestvo, 21. 9.–21. 10. 2022 (izobraževanje)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Metka Benčina
2. doc. dr. Ita Junkar
3. prof. dr. Janez Kovač
4. prof. dr. Miran Mozetič, znanstveni svetnik
5. doc. dr. Gregor Primc
6. **prof. dr. Alenka Vesel, vodja odseka**
7. doc. dr. Rok Zaplotnik

Podoktorski sodelavci

8. dr. Matej Holc
9. *Marian Lehocky, PhD., Republika Češka, odšel 1. 4. 2022*
10. *dr. Dane Lojen, odšel 16. 11. 2022*
11. dr. Nina Recek
12. *dr. Matic Resnik, odšel 1. 9. 2022*

Mlajši raziskovalci

13. Jernej Ekar, mag. kem.
14. Domen Paul, mag. fiz.
15. Pia Starič, mag. mol. funkc. biol.
16. Mark Zver, Msc., Danska

Strokovni sodelavci

17. Tatjana Filipič, dipl. inž. kem. tehnol.
18. Maja Šukarov, univ. dipl. prev.

Tehniški in administrativni sodelavci

19. Janez Trtnik

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
2. Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru, Maribor, Slovenija
3. Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana, Slovenija
4. Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
5. Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
6. Naravoslovnotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
7. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
8. Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija
9. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana, Slovenija
10. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, Slovenija
11. Induktio, Ljubljana, Slovenija
12. Interkorn, d. o. o., Beltinci, Slovenija
13. Iskra, PE Kondenzatorji, Semič, Slovenija
14. LEK, d. d., Ljubljana, Slovenija
15. Terokal, Komenda, Slovenija
16. Tik, d. o. o., Kobarid, Slovenija
17. Vacutech, Ljubljana, Slovenija
18. Visoka šola za upravljanje podeželja Grm, Novo mesto, Slovenija
19. Zavod za gradbeništvo Slovenije, Ljubljana, Slovenija
20. Zeleni Hit, Ljubljana, Slovenija
21. Elvez, d. o. o., Ivančna Gorica, Slovenija
22. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
23. Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška
24. Institut za fiziko, Beograd, Srbija
25. Inštitut za nuklearne znanosti „Vinča“, Nacionalni inštitut Republike Srbije, Univerza v Beogradu, Beograd, Srbija

26. Mozetič, Fakulteta za matematiko in fiziko, Karlova univerza, Praga, Češka
27. Češka tehnična univerza v Pragi, Praga, Češka
28. Fakulteta za kmetijstvo Univerze v Čeških Budejovicah, Praga, Češka
29. Inštitut za fiziko Češke akademije znanosti, Praga, Češka
30. Univerza Tomaš Bata, Zlin, Češka
31. CEPLANT, Masarykova univerza, Brno, Češka
32. CEITEC, Tehnološka univerza v Brnu, Brno, Češka
33. Univerza Comenius, Bratislava, Slovaška
34. Plasmait, Lebring, Avstrija
35. Fakulteta za znanost, Univerza v Splitu, Split, HrvaškaTU Graz, Gradec, Avstrija
36. Institut BioSys, Tehnična univerza v Gradcu, Gradec, Avstrija
37. Sinhrotron Elettra, Trst, Italija
38. Tehnična univerza v Carigradu, Carigrad, Turčija
39. Univerza Sakarya, Sakarya, Turčija
40. KAIST, Daejeon, Južna Koreja
41. Univerza Illinois, Urbana, ZDA
42. Univerza v Louisvillu, Louisville, ZDA
43. Univerza v Nagoji, Nagoja, Japonska
44. Univerza v Osaki, Osaka, Japonska
45. Univerza Chiang Mai, Chiang Mai, Tajska

Raziskave Odseka za fiziko trdne snovi so usmerjene v področje fizike kvantnih in funkcionalnih materialov, neurejene in delno urejene kondenzirane materije ter faznih prehodov v teh sistemih. Namen teh raziskav je odkriti osnovne fizikalne zakonitosti v materialih z močnimi elektronskimi korelacijami ter v neurejenih in delno urejenih sistemih, ki so vmesni člen med popolnoma urejenimi kristali na eni strani ter amorfni snovmi in živo materijo na drugi. Raziskave so osredotočene na razumevanje elektronskih lastnosti ter strukture in dinamike na mikroskopski ravni, kar je pogoj za razvoj in uporabo novih kvantnih in funkcionalnih materialov, nanomaterialov ter biološke in mehke snovi. Pomemben del raziskovalnih dejavnosti odseka je usmerjen v razvoj novih merilnih metod in eksperimentalnih tehnik na področju hladnih atomov, kvantnega magnetizma, kvantne optike, biofotonike in superresolucijskega fluorescenčnega slikanja. Prav tako smo pomembno vpeti v številna mednarodna sodelovanja in koristimo veliko evropsko raziskovalno infrastrukturo.



Vodja (od 14. 4. 2022):

prof. dr. Denis Arčon

Raziskave sodelavcev Odseka za fiziko trdne snovi Instituta "Jožef Stefan" potekajo v tesnem sodelovanju z Oddelkom za fiziko Fakultete za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani, Institutom za matematiko, fiziko in mehaniko ter z Mednarodno podiplomsko šolo Jožefa Stefana. V letu 2022 so raziskave potekale v okviru štirih programskih skupin:

- Fizika kvantnih in funkcionalnih materialov,
- Fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur,
- Eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini,
- Fizika kvantnih tehnologij.

I. Programska skupina Fizika kvantnih in funkcionalnih materialov

Kvantni in topološki magnetizem

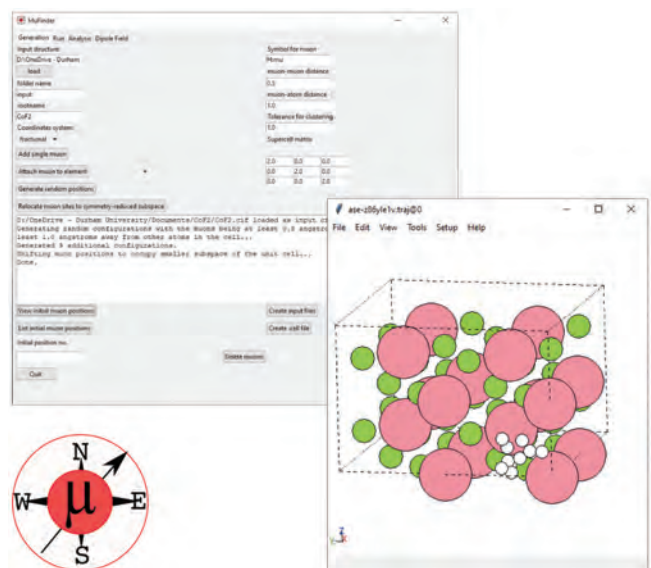
Matjaž Gomilšek je s sodelavci iz Velike Britanije razvil odprtokodni program MuFinder za proučevanje mionskih mest ustavljanja v materialih z *ab initio* (DFT) pristopi v podporo zmogljivim meritvam mionske spektroskopije (μ SR). V ta namen so avtorji razvili več novih algoritmov, med drugim: (i) algoritem za učinkovito generacijo začetnih kandidatov za mionska mesta, ki upošteva simetrije proučevanega sistema, (ii) postopek za določitev končnih mionskih mest prek novega algoritma za identifikacijo skupkov, ki upošteva simetrije in temelji na teoriji grafov, in (iii) pristope za izračun porazdelitve dipolnih magnetnih polj na končnih mionskih mestih, ki upošteva lokalne deformacije kristalne strukture okrog miona. Program je preprost za uporabo in je namenjen tudi uporabnikom, ki niso strokovnjaki za izračune *ab initio*. Moč novih razvitih pristopov so avtorji potrdili prek primerjave izračunov *ab initio* s programom MuFinder z eksperimentalnimi rezultati μ SR na spojnini CoF_2 . Delo je bilo objavljeno v članku B. M. Huddart *et al.*, *MuFinder: A program to determine and analyse muon stopping sites*, *Comput. Phys. Commun.* 280, 108488 (2022).

Matjaž Gomilšek in Andrej Zorko sta s sodelavci iz Indije, Švice, Nemčije, Francije, Južne Afrike in ZDA proučevala frustriran spinski sistem $\text{Li}_4\text{CuTeO}_6$ prek množice komplementarnih eksperimentalnih metod (termodinamika, mionska spektroskopija, elektronska spinska resonanca in sipanje) in numeričnih metod (*ab initio* DFT in eksaktna diagonalizacija). Avtorji so odkrili, da se $\text{Li}_4\text{CuTeO}_6$ pri nizkih temperaturah nepričakovano obnaša kot 3D kvantna spinska tekočina, ki vznikne iz nereda (naključnosti) v položajih nemagnetnih ionov Li^+ in magnetnih ionov Cu^{2+} , ki tvorijo kratke fragmente spinskih verig, povezanih v naključno 3D mrežo. Naključne 3D spinske tekočine so v naravi izjemno redke, odkrite le-te v $\text{Li}_4\text{CuTeO}_6$ pa je potrdilo dolgoletno napoved teorije naključnih singletov. To je bilo dodatno potrjeno prek opaženega značilnega potenčnega skaliranja



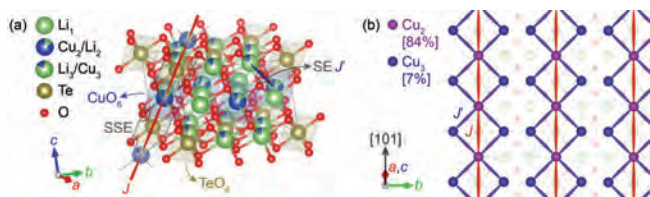
Vodja (do 13. 4. 2022):

prof. dr. Igor Muševič

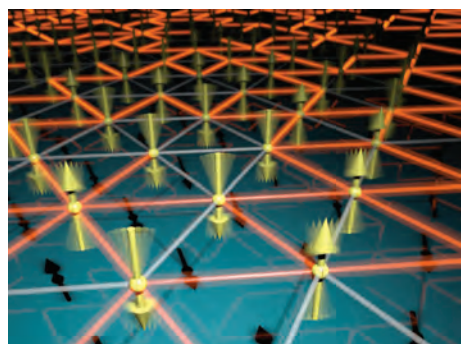


Slika 1: Grafični uporabniški vmesnik programa MuFinder za *ab initio* analizo mionskih mest v eksperimentih μ SR

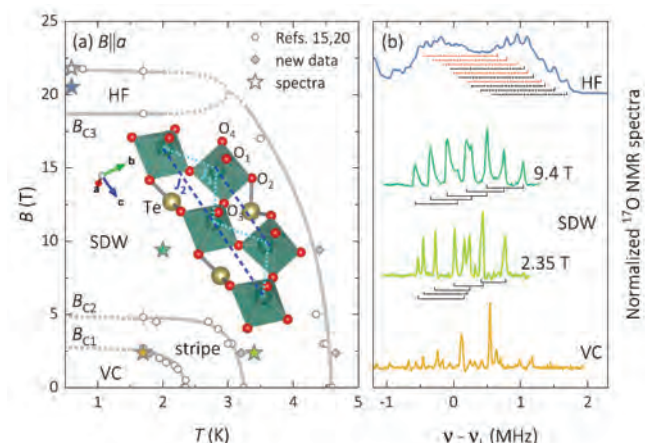
Kvantni in (več)funkcionalni materiali so izjemnega pomena za trajnostni razvoj in naš uspešen prehod v popolnoma digitalno družbo. Raziskovali smo zapletene vzbuditve v modelnih sistemih za kvantne spinske tekočine, spinsko dinamiko v masivnih topoloških skyrmionskih mrežah, raziskovali smo lastnosti visokoentropijskih zlitin in relaksorsko fiziko epitaksialnih tankih plasti ter iskali povezavo med magnetizmom in superprevodnostjo.



Slika 2: Kristalna struktura naključne 3D kvantne spinske tekočine $\text{Li}_3\text{CuTeO}_6$ in njeni magnetni izmenjalni interakciji J in J' , izračunani z *ab initio* (DFT) pristopi.



Slika 3: Isingova spinska tekočina lokaliziranih spinov (puščice) v neodimovem heptatantalatu. Svetleče vezi predstavljajo antiferomagnetne korelacije med najbližjimi sosedi na trikotni mreži.



Slika 4: (a) Magnetni fazni diagram $\beta\text{-TeVO}_4$ v magnetnem polju vzdolž osi a . (b) ^{17}O NMR spektri, izmerjeni na različnih položajih v faznem diagramu.

eksperimentalnih opazljivk pri nizkih temperaturah, ki je bilo napovedano za stanja naključnih singletov. Delo je bilo objavljeno v članku J. Khatua *et al.*, *Signature of a randomness-driven spin-liquid state*, *Commun. Phys.* 5, 99 (2022).

Tina Arh, Matej Pregelj in Andrej Zorko so s sodelavci iz Indije, Velike Britanije, Francije in ZDA odkrili novo obliko kvantne spinske tekočine. Gre za prvo realizacijo kvantne spinske tekočine na trikotni mreži spinov z dominantno Isingovo antiferomagnetno izmenjalno interakcijo. Izvedli so obsežno eksperimentalno študijo, ki je pokazala odsotnost magnetnega urejanja in dokazala obstoj spinskih korelacij Isingovega tipa v neodimovem heptatantalatu pri temperaturah le nekaj deset milikelvinov. Odkritje tako imenovane Isingove spinske tekočine uvaja nov tip tega skrivnostnega kvantno prepletenega stanja snovi, ki zaradi kvantnih fluktuacij ostaja dinamično do najnižjih temperatur. Delo je bilo objavljeno v članku T. Arh *et al.*, *The Ising triangular-lattice antiferromagnet neodymium heptatantalate as a quantum spin liquid candidate*, *Nat. Mater.* 21, 416 (2022).

Stane Vrtnik in Andrej Zorko sta s sodelavci iz Indije, Francije, ZDA, Južne Afrike in Švice odkrila stanje spinske tekočine v hiperkagome materialu na osnovi redkih zemelj. Njihovi obsežni poskusi niso pokazali niti znakov magnetnega urejanja niti spinskega zamrzovanja do 38 mK,

kar kaže na uresničitev dinamičnega osnovnega stanja spinske tekočine v tem antiferomagnetu. Za osnovno stanje tega materiala so značilne nizkoenergijske spin-1/2 prostostne stopnje s spinskimi korelacijami kratkega doseg. Delo je bilo objavljeno v članku J. Khatua *et al.*, *Spin liquid state in a rare-earth hyperkagome lattice*, *Phys. Rev. B* 106, 104404 (2022).

Matej Pregelj in Andrej Zorko sta s sodelavci iz Indije in Nemčije proučevala nove realizacije antiferomagnetov s trikotno mrežo v $\text{Ba}_3\text{RB}_9\text{O}_{18}$ ($R = \text{Yb}, \text{Er}$). Ugotovili so, da lokalizirani R^{3+} momenti redkih zemelj ne kažejo niti magnetnega reda dolgega doseg niti stanja spinskega stekla do 1,9 K. Magnetizacijski podatki so razkrili psevdospin-1/2 prostostne stopnje v obeh spojinah. Izračuni kristalno-električnega polja na podlagi termodinamičnih podatkov so pokazali prisotnost majhne vrzeli med osnovnim in prvim vzbujenim Kramersovim dubletom. Delo je bilo objavljeno v članku J. Khatua *et al.*, *Magnetic properties of the triangular-lattice antiferromagnets $\text{Ba}_3\text{RB}_9\text{O}_{18}$ ($R = \text{Yb}, \text{Er}$)*, *Phys. Rev. B* 106, 104408 (2022).

Andrej Zorko je s sodelavci iz Francije in ZDA proučeval vplive kemijskega tlaka na strukturne in magnetne lastnosti trojnega perovskita $\text{Ba}_3\text{NiSb}_2\text{O}_9$, dopiranega s Sr. Ugotovili so, da je nered gonilna sila k stanju, podobnemu spinsko-tekočemu stanju. Ta nered je treba vključiti v modele J1-J2 mreže satovja. Delo je bilo objavljeno v članku M. Viaud *et al.*, *Crystal structures, frustrated magnetism, and chemical pressure in Sr-doped $\text{Ba}_3\text{NiSb}_2\text{O}_9$ perovskites*, *Phys. Rev. Mater.* 6, 124408 (2022).

Matej Pregelj, Andrej Zorko, Denis Arčon, Martin Klanjšek, Nejc Janša in Peter Jeglič so s sodelavci iz Švice, Francije in Avstrije proučevali magnetne faze v frustrirani verižni spojnini $\beta\text{-TeVO}_4$ s spinom 1/2. Z jedrsko magnetno resonanco na jedru ^{17}O so preverili, kako anizotropija glavnih izmenjalnih interakcij in dodatnih šibkih medverzišnih izmenjalnih interakcij vpliva na teoretični fazni diagram. Njihovi rezultati potrjujejo dinamično naravo progaste spinske faze ter spinsko-gostostno-valovni red v visokem magnetnem polju. Delo je bilo objavljeno v članku M. Pregelj *et al.*, *Competing magnetic phases in the frustrated spin-1/2 chain compound $\beta\text{-TeVO}_4$ probed by NMR*, *Phys. Rev. B* 150, 035145 (2022).

Matej Pregelj, Stane Vrtnik in Janez Dolinšek so s sodelavci iz Švice in Francije proučevali magnetno induciran kvantni prehod med antiferomagnetno in paramagnetno fazo v monokristalu Ce_3Al prek mionske spinske relaksacije v prečnem magnetnem polju. Ugotovili so, da se tudi pri izjemno nizkih temperaturah (80 mK) z naraščajočim poljem vzdolž Ce-Al verig spinska dinamika povečuje in doseže maksimum natanko pri kvantni kritični točki. Delo je bilo objavljeno v članku M. Pregelj *et al.*, *Probing spin fluctuations of the quantum phase transition in Ce_3Al by muon spin rotation*, *Sci Rep* 12, 13184 (2022).

Magnetizem in superprevodnost

Denis Arčon je s sodelavci z Univerze Tohoku v Sendiaju na Japonskem nadaljeval raziskave plastovitih pniktidnih struktur, kjer se prepletata superprevodnost in magnetizem. V objavi T. Ogasawara *et al.*, *Magnetic field induced Anderson localization in the orbital-selective antiferromagnet BaMn₂Bi₂*, *Phys. Rev. B* 106, L041114 (2022) so poročali o prehodu kovina-izolator v večorbitalnem antiferromagnetu BaMn₂Bi₂. Skalirna analiza je pokazala na šibko korelirane vrzeli v 3d_{xy} pasu, ki dominirajo transportne lastnosti in so podvržene Andersonovi lokalizaciji, medtem ko preostali 3d pasovi kažejo izrazite elektronske korelacije, Mottovo lokalizacijo in so odgovorni za antiferromagnetno ureditev. Ta nenavaden preplet orbitalno odvisnih elektronskih korelacij je odgovoren tudi za izredno močno magnetoupornost, ki smo jo opazili v tej družini materialov.

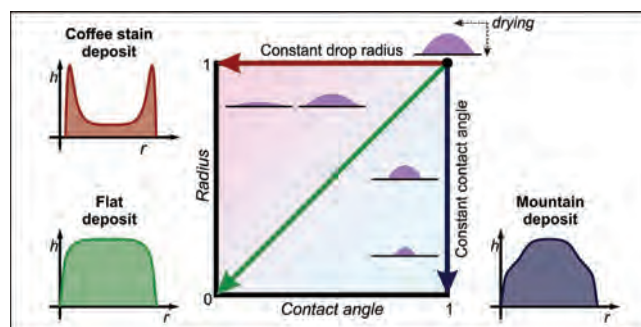
Funkcionalni materiali

Vloga mobilnosti kontaktnih linij pri oblikovanju brizgalno natisnjenih struktur. Nanos, ki nastane, ko se kapljica črnila posuši na podlagi, ima temeljno vlogo pri vzorčenju natisnjenih struktur, saj napredne aplikacije pogosto zahtevajo tiskanje elementov z enakomerno debelino. Nazorno smo prikazali bistveno vlogo mobilnosti kontaktnih linij pri tvorbi struktur iz črnin, pripravljenih na osnovi raztopin, pri dimenzijah, pomembnih za tiskarske aplikacije. Eksperimentalno smo pokazali, da pripeta kontaktna linija v normalnih pogojih vodi do izključno obročastih struktur, medtem ko lahko kapljice z mobilno kontaktno linijo vodijo do obročastih, ravnih ali kupolastih morfologij. Predlagali smo fenomenološki model, ki je pokazal, da je morfologija nanosa odvisna od (i) profila izhlapevanja topila, (ii) razvoja polmera kapljice glede na njen kontaktni kot ter (iii) razmerja med začetno in največjo koncentracijo topljene snovi. Te parametre je mogoče prilagajati s sestavo topil v črnilu in lastnostmi podlage, kar omogoča brizgalno tiskanje uniformnih, ravnih struktur. Objavljeno v članku A. Matavž in drugi, *From coffee stains to uniform deposits: Significance of the contact-line mobility*, *Journal of Colloid and Interface Science* 68, 1718 (2022).

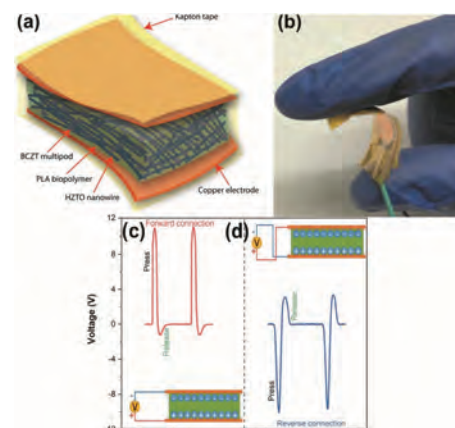
Vpliv podlage na funkcionalne lastnosti epitaksialnih tankih PMN-PT plasti. S pulznim laserskim nanašanjem smo na različnih s SrRuO₃ prevlečenih podlagah sintetizirali čiste in visokokakovostne 0,67Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0,33PbTiO₃ plasti debeline 500 nm. Pod kompresijsko deformacijo, tj. v primeru majhnih strukturnih neskladij med podlago in PMN-33PT, so plasti izkazovale visoko tetragonalnost in feroelektrične P-E zanke. V PMN-33PT plasteh, sintetiziranih na podlagi z večjim strukturnim neujemanjem, pa je deformacija popuščena in plasti izkazujejo relaksorsko histerezno zanko ter izboljšan piezoelektrični odziv. V obeh primerih v kondenzatorjih SRO/PMN-33PT/Au obstaja veliko notranje polje, ki se inducira zaradi poravnave defektnih dipolov s polarizacijo. To polje, ki je ugašeno z epitaksialno deformacijo, omogoča stabilizacijo robustnega pozitivnega polarizacijskega stanja in nizke dielektričnosti. Funkcionalni odziv naših plasti je tako dejansko primerljiv s tankimi plastmi na osnovi PZT z največjim izkoristkom in dokazuje možnost razvoja piezoelektričnih naprav, ki temeljijo na visokokakovostnih tankih PMN-PT plasteh. Članek je bil objavljen v J. Belhadi, Z. Hanani, U. Trstenjak, N. A. Shepelin, V. Bobnar, G. Koster, J. Hlinka, D. Pergolesi, T. Lippert, M. El Marssi, M. Spreitzer, *Large imprint in epitaxial 0.67Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.33PbTiO₃ thin films for piezoelectric energy harvesting applications*, *Applied Physics Letters* 121, 182903 (2022).

Izboljšane funkcionalne lastnosti novih PVDF-HFP/PVP tankih plasti. Karakterizirali smo toplotne, mehanske in dielektrične lastnosti razvite polimerne zmesi poli(viniliden fluorid-koheksafluoropropilen)(PVDF-HFP)/polivinilpirolidon (PVP). PVP je v polimerni matrici PVDF-HFP tvoril dispergirano fazo (slabše prevodne otoke), kar je zmanjšalo njegove mehanske lastnosti. Po drugi strani pa je PVP stabiliziral polarno fazo PVDF-HFP-ja, kar je izboljšalo njegov dielektrični odziv. Dobljeni rezultati kažejo, da je polimerne zmesi PVDF-HFP/PVP mogoče uporabiti v različnih elektronskih in medicinskih aplikacijah. Objavljeno v U. Gradišar Centa, M. Mihelčič, V. Bobnar, M. Remškar, L. Slemenik Perše: *The effect of PVP on thermal, mechanical, and dielectric properties in PVDF-HFP/PVP thin film*, *Coatings* 12, 1241 (2022).

Študij topoloških pojavov ter piezoelektričnih lastnosti v multiferoičnih in mehkih snoveh. Delo v preteklem letu je bilo osredotočeno predvsem na študij funkcionalnih lastnosti feroelektrikov, kot so piezoelektrične lastnosti, shranjevanje energije in elektrokalorične lastnosti. Nadaljevali smo raziskave na nesvinčenih multiferoičnih materialih ter razširili študije na kompozitne materiale. Pokazali smo, da se z uporabo 1D in 3D zapolnitvenih struktur, pomešanih v polimerno mrežo, ojača piezoelektrični signal, kar omogoča razvoj fleksibilnih



Slika 5: Mobilnost kontaktna linije pri sušenju kapljice močno vpliva na morfologijo depozita. Kapljica se lahko posuši tako, da sledi trem možnim trajektorijam v $R(\theta)$ diagramu: (i) konstanten polmer kapljice povzroči tvorbo obročaste strukture, (ii) zmanjševanje obeh, kontaktnega kota in radija, lahko povzroči tvorbo ravne strukture ter (iii) konstanten kontaktni kot povzroči tvorbo kupolastih struktur.

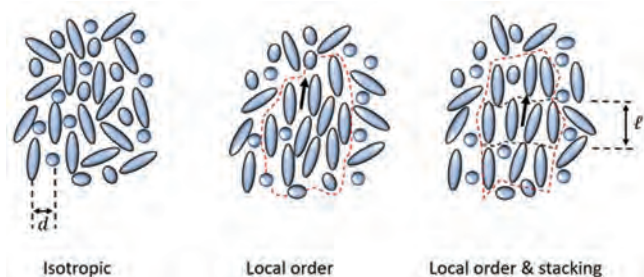


Slika 6: (a) in (b) Fleksibilen kompozitni material iz polimerne matrice, zapolnjene z 1D in 3D morfološkiimi strukturami. (c) in (d) Piezoelektrični signal, generiran z upogibom fleksibilnega kompozita z nanogeneratorji.

nanogeneratorjev. Raziskali smo tudi učinek naključnih polj na urejanje nematske in smektične A strukture v tekočih kristalih. V nadaljevanju smo objavili pregledni članek, v katerem smo opisali vpliv različnih vrst nanodelcev na urejanje linijskih defektov v kiralnih tekočokristalnih fazah. Začeli smo tudi z raziskavami lipidnih sistemov, kjer smo raziskovali kinetiko prehoda lipidov med dvema sistemoma. Dela so bila predstavljena v 19 znanstvenih člankih, objavljenih v mednarodnih znanstvenih, revijah ter različnih prispevkih na mednarodnih znanstvenih konferencah, med drugim v članku Z. Hananai *et al. Nanoscale Adv.* 4, 4658-4668 (2022). Dela na multiferoikih, multikalorikih in mehkih snoveh so leta 2022 zbrala več kot 600 čistih citatov.

Uporaba titanatnih nanopalčk, modificiranih z ioni Fe^{3+} kot katalizatorjem za oksidacijo $NH_4^+(aq)$ s kombinacijo ozona in sončne svetlobe. V sodelovanju s kolegi iz Romunije je Polona Umek nadaljevala raziskave katalitskih lastnosti titanatnih/ TiO_2 nanostruktur. Natrij titanatne nanopalčke $NaTi_3O_6(OH) \cdot 2H_2O$ smo modificirali s prekursorjem Fe^{3+} , pri čemer se je del železovih ionov med plastmi izmenjal z natrijevimi kationi, del pa je na površini tvoril Fe_2O_3 nanodelce. Za primerjavo katalitskih lastnosti smo sintetizirali tudi nanokocke Fe_2O_3 . Z železom modificirane titanatne nanopalčke in nanokocke Fe_2O_3 smo suspendirali v razredčene raztopine amonijaka (20 ppm) ter vzorce nato izpostavili ozonu in simulirani sončni svetlobi. Zmanjšanje koncentracije amonijaka in nastalih produktov, ki vsebujejo dušik (NO_3^-), smo spremljali z meritvami ionske kromatografije. V preiskovanih materialih smo spremljali tudi nastajanje reaktivnih kisikovih vrst ($\bullet OH$ in O_2^-) in njihovo fotoelektrokemično obnašanje. Morfološke in strukturne lastnosti (SEM, XRD, XRF, UV-Vis, H_2 -TPR, NH_3 -TPD, PL, PZC) proučevanih katalizatorjev smo povezali z njihovo aktivnostjo pri razgradnji amonijaka ob prisotnosti ozona in svetlobe. Z racionalnim pristopom smo bistveno povečali pretvorbo amonijaka in vplivali na zmanjšanje NO_3^- ionov. Rezultati so bili objavljeni v članku S. Preda, P. Umek *et al.*, *Iron-Modified Titanate Nanorods for Oxidation of Aqueous Ammonia Using Combined Treatment with Ozone and Solar Light Irradiation, Catalyst* 12, 666-1-666-20 (2022).

Opazovanje orientacijskega reda kratkega dosega v tekočinah iz majhnih molekul. Lokalno urejanje molekul v tekočinah je že dolgo zanimivo raziskovalno vprašanje pri proučevanju procesov kristalizacije, vendar ga na molekularni skali še vedno slabo razumemo. Nastajanje lokalnih molekularnih skupkov in fluktuacije urejenosti je zaradi omejitev ločljivosti mikroskopskih tehnik težko proučevati. V naši študiji smo s pomočjo spremljanja relaksacije



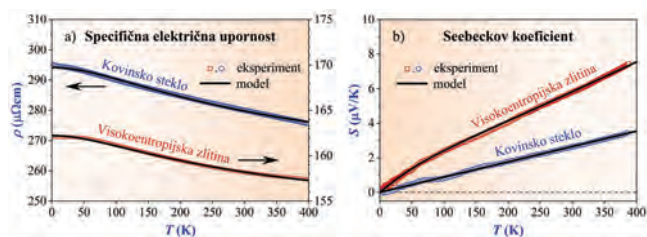
Slika 7: Orientacijski red kratkega dosega v tekočinah iz majhnih molekul.

protonskih spinov z metodo jedrske magnetne resonance dokazali obstoj dinamičnih skupkov molekul z orientacijskim redom kratkega dosega. Urejanje je posledica polarne ali sterične interakcije ali interakcije prek vodikove vezi. Na primeru tekočega kristala smo pokazali, kako velikost skupkov divergira, ko se približujemo faznemu prehodu iz izotropne v nematsko fazo. Pojav smo opisali s pomočjo rotacijske elastičnosti in je posledica koreliranih reorientacij sosednjih molekul. Pokazali smo, da taki skupki, ki vsebujejo deset ali manj molekul, nastajajo tudi v vrsti različnih tipov tekočin. Članek je bil objavljen v A. Gradišek, T. Apih *et al.*: *Observing short-range orientational order in small-molecule liquids, Scientific Reports* 12.1 (2022): 22500.

Visokoentropijske zlitine in intermetalne spojine

Raziskovalna skupina laboratorija za proučevanje električnih, magnetnih in termičnih lastnosti snovi Odseka za fiziko trdne snovi F5 (Darja Gačnik, Andreja Jelen, Magdalena Wencka, Jože Luzar, Primož Koželj, Peter Mihor, Stanislav Vrtnik in Janez Dolinšek) je v letu 2022 raziskovala fizikalne lastnosti visokoentropijskih zlitin in intermetalnih spojin.

Visokoentropijske zlitine so kovinske snovi, kjer je glavna faza trdna raztopina petih ali več večinskih kemijskih elementov v ekvimolarnih ali skoraj ekvimolarnih koncentracijah. V delu *The Effect of Scandium on the Structure, Microstructure and Superconductivity of Equimolar Sc-Hf-Nb-Ta-Ti-Zr Refractory High-Entropy Alloys* M. Krnel,

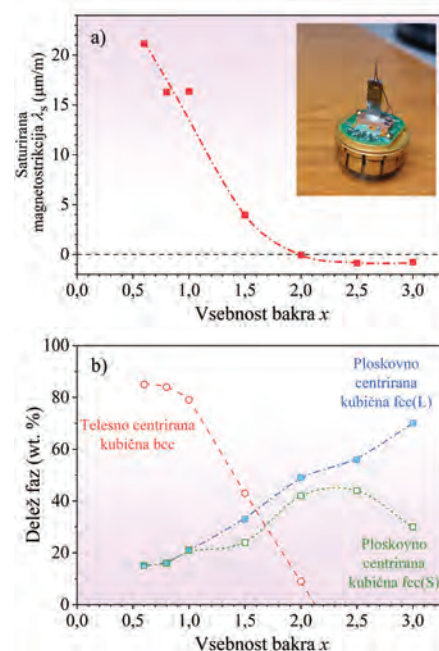


Slika 8: Primerjava električne upornosti (levo) in Seebeckovega koeficienta oz. koeficienta termoelektrične napetosti (desno) za material $Al_{0.5}TiZrPdCuNi$, sintetiziran v obliki visokoentropijske zlitine in kovinskega stekla. Točke na grafih so merški podatki, polna črta pa teoretični model, prilagojen tem podatkom.

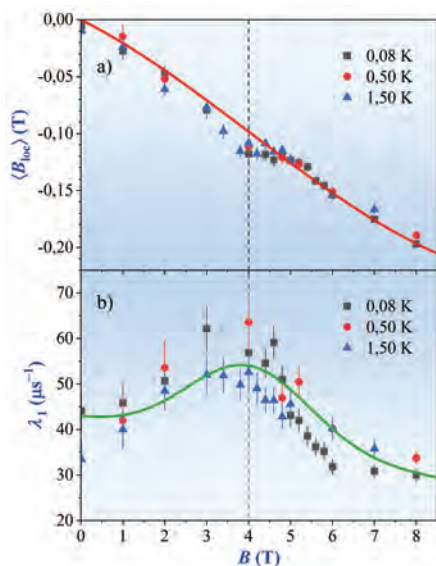
A. Jelen, S. Vrtnik, J. Luzar, D. Gačnik, P. Koželj, M. Wencka, A. Meden, Q. Hu, S. Guo, J. Dolinšek, *Materials* 15, 1122 (2022) smo poročali o poskusu dodajanja skandija (Sc) v dobro poznan sistem superprevodnih srednje- in visokoentropijskih zlitin Hf-Nb-Ta-Ti-Zr. Glede na predhodne raziskave je pri dodajanju Sc pričakovati izboljšanje lastnosti teh zlitin, npr. trdnosti in termične stabilnosti. Vseh devet sintetiziranih zlitin (štiri-, pet- in šestkomponentne) ima zapleteno mikrostrukturo, sestavljeno iz telesno centrirane kubične faze, ki ne vsebuje Sc in je analogna tisti iz originalnega Hf-Nb-Ta-Ti-Zr, ter heksagonalne faze, ki vsebuje ves skandij. S pomočjo meritev električne upornosti, Meissnerjevega efekta in nizkotemperaturne specifične toplote smo pokazali, da so vse zlitine superprevodne, vendar superprevodne lastnosti izhajajo zgolj iz faze, ki ne vsebuje skandija.

V okviru raziskav, predstavljenih v članku *Electronic Transport Properties of the $Al_{0.5}TiZrPdCuNi$ Alloy in the High-Entropy Alloy and Metallic Glass Forms* M. Wencka, M. Krnel, A. Jelen, S. Vrtnik, J. Luzar, P. Koželj, D. Gačnik, A. Meden, Q. Hu, C. Wang, S. Guo, J. Dolinšek, *Sci. Rep.* 12, 2271 (2022), nas je zanimalo osnovno vprašanje, in sicer v kolikšni meri so transportne lastnosti visokoentropijskih zlitin posledica substitucijskega nereda in v kolikšni meri obstoja kristalne mreže. Podobno kot v kovinskih steklih so atomi v teh zlitinah bolj ali manj naključno premešani med seboj, vendar hkrati njihove pozicije niso naključne, temveč ležijo na podobni kristalni mreži kot v običajnih kovinskih kristalih (kar vodi do obstoja energijskih pasov ipd.). Zlitino $Al_{0.5}TiZrPdCuNi$ je možno pri isti sestavi sintetizirati v obliki kosa visokoentropijske zlitine ali tankih trakov kovinskega stekla. Primerjali smo izmerjeno električno prevodnost, Seebeckov koeficient, toplotno prevodnost in Hallov koeficient obeh materialov ter jih modelirali z modelom spektralne prevodnosti v okviru Kubo-Greenwoodovega formalizma. Ugotovili smo, da je za transportne lastnosti visokoentropijskih zlitin bolj bistven substitucijski nered kot kristalna mreža, kar pomeni, da so v tem aspektu izjemno podobne kovinskim steklom. Raziskave $Al_{0.5}TiZrPdCuNi$ smo s sodelavci iz programske skupine nadaljevali v članku *^{27}Al NMR Local Study of the $Al_{0.5}TiZrPdCuNi$ Alloy in High-Entropy Alloy and Metallic Glass Forms* M. Wencka, M. Bobnar, T. Apih, Q. Hu, S. Guo, J. Dolinšek, *Phys. Rev. B* 105, 174208 (2022), kjer smo s pomočjo tehnike NMR raziskovali lokalne lastnosti snovi. Iz temperaturno neodvisnega dela Knightovega premika smo lahko potrdili, da je gostota elektronskih stanj pri Fermijevi površini v visokoentropijski zlitini podobna kot v amorfem steklu, po drugi strani pa je zaradi odsotnosti kristalne mreže v amorfem steklu širina razporeditve lastnih vrednosti tenzorja EFG približno dvakrat večja kot v visokoentropijski zlitini.

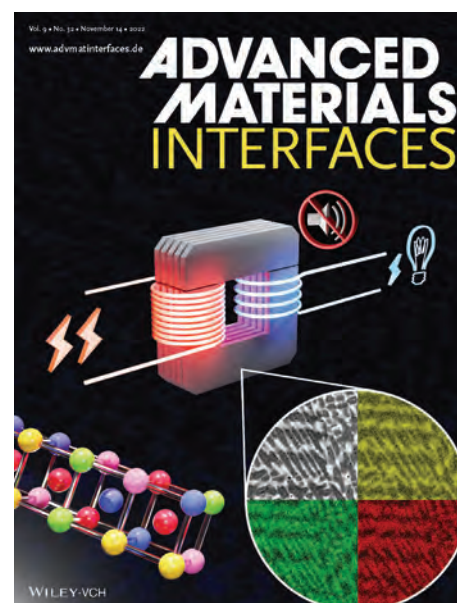
V članku *Zero-Magnetostriction Magnetically Soft High-Entropy Alloys in the $AlCoFeNiCu_x$ ($x = 0.6 - 3.0$) System for Supersilent Applications* J. Luzar, P. Priputen, M. Drienovský, S. Vrtnik, P. Koželj, A. Jelen, M. Wencka, D. Gačnik, P. Mihor, B. Ambrožič, G. Dražič, A. Meden, J. Dolinšek, *Adv. Mater. Interfaces* 9, 2201535 (2022) smo predstavili raziskave, ki ciljajo na uporabo visokoentropijskih zlitin v vlogi magnetno mehkih materialov v aplikacijah z izmeničnimi magnetnimi polji (npr. transformatorji, napajalniki). Poleg dobrih magnetno mehkih lastnosti (majhna koercitivnost, majhna remanentna magnetizacija, velika magnetna permeabilnost, velika saturacijska magnetizacija, velika električna upornost) je zaželeno, da bi imeli takšni materiali tudi majhno magnetostrikcijo, kar bi omogočilo izdelavo naprav, ki ne bi



Slika 9: a) Magnetostrikcija v $AlCoFeNiCu_x$ preide od pozitivne do negativne s povečevanjem vsebnosti bakra x . Pri $x = 2,0$ je magnetostrikcija natančno nič, kar pomeni, da se material ne razteza in posledično ne brenči v izmeničnem magnetnem polju. b) Prikaz spreminjanja deleža faz v $AlCoFeNiCu_x$ v odvisnosti od vsebnosti bakra.



Slika 11: a) Povprečno lokalno magnetno polje na mestih ustavljanja mionov je neodvisno od temperature. b) Hitrost transverzalne relaksacije λ_1 ima maksimum pri kvantnem faznem prehodu.



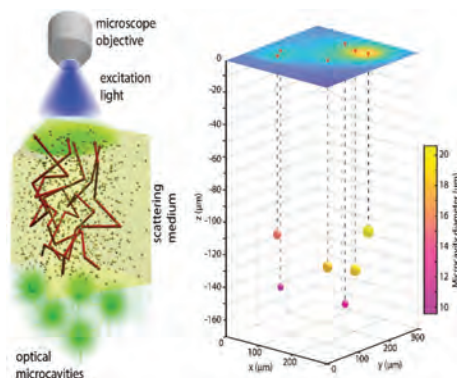
Slika 10: Naslovnica revije *Advanced Materials Interfaces* (letnik 9, številka 32) shematsko prikazuje potencialno uporabo $AlCoFeNiCu_x$ in podobnih materialov v aplikacijah z izmeničnimi magnetnimi polji. Pri vsebnosti bakra $x = 2,0$ material združuje lastnosti spodobne magnetne mehkości ter ničelne magnetostrikcije, kar pomeni, da gre za supertih magnetni material.

nadležno brenčale. Z novo mersko postavitvijo, ki je vključevala kombinacijo superprevodnega magneta v sistemu PPMS ter meritve električne upornosti merilnih lističev, smo lahko karakterizirali magnetostrikcijo oziroma raztezek materialov v magnetnih poljih, glejte sliko 3. Celotna serija materialov AlCoFeNiCu_x ($x = 0,6 - 3,0$) ima spodobne magnetno mehke lastnosti, najboljšo kombinacijo lastnosti pa ima zlitina z $x = 2,0$ oziroma $\text{AlCoFeNiCu}_{2,0}$, ki ima ničelno saturirano magnetostrikcijo $\lambda_s = 0$, dokaj nizko koercitivnost $H_c \approx 650 \text{ A m}^{-1}$ in znatno nasičeno magnetno polarizacijo $J_s \approx 0,55 \text{ T}$. Magnetostrikcija v zlitinah AlCoFeNiCu_x je tesno povezana z mikrostrukturo. Pri povečevanju vsebnosti bakra x se mikrostruktura zlitin spreminja tako, da vsebuje vse manj faze s telesno centrirano kubično mrežo ter vse več dveh faz s ploskovno centrirano kubično mrežo, kar vodi pri vsebnosti bakra $x = 2,0$ do popolne medsebojne kompenzacije negativne in pozitivne magnetostrikcije posameznih sestavnih faz.

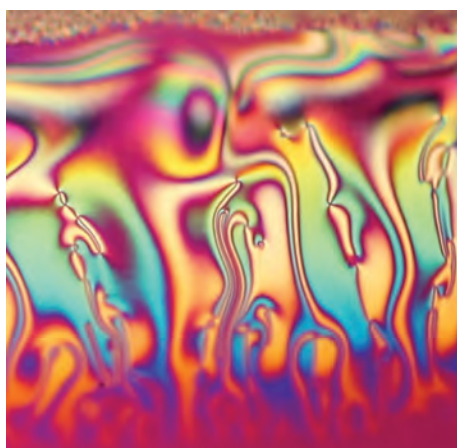
V publikaciji *Probing Spin Fluctuations of the Quantum Phase Transition in Ce_3Al BY Muon Spin Rotation* M. Pregelj, Z. Guguchia, M.-C. de Weerd, P. Boulet, S. Vrtnik, J. Dolinšek, *Sci. Rep.* **12**, 13184 (2022) smo skupaj s sodelavci iz programske skupine raziskali spinske fluktuacije v intermetalni spojini Ce_3Al z metodo mionske spinske rotacije. V Ce_3Al se pri zelo nizkih temperaturah približamo kvantnemu faznemu prehodu med antiferomagnetno in paramagnetno fazo pod vplivom magnetnega polja kot kontrolnega parametra, kar smo raziskovali že v prejšnjih letih. S pomočjo tehnike TF- μSR oziroma mionske spinske rotacije v transverzalnem polju smo pokazali, da so fluktuacije Ce magnetnih momentov v Ce-Al verigah najmočnejše ravno pri kvantnem faznem prehodu ter da gre zagotovo za kvantne fluktuacije, saj sta izmerjeno lokalno magnetno polje in hitrost transverzalne relaksacije neodvisna od temperature (in torej očitno nista termično gnana).

II. Programska skupina fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur

Lokalizacija in senzorika v tkivih s pomočjo optičnih mikroresonatorjev. Raziskovalci Aljaž Kavčič, Maja Garvas, Matevž Marinčič in Matjaž Humar so skupaj s sodelavci z Univerze v Gradcu predstavili novo metodo globinskega slikanja skozi sipajoče materiale, ki temelji na lokalizaciji *whispering gallery mode* mikroresonatorjev, katerih ozka spektralna emisija omogoča dekompozicijo zajetega difuznega signala na prispevke posameznih mikroresonatorjev. Razvita metoda združuje sposobnost lokalizacije na ravni posameznih celic s senzoriko raznovrstnih parametrov, kot so temperatura, pH in lomni količnik, kar predstavlja vsestransko in perspektivno orodje za globinsko slikanje v tkivih. Delo je bilo objavljeno v članku *Deep tissue localization and sensing using optical microcavity probes*, *Nature Communications* **13**, 1269 (2022).



Slika 12: Optična postavitve, uporabljena v eksperimentih, ki kaže propagacijo svetlobe in rezultat lokalizacije mikroresonatorjev globoko v tkivu.



Slika 13: Spontano tvorjenje topoloških defektov v tankem klinastem filmu pasivno gnanega nematskega tekočega kristala s hibridnim sidranjem.

Tvorba topoloških defektov v pasivno gnanem nematskem tekočem kristalu. Opisali smo enega od mehanizmov nastanka topoloških defektov v mehki snovi, in sicer v pasivno gnanem nematskem tekočem kristalu (M. Mur, Ž. Kos, M. Ravnik in I. Muševič *Continuous generation of topological defects in a passively driven nematic liquid crystal*, *Nature Communications* **13**, 6855, (2022)). Opazili smo, da v tankem tekoče-kristalnem filmu s klinasto geometrijo in hibridnim sidranjem spontano nastajajo in se anihilirajo pari celoštevilskih topoloških defektov, in sicer v daljšem časovnem obdobju. V našem eksperimentu film nastane tako, da se tekoči kristal razleze po površini vodne kaplje, ki vsebuje majhne organske molekule. Te difundirajo v tekoči kristal in po filmu tečejo zaradi koncentracijskega gradienta. Tok teh molekul povzroči premikanje tekočega kristala. V laminarnem režimu zaradi toka v filmu nastanejo vrtinci, ki se izmenično vrtijo v nasprotnih smereh. Med sosednjimi vrtinci tak profil toka povzroči pahljačasto nestabilnost v direktorskem polju. Pozneje, nad določenim hitrostnim pragom tok preide v turbulentnega, nestabilnost v direktorskem polju se ojači in pride do nastanka para topoloških defektov. Eksperimentalno delo je podprto z rezultati numeričnih simulacij, ki kažejo zelo dobro ujemanje z eksperimentom. Delo opisuje enega redkih mehanizmov nastajanja topoloških defektov v mehki snovi.

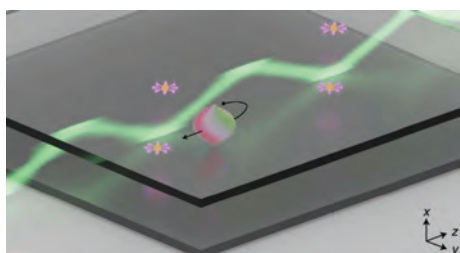
Nematski koloidni mikroroboti in mikroplavalci. Žiga Kos in Miha Ravnik sta v sodelovanju z eksperimentalno skupino Kathleen Stebe z Univerze v Pensilvaniji objavila dva članka o novih oblikah transporta delcev v nematskih tekočih kristalih. V prvem članku *Topological defect-propelled swimming of nematic colloids*, *Science Advances* **8**, eabn8176 (2022) sta pokazala plavalne načine koloidnih delcev v nematskih tekočih kristalih, ki se poganjajo z dinamiko topoloških defektnih linij. Tak nov način poganjanja mikroplavalcev izkorišča orientacijski red tekočih kristalov. Defektne linije znotraj nematskega reda so pri plavanju izrazito izven ravnovesja, žene pa jih rotacija cilindričnih feromagnetnih koloidnih plavalcev prek zunanega magnetnega polja. Prikazani so glavni mehanizmi plavanja in interakcije med različnimi plavalci. Rezultat je prispevek k novim načinom gnanja mikroplavalcev v aktivni mehki snovi in razvoju neravnovesnih nematskih koloidnih materialov. V drugem članku *Nematic Colloidal*

Micro-Robots as Physically Intelligent Systems, Advanced Functional Materials, 32, 2205546 (2022) so kot mikrorobote uporabili feromagnetne delce s štirimi izboklinami. Prek zunanjega magnetnega polja lahko delce vrtimo, kar prek interakcije z ureditvijo okoliškega tekočega kristala vodi do možnosti opravljanja različnih aplikacij: Zajem tovora, premik tovora in nadzorovan izpust tovora. Delo je prispevek k mehkim robotskim materialom in omogoča nov način gradnje mikrostruktur v anizotropni snovi.

Nematski biti in univerzalna logična vrata. Žiga Kos je v sodelovanju z Jörnkom Dunklom (MIT) objavil članek *Nematic Bits and Universal Logic Gates in Science Advances*. Avtorja pokažeta, da lahko topološke defekte v nematskih tekočinah uporabimo kot računske elemente. Članek sprva uvede matematično formulacijo nematskih računskih bitov v analogiji s Poincarejevo ali Blochovo sfero ter nato pokaže, da lahko prek električnega polja nadzorujemo njihovo dinamiko. Z različnimi časovno odvisnimi električnimi polji lahko implementiramo logične operacije na posameznih nematskih bitih. Nematska elastičnost pa vodi do močnih korelacij v sistemih več nematskih bitov. Močne sklopitve je možno uporabiti za izvedbo univerzalnih logičnih vrat, kar je pomemben korak k uporabi mehke snovi za procesiranje informacij.

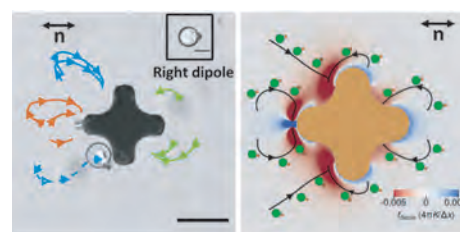
BPIII: skirmionska topološka tekočina. Z uporabo različnih eksperimentalnih tehnik ter numeričnih simulacij smo razložili do zdaj še nedokončno pojasnjeno strukturo modre faze tipa III (BPIII), ki jo najdemo v tekočih kristalih z visoko stopnjo kiralnosti. Pokazali smo, da tako kubična struktura BPI kot amorfna struktura BPIII z ograditvijo v tanko plast preideta v fazo gostih polskirmionov, kar namiguje na to, da so gradniki obeh faz skirmionske niti. To potrjujejo numerične simulacije, ki pokažejo, da je neograjena struktura BPIII prepletena zmes skirmionskih filamentov in defektnih linij. Dinamiko BPIII predstavljata dva hitrostno ločena načina. Počasni način, ki ga pod mikroskopom lahko opazujemo s prostim očesom, predstavlja preurejanje skirmionskih niti in preklapljanje znotraj mreže defektnih linij. Signale višjih frekvenc razumemo kot posledico fluktuacij direktorja znotraj posameznih niti. V preseku posamezne skirmionske niti molekule tekočega kristala tvorijo vrtinčasto strukturo, podobno magnetnim skirmionom, ki jih v zadnjih desetletjih intenzivno proučujejo zaradi uporabe v spominskih napravah. Zaradi relativno široke temperaturne obstojnosti pri sobni temperaturi takšni tekočokristalni skirmioni predstavljajo alternativo platformo za razvoj skirmionskih naprav, potencialno uporabnih v mehki fotoniki (J. Pišljari *et al.*, *Blue Phase III: Topological Fluid of Skyrmions, Physical Review X*, 12, 011003 (2022)).

Interakcije med optičnimi in topološkimi solitoni v kiralnem tekočem kristalu. Slobodan Žumer je v sodelovanju s skupino prof. Smalyukha (Univerza v Coloradu) objavil članek *Interaction and co-assembly of optical and topological solitons* v vrhunski reviji *Nature Photonics*, 16, 454 (2022). Avtorji so se osredotočili na tanko plast frustriranega kiralnega nematika, ki po eni strani omogoča samofokusiranje laserske svetlobe in tvorbo optičnih solitonov, po drugi strani pa obstoj topoloških solitonov, ki so fascinantne, lokalizirane in topološko zaščitene motnje v parametru urejenosti, ki jih ni mogoče zvezno deformirati v homogeno urejeno stanje. Z usklajenimi teorijskimi, simulacijskimi in eksperimentalnimi prijemi so študirali optomehansko interakcijo optičnih in topoloških solitonov, ki je povezana s prenosom gibalne količine med svetlobo in snovjo ter s silo zaradi nelokalne orientacijske elastičnosti kiralnega tekočega kristala. Delikatno ravnovesje obeh sil omogoča dinamično kontrolo in prostorsko lokalizacijo topoloških solitonov. Pride lahko tudi do nenavadnega

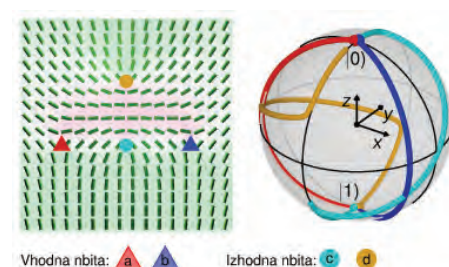


Slika 17: Shematski prikaz odbijajočih optičnih solitonov.

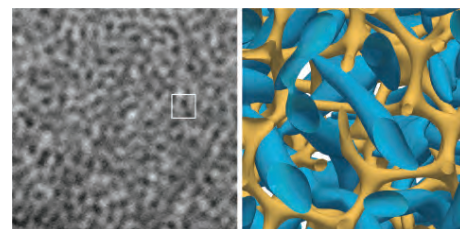
Odkrili smo novo metodo globinskega slikanja skozi sipajoče materiale, ki temelji na lokalizaciji whispering gallery mode mikroresonatorjev. Raziskali smo nove oblike transporta delcev v nematskih tekočih kristalih in uporabili topološke defekte v nematskih tekočinah kot računske elemente. Kot prvi smo pojasnili strukturo modre faze tipa III (BPIII), ki jo najdemo v tekočih kristalih z visoko stopnjo kiralnosti. Študirali smo optomehansko interakcijo optičnih in topoloških solitonov, ki je povezana s prenosom gibalne količine med svetlobo in snovjo ter s silo zaradi nelokalne orientacijske elastičnosti kiralnega tekočega kristala. Proučili smo vlogo kristalne strukture in kisikovih vrzeli na optične lastnosti različnih nanomaterialov iz skupine volframovih suboksidov.



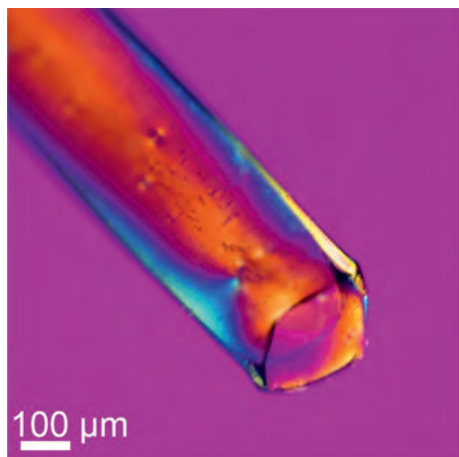
Slika 14: Približevanje sferičnega delca k mikrorobotskemu koloиду, ki ga upravljamo z zunanjim poljem.



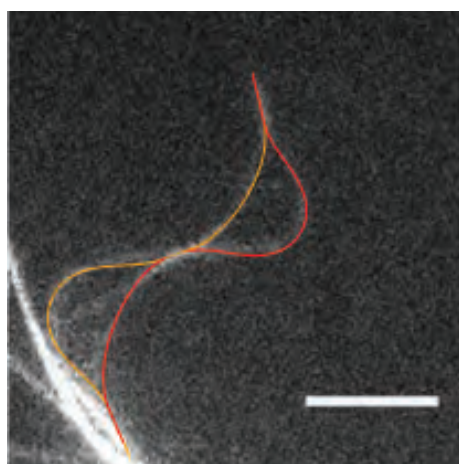
Slika 15: Nematski biti in univerzalna logična vrata



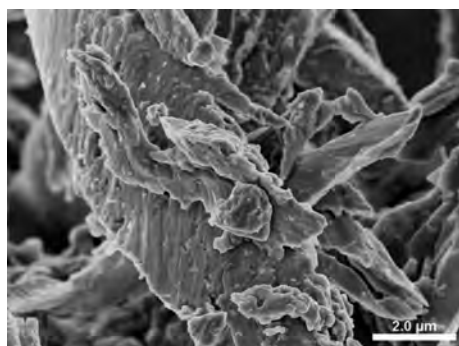
Slika 16: (levo) Mikroskopska slika strukture BPIII v debelejši plasti in (desno) numerično izračunana struktura BPIII, kjer so z modro prikazani skirmioni, z rumeno pa disklinacije.



Slika 18: Cevčica iz tekočerkristalnega elastomera



Slika 19: Par mikrocevčic s teoretično napovedano obliko



Slika 20: Hibridni kompozit nanovlaken grafenovega oksida in tekočih kristalov

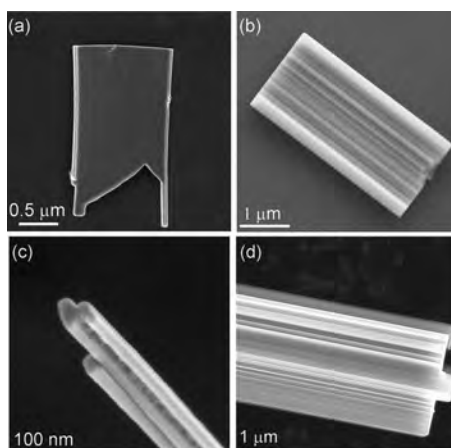
vlečnega efekta optičnega solitona, ki omogoča svetlobno inducirano periodično razporeditev topoloških solitonov.

Mikrofluidne cevčice iz tekočega kristalnega elastomera. Venkata Jampani je skupaj s sodelavci z Univerze v Luksemburgu predstavil sintezo tekočerkristalnih cevčic, ki nastanejo iz oligomernih prekurzorjev tekočerkristalnih elastomerov (TKE) (*Small*, 18, 2204693, (2022)). Uporabili so mikrofluidno vezje s trifaznim koaksialnim tokom, kjer osrednjo fazo TKE prekurzorjev obdajata nezdržljivi zunanja in notranja faza, ki sta stabilizirani s površinsko aktivnimi snovmi, in tako sintetizirali poljubno dolge cevčice. Strižne sile med različnimi fazami so omogočile laminarni tok, ki je poskrbel za urejanje TKE, ki so ga naknadno polimerizirali in tako ustvarili dvolumne cevčice. Te cevčice lahko delujejo kot črpalke za tekočine, ki ga lahko uravnavamo z nadzorovanim zunanjim segrevanjem in ohlajanjem. Z nadaljnjimi izboljšavami bi se lahko TKE-cevčice uporabile za realizacijo aktivnega umetnega žilnega sistema v bioloških sistemih.

Molekularni motorji in filamenti kot model za biološke migetanke. Andrej Vilfan je skupaj s sodelavci iz MPI Göttingen objavil več člankov o molekularnih motorjih (kinezinov in dineinov) ter elastičnih filamentih (mikrocevčicah). Če sta dva filamenta vzporedno speta skupaj, medtem ko med njima vzdržujemo strižno silo, pri določeni sili nastane uklon, podoben Eulerjevemu. Pri višjih silah nastaneta dve bifurkaciji, pri katerih pride do prehoda iz planarne v kiralno obliko s spontanim zlomom simetrije. Ob upoštevanju odziva motorjev na prečne sile model napove tudi planarne ali vijačne valove. Podobno dinamiko so opazili v eksperimentu z dvema mikrocevčicama, od katerih je na eni vrsta dineinskih motorjev. S pomočjo teorije so razložili opažene oblike in določili število aktivnih motorjev. V večjih snopih filamentov pa so nastale naključne ukrivljenosti v odvisnosti od smeri filamentov. (*Small*, 18, 2197854 (2022)).

Večnamenski pametni materiali na osnovi nanodelcev in mehkih snovi. S sodelavci smo objavili pregledni članek na temo pametnih materialov, osnovanih na grafenu in biosenzorskih aplikacijah. Osredotočili smo se predvsem na grafen, ki ima veliko efektivno površino, visoko gostoto nosilcev naboja in se ponaša z izjemnimi mehanskimi lastnostmi. V kombinaciji z drugimi nanodelci in potopljenimi v različne mehke matrice se obseg potencialnih tehnoloških uporabnosti in aplikacij izjemno razširi. Članek obravnava materiale na osnovi nanografena in njihove vsestranske integracije, ki omogočajo bistveno obogatitev zelenih lastnosti. Ciljne lastnosti so poleg izrednih materialnih lastnosti še stroškovna učinkovitost, plastičnost in okoljska prijaznost. Naštete so biomedicinske aplikacije, vključno z nanotehnološko osnovanim zdravljenjem raka, dostavo zdravil, proizvodnjo tkiv, fototermalno terapijo in protimikrobnimi učinki.

Optične lastnosti nanostruktur volframovih suboksidov. Proučili smo vlogo kristalne strukture in kisikovih vrzeli na optične lastnosti štirih različnih nanomaterialov iz skupine volframovih suboksidov: dveh kvazi dvodimenzionalnih kristalov s kemijsko formulo W_nO_{3n-1} ter dveh vrst nanožic s stehiometrijo W_5O_{14} in $W_{18}O_{49}$. Vsi štirje materiali imajo vrhove fotoluminiscenčne emisije v UV območju. Medsebojno delovanje kristalne strukture, kisikovih

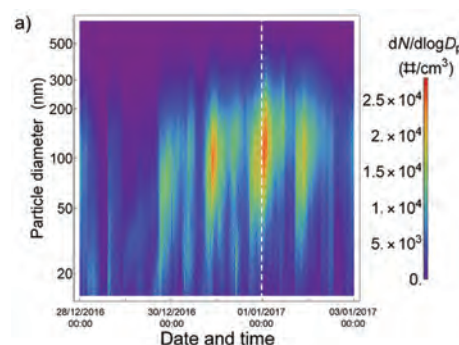


Slika 21: SEM-slike kristalov W_nO_{3n-1} (a, b) in nanožic W_5O_{14} (c) and $W_{18}O_{49}$ (d)

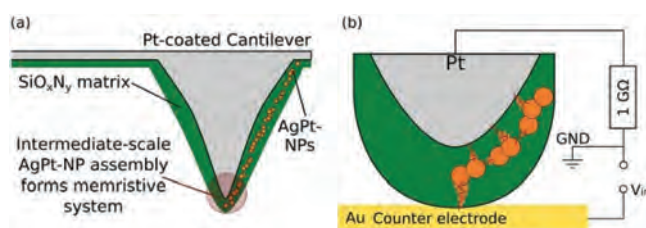
vrzeli in oblike povzročijo spremembe v optičnem obnašanju. Razumevanje teh učinkov omogoča namerno prilagajanje izbranih lastnosti v smeri aplikacije (*Nanotechnology* 33, 275705 (2022)).

Onesnaževanje ozračja z ognjemeti. Ognjemeti onesnažujejo ozračje z različnimi kemičnimi spojinami in elementi, ki lahko ogrozijo zdravje lokalnega prebivalstva, še posebej v slabo prevetrenih dolinah. Izmerili smo masne in številčne koncentracije nanodelcev, delcev PM10 in črnega ogljika v zraku pred novoletnim ognjemetom 2016/2017 v Ljubljani, med njim in po njem. Ugotovili smo statistično značilno korelacijo med vsemi tremi onesnaževali. Kemijska analiza odvzetih vzorcev je pokazala povečano koncentracijo težkih kovin, ki so običajne sestavine pirotehničnih sredstev. Rezultati se ujemajo s kemijsko analizo vzorcev na ARSO, kjer so v prvih dveh dneh novega leta ugotovili močno povečano koncentracijo težkih kovin (*Air Qual Atmos Health* 15, 1275 (2022)).

Nevronska dinamika v pomnilniških upornikih iz AgPt-nanodelcev. Uporabili smo prevodno mikroskopijo na atomsko silo za proučevanje dinamičnih lastnosti pomnilniških upornikov (memristorjev), narejenih iz AgPt-nanodelcev na meji stabilnosti prevodnega stanja. S to metodo smo lahko uspešno lokalizirali memristivno delovanje in določili dinamični režim, v katerem neregularni vzorci proženja določajo memristivni odziv. Takšen dinamičen režim je pomemben zaradi velike podobnosti z ekscitacijami in inhibicijami v nevronskih bioloških sistemih. Ta podobnost nam lahko omogoči poiskati ustrezno stanje nevronskega sistema, ki je najprimernejše za reprezentacijo informacij in računanje z uporabo nevronskih mrež. Študija je bila izvedena v sodelovanju z raziskovalci z Univerze v Kielu in bo objavljena v reviji *Particle & Particle system characterization*.



Slika 22: Normalizirana koncentracija nanodelcev, razvrščenih po velikosti



Slika 23: Eksperimentalna izvedba integriranega memristivnega sistema

III. Programska skupina eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini

Programska skupina Eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini združuje raziskave procesov in struktur bioloških sistemov z razvojem novih naprednih eksperimentalnih tehnik superločljivih mikroskopij, mikrospektroskopij in nanoskopij ter novih slikovnih tehnik. Glavno žarišče raziskav je odziv molekularnih in supramolekularnih struktur na interakcije med materiali in živimi celicami ter med svetlobo in živimi celicami. Zanimajo nas molekularni dogodki in fizikalni mehanizmi, s katerimi so ti dogodki med seboj povezani, časovne skale, pogoji ter aplikativna vrednost raziskovanih mehanizmov, predvsem za uporabo v medicini oz. na področju zagotavljanja zdravja nasploh. Z razvojem novih sklopljenih superločljivih in spektroskopskih tehnik želimo odpreti nove možnosti spoznavanja bioloških sistemov in od tam naprej odpirati nove možnosti za načrtovanje medicinskih materialov in naprav, za diagnostiko, terapijo ter regeneracijo tkiv, ki je med starajočim se prebivalstvom razvitega sveta med najbolj perečimi problemi. Skupina po zaključeni investiciji v nov superločljiv STED-sistem obvladuje različne fluorescenčne mikroskopije: superločljivo (STED) mikroskopijo in dvofotonsko (2PE) mikroskopijo, večkanalno spektralno-razločeno slikanje življenjskega časa fluorescence (spFLIM), fluorescenčno mikrospektroskopijo (FMS), optično pinceto, s katero raziskujemo interakcije predvsem med nanomateriali in celičnimi linijami, ki vodijo v fenomene lipidnega ovijanja in pasivacije nanomaterialov, membranske dizintegracije in prestavljanja celičnih membran brez vloge receptorjev oz. klasičnih signalnih poti. Uvedli smo tudi metodo, ki omogoča spremljanje električnega polja v tumorjih pri zdravljenju rakavih obolenj z elektroporacijo, in nadalje razvili metodo multiparametričnega slikanja z magnetno resonanco za karakterizacijo hrane in zdravil ter različnih procesnih postopkov. Z magnetnoresonančnim slikanjem visoke ločljivosti lahko spremljamo učinkovitost površinskih obdelav, nastajanje in raztapljanje gelov ter merjenja difuzije v omejenih geometrijah z moduliranimi gradienti.

Pridobili smo evropski projekt v okviru programske sheme HORIZON, z akronimom nanoPASS, Bridging the gaps in nanosafety for animal-free prediction of adverse outcomes (project ID: 101092741), kjer smo koordinator projekta.

V okviru dveh nacionalnih raziskovalnih projektov na področju inteligentne mikroskopije (J7-2596, N1-0240), ki jo izvajamo v sodelovanju z Laboratorijem za vizualne kognitivne sisteme Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani, smo razvili orodja za popolnoma avtomatizirano slikanje, ki prilagaja način zajemanja vsebini in išče redke dogodke. Uporabljamo ga za kvantifikacijo celičnih dogodkov po izpostavljenosti nanodelcem, pa tudi za karakterizacijo redkih jedrskih kondenzatov, pomembnih pri transkripciji genov – slednje v sodelovanju s skupino prof. Jerneja Uleta (Kemijski inštitut, Ljubljana, in Francis Crick Institute, Velika Britanija).

Laboratorij za biofiziko je skupaj s svojim odcepljenim podjetjem Infinite, d. o. o., povezal priznane raziskovalne, industrijske in regulatorne partnerje ter pridobil koordinatorsvo novega EU projekta nanoPASS, ki je usmerjen v razvoj in validacijo novih tehnologij za napovedovanje dolgoročnih zdravstvenih tveganj brez uporabe živali.

V sodelovanju z Univerzitetnim kliničnim centrom Ljubljana smo uspešno zaključili nacionalni raziskovalni projekt *J3-1758 Signalna pot z neugodnim izidom, ki vodi do ateroskleroze*, kjer smo identificirali lokalno aktivacijo trombina kot možen sprožilni dogodek ateroskleroze, povezan z izpostavljenostjo onesnaženemu zraku. Tako smo zbrali dodatne dokaze za hipotezo, ki smo jo prvotno predlagali leta 2018 v *Nano Letters*, kjer smo domnevali o vzročni povezavi med vdihavanjem nanodelcev in proženjem srčno-žilnih bolezni.

V okviru sodelovanja z Laboratorijem za toplotno tehniko (LTT) Fakultete za strojništvo smo nadaljevali raziskave detekcije in analize temperaturne dinamike pri procesu mikrovrenja in objavili študijo, posvečeno prostorski analizi lokalnih toplotnih procesov v optično transparentnih materialih.

V okviru projekta CROSSING smo vzpostavili nova sodelovanja s Sinhrotronom Elettra v Bazovici. Z uspešno pridobljenima eksperimentalnima projektoma na žarkovnih linijah za mehko rentgensko fluorescenčno spektroskopijo (TwinMic) in FTIR (nano)mikroskopijo/spektroskopijo (SISSI) smo izvedli elementarno in molekularno slikanje ter analizo podceličnih struktur v visoki ločljivosti. Z novim pristopom korelativne mikroskopije smo z omenjenimi metodami dodatno proučili začetne mehanizme celičnega odziva po izpostavljenosti različnim toksičnim nanomaterialom. Izsledke študije bomo predstavili znanstveni skupnosti 2023.

Vzpostavili smo sodelovanje s podjetjem Educell, d. o. o., za raziskave začetnih celičnih odzivov na nove protimikrobne materiale z uporabo naše najsodobnejše opreme za fluorescenčno mikroskopijo. Projekt se financira prek novega evropskega projekta HORIZON-CL4-2021-RESILIENCE-01 (Triple-A-COAT, 101057992), partner pa bo za to sodelovanje z IJS namenil sredstva tretjih oseb.

Na novoustanovljenem Centru za napredno optično mikroskopijo (CNOM), ki deluje v okviru Centra za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM), smo začeli projekt razvoja in izgradnje visoko zmogljive fluorescenčne strukturirane mikroskopije (SIM) v kombinaciji z 2,5 D mikroskopijo. Naš cilj je dokončati nov eksperimentalni sistem do konca leta 2023.

Še naprej smo razvijali napredne tehnike mikroskopije in mikrospektroskopije ter jih uporabljali za raziskovanje različnih molekularnih in celičnih mehanizmov. V sodelovanju z Univerzo v Oxfordu (Združeno kraljestvo) in Univerzo v Jeni smo raziskovali interakcije med molekulami, ki sodelujejo pri transportu komponent v peroksisome in iz njih. S partnerji z Univerze v Olomouci (CZ) smo opazovali vnos ogljikovih nanodelcev v tumorske celice in vpliv na njihovo preživetje.

Leta 2022 smo nadgradili naš superločljivi mikroskop STED s paketom za dolgoročno večbarvno slikanje živih celic, ki ga sestavljajo dodatni laserji in detektorji z namenskim kanalom za učinkovito detekcijo sipanja nefluorescentnih nanodelcev, inkubator za vzorce ter novo elektroniko za prilagodljivo osvetljevanje. V ta namen smo pridobili sofinanciranje iz ARRS paketa 20.

V okviru industrijskega sodelovanja z našim odcepljenim podjetjem Infinite, d. o. o., smo odkrili nove zgodnje molekularne dogodke, ki sledijo izpostavitvi novega *in vitro* osteomodela, ki ga je naše odecpljeno podjetje razvilo za reševanje problema nepojasnjene vnetja, povezanega s kostnimi implantati. Nekateri od teh ugotovitev so že implementirane v novo tehnologijo napovedovanja zdravstvenih tveganj, povezanih z implantati.

Skupaj z našim spin-out podjetjem Infinite, d. o. o., smo odkrili tudi več presenetljivih razvojev fenotipov celic kot posledice izpostavitvi materialom, kar je glede na trenutne dogme sodobne biologije povsem nepričakovano za tipe celičnih linij, uporabljene v *in vitro* modelih. To je odprlo novo področje raziskav in nove možnosti pri poenostavitvi razumevanja diferenciacije celic.

Magnetnoresonančno slikanje gostote električnega toka in njena uporaba za spremljanje odziva rastlinskih tkiv na obdelavo s pulzi električnega polja. Sprememba prepustnosti celične membrane pri izpostavljenosti rastlinskih tkiv pulzirajočim električnim poljem (PEF) je povezana s fizikalnimi spremembami v celičnih in podceličnih strukturah. Cilj naše raziskave je bil raziskati možne heterogenosti pri PEF-obdelavi zaradi strukturne heterogenosti rastlinskih tkiv. Testirali smo uporabo PEF na naslednjih rastlinskih tkivih: jabolko, krompir in korenje. Merili smo prostorsko porazdelitev T_2 NMR relaksacije s slikanjem z magnetno resonanco v odvisnosti od lokalnega električnega polja pri PEF-obdelavi, ki smo ga izmerili z magnetnoresonančno električno impedančno tomografijo (slika 1). Rezultati so pokazali naraščajočo heterogenost porazdelitve relaksacijskih časov T_2 z naraščajočo kompleksnostjo strukture tkiv (korenje > krompir > jabolko). Ta študija je bila objavljena v članku: Genovesi Jessica, Marko Stručič, Igor Serša, Vitalij Novickij, Pietro Rocculi, Damijan Miklavčič, Samo Mahnič-Kalamiza, Matej Kranjc, *PEF treatment effect on plant tissues of heterogeneous structure no longer an enigma: MRI insights beyond the naked eye*, *Food chemistry* 134892, p. 1-9 (2022). Razvili smo tudi novo metodo magnetnoresonančnega slikanja gostote električnega toka. Pokazali smo namreč, da prisotnost električnega toka v vzorcu povzroči nastanek gradienta magnetnega polja, ki vodi do zmanjšanja T_2^* NMR relaksacijskega časa. Ta učinek je bil raziskan tako teoretično kot tudi eksperimentalno, potrjena in predstavljena je bila metoda, kako iz izmerjenega T_2^* oziroma zmanjšanja signala oceniti gostoto električnega toka, ki je to spremembo povzročila. Ta študija je bila objavljena v članku: Igor Serša, *Electric current detection based on the MR signal magnitude decay*, *Magnetic resonance in medicine*, 88, 1282-1291 (2022).

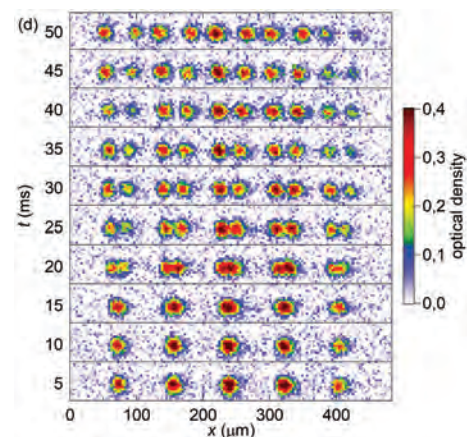
Pomen multiparametričnega magnetnoresonančnega slikanja pri načrtovanju intervencijskega zdravljenja ishemične možganske kapi. Natančna karakterizacija tromba pri ishemični možganski kapi lahko olajša postopek rekanalizacije žilne zapore in poveča uspešnost zdravljenja kapi. V študiji smo proučevali, kako dobro lahko možganske trombe ovrednotimo z računalniško tomografijo (CT), magnetno resonanco (MR) in histologijo ter kako parametri, pridobljeni s temi metodami, korelirajo tako med seboj kot tudi s potekom intervencijskega postopka zdravljenja ter s kliničnimi parametri pacienta. Možganski trombi 25 bolnikov z ishemično kapjo so bili intervencijsko slikani s CT ter nato pridobljeni z mehansko trombektomijo. Pridobljene trombe smo nato na IJS slikali z MR mikroskopijo, ki je vključevala kartiranje navidezne difuzijske konstante (ADC), kartiranje T_2 relaksacijskega časa in histološko analiziranje. V študiji smo pokazali, da obstajajo pomembne korelacije med variabilnostjo ADC in trajanjem mehanske rekanalizacije, med odstopanji v povprečnih CT številih in številom prehodov s trombektomično napravo, dolžino tromba in vsebnostjo rdečih krvnih celic. S to študijo smo tudi pokazali klinični potencial multiparametričnega MR slikanja pri karakterizaciji trombov in njegove uporabe za načrtovanje intervencijskega postopka. Ta študija je bila objavljena v članku: V. Reberka *et al.*, *An intermodal correlation study among imaging, histology, procedural and clinical parameters in cerebral thrombi retrieved from anterior circulation ischemic stroke patients*, *Journal of clinical medicine*, **11**, 5976-1-5976-15 (2022).

Raziskave lesa z magnetno resonanco. Na fizikalne in mehanske lastnosti lesa in tudi dovzetnosti za glivično razpadanje močno vpliva vsebnost vlage v lesu. Zato je razumevanje stanja vode v lesu, to je razmerja med prosto in vezano vodo, v odvisnosti od vsebnosti vlage v lesu zelo pomembno. Da bi raziskali to odvisnost, smo na vzorcih bukve pri sušenju od zelene (sveže razrezane) do popolnoma suhega stanja spremljali porazdelitev relaksacijskih časov T_1 in T_2 v 1D ter njuno korelacijo s korelacijsko NMR relaksometrijo v 2D. Rezultati relaksometrije so skladni z modelom homogenega praznjenja por v bioporoznem sistemu s povezanimi porami. Rezultati te študije so potrdili, da je NMR učinkovito orodje za študij poti transporta vode v lesu med sušenjem in da tudi omogoča določanje stanja vode in njene porazdelitve v lesu. Ta študija je bila objavljena v članku: U. Mikac *et al.*, *MR study of water distribution in a beech (*Fagus sylvatica*) branch using relaxometry methods*, *Molecules*, **26**, 4305-1-4305-10 (2021).

Magnetnoresonančna mikroskopija perifernih živcev. Razumevanje mikroanatomije živcev je pomembno, ker različne nevropatije in nekatere neoplazme živcev spremlja tudi povečanje fasciklov. Namen naše študije je bil pridobiti klinično usmerjeno znanje fascikularne anatomije živca s pomočjo različnih metod atomskega slikanja. Študija je bila izvedena na odsekih medianega in ulnarnega živca, ki je bil slikan s prostorsko visokoločljivim ultrazvočnim slikanjem pri 22 MHz, s kliničnim magnetnoresonančnim slikanjem pri 3T in na IJS smo izvedli še slikanje vzorcev živca z magnetnoresonančno mikroskopijo pri 9,4 T. Anatomskim slikanjem je nato sledila še histološka analiza živcev kot referenčna metoda. Vse tri slikovne metode so bile nato primerjane po zmožnosti štetja in razlikovanja fasciklov ter merjenja interfascikularne razdalje in njihovega prečnega preseka. Izkazalo se je, da med temi metodami atomskega slikanja magnetnoresonančna mikroskopija, ki jo imamo na IJS, omogoča najboljšo analizo fascikularne anatomije živca (slika 2). Študija je bila objavljena v članku: Žiga Snoj, Igor Serša, Urša Matičič, Domen Plut, Erika Cvetko, Gregor Omejec, *Median and ulnar nerve fascicle imaging using MR microscopy and high-resolution ultrasound*, *Journal of neuroimaging* **32**, 420-429 (2022). Nadaljevanje te študije na omenjenih perifernih živcih je bilo usmerjeno v razvoj metode slikanja difuzijskega tenzorja in njene aplikacije na proučevanju difuzijskih lastnosti in frakcijske anizotropije različnih anatomskih struktur živca. Zaradi visoke prostorske ločljivosti slikanja, ki je znašala 35 mikrometrov, je bila izvedba te študije, ki je ena prvih te vrste na svetu, poseben izziv. Njeni rezultati so objavljeni v članku: A. Kanza *et al.*, *Diffusion tensor imaging of a median nerve by magnetic resonance: a pilot study*, *Life*, **12**, 748-1-748-13 (2022).

IV. Programska skupina Fizika kvantnih tehnologij

Priprava ultrahladnih atomsko sestavljenih ansamblov z uporabo časovno multipleksirane optične pincete. Optično pinceto, ki temelji na časovno multipleksiranih akusto-optičnih deflektorjih, smo uporabili za lovljenje ultrahladnih cezijevih atomov v enodimenzionalne nize atomskih ansamblov. Za temperature med 2,5 μ K in 50 nK smo proučevali največji čas med impulzi optične pincete, ki še ohrani število atomov v eni pasti. Ta čas omogoča oceno največjega števila mest v nizu časovno multipleksiranih optičnih pincet. Prikazali smo hlajenje atomov z izhlapevanjem v nizih do 25 pasti in pripravo atomov v škatlastem potencialu. Poleg tega smo prikazali tri različne protokole za pripravo atomsko sestavljenih ansamblov s prenosom iz raztezajočega se ultrahladnega atomskega oblaka. Rezultati omogočajo pripravo nizov do 74 atomskih sklopov, sestavljenih iz povprečno \sim 100 atomov (K. Gosar *et al.*, *Phys. Rev. A* **106**, 022604 (2022)).



Slika 24: Časovna serija razcepitve 5 atomskih ansamblov na 10 s pomočjo časovno multipleksirane optične pincete.

ERC-projekti

1. H2020 – Cell-Lasers; Celični laserji: Sklopitev med optičnimi resonancami in biološkimi procesi
European Commission
doc. dr. Matjaž Humar
2. H2020 – LOGOS: Logična vezja iz ftonske mehke snovi
European Commission
prof. dr. Igor Muševič

Najpomembnejše objave v letu 2022

1. T. Arh *et al.*, The Ising triangular-lattice antiferromagnet neodymium heptatantalate as a quantum spin liquid candidate, *Nat. Mater.*, 2022, 21, 416–422
2. J. Luzar, P. Priputen, M. Drienovský, S. Vrtnik, P. Koželj, A. Jelen, M. Wencka, D. Gačnik, P. Mihor, B. Ambrožič, G. Dražič, A. Meden, J. Dolinšek, Zero-Magnetostriction Magnetically Soft High-Entropy Alloys in the AlCoFeNiCu_x (x = 0.6 – 3.0) System for Supersilent Applications, *Adv. Mater. Interfaces*, 2022, 9, 32, 2201535
3. Z. Hananai, Z. Kutnjak *et al.*, *Nanoscale Adv.*, 2022, 4, 4658–4668
4. T. Yao, Ž. Kos, Qi Xing Zhang, Yimin Luo, E. B. Steager, M. Ravnik, K. J. Stebe, Topological defect-propelled swimming of nematic colloids, *Sci. Adv.*, 2022, 8, 34, 8176
5. Ž. Kos, and J. Dunkel, Nematic bits and universal logic gates, *Sci. Adv.*, 2022, 8, 33, 8371
6. J. Pišljari, S. Ghosh, S. Turlapati, N. V. S. Rao, M. Škarabot, A. Mertelj, A. Petelin, A. Nych, M. Marinčič, A. Pusovnik, M. Ravnik, and I. Muševič, Blue Phase III: Topological Fluid of Skyrmions, *Phys. Rev. X*, 2022, 12, 1, 011003
7. G. Poy, A. J. Hess, A. J. Seracuse, M. Paul, S. Žumer, I. I. Smalyukh, Interaction and co-assembly of optical and topological solitons, *Nature Photonics*, 2022, 16, 6, 454–461
8. Galiani, Silvia, Reglinski, K., Carravilla, P., Barbotin, Aurélien, Urbančič, Iztok, Ott, J., Sehr, J., Sezgin, Erdinc, Schneider, F., Waithe, Dominic, Hublitz, P., Schliebs, W., Erdmann, R., Eggeling, Christian, Diffusion and interaction dynamics of the cytosolic peroxisomal import receptor PEX5, *Biophysical reports*, 2022, 2, 2, 100055
9. M. Leroux, B. Kokot, H. Kokot, T. Koklič, J. Štrancar *et al.*, Aerosol–cell exposure system applied to semi-adherent cells for aerosolization of lung surfactant and nanoparticles followed by high quality RNA extraction, *Nanomaterials*, 2022, 12, 8, 1362
10. I. Serša, Electric current detection based on the MR signal magnitude decay, *Magnetic resonance in medicine*, 2022, 88, 3, 1282–1291
11. K. Gosar *et al.*, Preparation of ultracold atomic-ensemble arrays using time-multiplexed optical tweezers, *Phys. Rev. A*, 2022, 106, 2, 022604

Najpomembnejše objave v letu 2021

1. Schymura, Stefan, Drev, Sandra, Podlizec, Rok, Rijavec, Tomaž, Lapanje, Aleš, Štok, Marko, *et al.*, Dissolution-based uptake of CeO₂ nanoparticles by freshwater shrimp: a dual-radiolabelling study of the fate of anthropogenic cerium in water organisms, *Environmental science, Nano*, 2021, 8, 7, 1934–1944
2. Everts, J. C., Ravnik, M., Ionically charged topological defects in nematic fluids, *Phys. Rev. X*, 2021, 11, 1, 011054
3. Papič, M., Mur, U., Zuhail, K. P., Ravnik, M., Muševič, I., Humar, M., Topological liquid crystal superstructures as structured light lasers, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2021, 118, 49, e2110839118
4. Peddireddy, K., Čopar, S., Le, V.K., Muševič, I., Bahr, G., Jampani, V.S.R., Self-shaping liquid crystal droplets by balancing bulk elasticity and interfacial tension, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 2021, 118, 14, e2011174118
5. Pirker, L., Pogačnik Krajnc, A., Malec, J., Radulović, V., Gradišek, A., Jelen, A., Remškar, M., Mekjavić, I. B., Kovač, J., Mozetič, M., Snoj, L., Sterilization of polypropylene membranes of facepiece respirators by ionizing radiation, *J. Membr. Sci.*, 2021, 619, 118756
6. Del Pupo, S., Zupanič, E., *et al.*, Tuning graphene doping by carbon monoxide intercalation at the Ni(111) interface, *Carbon*, 2021, 176, 253–261
7. Nasour, B., Vilfan, A., Golestanian, R., Minimum dissipation theorem for microswimmers, *Phys. Rev. Lett.*, 2021, 126, 3, 034503
8. Hickey, D., Vilfan, A., Golestanian, R., Ciliary chemosensitivity is enhanced by cilium geometry and motility, *eLife*, 2021, 10, e66322
9. M. Klanjšek, Singlets singled out, *Nature Physics*, 2021, 17, 1081–1082
10. X. Chen, T. Yang, Q. Zhang, L. Q. Chen, V. Bobnar, C. Rahn, Q. M. Zhang, Topological structure enhanced nanostructure of high temperature polymer exhibiting more than ten times enhancement of dipolar response, *Nano Energy*, 2021, 88, 106225

11. Y. Tanama *et al.*, Robust coherent spin centers from stable azafullerene radicals entrapped in cycloparaphenylene rings, *Nanoscale*, 2021, 13, 47, 19946-19955

Najpomembnejše objave v letu 2020

1. T. Arh, M. Gomilšek, P. Prelovšek, M. Pregelj, M. Klanjšek, A. Ozarowski, S. J. Clark, T. Lancaster, W. Sun, J.-X. Mi, A. Zorko, Origin of magnetic ordering in a structurally perfect quantum kagome antiferromagnet, *Phys. Rev. Lett.*, 2020, 125, 027203
2. P. Khuntia, M. Velazquez, Q. Barthélemy, F. Bert, E. Kermarrec, A. Legros, B. Bernu, L. Messio, A. Zorko, P. Mendels, Gapless ground state in the archetypal quantum kagome antiferromagnet $\text{ZnCu}_3(\text{OH})_6\text{Cl}_2$, *Nat. Phys.*, 2020, 16, 469
3. J. Hess, G. Poy, Jung-Shen B. Tai, S. Žumer, I. I. Smalyukh, Control of light by topological solitons in soft chiral birefringent media, *Phys. Rev. X*, 2020, 10, 031042
4. G. Poy, A. J. Hess, I. I. Smalyukh, S. Žumer, Chirality-Enhanced Periodic Self-Focusing of Light in Soft Birefringent Media, *Phys. Rev. Lett.*, 2020, 125, 077801
5. T. Strübing, A. Khosravanizadeh, A. Vilfan, E. Bodenschatz, R. Golestanian, I. Guido, Wrinkling Instability in 3D Active Nematics, *Nano Lett.*, 2020, 20, 6281-6288
6. J. Binysh, Ž. Kos, S. Čopar, M. Ravnik, G. P. Alexander, Three-Dimensional Active Defect Loops, *Phys. Rev. Lett.*, 2020, 124, 088001
7. K. Pal, A. Si, G. S. El-Sayyad, M. A. Elkodous, R. Kumar, A. I. El-Batal, S. Kralj, S. Thomas, Cutting edge development on graphene derivatives modified by liquid crystal and CdS/TiO_2 hybrid matrix: optoelectronics and biotechnological aspects, *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 2020
8. H. Massana-Cid, A. Ortiz-Ambroz, A. Vilfan, P. Tierno, Emergent collective colloidal currents generated via exchange dynamics in a broken dimer state., *Sci. Adv.*, 2020, 6, eaaz2257
9. D. Richter, M. Marinčič, M. Humar, Optical-resonance-assisted generation of super monodisperse microdroplets and microbeads with nanometer precision, *Lab Chip*, 2020, 20, 734-74
10. P. Campinho, P. Lamperti, F. Boselli, A. Vilfan, J. Vermot, Blood Flow Limits Endothelial Cell Extrusion in the Zebrafish Dorsal Aorta, *Cell Reports*, 2020, 31, 107505
11. L. Pirker, B. Višič, S. D. Škapin, G. Dražič, J. Kovača, M. Remškar, Multi-stoichiometric quasi-two-dimensional $\text{W}_n\text{O}_{3n-1}$ tungsten oxides, *Nanoscale*, 2020, 12, 15102-15114
12. Hassaniien, B. Zhou, A. Kobayashi, Spontaneous Antiferromagnetic Ordering in a Single Layer of $(\text{BETS})_2\text{GaCl}_4$ Organic Superconductor, *Advanced Electronic Materials*, 2020, 6
13. H. Kokot, B. Kokot, A. Sebastijanović, R. Podlipec, A. Krišelj, P. Čotar, M. Pušnik, P. Umek, S. Pajk, I. Urbančič, T. Koklič, J. Štrancar, *et al.*, Prediction of chronic inflammation for inhaled particles: the impact of material cycling and quarantining in the lung epithelium., *Adv. Mater.*, 2020, 32, 2003913
14. Barbotin, I. Urbančič, S. Galiani, C. Eggeling, M. J. Booth, Background reduction in sted-fcs using a bi-vortex phase mask, *ACS Photonics*, 2020, 7, 1742-1753
15. Frawley, V. Wycisk, Y. Xiong, S. Galiani, E. Sezgin, I. Urbančič, A. Vargas Jentzsch, K. G. Leslie, C. Eggeling, H. L. Anderson, Super-resolution resolt microscopy of lipid bilayers using a fluorophore-switch dyad., *Chem. Sci.*, 2020, 11, 8955-8960

Nagrade in priznanja

1. dr. Matjaž Gomilšek: Svečana listina za mlade visokošolske učiteljice in učitelje ter visokošolske sodelavke in sodelavce, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, za izjemno uspešno znanstvenoraziskovalno delo, predano in inovativno pedagoško delo ter soorganizacijo poletne šole Physics in Ljubljana 2022 na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani
2. Katja Gosar, mag.: nagrada dr. Uroša Seljaka, Univerza v Ljubljani, ASEF (Ameriško-slovenska izobraževalna fundacija) za članek Single-shot Stern-Gerlach magnetic gradiometer with an expanding cloud of cold cesium atoms
3. doc. dr. Anton Gradišek: Prometej znanosti, Ljubljana, Slovenska znanstvena fundacija za človeku prijazno predstavljanje raziskovalnih dosežkov v spletni obliki revije za znanost in o znanosti izdajatelja ZRC SAZU, Uredništvo spletne revije Alternator
4. doc. dr. Matjaž Humar: Blinčeva nagrada za fizike na začetku kariere, Ljubljana, Fakulteta za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani in Institut "Jožef Stefan"
5. Aljaž Kavčič, mag. fiz.: nagrada dr. Uroša Seljaka, Univerza v Ljubljani, ASEF (Ameriško-slovenska izobraževalna fundacija) za delo Deep tissue localization and sensing using optical microcavity probes (*Nature Communications*)

6. dr. Žiga Kos: Priznanje za najodličnejši raziskovalni dosežek Univerze v Ljubljani v letu 2022
7. dr. Žiga Kos: Zlati znak Jožefa Stefana za odmevno doktorsko delo s področja naravoslovno-matematičnih, tehniških, medicinskih in biotehniških ved
8. prof. dr. Samo Kralj: nagrada za izjemne raziskovalne dosežke, Univerza v Mariboru, Fakulteta za naravoslovje in matematiko
9. dr. Anna Razumnaya: pečat odličnosti, Bruselj Belgija, Obzorje Evropa, nagrada za projekt Nastavljiva topološka kiralnost v feroelektričnih nanomaterialih
10. doc. dr. Aleš Mohorič: Priznanje DMFA Slovenije za bogato strokovno dejavnost in dolgoletno uredniško delo pri reviji Presek in drugih družbenih publikacijah, Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije
11. prof. dr. Maja Remškar, doc. dr. Anton Gradišek, dr. Luka Pirker, Anja Pogačnik Kranjc, mag. fiz.: Prometej znanosti, Ljubljana, Slovenska znanstvena fundacija, za obsežno strokovno neoporečno seznanjanje javnosti o rezultatih testiranja zaščitnih mask različnih proizvajalcev
12. prof. dr. Andrej Zorko: 2022 Science Impact Award, Science and Technology Facilities Council, Velika Britanija, nagrajeno delo: The Ising triangular-lattice antiferromagnet neodymium heptatantalate as a quantum spin liquid candidate, Nat. Mater. 21, 4016 (2022).
13. prof. dr. Slobodan Žumer: The Pierre Gilles de Gennes ILCS Prize – najvišja nagrada ILCS (Mednarodno združenje za tekoče kristale)
14. prof. dr. Slobodan Žumer: American Physical Society Outstanding referee for the journals of APS – priznanje, podeljeno izbranim ocenjevalcem revij ameriškega fizikalnega združenja.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ERC H2020 - Cell-Lasers; Celični laserji: Sklopitev med optičnimi resonancami in biološkimi procesi
European Commission
doc. dr. Matjaž Humar
2. ERC H2020 - LOGOS; Logična vezja iz ftonske mehke snovi
European Commission
prof. dr. Igor Muševič
3. COST CA17121; Korelirana multimodalna slikanja v znanostih o življenju
COST Association AISBL
prof. dr. Janez Štrancar
4. COST CA17139; Evropska interdisciplinarna topološka akcija
COST Association AISBL
prof. dr. Slobodan Žumer
5. COST CA9108 - HiSCALE; Visokotemperaturna superprevodnost za pospešitev prehoda energije
COST Association AISBL
dr. Abdelrahim Ibrahim Hassani
6. BIO-OPT-COMM; Optična komunikacija v živi nevronske mreži
HFSP- International Human Frontier Science Program Organization
doc. dr. Matjaž Humar
7. H2020 - ENGIMA; Inženiring nanostruktur z ogromno magneto-piezoektrično in multikalorično funkcionalnostjo
European Commission
prof. dr. Zdravko Kutnjak
8. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Maja Remškar
9. H2020 - FoodTraNet; Mreža za napredno raziskovanje in usposabljanje na področju kakovosti, varnosti in zaščite hrane
European Commission
doc. dr. Matjaž Humar
10. H2020 - QMatCh; Iskanje kvantnih stanj snovi s kemijo pod ekstremnimi pogoji
European Commission
prof. dr. Denis Arčon
11. Zaščita kulturne dediščine v prostorih - primer Leonardo da Vincijeve „Zadnje večerje“
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Griša Močnik
12. Nova elektronska stanja izhajajoč iz sklopitve med magnetizmom in električno prevodnostjo v itinerantnih antiferomagnetih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Denis Arčon
13. Nano-spektralno slikanje hemoglobina na osnovi nelinearne optike za „label-free“ diagnostiko v medicini
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Rok Podlpec
14. Učinek ognjemetov na onesnaženost zraka v urbanem okolju
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Anton Gradišek
15. Raziskave onesnaženosti zraka z nanodelci povzročene z ognjemeti
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Maja Remškar
16. Pozicioniranje in prostorska kontrola magnetnih fulerenov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Denis Arčon
17. Prilagodljivo memristivno preklapljanje v mreži ogljikovih nanocev za nevromorfno računanje
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Abdelrahim Ibrahim Hassani
18. Optični mikroresonatorji sklopljeni s plazmoni za molekulska senzorika znotraj celic v realnem času
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Matjaž Humar
19. Koncept kritične točke v antiferoelektričnih materialih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Nikola Novak
20. Visokotemperaturne polimerne zmesi z močno povečanim električnim prebojnim poljem
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Zdravko Kutnjak
21. Novi kvantni materiali s perspektive lokalnih prob
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andrej Zorko
22. 3D tiskane komponente za optimizirano elektrolizo vode
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Janez Dolinšek
23. Topološke vzbuditve in kvazi delci v nematičnih tekočih kristalih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Samo Kralj
24. Proženje strjevanja krvi po izpostavitvi pljučnega epitelija nanodelcem in vitro
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Tilen Koklič
25. EIT Health - Miniaturni senzor za spremljanje in preprečevanje prenosa boleznih preko aerosolov
EIT Health e.V.
prof. dr. Maja Remškar
26. OE - FerroChiral; Nastavljiva topološka kiralnost v feroelektričnih nanomaterialih
European Commission
prof. dr. Zdravko Kutnjak
27. COST CA21126; NanoSpace: Ogljikove molekularne nanostrukture v vesolju; Znanstveni sestavek projekta Nanospace
COST Association AISBL
prof. dr. Denis Arčon
28. COST CA21144; Superprevodne nanouprave in kvantni materiali za koherentno manipulacijo
COST Association AISBL
dr. Abdelrahim Ibrahim Hassani

PROGRAMI

1. Fizika kvantnih in funkcionalnih materialov
prof. dr. Denis Arčon
2. Fizika mehkih snovi, površin in nanostruktur
prof. dr. Miha Ravnik
3. Eksperimentalna biofizika kompleksnih sistemov in slikanje v biomedicini
prof. dr. Janez Štrancar
4. Neravnovesna dinamika kvantnih sistemov
Davorin Kotnik
5. Fizika kvantnih tehnologij
dr. Peter Jeglič

PROJEKTI

1. Rekonstrukcija električne prevodnosti tkiv s tehnikami magnetne resonance
prof. dr. Igor Serša
2. Fazni prehodi proti koordinaciji v večplastnih omrežjih
dr. Uroš Jagodič
3. Razvoj komponent za vzpostavitev nove evropske mreže za kvantno komunikacijo
dr. Peter Jeglič
4. Razvoj visokozmogljivih piezoelektričnih premazov za samodejno napajanje netkanim tekstilij uporabnih v e-mobilnosti
prof. dr. Vid Bobnar
5. Vpliv mehanike in topologije membrane na celično ujetje bakterij, virionov in anorganskih delcev
Georgios Kordogiannis, PhD.
6. Študij sil znotraj celic s pomočjo deformacij fotonih kapljic
doc. dr. Matjaž Humar
7. Elektrokalični elementi za aktivno hlajenje elektronskih vezij
prof. dr. Vid Bobnar
8. Napredne anorganske in organske tanke plasti z ojačenim električno induciranim odzivom
prof. dr. Vid Bobnar
9. Signalna pot z neugodnim izidom, ki vodi do ateroskleroze
dr. Tilen Koklič
10. Stabilizacija in destabilizacija spinskih tekočin zaradi perturbacij
prof. dr. Andrej Zorko
11. Fizika Majoranovih fermionov v magnetih Kitaeva
doc. dr. Martin Klanjšek
12. Nova eksperimentalna metoda določitve kvantnih spinskih tekočin
prof. dr. Andrej Zorko
13. Topološka turbulenca v ograjenih kiralnih nematskih poljih
prof. dr. Miha Ravnik
14. Aktivna prevleka za zaščito pred elektromagnetnim sevanjem
dr. Matej Pregelj
15. Pametna nanospektroskopija molekularnih dogodkov pri nevrodegeneraciji zaradi nanodelcev
doc. dr. Iztok Urbančič
16. Samooblikovane fotonske strukture iz tekočih kristalov
Venkata Subba Rao Jampani, PhD.
17. Napredna optična magnetometrija vrtničnih niti v nekonvencionalnih superprevodnikih
prof. dr. Denis Arčon
18. Kvantno procesiranje fullerenskih kubitov z diamantnimi senzorji
prof. dr. Denis Arčon
19. Coulombska stanja v energijski reži superprevodnih kvantnih naprav
prof. dr. Denis Arčon

20. Identifikacija ključnih dogodkov v živih celicah na podlagi mikroskopije
doc. dr. Iztok Urbančič
21. Spremembe nevro-mišično-fascialnega sistema pri sladkorni bolezni analizirane s 3D mikroskopijo in biomehanskimi testi
Univerza v Ljubljani
prof. dr. Igor Serša
22. Antiferoelektrični materiali za hladilne in energetske elektronske aplikacije
dr. Nikola Novak
23. Napovedovanje patogenosti in perzistence bakterij *Listeria monocytogenes* na osnovi značilnosti njihovih biofilmov in surfaktoma s pomočjo strojnega učenja
dr. Boštjan Kokot
24. Magnetno, električno in strižnonapetostno programiranje oblikovnega odziva v aktuatorjih na osnovi polimerno dispergiranih tekočokristalnih elastomerov
dr. Andraž Rešetič
25. Razvoj integriranega mnogo kanalnega umetnega nosu za detekcijo raka
prof. dr. Igor Muševič
26. Razvoj koncepta za mehanistično napovedovanje fibroze in proženja koagulacije krvi, ki jo povzročajo vdihani materiali (uCellNet)
dr. Tilen Koklič
27. Kriptografsko varen generator naključnih števil
dr. Peter Jeglič
28. SiMBION – EuBI
prof. dr. Igor Serša
29. Kriptografsko varen generator naključnih števil
Urad Vlade Republike Slovenije za varovanje tajnih podatkov
dr. Peter Jeglič
30. CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
prof. dr. Janez Štrancar

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Odkrivanje ne-antropogenega onesnaževanja zraka
Aerosol, d. o. o.
prof. dr. Griša Močnik
2. Razvoj in vzdrževanje rešitev na področju PHP in MS SQL Server
SRC, d. o. o.
prof. dr. Igor Muševič
3. L1-2607 Sofinanciranje L-projektov: Magnetno, električno in strižnonapetostno programiranje oblikovanega odziva v aktuatorjih na osnovi polimerno dispergiranih tekočokristalnih elastomerov
KMZ - Zalar Miran, s. p.
dr. Andraž Rešetič
4. Raziskave in analiza novih molekularnih dogodkov in njihovih vzročno-posledičnih povezav in vitro
Infinite, d. o. o.
prof. dr. Janez Štrancar
5. Magnetno resonančno slikanje tablet v različnih medijih
Lek, d. d.
prof. dr. Igor Serša
6. Sofinanciranje L7-4535 „Razvoj koncepta za mehanistično napredovanje fibroze in proženja koagulacije krvi, ki jo povzročajo vdihani materiali (uCellNet9“
Infinite, d. o. o.
dr. Tilen Koklič
7. Sofinanciranje L7-4491 „Razvoj integriranega mnogo kanalnega umetnega nosu za detekcijo raka“
RLS Merilna Tehnika, d. o. o.
prof. dr. Igor Muševič

OBISKI

1. dr. Gudimalla Apparao, Chanubanda, Indija, 1. 1.-1. 5. 2022
2. dr. Magdalena Wencka, Polish Academy of Sciences, Institute of Molecular Physics, Poznan, Poljska, 15. 1. 2022-31. 3. 2023
3. dr. Shishkina Yulia, I. M. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of NASU, Kijev, Ukrajina, 8. 1.-1. 6. 2022
4. Hotz Fabian, Univerza v Zürichu, Zürich, Švica, 28. 2.-12. 3. 2022
5. dr. Višić Bojana, Institut za fiziko v Beogradu, Beograd, Srbija, 24. 3.-31. 3. 2022
6. prof. El Marssi Mimoun, Université de Picardie Jules Verne, LPMC, Amiens, Francija, 20. 4.-29. 4. 2022
7. Stefan Ščepanović, Univerza v Podgorici, Podgorica, Črna gora, 9. 5.-1. 8. 2022
8. Arso Ivanović, Univerza v Podgorici, Podgorica, Črna gora, 9. 5.-1. 8. 2022
9. Rajko Dragojević, Univerza v Podgorici, Podgorica, Črna gora, 9. 5.-1. 8. 2022
10. dr. Anna Razumnaya, Université de Picardie Jules Verne, Laboratoire de physique de la Matière Condensée (LPMC), Amiens, Francija, 31. 5.-31. 8. 2022
11. dr. Ticijana Ban, Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 5. 7. 2022
12. dr. Surajit Dhara, School of Physics University of Hyderabad, Hyderabad, Indija, 16. 7.-24. 7. 2022
13. prof. dr. M'barek Amjoud, Univerza Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 20. 7.-19. 9. 2022
14. Lakouader Afaak, Univerza Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 16. 7.-12. 10. 2022
15. Hadouch Youness, Univerza Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 20. 7.-19. 8. 2022
16. dr. Zuhail Kottoli Poyil, University of Calicut, Department of Physics, Kerala, Indija, 20. 7.-28. 8. 2022
17. Jonathan Neuwald, Univerza v Regensburgu, Regensburg, Nemčija, 31. 7.-5. 8. 2022
18. Robin Schock, Univerza v Regensburgu, Regensburg, Nemčija, 31. 7.-5. 8. 2022
19. prof. dr. Ali Yetisen, Imperial College London, Velika Britanija, 4. 8.-6. 8. 2022
20. prof. dr. Daoud Mezzane, Univerza Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 12. 8.-22. 8. 2022
21. Serap Namli, Middle East Technical University, Ankara, Turčija, 23. 8.-4. 9. 2022
22. dr. Pankaj Kumar, Chitkara University, Institute of Engineering and Technology, Punjab, Indija, 29. 8.-28. 9. 2022
23. dr. Vandana Sharma, Chitkara University, Institute of Engineering and Technology, Punjab, Indija, 29. 8. 2022-28. 2. 2023
24. Yuri Tanuma, Univerza v Hokkaidu, Faculty of Engineering, Laboratory of Integrated Function Materials, Center for Advanced Research of Energy and Materials, Hokkaido, Japonska, 1. 9.-1. 12. 2022

25. Julia Oliveira, Univerza v Monsu, Mons, Belgija, 7. 9.–26. 10. 2022
26. Tomasz Krehlik, Univerza Jagiellonian v Krakovu, Krakov, Poljska, 11. 9.–24. 9. 2022
27. prof. dr. Agnese Araja, University of Latvia, Department of Analytical Chemistry, Riga, Latvija, 3.10.–9. 10. 2022
28. ddr. Carla Bittencourt, Univerza v Monsu, Mons, Belgija, 9. 10.–18. 10. 2022
29. dr. Dorota Dardas, Polish Academy of Sciences, Institute of Molecular Physics, Poznan, Poljska, 17. 10.–26. 10. 2022
30. prof. dr. Igor Lukyanchuk, Université de Picardie Jules Verne, Laboratoire de Physique de la Matière Condensée (LPMC), Amiens, Francija, 8. 11.–16. 11. 2022
31. Bastien Aneza, Univerza Nantes, Nantes, Francija, 14. 11.–20. 11. 2022
32. Anindita Dasgupta, Leibniz Institute of Photonic Technology, Jena, Nemčija, 28. 11.–9. 12. 2022
33. prof. dr. Milena Jovašević Stojanović, Marija Živković, dr. Duška Kleut, dr. Miloš Davidović, Nuklearni Institut Vinča, Beograd, Srbija, 4. 12.–8. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Matej Bobnar: Raziskave strukturnih detajlov termoelektričnih materialov, 3. 6. 2022
2. dr. Dorota Dardas, Polish Academy of Sciences, Institute of Molecular Physics, Poznan, Poljska: Electrooptical and viscoelastic properties in chiral liquid crystals, 21. 10. 2022
3. dr. Miloš Davidović, National Institute of the Republic of Serbia, Vinča Institute of Nuclear Sciences, Beograd, Srbija: Towards high resolution particulate matter urban mapping – Mobile monitoring in the city of Novi Sad during winter and summer 2022, 8. 12. 2022
4. prof. Pankaj Kumar, Chitkara University, Institute of Engineering and Technology, Department of Applied Sciences, Punjab, Indija: Topographically induced vertical alignment of liquid crystal via self assembled spherical nanoparticles, 23. 9. 2022
5. Serap Namlı, Middle East Technical University, Department of Food Engineering, Ankara, Turčija: Polymer-based aerogels and their potential use in food systems, 26. 8. 2022
6. dr. Rok Podlipec: Novi pristopi korelativne mikroskopije za toksikološke študije nanomaterialov, 17. 6. 2022
7. dr. Andraž Rešetič: Termomehanske in 2H-NMR raziskave polimerno-dispergiranih tekočokristalnih elastomerov, 19. 10. 2022
8. dr. Anna Ryzhkova: Liquid crystal colloids: from nano-particles to microlasers, 16. 5. 2022
9. Robin T. K. Schock, University of Regensburg, Institute for Experimental and Applied Physics, Regensburg, Nemčija: Non-destructive low-temperature contacts to MoS₂ nanoribbon and nanotube quantum dots, 4. 8. 2022
10. dr. Mahendran Vellaichamy: Physics and optics of magnetic nanoemulsions, 6. 5. 2022
11. dr. Ali K. Yetisen, Faculty of Engineering, Imperial College London, London, Velika Britanija: Optical biosensors for point-of-care and implantable diagnostics, 5. 8. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJJIH

1. Anwar Abdur Rehman, MSc., FoodTraNet Summer School Advanced approaches for food quality authenticity and traceability, Trento, Italija, 21. 6.–25. 6. 2022
2. prof. dr. Tomaž Apih, 12. konferenca of Fast Field Cycling NMR Relaxometry 2022, 12. 7.–15. 7. 2022 (vabljen predavanje)
3. prof. dr. Denis Arčon, 19. božični simpozij, Maribor, Slovenija, 16. 12.–17. 12. 2022
4. prof. dr. Denis Arčon, 2022 Joint European Magnetism Symposia Conference, Varšava, Poljska, 24. 7.–29. 7. 2022 (predavanje)
5. Tina Arh, mag. fiz., 3rd PSI Condensed Matter Summer Camp 2022, Zuož, Švica, 6. 8.–12. 8. 2022 (poster)
6. Tina Arh, mag. fiz., Highly Frustrated Magnetism 2022, Pariz, Francija, 18. 6.–29. 6. 2022 (poster)
7. Tina Arh, mag. fiz., dr. Vid Bobnar, prof. dr. Janez Dolinšek, dr. Matjaž Gomilšek, Katja Gosar, mag. fiz., doc. dr. Anton Gradišek, doc. dr. Matjaž Humar, dr. Peter Jeglič, dr. Andreja Jelen, Vida Jurečič, mag. prof. pouč. fiz. in mat., Aljaž Kavčič, mag. fiz., dr. Tilen Knaflič, dr. Hana Kokot, dr. Primož Koželj, dr. Jože Luzar, dr. Tadej Mežnaršič, Matic Morgan, mag. prof. pouč. fiz. in mat., dr. Maruša Mur, Matjaž Malok, mag. inž. meh., dr. Mimoza Naseska, dr. Nikola Novak, Rok Peklar, mag. fiz., Julia Petrovič, Msc., prof. dr. Miha Škarabot, doc. dr. Uroš Tkalec, doc. dr. Iztok Urbančič, dr. Stanislav Vrtnik, prof. dr. Andrej Zorko, doc. dr. Erik Zupanič, prof. dr. Slobodan Žumer, 12. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah, Terme Čatež, Slovenija, 11. 11. 2022 (vabljen predavanje, 2 predavanji, 18 posterjev)
8. prof. dr. Vid Bobnar, CIMTEC 2022 – 9th Forum on New Materials, Perugia, Italija, 25. 6.–30. 6. 2022 (predavanje)
9. Petra Čotar, mag. fiz., doc. dr. Matjaž Humar, dr. Tilen Koklič, dr. Hana Kokot, Boštjan Kokot, mag. fiz., Ana Krišelj, mag. biokem., Blaž Mencinger, MSc., dr. Rok Podlipec, doc. dr. Iztok Urbančič, Dnevi biofizike 2022, Celje, Slovenija, 30. 5.–31. 5. 2022 (7 posterjev)
10. Petra Čotar, mag. fiz., dr. Tilen Koklič, dr. Hana Kokot, Boštjan Kokot, Ana Krišelj, mag. biokem., Blaž Mencinger, MSc., dr. Rok Podlipec, Aleksandar Sebastijanovič, mag. mikrobiol., doc. dr. Iztok Urbančič, prof. dr. Janez Štrancar, Strokovni dnevi LBF, Zelenica, Slovenija, 6. 6.–8. 6. 2022

11. Petra Čotar, mag. fiz., dr. Tilen Koklič, dr. Hana Kokot, Boštjan Kokot, mag. fiz., Blaž Mencinger, MSc., dr. Rok Podlipec, doc. dr. Iztok Urbančič, Kampus LBF-Infinite, Maribor, Slovenija 1. 12.–2. 12. 2022
12. prof. dr. Janez Dolinšek, dr. Andreja Jelen, dr. Primož Koželj, dr. Jože Luzar, dr. Stanislav Vrtnik, Julia Petrovič, Msc., ECMetAC Days 2022, Split, Hrvaška, 20. 11.–24. 11. 2022 (3 predavanja)
13. dr. Gregor Filipič, EIT Health Bootcamp, Lizbona, Portugalska, 1. 11.–4. 11. 2022
14. Darja Gačnik mag. fiz., School of Aperiodic Crystals, Kutna Hora, Češka Republika, 22. 5.–27. 5. 2022
15. dr. Matjaž Gomilšek, 15th International Conference on Muon Spin Rotation, Relaxation and Resonance, Parma, Italija, 27. 8.–3. 9. 2022 (predavanje)
16. dr. Matjaž Gomilšek, 2022 Joint European Magnetic Symposia (JEMS 2022), Varšava, Poljska, 23. 7.–30. 7. 2022 (2 predavanji)
17. Katja Gosar, mag. fiz., Industry Course on Ultracold Quantum Gases, Innsbruck, Avstrija, 9. 2.–13. 2. 2022
18. Katja Gosar, mag. fiz., Workshop on Long-Range Ultracold Interactions 2022, Innsbruck, Avstrija, 6. 9.–11. 9. 2022
19. Žiga Gosar, mag. fiz., Nonequilibrium Quantum Workshop (NQW), Krvavec, Slovenija, 12. 12.–15. 12. 2022 (predavanje)
20. Žiga Gosar, mag. fiz., Science in High Magnetic Fields, Kerkrade, Lieden, Nizozemska, 20. 9.–29. 9. 2022
21. Žiga Gosar, mag. fiz., AMPERE NMR School, Zakopane, Poljska, 19. 6.–26. 6. 2022 (poster)
22. doc. dr. Anton Gradišek, International Liquid Crystal Conference, Lizbona, Portugalska, 23. 7.–30. 7. 2022 (predavanje)
23. dr. Abdelrahim Ibrahim Hassani, Quantum materials and devices at the nanoscale, Madrid, Španija, 6. 3.–10. 3. 2022 (vabljen predavanje)
24. Anton Hromov, Msc., European School on Magnetism 2022, Saarbrücken, Nemčija, 11. 9.–23. 9. 2022
25. Anton Hromov, Msc., TNT School: Neutron Diffraction and Structural Imaging, S. Giovanni, Valle Auria, Italija, 11. 6.–18. 6. 2022
26. doc. dr. Matjaž Humar, EOS Annual Meeting (EOSAM), Porto, Portugalska, 12. 9.–16. 9. 2022 (vabljen predavanje)
27. doc. dr. Matjaž Humar, 15th Mediterranean Workshop and Topical Meeting Novel Optical Material, Cetraro, Italija, 21. 5.–28. 5. 2022 (vabljen predavanje)
28. doc. dr. Matjaž Humar, SPIE Photonics West, San Francisco, ZDA, 21. 1.–28. 1. 2022 (predavanje)
29. dr. Venkata Subba Rao Jampani, The 19th Annual Meeting, Science and Technology in Society Forum, Kyoto, Japonska, 5. 10.–6. 10. 2022
30. dr. Venkata Subba Rao Jampani, dr. Georgios Kordogiannis, Matic Morgan, mag. fiz., dr. Anna Razumayeva: 7. mednarodna konferenca o razvoju industrijskega inženiringa, Šmarješke Toplice, Slovenija, 25. 11. 2022 (vabljen predavanje, 3 predavanja)
31. dr. Venkata Subba Rao Jampani, ILCC2022, Lizbona, Portugalska, 24. 7.–30. 7. 2022 (predavanje)
32. dr. Venkata Subba Rao Jampani, Fiber Society Spring 2022 Conference, Leuven, Belgija, 30. 5.–1. 6. 2022 (predavanje)
33. dr. Peter Jeglič, 11th Nonequilibrium Quantum Workshop, Krvavec, Slovenija, 11. 12.–13. 12. 2022 (vabljen predavanje)
34. dr. Andreja Jelen, 4. Slovensko posvetovanje mikroskopistov, Ankaran, Slovenija, 11. 5.–13. 5. 2022 (poster)
35. dr. Andreja Jelen, dr. Jože Luzar, dr. Stanislav Vrtnik, The Annual Meeting of LIA PACS2 Cooperation Between IJL Nancy and JSI, Nancy, Francija, 5. 12.–7. 12. 2022 (3 predavanja)
36. dr. Andreja Jelen, 16th Multinational Congress of Microscopy, Brno, Češka Republika, 4. 9.–9. 9. 2022 (predavanje)
37. Vida Jurečič, mag. prof. pouč. fiz. in mat., MIDEM 2022, Maribor, Slovenija, 13. 9.–16. 9. 2022 (predavanje)
38. Aljaž Kavčič, mag. fiz., International School on bio hybrid interfaces, organic bio electronics and bio photonics, Como, Italija, 4. 9.–9. 9. 2022
39. dr. Martin Klanjšek, 11th International Conference on Highly Frustrated Magnetism 2022, Pariz, Francija, 22. 6.–25. 6. 2022 (predavanje)
40. dr. Tilen Koklič, Aleksandar Sebastijanovič, mag. mikrobiol., prof. dr. Janez Štrancar, doc. dr. Iztok Urbančič, Regional Biophysics Conference 2022, Pecs, Madžarska, 22. 8.–25. 8. 2022 (vabljen predavanje)
41. dr. Primož Koželj, 2022 Joint European Magnetism Symposia Conference, Varšava, Poljska, 24. 7.–30. 7. 2022 (predavanje)
42. dr. Primož Koželj, International Conference on solid Compound of Transition Elements SCTE 2022, Talence, Bordeaux, Francija, 13. 6.–18. 6. 2022 (predavanje)
43. prof. dr. Samo Kralj, Anniversary Symposium Unipress 50, Varšava, Poljska, 6. 10.–9. 10. 2022 (vabljen predavanje)
44. prof. dr. Samo Kralj, 22th International School and Conference on Condensed Matter Physics, Varna, Bolgarija, 29. 8.–3. 9. 2022 (vabljen predavanje)
45. prof. dr. Zdravko Kutnjak, Materials Science & Technology, Pittsburgh, ZDA, 7. 10.–30. 10. 2022 (vabljen predavanje)
46. prof. dr. Zdravko Kutnjak, Nano Boston Conference, Boston, ZDA, 30. 10.–3. 11. 2022 (predavanje)
47. dr. Tadej Mežnaršič, International School of Physics Enrico Fermi, Varenna, Italija, 17. 7.–23. 7. 2022
48. dr. Mojca Urška Mikac, dr. Igor Serša, Rebeka Viltušnik, mag. inž. rad. tehnol., International Symposium on recent advances in NMR applications to materials (Alpine NMR seminar), Hirschegg, Avstrija, 16. 9.–19. 9. 2022 (3 predavanja)

49. Matic Morgan, mag. prof. pouč. fiz. in mat., Rok Peklar, mag. fiz., 14th IPSSC, Kamnik, Slovenija, 1. 6.–3. 6. 2022
50. prof. dr. Igor Muševič, ILCC 2022, Lizbona, Portugalska, 24. 7.–29. 7. 2022 (vabljen predavanje)
51. prof. dr. Igor Muševič, The interdisciplinary world of tangling, Potsdam, Nemčija, 15. 9.–16. 9. 2022 (predavanje)
52. prof. dr. Igor Muševič, Theo Rasing: 50+2 years in Science, Nijmegen, Nizozemska, 10.5.–14. 5. 2022 (vabljen predavanje)
53. Rok Peklar, mag. fiz., AMPERE NMR School, Zakopane, Poljska, 19. 6.–25. 6. 2022
54. Jaka Pišljar, mag. fiz., ILCC 2022, Lizbona, Portugalska, 24. 7.–30. 7. 2022 (poster)
55. dr. Rok Podlipc, 4. Slovensko posvetovanje mikroskopistov, Ankaran, Slovenija
56. prof. dr. Maja Remškar, E-MRS 2022–Fall Meeting, Varšava, Poljska, 18. 9.–23. 9. 2022
57. dr. Andraž Rešetič, 7th World Elastomer Summit, Lyon, Francija, 1. 3.–4. 3. 2022 (vabljen predavanje)
58. doc. dr. Brigita Rožič, Materials Science & Technology, Pittsburgh, ZDA, 9. 10.–12. 10. 2022 (vabljen predavanje)
59. doc. dr. Brigita Rožič, Nano Boston Conference, 31. 10.–2. 11. 2022
60. Linsy Jane Selvin Robert, Msc., The Boulder School in Condensed Matter and Materials Physics, Boulder, Colorado, ZDA, 3. 7.–30. 7. 2022
61. doc. dr. Uroš Tkalec, Wetting of flexible, adaptive, and switchable substrates, Göttingen, Nemčija, 5. 12.–10. 12. 2022 (predavanje)
62. doc. dr. Uroš Tkalec, CurvoBio 2022, Berlin, Nemčija, 21. 8.–26. 8. 2022 (vabljen predavanje)
63. Rebeka Viltušnik, mag. inž. rad. tehnol., 5. kongres strokovnega združenja radioloških inženirjev Slovenije, Rimske Toplice, Slovenija, 27. 5.–28. 5. 2022
64. Rebeka Viltušnik, mag. inž. rad. tehnol., European Congress of Radiology, Dunaj, Avstrija, 13. 7.–17. 7. 2022 (poster)
65. dr. Stanislav Vrtnik, Joint European Magnetic Symposia – JEMS 2022, Varšava, Poljska, 24. 7.–30. 7. 2022 (predavanje)
66. prof. dr. Aleksander Zidanšek, International Conference on Dialogue and Cooperation in the Black Sea and Balkan Regions, Bukarešta, Romunija, 11. 10.–13. 10. 2022
67. prof. dr. Aleksander Zidanšek, IYBSSD, Beograd, Srbija, 21. 9.–22. 9. 2022 (predavanje)
68. prof. dr. Aleksander Zidanšek, ERASMUS+, Laško, Slovenija, 8. 9. 2022
69. prof. dr. Andrej Zorko, Frustrated Metals and Insulators, Bangalore, Indija, 4. 9.–16. 9. 2022 (vabljen predavanje)
70. prof. dr. Andrej Zorko, Correlated magnetism: from Frustration to Topology, Radebeul, Nemčija, 6. 11.–9. 11. 2022 (vabljen predavanje)
71. prof. dr. Andrej Zorko, 11th Nonequilibrium Quantum Workshop, Krvavec, Slovenija, 13. 12.–14. 12. 2022 (vabljen predavanje)
72. prof. dr. Andrej Zorko, Highly Frustrated Magnetism 2022, Pariz, Francija, 19. 6.–25. 6. 2022 (vabljen predavanje)
73. prof. dr. Slobodan Žumer, ILCC 2022, Lizbona, Portugalska, 24. 7.–30. 7. 2022 (vabljen predavanje in prejeme nagrade ILCC)
74. prof. dr. Slobodan Žumer, SPIE Optics+Photonics, San Diego, ZDA, 21. 8.–25. 8. 2022 (vabljen predavanje)
75. dr. Magdalena Jadwiga Wencka, NANOTECH, Poznan, Poljska 1. 6.–3. 6. 2022 (predavanje)
76. dr. Magdalena Jadwiga Wencka, AMPERE NMR School, Zakopane, Poljska, 19. 6.–25. 6. 2022
77. dr. Magdalena Jadwiga Wencka, E-MRS Fall Meeting 2022, Varšava, Poljska, 18. 9.–23. 9. 2022 (predavanje)
78. dr. Magdalena Jadwiga Wencka, ECMETAC Days Conference, Split, Hrvaška, 20. 11.–25. 11. 2022
5. Tina Arh, mag. fiz.: Institut Paul Scherrer, Villingen, Švica, 15. 8.–26. 8. 2022 (meritve mionske spinske relaksacije)
6. Tina Arh, mag. fiz.: Institut Paul Scherrer, Villingen, Švica, 22. 10.–29. 10. 2022 (meritve mionske spinske relaksacije)
7. Arkalekha Neogi, Msc.: University of Hyderabad, School of Physics, Hyderabad, Indija, 10. 6.–14. 7. 2022 (raziskave tekočih kristalov)
8. prof. dr. Vid Bobnar: Univerza The Pennsylvania State, State College, Pennsylvania, ZDA, 16. 8.–31. 8. 2022 (delovni obisk v okviru slovensko-ameriškega bilateralnega projekta)
9. Katja Gosar, mag. fiz.: Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 8. 4. 2022 (delovni obisk v okviru bilateralnega projekta)
10. Katja Gosar, mag. fiz.: Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 24. 8.–26. 8. 2022 (delovni obisk v skupini za kvantne tehnologije)
11. Katja Gosar, mag. fiz.: Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 29. 8.–2. 9. 2022 (delovni obisk v skupini za kvantne tehnologije)
12. Žiga Gosar, mag. fiz.: Jagiellonian University, Krakov, Poljska, 26. 3.–9. 4. 2022 (meritve)
13. Žiga Gosar, mag. fiz.: Jagiellonian University, Krakov, Poljska, 12. 11.–4. 12. 2022 (meritve)
14. doc. dr. Anton Gradišek: Nuklearni Institut Vinča, Vinča, Srbija, 14. 12.–17. 12. 2022 (delovni obisk v okviru bilateralnega projekta, seminar)
15. doc. dr. Anton Gradišek: Abqmr, Washington University, University of Missouri, Saint Louis University, Albuquerque, Washington DC, St. Louis, ZDA, 22. 9.–15. 10. 2022 (3 seminarji)
16. dr. Abdelrahim Ibra Hassanien: Kiel University, Kiel, Nemčija, 20. 3.–27. 3. 2022
17. dr. Abdelrahim Ibra Hassanien: Kiel University, Kiel, Nemčija, 28. 11.–3. 12. 2022 (vabljen predavanje)
18. Anton Hromov, MSc.: PSI, Villingen, Švica, 20. 10.–27. 10. 2022 (meritve)
19. doc. dr. Matjaž Humar: Imperial College London, London, Velika Britanija, 20. 9.–23. 9. 2022 (predavanje)
20. dr. Venkata Subba Rao Jampani: Tokyo University of Science, Tokio, Japonska, 29. 9.–8. 10. 2022 (predavanje)
21. dr. Peter Jeglič: Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 8. 4. 2022 (bilateralno sodelovanje)
22. Vida Jurečič, mag. prof. pouč. fiz. in mat.: Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Nemčija, 3. 4.–9. 4. 2022 (meritve)
23. dr. Hana Kokot: Femtonics, Budimpešta, Madžarska, 2. 6.–3. 6. 2022 (sestanek)
24. prof. dr. Samo Kralj: Univerza v Pavii, Pavia, Italija, 19. 6.–24. 6. 2022 (predavanje)
25. prof. dr. Zdravko Kutnjak, Workshop and coordination meeting of ENGIMA project, Marakeš, Maroko, 21. 3.–20. 5. 2022
26. Malkar Deepshika, PhD.: University of Hyderabad Telangna, Hyderabad, Indija, 1. 12.–11. 12. 2022
27. Malkar Deepshika, PhD.: Raman Research Institute, Bangalore, Indija, 5. 6.–11. 6. 2022 (izvedba preliminarne eksperimentov s konfokalnim mikroskopom)
28. Matjaž Malok, mag. inž. meh.: EIT Health bootcamp, Lizbona, Portugalska, 30. 10.–4. 11. 2022
29. Matjaž Malok, mag. inž. meh.: University of Regensburg, Regensburg, Nemčija, 29. 5.–3. 6. 2022 (meritve)
30. dr. Tadej Mežnaršič, Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 8. 4. 2022 (delovni obisk v okviru bilateralnega sodelovanja)
31. Matic Morgan, mag. prof. pouč. fiz. in mat.: University Cadi Ayyad, Marakeš, Maroko, 24. 4.–23. 5. 2022 (secondment v okviru projekta ENGIMA)
32. dr. Nikola Novak: Tehnična univerza Darmstadt, Darmstadt, Nemčija, 15. 8.–19. 8. 2022 (sodelovanje v okviru bilateralnega projekta)
33. dr. Matej Pregelj: Paul Scherrer Institute, Villingen, Švica, 20. 10.–26. 10. 2022 (meritve nevtronskega sipanja)
34. Linsy Jane Selvin Robert, Msc.: Chemical Engineering, IIT Madras, Chennai, Indija, 2. 12.–30. 12. 2022 (delovni obisk in predavanje)
35. Mahendran Vellaichamy, PhD.: SRM Institute of Science and Technology, Chennai, Indija, 30. 5.–3. 6. 2022
36. prof. dr. Andrej Zorko: Institut Paul Scherrer, Villingen, Švica, 6. 7.–12. 7.; 17. 8.–27. 8.; 22. 10.–28. 10.; 2022 (meritve)
37. dr. Erik Zupanič, Institut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 8. 4. 2022 (delovni obisk v okviru bilateralnega projekta)
38. prof. dr. Slobodan Žumer: European Topology Interdisciplinary Action–EUTOPIA, delavnica v okviru COST projekta, Trento, Italija, 4. 9.–9. 9. 2022 (član organizacijskega odbora)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Anwar Abdur Rehman, Msc: Aristotle University of Thessaloniki, Secondment, FoodTraNet, Thessaloniki, Grčija, 16. 11.–26. 12. 2022
2. Anwar Abdur Rehman, Msc: Maastricht University, MiTerm Check Meeting Marie–Curie funded project FoodTraNet, Maastricht, Nizozemska, 25. 8.–28. 8. 2022
3. prof. dr. Denis Arčon: Univerza v Leidnu, Leiden, Nizozemska, 26. 9.–27. 9. 2022 (sodelovanje v okviru nizkotemperaturnih raziskav superprevodnikov)
4. Tina Arh, mag. fiz.: Institut Paul Scherrer, Villingen, Švica, 6. 7.–12. 7. 2022 (meritve mionske spinske relaksacije)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Tomaž Apih
2. **prof. dr. Denis Arčon***, znanstveni svetnik - vodja odseka
3. prof. dr. Vid Bobnar, znanstveni svetnik
4. prof. dr. Janez Dolinšek*, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
5. dr. Gregor Filipič
6. doc. dr. Anton Gradišek
7. dr. Alan Gregorovič
8. Abdelrahim Ibrahim Hassanien, doktor znanosti

9. doc. dr. Matjaž Humar
10. Venkata Subba Rao Jampani, PhD.
11. dr. Peter Jeglič
12. dr. Andreja Jelen
13. dr. Martin Klanjšek
14. dr. Tilen Koklič
15. Georgios Kordogiannis, PhD., Grčija
16. prof. dr. Samo Kralj*, znanstveni svetnik
17. prof. dr. Zdravko Kutnjak, znanstveni svetnik
18. dr. Mojca Urška Mikac
19. prof. dr. Griša Močnik*
20. doc. dr. Aleš Mohorič*

21. prof. dr. Igor Muševič*, znanstveni svetnik
22. dr. Nikola Novak
23. dr. Andriy Nych
24. doc. dr. Dušan Ponikvar*
25. dr. Matej Pregelj
26. Amid Ranjkesh Stahkal, PhD.
27. prof. dr. Miha Ravnik*, znanstveni svetnik
28. Anna Razumnaya, PhD., Francija
29. prof. dr. Maja Remškar, znanstveni svetnik
30. doc. dr. Brigita Rožič
31. dr. Anna Ryzhkova
32. prof. dr. Igor Serša, znanstveni svetnik
33. prof. dr. Miha Škarabot
34. prof. dr. Janez Strancar*, vodja raziskovalne skupine
35. doc. dr. Uroš Tkalec*
36. dr. Polona Umek
37. doc. dr. Iztok Urbančič
38. dr. Herman Josef Petrus Van Midden
39. Mahendran Vellaichamy, PhD., Indija
40. doc. dr. Jernej Vidmar*
41. doc. dr. Andrej Vilfan
42. dr. Stanislav Vrtnik
43. prof. dr. Aleksander Zidanšek
44. prof. dr. Andrej Zorko
45. doc. dr. Erik Zupanič
46. prof. dr. Slobodan Žumer, znanstveni svetnik

Podoktorski sodelavci

47. dr. Matej Bobnar
48. dr. Matjaž Gomilšek
49. dr. Apparao Gudimalla
50. dr. Saša Harkai
51. dr. Uroš Jagodič
52. dr. Tilen Knaflič
53. dr. Žiga Kos*
54. Zuhail Kottoli Poyil, PhD., Indija
55. dr. Primož Koželj
56. dr. Mitja Krnel, *časna prekinitev 7. 4. 2021*
57. dr. Marta Lavrič
58. dr. Jože Luzar
59. Deepshika Malkar, PhD., Indija
60. dr. Aleksander Matavž
61. dr. Tadej Mežnaršič
62. dr. Maruša Mur
63. dr. Luka Pirker
64. dr. Rok Podlpec
65. dr. Gregor Posnjak, *časna prekinitev 1. 8. 2019*
66. dr. Andraž Rešetič
67. Yulija Shyshkina, PhD, Ukrajina
68. dr. Bojana Višič
69. dr. Maja Zorc

Mlajši raziskovalci

70. Abdur Rehman Anwar, MSc., Pakistan
71. Tina Arh, mag. fiz.
72. Devid Črešnar, mag. fiz.
73. Nikita Derets, Bakalvr, Ruska federacija
74. Darja Gačnik, mag. fiz., *časna prekinitev 1. 10. 2022*
75. Žiga Gosar, mag. fiz.
76. Katja Gosar, mag. fiz.
77. Anton Hromov, Msc.
78. Vida Jurečič, mag. prof. pouč. fiz. in mat.
79. Aljaž Kavčič, mag. fiz.
80. dr. Hana Kokot
81. Boštjan Kokot, mag. fiz.
82. Darin Lah, mag. fiz.
83. Matjaž Malok, mag. inž. meh.
84. mag. Bojan Marin*
85. Matevž Marinčič, mag. fiz.
86. Matic Morgan, mag. prof. pouč. fiz. in mat.
87. dr. Mimoza Naseska
88. Rok Peklar, mag. fiz.
89. Julia Petrović, Msc., Hrvaška
90. Gregor Pirnat, mag. fiz.
91. Jaka Pišljar, mag. fiz.
92. Anja Pogačnik Krajnc, mag. fiz.
93. Aleksandar Sebastijanovič, mag. mikrobiol., *odšel 1. 10. 2022*
94. Linsy Jane Selvin Robert, Msc
95. dr. Marion Antonia Van Midden Mavrič, *časna prekinitev 1. 9. 2021*
96. Rebeka Viltušnik, mag. inž. rad. tehnol.

Strokovni sodelavci

97. Petra Čotar, mag. fiz.

98. dr. Luka Drinovec*
99. Maša Kavčič Rosič, mag. medk. menedž.
100. Ana Krišelj, mag. biokem., *odšla 1. 9. 2022*
101. Ivan Kvasič, univ. dipl. inž. el.
102. Blaž Mencinger, MSc, Nizozemska
103. Jaka Močivnik, dipl. inž. meh. (VS)
104. Arkalekha Neogi, Msc., Indija

Tehniški in administrativni sodelavci

105. Dražen Ivanov
106. Janez Jelenc, dipl. inž. fiz.
107. Davorin Kotnik
108. Vesna Lopatič, mag. angl.
109. Silvano Mendizza
110. Peter Mihor
111. Janja Milivojevič
112. Ana Sepe, inž. fiz.
113. Marjetka Tršinar

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. A.F. Ioffe Physico-Technical Institute, Sankt Peterburg, Ruska federacija
2. AEROSOL razvoj in proizvodnja znanstvenih instrumentov, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
3. AMES, d. o. o., Brezovica pri Ljubljani, Slovenija
4. Balder, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
5. BASF, Heidelberg, Nemčija
6. Ben Gurion University, Beersheba, Izrael
7. BIA SEPARATIONS, d. o. o., Ajdovščina, Slovenija
8. Centre national de la recherche scientifique, Laboratoire de Spectrochimie Infrarouge et Raman, Thiais, Francija
9. Centre national de la recherche scientifique, Laboratory de Marseille, Marseille, Francija
10. Chalmers University of Technology, Physics Department, Göteborg, Švedska
11. Clarendon Laboratory, Oxford, Velika Britanija
12. CosyLab, d. d., Ljubljana, Slovenija
13. Department of Chemistry, College of Humanities and Sciences, Nihon University, Tokio, Japonska
14. Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg, Nemčija
15. Deutsches Krebsforschungszentrum, Heidelberg, Nemčija
16. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lozana, Švica
17. Eidgenössische Technische Hochschule – ETH, Zürich, Švica
18. Elettra (Synchrotron Light Laboratory), Bazovica, Italija
19. European Synchrotron Radiation Facility, Grenoble, Francija
20. Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco UPV/EHU, Leioa, Španija
21. Faculty of Physics, Adam Mickiewicz University, Poznanj, Poljska
22. Florida State University, Florida, ZDA
23. Forschungszentrum Dresden Rossendorf, Dresden, Nemčija
24. Gunma National College of Technology, Maebaši, Japonska
25. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V., Dresden, Nemčija
26. High Magnetic Field Laboratory, Nijmegen, Nizozemska
27. High Magnetic Field Laboratory, Tallahassee, Florida, ZDA
28. High-Magnetic-Field Laboratory, Grenoble, Francija
29. Humboldt Universität Berlin, Institut für Biologie/Biophysik, Berlin, Nemčija
30. Ilie Murguescu Institute of Physical Chemistry of the Romanian Academy, Bukarešta, Romunija
31. Infineon Technologies Austria AG, Dunaj, Avstrija
32. Infinite, d. o. o., Limbuš, Slovenija
33. Institut für Biophysik und nanosystemforschung OAW, Gradec, Avstrija
34. Institut für Experimentalphysik der Universität Wien, Dunaj, Avstrija
35. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
36. Institut za biofiziko, Medicinska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
37. Institut za kristalografijo Ruske akademije znanosti, Moskva, Rusija
38. Institut za Teoretično fiziko univerze v Göttingenu, Göttingen, Nemčija
39. Institute of Electronic Materials Technology, Varšava, Poljska
40. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznanj, Poljska
41. Instituto Superior Tecnico, Departamento de Física, Lizbona, Portugalska
42. Instrumentation Technologies, d. d., Solkan, Slovenija
43. International Center for Theoretical Physics, Trst, Italija
44. ISIS, Rutherford Appleton Laboratory, Didcot, Velika Britanija
45. Jean Rouxel Institute of Materials in Nantes, Nantes, Francija
46. Kavli Institute for Theoretical Physics, Santa Barbara, ZDA
47. Kimberly Clark, Atlanta, ZDA
48. King's College, London, Velika Britanija
49. Klinični center Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
50. KMZ Zalar Miran, s. p., CNC obdelava kovin in drugih materialov, Ljubljana, Slovenija
51. Korea Basic Science Institute, Daejeon, Južna Koreja
52. Krka, tovarna zdravil, d. d., Novo mesto, Slovenija
53. KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Švedska

54. Kyung Hee University of Suwon, Impedance Imaging Research Center, Seul, Južna Koreja
55. Lek farmacevtska družba, d. d., Ljubljana, Slovenija
56. Liquid Crystal Institute, Kent, Ohio, ZDA
57. Lotrič Certificiranje, d. o. o., Železniki, Slovenija
58. LPKF LASER & ELECTRONICS, d. o. o., Naklo, Slovenija
59. Max Planck Institut, Dresden, Nemčija
60. Mayo Clinic, Rochester, Minnesota, ZDA
61. Melamin kemična tovarna, d. d., Kočevje, Slovenija
62. Merck KGaA, Darmstadt, Nemčija
63. Metalurško-kemična industrija Celje, d. d., Celje, Slovenija
64. MH Hannover, Hannover, Nemčija
65. Ministrstvo za obrambo, Ljubljana, Slovenija
66. Nanotul, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
67. National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Physics, Kijev, Ukrajina
68. National Center for Scientific Research Demokritos, Aghia Paraskevi Attikis, Grčija
69. National Institute for Research in Inorganic materials, Tsukuba, Japonska
70. Nuklearni Institut Vinča, Beograd, Srbija
71. Optotek, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
72. Oxford University, Department of Physics, Department of Materials, Oxford, Velika Britanija
73. Paul Scherrer Institut, Villigen, Švica
74. Politecnico di Torino, Dipartimento di Fisica, Torino, Italija
75. Radboud University Nijmegen, Research Institute for Materials, Nijmegen, Nizozemska
76. RLS Merilna tehnika, d. o. o., Žeja pri Komendi, Slovenija
77. Rwth Aachen University, Aachen, Nemčija
78. School of Physics, Hyderabad, Andhra Prades, Indija
79. SISSA, Trst, Italija
80. SRC sistemske integracije, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
81. State College, Pennsylvania, ZDA
82. Stelar, Mede, Italija
83. Sveučilište u Rijeci, Medicinski fakultet, Reka, Hrvaška
84. Sveučilište u Zagrebu, Institut za fiziku, Zagreb, Hrvaška
85. TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija
86. Technical University of Catalonia, Barcelona, Španija
87. Tehnična Univerza Dunaj, Dunaj, Avstrija
88. TELA merilni sistemi, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
89. The Geisel School of Medicine at Dartmouth, Hanover, ZDA
90. The Max Delbrück Center for Molecular Medicine in Berlin, Berlin, Nemčija
91. The University of Texas at Dallas, Dallas, ZDA
92. Tohoku University, Sendai, Japonska
93. Tokyo University, Bunkyo, Tokio, Japonska
94. UNCOSS, Bruselj, Belgija
95. Università di Pisa, Dipartimento di Chimica e Chimica Industriale, Pisa, Italija
96. Universität Freiburg, Institut für Makromolekulare Chemie, Freiburg, Nemčija
97. Universität Mainz, Geowissenschaften, Mainz, Nemčija
98. Universität Regensburg, Regensburg, Nemčija
99. Université de la Méditerranée, Marseille, Francija
100. Université de Nice, Nica, Francija
101. Université de Picardie Jules Verne, Amiens, Francija
102. Université de Mons, Mons, Belgija
103. Université Paris Sud, Pariz, Francija
104. University of Aveiro, Aveiro, Portugalska
105. University of Bristol, Bristol, Velika Britanija
106. University of California at Irvine, Beckman Laster Institute and Medical Clinic, Irvine, Kalifornija, ZDA
107. University of Duisburg, Duisburg, Nemčija
108. University of Durham, Durham, Velika Britanija
109. University of Innsbruck, Innsbruck, Avstrija
110. University of Leeds, Leeds, Velika Britanija
111. University of Linz, Institute of Chemistry, Department of Physical Chemistry & Linz Institute of Organic Solar Cells, Linz, Avstrija
112. University of Liverpool, Liverpool, Velika Britanija
113. University of Loughborough, Loughborough, Velika Britanija
114. University of Provence, Marseille, Francija
115. University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki, Japonska
116. University of Utah, Department of Physics, Salt Lake City, Utah, ZDA
117. University of Waterloo, Department of Physics, Waterloo, Ontario, Kanada
118. University of Zürich, Zürich, Švica
119. Univerza v Mariboru, Maribor, Slovenija
120. Univerza v Monsu, Mons, Belgija
121. Univerza v Münchenu in MPQ, München, Nemčija
122. Univerza v Pavii, Pavia, Italija
123. Univerza v Severni Karolini, Chapel Hill, ZDA
124. Univerza v Sisconsinu, Madison, ZDA
125. Wageningen University, Laboratory of Biophysics, Wageningen, Nizozemska
126. Weizman Institute, Rehovot, Izrael
127. Yonsei University, Seul, Južna Koreja
128. Zavod RS za transfuzijsko medicine, Ljubljana, Slovenija
129. Železarna Ravne, Ravne na Koroskem, Slovenija

Dejavnost enote za plinsko elektroniko obsega veliko različnih področij, od znanosti o plinih in plinskih razelektrivah, plazemske nanoznanosti, plazemske biologije in biomedicine, napredne senzorike, elektronike površin in kristalov do napredne vakuumске znanosti in tehnologije. V okviru teh raziskujemo različne plinske in plazemske sisteme ter njihovo uporabo na različnih področjih, ki so pomembna za napredek človeštva. Raziskovalni dosežki so zato precej raznoliki. Najpomembnejši dosežki in napredek v raziskavah so opisani v nadaljevanju.

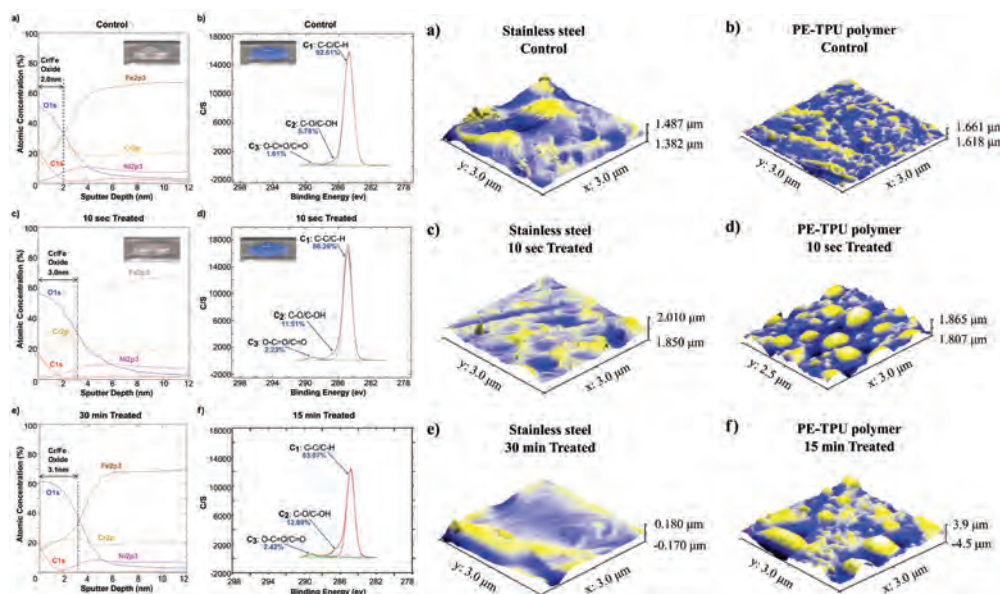


Vodja:
prof. dr. Uroš Cvelbar

Glavne dejavnosti na odseku zajemajo med seboj povezana raziskovalna področja, kot so znanost o plinih in plinastih razelektrivah, plazemska nanoznanost, obdelava in sinteza nanomaterialov, plazma kemija, plazemska elektrokemija in kataliza, plazemska biomedicina in biotehnologija, plinski senzori, raziskave na polju nanostrukturiranih materialih, optoelektroniki, vakuumске znanosti, načrtovanje vakuumskih sistemov, vakuumška toplotna izolacija in druge nastajajoče teme, pomembne za manipulacijo atomov in elektronov. Te raziskovalne teme so združene za reševanje različnih problemov in spopadanje z velikimi izzivi v znanosti in tehnologiji ter za podporo novih nastajajočih področij raziskav.

Uporaba atmosfere plazme v prehranski industriji

Hladne atmosfere plazme so se pokazale kot obetavna tehnologija za mikrobo dekontaminacijo površin v prehranski industriji. Velik potencial te tehnologije pa je omejen, saj deluje samo na omejenih površinah in ni prenosljiv na površine večjega obsega. Za razrešitev te težave so raziskovalci F6 s partnerji z Univerze v Liverpoolu, Velika Britanija, razvili prototip plazemskega sistema, namenjenega za dekontaminacijo tekočega traka v industriji. Sistem je bil testiran pod pogoji, ki so pričakovani v procesnih linijah v prehranski industriji. Pri tem sta bila uporabljena dva tipa mikroorganizmov, ki sta pogosto prisotna patogena v hrani, in sicer *Listeria monocytogenes* in *Salmonella* Typhimurium. Bakterije so bile nanese na površino nerjavnega jekla in polieter-termoplastičnega poliuretana, ki se pogosto uporabljata za izdelavo površin tekočega traka, ter izpostavljene različnim plazemskim pogojem. Test je bil izveden v skladu s smernicami EN 13697:2015 industrijskega protokola. Ugotovili smo, da že po 10 s izpostavljenosti dosežemo znatno mikrobo zmanjšanje, in sicer do $3,03 \pm 0,18$ in $2,77 \pm 0,71$ logCFU/mL zmanjšanje *L. monocytogenes* in *S. Typhimurium* na površinah jekla ter $2,56 \pm 0,37$ logCFU/mL *S. Typhimurium* v 4 s na površini poliuretana. Med plazemsko obdelavo lahko površina materiala pride v stik z reaktivnimi plazemskimi vrstami, ki so odgovorne za inaktivacijo mikroorganizmov, kar ima lahko tudi negativne vplive na površino materiala.



Slika 1: XPS spektri z globinskim profilom za nerjavno jeklo in spektri visoke ločljivosti za PE-TPU polimer ter površinska mikrostruktura pred plazemsko obdelavo in po njej.

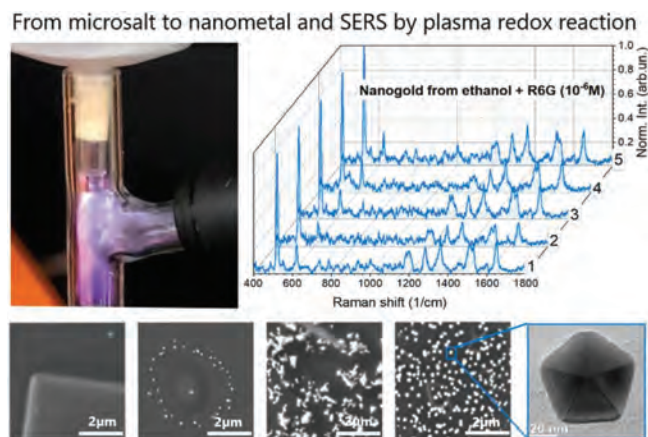
Za karakterizacijo materiala in testiranje morebitnih učinkov sta bili po plazemski obdelavi uporabljeni dve površinski metodi, in sicer rentgenska fotoelektronska spektroskopija (XPS) in mikroskop na atomsko silo (AFM). Večkratna izpostavitve materiala plazemskim pogojem je pokazala znatne učinke na topografijo in kemijsko sestavo površine. To kaže, da je treba pravilno izbrati plazemske pogoje, s čimer lahko zagotovimo maksimalno odstranitev mikroorganizmov in minimalni negativni vpliv na obdelano površino.



Oblikovanje naprednih senzorjev s plazemskim snovanjem nanomaterialov

Plazma je bila uporabljena pri oblikovanju nanoplazmatskega senzorja, namenjenega ultrahitremu prepoznavanju DNK. Raziskovalci F6 so izvedli preiskavo bakterijske DNK z meritvami neelastičnega sipanja fotonov in uporabo nanoplazmatskih čipov. Površinsko ojačana Ramanova spektroskopija (SERS) je pokazala zmožnost identifikacije bakterij na podlagi njihovega genetskega odtisa v DNK molekuli, ki lahko služi kot marker za razlikovanje vzorcev. Učinkovito razlikovanje bakterijskih vrst je bilo doseženo z uporabo skupkov nanozlata, sintetiziranih z enostopenjsko plazemsko redukcijo prekursorjev, ki vsebujejo zlato. SERS zaznavanje majhnih količin vzorcev v nanogramskem območju je bilo mogoče zaradi visokega ojačitvenega dejavnika ($EF=10^7$) v facetiranih, sklopljenih plazmatskih delcih. Teoretične simulacije so potrdile, da se najmočnejša omejitev električnega polja zgodi v nanometrskih vrzeli med zlatimi dimerji/verigami, kar poveča sipanje fotonov na molekularnih prstnih odtisih iz fragmentov bakterijske DNK. Primarni Ramanski načini, povezani z molekularnimi vibracijami baznih parov, so bili identificirani in nato uporabljeni za oceno prisotnosti dušikovih vezi. Genetska sestava (odstotki gvanin-citozin in adenin-timin) je bila potrjena tudi s sekvenciranjem tretje generacije, z uporabo tehnologije nanopor, kar dodatno utemljuje uporabnost tehnike SERS pri hitrem prepoznavanju bioentitet z uporabo diskriminantne analize glavnih komponent. Rezultati so bili objavljeni v članku z naslovom *Bacterial DNA Recognition by SERS Active Plasma-Coupled Nanogold* v reviji *Nano Letters*.

Slika 2: Naslovnica NanoLetter



Slika 3: Odlaganje zlatih nanodelcev v atmosferski plazmi

Del raziskav snovanja nanomaterialov je bil namenjen tudi prilagajanju atmosferske plazme za nadzorovan postopek nanašanja nanodelcev zlata. Uporaba nanašanja s pomočjo plazme v hladni atmosferi se je izkazala kot učinkovito sredstvo za sintezo nanodelcev zlata (AuNP). Ta metoda temelji na interakciji med plazmo in hlapi za istočasno zmanjšanje in nanos AuNP iz anorganskega prekursorja (HAuCl_4). Kot kažejo analize površine, na učinkovitost redukcije močno vpliva razelektritvena moč plazme, medtem ko zmanjšanje pretoka nosilnega plina argona povzroči nastanek manjših delcev. Te študije so tudi razkrile, da prisotnost etanola v reaktivni mešanici olajša redukcijo v nanostrukturi zaradi njegove hlapnosti. Celovita raziskava plazme in nanešenih nanostruktur kaže, da redukcijo v glavnem povzročajo prosti elektroni in tvorba vodikovega peroksida *in-situ* v plazmi. Razvita tehnika je pokazala, da je mogoče nanostrukturne tanke filme izdelati v 5 minutah z uravnavanjem plazemskih parametrov. Nanešeni zlati nanodelci pa kažejo odlične plazmatske površinsko ojačane odzive Ramanskega sipanja, saj so bili preverjeni z uporabo Ramanske označevalne

molekule Rhodamine R6G. Rezultati teh raziskav so bili objavljeni v prispevku *From faceted nanoparticles to nanostructured thin film by plasma-jet redox reaction of ionic gold*, *Journal of Alloys and Compounds*.

Interdisciplinarni raziskovalni dosežek sodelavcev F6 o razvoju nanoplazmatskih optičnih senzorjev je bil označen za enega najboljših in predstavljen na letnem srečanju Agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS) Odličnost v znanosti za leto 2022. V raziskovalnem delu z naslovom *Label-Free Mycotoxin Raman Identification by High-Performing Plasmonic Vertical Carbon Nanostructures*, objavljenem v reviji *Small*, smo namreč prikazali razvoj novih plazmatskih substratov na podlagi ogljikovih nanostruktur, ki omogočijo hitro zaznavo majhne količine različnih mikotoksinov na površinah izbranih vzorcev. Ta dosežek ima splošno uporabnost pri hitri zaznavi naravnih toksinov v kmetijstvu in živilski industriji brez potrebe po dolgotrajnih analizah v pooblaščenih laboratorijih.

Poleg tega so raziskovalci F6 pomagali zgraditi nov ultrazvočni fotoakustični oddajnik na podlagi grafena. Naprave, ki uporabljajo fotoakustične učinke za ustvarjanje ultrazvoka z visoko amplitudo in visoko frekvenco, imajo potencialno uporabo v medicinskih terapijah in bioloških aplikacijah. V tej raziskavi je bil na primer analiziran fotoakustični odziv kompozitnega materiala, sestavljenega iz grafenskih nanodelcev, umeščenih v polidimetilsiloksan. Razvit je bil postopek za pridobitev dobro razpršenega grafena v polimeru brez potrebe po površinski funkcionalizaciji. Ugotovljeno je bilo, da se fotoakustična amplituda povečuje z optično absorpcijo

in doseže največ 11 MPa, pri laserskem svetlobnem toku pa približno 228 mJ/cm². Skupina raziskovalcev je opazila, da povečanje svetlobnega toka laserja povzroči odstopanje od linearne amplitude tlaka, kar kaže na zmanjšanje Grüneisenovega parametra. Prostorska omejitev visoke amplitude (> 40 MPa, laserski tok > 55 mJ/cm²) in visoke frekvence (Bw-6db ~ 21,5 MHz) ultrazvoka je bila dosežena z vdelavo samostoječega filma v optično lečo. Akustična ojačitev je spodbudila nastanek kavitacijskih mikromehurčkov pri zmernih nivojih svetlobnega toka v vodi in materialih, ki posnemajo tkiva. Ugotovitve odpirajo nove možnosti za razvoj inovativnih fotoakustičnih medicinskih naprav in integriranih komponent. Povzetek raziskav je bil objavljen v znanstvenem prispevku *Ultrasonic photoacoustic emitter of graphene-nanocomposites film on a flexible substrate*.

Plazemsko zasnovane hibridne ogljikove nanostrukture za energetske aplikacije

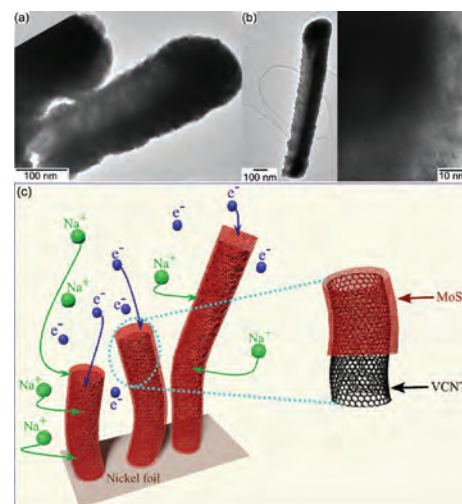
Ogljikove nanostrukture imajo velik potencial pri uporabi shranjevanja energije zaradi njihovih edinstvenih strukturnih, morfoloških in električnih lastnosti. Njihove preproste funkcionalizacijske in prilagoditvene lastnosti omogočajo široko uporabo za izboljšanje elektrokemijskih zmogljivosti shranjevanja energije elektrodnih materialov. Na tem področju so raziskovalci F6 v preteklem letu nadaljevali svoje delo pri oblikovanju hibridnih ogljikovih nanostruktur za aplikacije na področju shranjevanja energije. Na podlagi raziskovalnih dejavnosti smo vzpostavili hiter, preprost plazemsko podprt pristop za izdelavo pametne hibridne elektrode brez veziva, ki vključuje molibdenov sulfid (MoS₂), podprt z vertikalnimi ogljikovimi nanocevkami (VCNT) v obliki MoS₂@VCNT. Ta pametna nanoarhitektura je bila dosežena s plazemskim nanosom VCNT, pozneje je bila vezana z molibdenovimi nanodelci z uporabo plazemskega napršenja, sledilo pa je nizkotemperaturno žarjenje v prisotnosti H₂S. Na ta način plazma proizvede navpične ogljikove nanocevice (VCNT) neposredno na prevodni podlagi in jih veže z molibdenom. Pozneje je bila uporabljena toplotna obdelava za pretvorbo v ustrezne kovinske sulfide. Oblikovana vezivna kompozitna anoda je sestavljena iz vertikalnih ogljikovih nanocevk/nanostruktur molibdenovega sulfida (VCNT/MoS₂). Navpična usmerjenost morfologije vezivne VCNT/MoS₂ hibridne zmesi olajšuje prodiranje elektrolita in skrajšuje ionske difuzijske kanale. Neposreden stik med VCNT in zbiralnikom toka izboljšuje ionsko/elektronsko prevodnost za elektrodo. Te prednosti omogočajo vezivnim VCNT/MoS₂ hibridnim kompozitnim elektrodam izjemne elektrokemijske lastnosti kot anode za SIB-je, vključno z izjemno zmogljivostjo pri visoki gostoti toka 3200 mA g⁻¹ in specifično kapaciteto praznjenja 403 mA h g⁻¹. Površinska morfologija in možne poti naboja pametne elektrode MoS₂@VCNT so prikazane na sliki 5. Ti rezultati bi lahko pomenili začetek učinkovitega oblikovanja pametnih hibridnih elektrod s pomočjo zelenih tehnik v naslednji generaciji sistemov za shranjevanje energije.

V sodelovanju z raziskovalci iz C2C super cap, Lizbona, Portugalska, so raziskovalci F6 demonstrirali izboljšano učinkovitost z dušikom dopiranih vertikalnih ogljikovih nanogozdov (NCNF) pri filtriranju AC signalov in izvajanju kapacitivne zmogljivosti pri visokih frekvencah (nad 100 Hz). Elektrodni materiali NCNF so bili oblikovani s pomočjo okolju prijaznega plazemskega pristopa, ki predstavlja hiter, nadzorovano in poceni metodo. Priprava elektrode brez veziva omogoča neposreden stik med zbiralnikom toka in elektrodni materialom, kar zmanjšuje ohmsko sklopitev na površini zbiralnik toka-material ter izboljšuje prenos naboja in učinkovito interakcijo z elektrolitom. Poleg tega hierarhična morfologija ogljikovih nanogozdov poveča efektivno površino za interakcijo elektrode-elektrolita, medtem ko dušikovo dopiranje ogljikovih nanogozdov poveča hidrofilne lastnosti materialov in spodbuja interakcijo z elektrolitom med elektrokemijskimi procesi, kar izboljša skupen elektrokemijski odziv materiala. Kondenzatorji, zasnovani z elektrodami NCNF, so pokazali visoko kapaciteto 1145 μF s faznim kotom blizu -80° pri 100 Hz v dvoelektrodni postavitvi na laboratorijski skali. Prizmatični prototipni kondenzator, sestavljen iz desetih parov elektrod (2,5 × 3,5 cm²), je dal eno najnižjih vrednosti ekvivalentne serije upornosti, približno 5,8 mΩ, z visoko kapaciteto

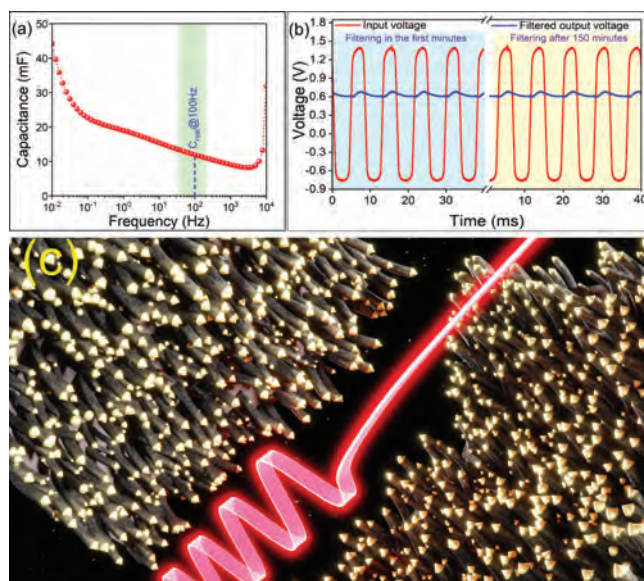
Slika 6: Filtriranje napeljave AC v DC z uporabo elektrod NCNF



Slika 4: Naslovnica revije Crystal Growth & Design



Slika 5: Hibridna arhitektura MoS₂/VCNT za elektrodne materiale



približno 12 mF pri 100 Hz in visoko stabilnostjo filtracijskih zmogljivosti. Učinkovitost zasnovanih kondenzatorjev na podlagi NCNF pri visokih frekvencah, zmogljivost filtracije in shematični prikaz postopka so prikazani na sliki 6. Ta učinkovitost, dosežena na laboratorijski ravni in v industrijsko relevantnih okoljih, kaže, da so takšni elektrokemijski kondenzatorji primerna alternativa za konvencionalne elektrolitske kondenzatorje na podlagi aluminija za aplikacije visokofrekvenčnega filtriranja. Oblikovanje hibridnih ogljikovih nanostruktur je ključnega pomena za razvoj visoko zmogljivih naprav za aplikacije in ena od pomembnih nalog v našem H2020 FET-Open projektu PEGASUS in EU FLAGERA projektu VEGA. Vse razvite metode in dosežene/izmerjene zmogljivosti so bile objavljene v revijah z velikim vplivom.

Nanokataliza in elektronska stanja površin in kristalov

V sodelovanju z raziskovalci s Kemijskega inštituta (KI) smo preiskovali materiale za katalitične reakcije. Z metodami, ki temeljijo predvsem na presewni elektronski mikroskopiji (TEM), smo raziskovali elektronska stanja nanokristalnih površin, ki jih lahko povežemo z njihovo reaktivnostjo. S 3D rekonstrukcijo iz tilt serije mikrografov smo rekonstruirali morfologijo nanodelcev in njihovo porazdelitev po substratu. Raziskanih je bilo več različnih katalizatorskih sistemov: CeO₂, TiO₂ in ZrO₂ kot podlaga v kombinaciji z nanokristali Au in Ni, predvsem za namen reformiranja metana in hidrogeniranja CO₂ v metanol.

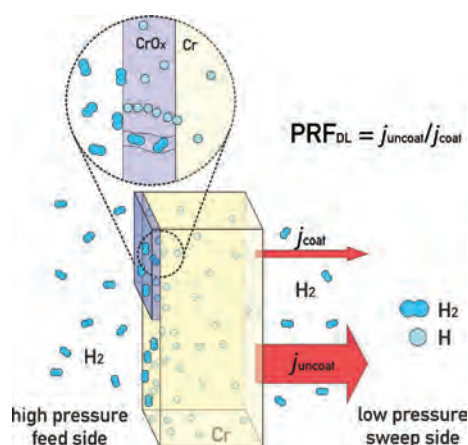
Interakcije vodikovih izotopov z materiali, povezanimi s fuzijo, in druge raziskave, povezane s fuzijo

Raziskovalci F6 so del konzorcija EUROfusion, ki deluje na področju raziskav, povezanih s fuzijo, po trenutnem načrtu za potrditev načela delovanja jedrske fuzije. Trenutni raziskovalni program se osredotoča na interakcije vodikovih izotopov s strukturnimi materiali, ki se uporabljajo za fuzijske namene, zlasti pregrade za prepustnost tritija. Zadrževanje radioaktivnega tritija v materialih je težko nadzorovati, saj zlahka prodre skozi kovinske stene reaktorja, od koder bi lahko skozi hladilni sistem iztekel v okolje. Poleg dejstva, da je trenutno glavno zanimanje za ITER relevantno fiziko, v prihodnosti koncept reaktorja DEMO odpira številne nove probleme. Kakorkoli že, obstajata dve glavni razliki; vakuumska komora ITER je izdelana iz avstenitnega nerjavečega jekla in bo delovala v pulznem načinu, medtem ko bo DEMO izdelan iz martenzitnega jekla, imenovanega Eurofer, in bo deloval neprekinjeno. Posledično se zdi, da je ohranitev skupne količine tritija na varni ravni dosežena brez postavitve prepustne pregrade na notranjih vakuumskih površinah v ITER, vendar bodo obvezne v DEMO.

Vloga kroma v jeklu je bila prepoznana kot ključna za številne tehnologije, saj je ugotovljeno, da ima tanek film kromovega oksida, oblikovan na izpostavljeni površini pri posebnih zunanjih pogojih, ključno vlogo kot vodikova pregrada in plast za zaščito pred korozijo. Za načrtovane jedrske fuzijske reaktorje je bilo že pred 25 leti izbrano jeklo Eurofer-97, zlitina Fe in Cr. Ker gre za zelo prepustno martenzitno jeklo, so obvezne učinkovite zaporne plasti, ki preprečujejo migracijo in uhajanje tritija v okolje. Veliko tehničnih dokumentov raziskuje kromov oksid, ki nastane na jeklih kot pregrada za prepustnost vodika, vendar so analogne študije *in-situ* gojenega oksida na čistem kromu redke. Takšna študija bi verjetno razkrila največjo dosegljivo učinkovitost pregrade, saj nastaja le kromov oksid. V raziskavah je skupina iz F6 lahko ugotovila, da je bila stopnja prepustnosti za tri rede velikosti zmanjšana z nadzorovano oksidacijo *in-situ* v mokrem devteriju do 850 °C. Kljub temu struktura in debelina filma nista bili določeni. Podrobnosti o interakciji vodika na površini kromovega oksida, ki je odgovorna za omejeno učinkovitost pregrade, pa so delno znane.

Raziskovali smo tudi prepustnost vodika skozi kromove membrane pri 400 °C in vlogo površinskega kromovega oksida. Tlak vodika navzgor je bil ~1000 mbar pred in po oksidaciji kromove membrane v čistem kisiku. Naravni oksid je nastal že v visokem vakuumu med začetnim postopkom predobdelave. Tvorba dodatnega oksidnega filma med nadzorovano oksidacijo je zmanjšala stopnjo prepustnosti do ~980-krat. Vzporedno je bila med 200 °C in 500 °C izmerjena stopnja prepustnosti skozi identično s paladijem prevlečeno kromovo referenčno membrano, da bi se izognili vplivu naravnega oksida. V primerjavi s temi novimi podatki je bila najvišja učinkovitost oksidne pregrade pri 400 °C še večja, saj je bil dejavnik zmanjšanja prepustnosti ~3900. Ustrezni $P_{CrOx}(400\text{ °C}) = 7.0 \cdot 10^{-20} \text{ mol H}_2 / (\text{s m Pa}^{0.5})$ je najnižja vrednost, ki je bila kadarkoli sporočena za katerokoli pregrado pri 400 °C. Morfologijo površine in debelino oksida smo raziskovali s SEM, debelino in vrsto oksida pa z XPS.

V okviru projektov EUROfusion konzorcija smo raziskovali tudi migracije in zadrževanje lahkih elementov v kovinah z *bcc* strukturo. Raziskovalna skupina na odseku F6 je bila osredotočena tudi na nanometrijske analize tankih oksidnih filmov, ki nastanejo z elektrokemično ali toplotno oksidacijo polikristalnega volframa. Za ovrednotenje in karakterizacijo smo elektronsko-transparentne vzorce za TEM analize pripravili s tehniko fokusiranega ionskega žarka (FIB) v okviru Nanocentra, vzorce pa smo raziskali s presewnimi elektronskimi mikroskopi (TEM), ki so na voljo na IJS in KI. Vzporedno smo razvijali nedestruktivno tehniko kontrastnega slikanja



Slika 7: Shema poskusa prepustnosti.

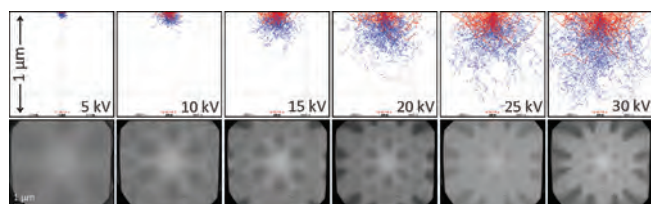
s tuneliranjem elektronov (Electron channeling contrast imaging, ECCI) v reakcijski celici, opremljeni z elektronsko kolono, ki je na voljo v laboratoriju odseka F6. Tehnika ECCI nam omogoča opazovanje in prepoznavanje dislokacij, meja zrn pod majhnim kotom in drugih strukturnih napak na globinah do nekaj mikronov pod površjem vzorca. Metoda ECCI je še posebej uporabna za natančno kristalografsko orientacijo vzorca pred pripravo vzorca TEM s pomočjo FIB tehnike (slika 8).

Partnerska raziskovalna skupina IJS-MPIE

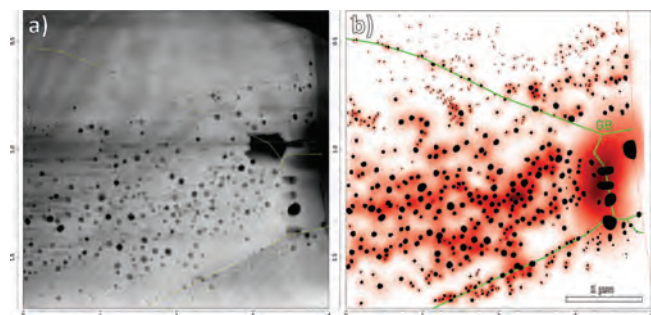
V letu 2022 je večina projektnih dejavnosti skupne partnerske raziskovalne skupine med IJS in Max-Planck-Institut für Eisenforschung potekala na daljavo. Člani skupine so delali na optimizaciji tehnik elektronske mikroskopije v korelaciji s tomografijo atomske sonde (atom probe tomography, APT). Na področju vrstične elektronske mikroskopije (SEM) smo razvijali algoritem za 3D rekonstrukcijo morfologije površine z uporabo seta mikrografij, posnetih pod različnimi koti, v korelaciji s signalom obročastega detektorja povratno-sipanih elektronov. Na področju transmisijske elektronske mikroskopije (TEM) smo razvili nabor metod za statistično ovrednotenje in enumeracijo mikrografij. Takšno vrednotenje in analizo napak smo uspešno uporabili pri analizi volframovih vzorcev, implantiranih s He (slika 9).

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Vasyl Shvalya, Martina Modic, Cene Skubic, Nejc Nadižar, Janez Zavašnik, Damjan Vengust, Aleksander Zidanšek, Damjana Rozman, Uroš Cvelbar, *et al.*, Bacterial DNA recognition by SERS active plasma-coupled nanogold, *Nano letters*, 2022, 22, 23, 9757-9765, DOI: 10.1021/acs.nanolett.2c02835
2. Jorge Dias, Neelakandan Marath Santhosh, Uroš Cvelbar, Janez Zavašnik, *et al.*, N-graphene-metal-oxide(sulfide) hybrid nanostructures : single-step plasma-enabled approach for energy storage applications, *Chemical engineering journal*, 2022, 430, 4, 133153, DOI: 10.1016/j.cej.2021.133153
3. Ana Kovačič, Martina Modic, Nataša Hojnik, Anja Vehar, Tina Kosjek, David John Heath, James L. Walsh, Uroš Cvelbar, Ester Heath, Degradation of bisphenol A and S in wastewater during cold atmospheric pressure plasma treatment, *Science of the total environment*, 2022, 837, 155707, 15 str., DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155707
4. Aswathy Vasudevan, Vasyl Shvalya, Martin Košiček, Janez Zavašnik, Andrea Jurov, Neelakandan Marath Santhosh, Aleksander Zidanšek, Uroš Cvelbar, From faceted nanoparticles to nanostructured Thin Film by Plasma-Jet Redox Reaction of Ionic Gold, *Journal of alloys and compounds*, 2022, 928, 167155, 1-11, DOI: 10.1016/j.jallcom.2022.167155
5. Martin Košiček, Janez Zavašnik, Oleg B. Baranov, Barbara Šetina, Uroš Cvelbar, Understanding the growth of copper oxide nanowires and layers by thermal oxidation over a broad temperature range at atmospheric pressure, *Crystal growth & design*, 2022, 22, 11, 6656-6666, DOI: 10.1021/acs.cgd.2c00863
6. Daniele Vella, Aleš Mrzel, Aljaž Drnovšek, Vasyl Shvalya, Matija Jezeršek, Ultrasonic photoacoustic emitter of graphene-nanocomposites film on a flexible substrate, *Photoacoustics*, 2022, 28, 100413, DOI: 10.1016/j.pacs.2022.100413
7. Janez Zavašnik, Andreja Šestan, Srečo D. Škapin, Degradation of asbestos - reinforced water supply cement pipes after a long-term operation, *Chemosphere*, 2022, 287, 131977-1-131977-9, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2021.131977
8. Ana Oberlintner, Vasyl Shvalya, Aswathy Vasudevan, Damjan Vengust, Blaž Likozar, Uroš Cvelbar, Uroš Novak, Hydrophilic to hydrophobic : ultrafast conversion of cellulose nanofibrils by cold plasma fluorination, *Applied Surface Science*, 2022, 581, 152276, DOI: 10.1016/j.apsusc.2021.152276
9. Andreja Šestan, Lekshmi Sreekala, Sabina Markelj, Mitja Kelemen, Janez Zavašnik, Christian Liebscher, Gerhard Dehm, Tilmann Hickel, Miran Čeh, Saša Novak, Petra Jenuš, Non-uniform He bubble formation in W/W₂C composite: experimental and ab-initio study, *Acta materialia*, 2022, 226, 117608, 15 str., DOI: 10.1016/j.actamat.2021.117608



Slika 8: Tuneliranje elektronov povzroči karakteristični vzorec povratno sipanih elektronov na W. (Projekt DeHydroC, ki ga vodi F2, PI Sabina Markelj).



Slika 9: (a) HAADF-STEM mikrografija He-implantiranega polikristalnega W vzorca. (b) Velikost in prostorska porazdelitev He mehurčkov sta odvisni od že obstoječih strukturnih napak, kot so meje zrn in dislokacije. Rezultati, pridobljeni v sodelovanju z oddelki F2, K7 in CEMM.

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Second International Workshop on Plasma-Tailored Nanostructures and Applications (SWOPTAN), Rogla, Slovenija, 30. 1.–2. 2. 2022

Patent

1. Ksenija Renner-Sitar, Ita Junkar, Uroš Cvelbar, Miran Mozetič, Metoda za izboljšanje vezave dentalne silikatne keramike s kompozitnimi cementi, SI26082 (A), Urad RS za intelektualno lastnino, 29. 4. 2022

Nagrade in priznanja

1. Vasył Shvalya, et al., Plazmonske površine za prepoznavo mikotoksinov, Odlični v znanosti 2022

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Partnerska skupina Max Planck
Max-Planck-Institut Für Eisenforschung GmbH
doc. dr. Janez Zavašnik
2. COST CA18113; Razumevanje in uporaba nizkega pH pri mikroorganizmih
COST Association AISBL
dr. Martina Modic
3. COST CA18116; Aniridia: Mreženje za reševanje neizpoljenih zdravstvenih, znanstvenih in družbenih izzivov
COST Association AISBL
prof. dr. Uroš Cvelbar
4. COST CA19110; Uporaba plazme za pametno in vzdržljivo kmetijstvo
COST Association AISBL
dr. Martina Modic
5. NATO: NOOSE - Nanomateriali za odkrivanje eksplozivnih sledi s SERS
NATO - North Atlantic Treaty Organisation
prof. dr. Uroš Cvelbar
6. COST CA20120 - Terapevtske aplikacije hladnih plazem
COST Association AISBL
dr. Martina Modic
7. COST CA20129 - Več obsežni procesi obsevanja in kemije ter z njimi povezane tehnologije
COST Association AISBL
prof. dr. Uroš Cvelbar
8. H2020 - PEGASUS; Plazemsko podprta sinteza grafena in njegovih nanostruktur
European Commission
prof. dr. Uroš Cvelbar
9. Po grafenu - novi materiali na osnovi 2D in 3D grafena
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Uroš Cvelbar
10. Raziskovanje kovinskih in kovinsko-oksidskih senzorskih zmožnosti
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Gregor Filipič
11. Načrtovanje plazmotskih lastnosti ogljikovih nanomaterialov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Uroš Cvelbar
12. Prosti radikali in oksidativni stres v mikrobnih biofilmih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Martina Modic
13. Kako plazma vpliva na katalitično aktivnost nanomaterialov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Uroš Cvelbar
14. OE - EUROfusion; WP07: ENR-DeHydroc-1,2,3_OE-FU
European Commission
doc. dr. Janez Zavašnik
15. OE - EUROfusion; WP18: MAT_OE-FU, IREMEV-MAT-1_OE-FU, IREMEV-MAT-2_OE-FU, IREMEV-MAT-3_OE-FU
European Commission
doc. dr. Janez Zavašnik

16. OE - EUROfusion; WP05: PWIE-1,2,3_OE-FU, PWIE-4-pospeševalnik
European Commission
dr. Vincenc Nemanič
17. OE - ThermoDust; Sprememba paradigme za naprave za upravljanje toplote prihodnosti z radikalnimi inovacijami v novih materialih in aditivni proizvodnji
European Commission
doc. dr. Janez Zavašnik
18. ERASMUS+; HERawS - Poudarki na trajnosti evropskih surovin
European Commission
prof. dr. Uroš Cvelbar

PROGRAMI

1. Vakuumska tehnika in materiali za elektroniko
dr. Vincenc Nemanič
2. Tankoplastne strukture in plazemsko inženirstvo površin
prof. dr. Uroš Cvelbar
3. Plazma in kvantne strukture
prof. dr. Uroš Cvelbar

PROJEKTI

1. Plazemsko podprti prehodi in-situ
prof. dr. Uroš Cvelbar
2. Plazemska dekontaminacija mikotoksinov in inaktivacija plesni v živilski industriji
dr. Martina Modic
3. Pametna plazemska tehnologija
James Leon Walsh, PhD. Združeno kraljestvo
4. Detekcija napak in vodika v kristalni rešetki s pomočjo ionskih metod v načinu kanaliziranja za fuzijo
doc. dr. Janez Zavašnik
5. Načrtovanje in razvoj DT-procesiranih Fe-Al zlitin s samotvornimi preprekami za prepustnost vodika za najzahtevnejša okolja
doc. dr. Janez Zavašnik
6. Plazemsko aktivirani nanomehurčki: Nov pristop za učinkovito razkuževanje endoskopov
James Leon Walsh, PhD. Združeno kraljestvo
7. Napredna plazemska vibroskopija na nivoju DNK molekul za nanomedicinske raziskave
Vasył Shvalya, PhD
8. Izdelava preje z niskim vplivom na okolje s pomočjo obdelave z atmosfersko plazmo
prof. dr. Uroš Cvelbar
9. Tehnologija plazme pri atmosferskem tlaku za odstranjevanje v zraku prisotnih alergenov (RemovALL)
dr. Nataša Hojnik
10. Multifunkcionalni pokončni grafenski hibridi za visoko energijske superkondenzatorje
dr. Neelakandan Marath Santhosh
11. VEGA - Pokončni grafen za aluminij-ionske baterije
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Uroš Cvelbar

OBISKI

1. Naomi Northage, Univerza v Liverpoolu, Liverpool, 25. 1.-30. 1. 2022
2. dr. Andrea Jurov, Fakulteta kemijskega inženirstva in tehnologije, Zagreb, Hrvaška, 4. 4.-8. 4. 2022
3. dr. Andrea Jurov, Fakulteta kemijskega inženirstva in tehnologije, Zagreb, Hrvaška, 9. 5.-13. 5. 2022
4. dr. Vilko Mandić, Fakulteta kemijskega inženirstva in tehnologije, Zagreb, Hrvaška, 12. 5. 2022
5. dr. Andrea Jurov, Fakulteta kemijskega inženirstva in tehnologije, Zagreb, Hrvaška, 13. 6.-17. 6. 2022
6. dr. Mahendra Sunkara, Univerza v Louisville, Louisville, ZDA, 3. 6. 2022
7. dr. Andrea Jurov, Fakulteta kemijskega inženirstva in tehnologije, Zagreb, Hrvaška, 18. 7.-22. 7. 2022
8. dr. Petr Slobodian, Univerza Thomas Bata Zlin, Češka, 14. 8.-24. 8. 2022
9. dr. Andrea Jurov, Fakulteta kemijskega inženirstva in tehnologije, Zagreb, Hrvaška, 22. 8.-26. 8. 2022
10. dr. Andrea Jurov, Fakulteta kemijskega inženirstva in tehnologije, Zagreb, Hrvaška, 10. 10.-14. 10. 2022
11. dr. Nikša Krstulović, Inštitut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 11. 10. 2022
12. Rafaela Radičić, Inštitut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 11. 10. 2022
13. dr. Andrea Jurov, Fakulteta kemijskega inženirstva in tehnologije, Zagreb, Hrvaška, 14. 11.-18. 11. 2022
14. dr. Nikša Krstulović, Inštitut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 20. 12. 2022
15. Rafaela Radičić, Inštitut za fiziko, Zagreb, Hrvaška, 20. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Vasyly Shvalya: Plasma-made nanostructures for bio-chemical molecules SERS detection, 11. 11. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Uroš Cvelbar, APCC15, 15th Asia Pacific Physics Conference, Seul, Južna Koreja, 21.-26. 8. 2022 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **prof. dr. Uroš Cvelbar, vodja odseka**
2. dr. Gregor Filipič
3. dr. Martina Modic
4. dr. Vincenc Nemanič
5. Vasyly Shvalya, PhD.
6. James Leon Walsh, PhD. Združeno kraljestvo
7. doc. dr. Janez Zavašnik

Podoktorski sodelavci

8. dr. Nataša Hojnik
9. dr. Neelakandan Marath Santhosh

Mlajši raziskovalci

10. Martin Košiček, mag. kem.
11. Marko Žumer, univ. dipl. fiz.

Strokovni sodelavci

12. Jaka Olenik, dipl. inž. fiz. (VS)
13. Damjan Vengust, mag. nan.

Tehniški in administrativni sodelavci

14. Urška Kisovec, mag. manag.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Ben Gurion, Univerza v Negev, Izrael
2. Beti Metlika, d. d., Metlika, Slovenija
3. EMPA, Laboratorij za tehnologije spajanja in korozijo, Švicarski zvezni laboratoriji za znanost in tehnologijo materialov, Dübendorf, Švica
4. Inštitut za fiziko, Beograd, Srbija
5. Inštitut za fiziko, Zagreb, Hrvaška
6. Institute Jean Lamour Nancy, Francija
7. Inštitut Max-Planck, Dusseldorf in Garching, Nemčija
8. Johannes Kepler Univerza v Linzu, Linz, Avstrija
9. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija

2. Martina Modic, AVS 68th International Symposium & Exhibition, Pennsylvania, ZDA, 6.-11. 11. 2022 (1)
3. Uroš Cvelbar, COPCA 2022, Valleta, Malta, 31. 10.-4. 11. 2022 (1)
4. Uroš Cvelbar, Neelakandan Marath Santhosh, 241st ECS Meeting, Vancouver, Kanada, 29.-2. 6. 2022 (2)
5. Vincenc Nemanič, 12. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah, Terme Čatež, Slovenija, 11. 11. 2022 (1)
6. Neelakandan Marath Santhosh, 57th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials & The Workshop on Energy Harvesting, Maribor, Slovenija, 14. 9.-16. 9. 2022 (1)
7. Martina Modic, Vasyly Shvalya, 9th International Conference on Plasma Medicine (ICPM9), Utrecht, Nizozemska, 27. 6.-1. 7. 2022 (2)
8. Vincenc Nemanič, DSL2022, Firence, Italija, 26. 6.-1. 7. 2022 (1)
9. Vasyly Shvalya, GEC, 11th International Conference on Reactive Plasmas, 75th Annual Gaseous Electronics Conference, 40th Symposium on Plasma Science for Materials (SPSM35), 35th Symposium on Plasma Science for Materials (SPSM) joint Conference, 3.-7. 7. 2022 (1)
10. Martin Košiček, 5th International Conference on Applied Surface Science, Palma de Mallorca, Mallorca, Španija, 25.-28. 4. 2022 (1)
11. Uroš Cvelbar, Martin Košiček, Vasyly Shvalya, 11th International Symposium on Plasma Nanoscience, 4.-8. 9. 2022 (3)
12. Neelakandan Marath Santhosh, 11th International Symposium on Plasma Nanoscience (virtualno), 4.-8. 9. 2022 (1)
13. Uroš Cvelbar, 75th Annual Gaseous Electronics Conference, Senday, Japonska, 3.-7. 10. 2022 (1)
14. Uroš Cvelbar, ICPP 2022, 20th International Congress on Plasma Physics, Hico, Japonska, 27. 11.-2. 12. 2022 (1)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Uroš Cvelbar, Inštitut za fiziko, Beograd, Srbija, 13.-15. 5. 2022 (COST sestanek)
2. Uroš Cvelbar, Univerza v Nagoji, Nagoja, Japonska, 29. 9.-7. 10. 2022 (bilateralno sodelovanje)
3. Uroš Cvelbar, Univerza v Atlanti, ZDA, 7.-15. 10. 2022 (bilateralno sodelovanje)
4. Vasyly Shvalya, Martin Košiček, Instituto Superior Tecnico, Lizbona, Portugalska, 2.-8. 10. 2022 (usposabljanje)
5. Vasyly Shvalya, Uroš Cvelbar, Univerza Ben Gurion, Tel Aviv, Izrael, 9.-14. 12. 2022 (projektni sestanek)
6. Janez Zavašnik, Univerza v Lorraine, Nancy, Francija, 14. 6.-17. 6. 2022 (projektni sestanek)
7. Janez Zavašnik, TCD, Dublin, Irska, 8.-10. 11. 2022 (projektni sestanek)
8. Janez Zavašnik, Univerza Tor Verata, Rim, Italija, 13.-16. 11. 2022 (delovni sestanek)

10. Knauf Insulation, d. o. o. Škofja Loka, Škofja Loka, Slovenija
11. Kharkiv Aviation Institute, National Aerospace University, Kharkov, Ukrajina
12. Kolektor Group, d. o. o., Idrija, Slovenija
13. Korejski napredni inštitut za znanost in tehnološko podprto industrijsko znanost in tehnologijo, Daejeon, Južna Koreja
14. Leibniz-Institut za znanost in tehnologijo plazme, Greifswald, Nemčija
15. Mahatma Ghandi Univerza, Kerala, Indija
16. Mednarodna agencija za atomsko energijo, Dunaj, Avstrija
17. Nacionalni inštitut za napredno industrijsko znanost in tehnologijo, Tsukuba, Japonska
18. National Center For Scientific Research (NCRS) Demokritos, Atene, Grčija
19. National Institute for Laser, Plasma and Radiation Physics, Bukarešta, Romunija
20. Nanyang Univerza v Singapuru, Singapur
21. NATO, Bruselj, Belgija
22. Onkološki inštitut Ljubljana, Slovenija
23. Tehnična univerza Darmstadt, Inštitut za proizvodno strojništvo in preoblikovane stroje, Darmstadt, Nemčija
24. Tehnična univerza na Dunaju, Dunaj, Avstrija
25. Univerza v Beogradu, Rudarsko-geološka fakulteta, Beograd, Srbija
26. Univerza George Washington, Washington DC, ZDA
27. Univerza Tomaš Bata, Zlin, Češka
28. Univerza uporabnih znanosti Zuyd, Heerlen, Nizozemska
29. Univerza v Gentu, Gent, Belgija
30. Univerza v Kaslu, Inštitut za inženirstvo materialov, Kassel, Nemčija
31. Univerza v Liverpoolu, Liverpool, Velika Britanija
32. Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
33. Univerza v Louisvillu, Louisville, ZDA
34. Univerza v Nagoji, Nagoja, Japonska
35. Tehniška Univerza v Lizboni, Lizbona, Portugalska
36. Univerza v Šanghaju Jiao Tong, Šanghaj, Kitajska
37. Univerza Shahid Madani, Azerbadžan, Tabriz, Iran
38. Univerza v Seville, Sevilla, Španija
39. Univerza v Ulstru, Belfast, Združeno kraljestvo
40. Univerza Texas A&M, Collage station, Teksas, ZDA
41. Univerza v Yorku, York, Velika Britanija
42. Zavod za gradbeništvo Slovenije, Ljubljana, Slovenija
43. Queensland Univerza za tehnologijo, Brisbane, Avstralija

Raziskave Odseka za kompleksne snovi obsegajo različna področja od fundamentalnih raziskav osnovnih vzbuditev v kvantnih materialih, neravnovesne kvantne snovi, samoorganizirane prilagajalne funkcionalnosti v kompleksnih sistemih in v mehki snovi do nano biosistemov, biomolekul in različnih nanomaterialov. Eksperimentalne dejavnosti na odseku so tesno povezane s teoretičnimi raziskavami na različnih ravneh in podprte s sintezo zelo raznovrstnih materialov. Naše raziskave ultrahitrih neravnovesnih prehodov, novih skritih ureditev in feroičnih tekočin so široko svetovno znane ter nosijo blagovno znamko odseka F7 in Instituta "Jožef Stefan".



Vodja:

prof. dr. Dragan D. Mihailović

V celoti so raziskovalni dosežki odseka zelo raznoliki, poročamo pa o pomembnih odkritjih na številnih področjih.

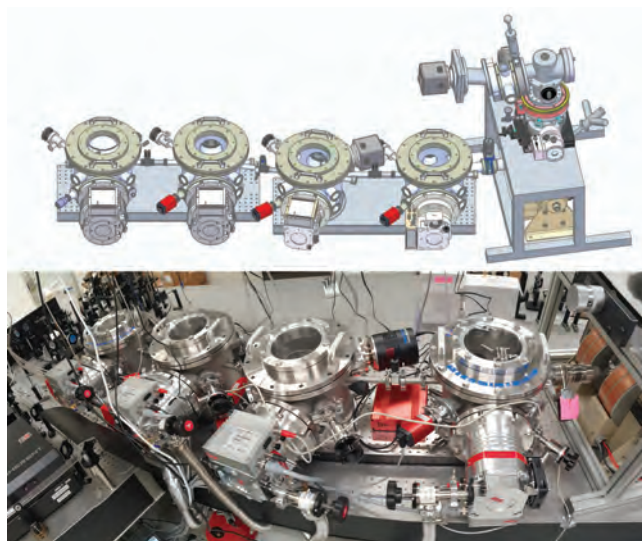
V zadnjih dveh letih je bilo na oddelku veliko truda vloženega v postavitev tehnoloških temeljev za nove raziskovalne smeri. Zlasti dokončanje Laboratorija za napredne kvantne naprave (AQDL), ki je bil skupni projekt F7 in Nanocentra, je odprlo veliko različnih možnosti. Tako je zdaj mogoče različne naprave in precej dodelana vezja čipov izdelati z uporabo e-žarka z do < 50 nm v okolju brez kisika z uporabo povsem lokalne opreme. Nadzorovana atmosfera je še posebej pomembna, kadar naprave uporabljajo materiale, občutljive na kisik ali vodo, kot so pomnilniške naprave CCM in superprevodni resonatorji ter transmonski kubitni. AQDL omogoča sestavljanje enoatomskih heterostruktur Moire z materiali, kot so hBN, grafen in dihalogenidi prehodnih kovin. Projekt sta podprla tudi oddelka F3 in K3 pri podpori nakupa novega in vsestranskega AFM.

AQDL tako dopolnjuje eksperimentalne metode, ki se že uporabljajo na oddelku, kar vključuje različne femtosekundne laserske spektroskopije od THz do XUV, različne optične tehnike, študije ultrahitrega transporta in superprevodnih naprav ter metode sintetične kemije in tankoslojnega nanašanja, kot so MBE, Afid in EBE, laserske biomedicinske študije, femtosekundni STM in magnetometrija.

V letu 2022 se je začel zagon novega laboratorija za resonančno XUV-elipsometrijo. Prve XUV-žarke smo uspešno opazovali in laboratorij naj bi začel rutinsko delovati v drugi polovici leta 2023. Nova metoda, ki je sicer na voljo samo z uporabo laserjev na proste elektrone, bo razširila nabor ultrahitrih spektroskopij, ki so na voljo na IJS in v Sloveniji, in bo omogočila bolj neposreden in podrobnejši vpogled v eksotična elektronska stanja, ultrahitro spinsko dinamiko v kompozitnih materialih, nekolinearne spinske teksture itd. Velika pozornost pri načrtovanju sistema je bila namenjena stabilnosti in občutljivosti sistema. Z uporabo posebne normalizacijske rutine v kombinaciji s polarizacijsko občutljivostjo širokopasovnega detektorja bo mogoče izmeriti tudi šibke signale, ki so običajno nedostopni s šumnimi viri svetlobe, takimi, kot sta FEL in HHG. To je še posebej pomembno pri opazovanju koreliranih materialov, ki so zelo dovzetni za zunanje motnje.

Za proučevanje strukturne polarnosti v feroelektričnih materialih smo sestavili optični mikroskop, ki omogoča slikanje polarizacijskega profila vzorcev (feroelektrična domenska struktura) na podlagi fazno občutljivega signala druge optične harmonične frekvence. Gre za specialni nelinearni optični instrument, ki ga komercialno ni mogoče kupiti. Z njim smo v drugi polovici leta 2022 pridobili prve slike prostorskega profila spontane električne polarizacije v feroelektrični nematski tekoči kristalni fazi. Članek, ki poroča o rezultatih navedenih meritev, je v postopku objave v reviji *Nature Communications*. Sestavili smo tudi sistem za diferenčno dinamično mikroskopijo (DDM), ki temelji na originalni ideji kombiniranja slik iz dveh naključno proženih videokamer. To je naprava, ki razširja naš nabor instrumentov za analizo dinamičnega sipanja svetlobe (DLS) in se odlikuje po hkratnem zajemanju signala v okviru širokega razpona sipalnih vektorjev. Primerna je za analizo dinamičnih procesov v raznovrstnih mehkih materialih.

Eksperimentalne raziskave na oddelku so močno podprte s teorijo, od analitičnih pristopov do modeliranja s simulacijami Monte-Carlo. Leta 2022 je bil dosežen pomemben napredek pri simulacijah kvantnega žarjenja na kvantnem procesorju D-wave (QPU) do te mere, da je postal uporabna tehnika za modeliranje neravnovesnih pojavov v kvantnih materialih s številnimi objavami v pripravi.

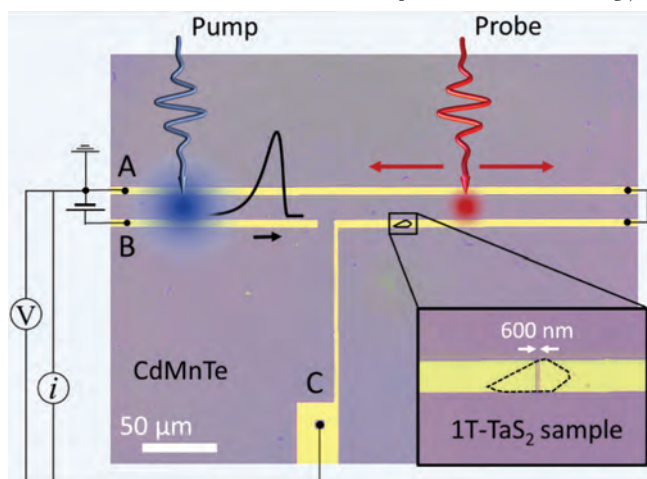


Slika 1: Naprava za časovno ločljivo resonančno XUV-elipsometrijo

Številni raziskovalni projekti so pred kratkim pridobili na pomenu, na primer ultrahitre, nizkoenergijske kripomnilniške naprave, ki temeljijo na naših študijah ultrahitrih elektronskih prehodov, o katerih so poročali od leta 2014, so zdaj privedle do tehnoloških prebojev, opisanih v dveh objavah v lanskem letu.

Ultrahitre spominske naprave

Napredek v visokozmogljivem računalništvu zahteva pomemben napredek v pomnilniški tehnologiji. Med novimi pomnilniškimi tehnologijami, ki obljublajo učinkovito delovanje naprav na časovni lestvici pod-ns,

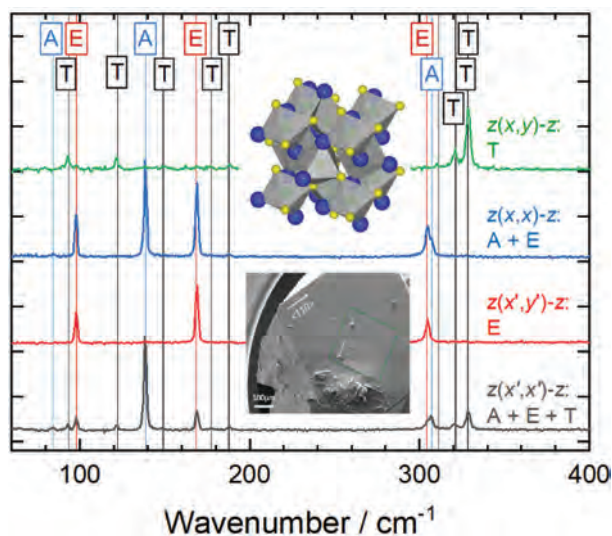


Slika 2: Laboratorij na čipu za raziskave ultrahitrega preklopa spominske naprave

je uporabno preklapljanje med fazami 1T-TaS₂ z urejenim nabojem potencialno uporabno za razvoj hitrih, energetsko učinkovitih trajno pomnilniških naprav. Merjenje električnega delovanja tovrstnih naprav v pikosekundnem režimu je tehnično zahtevno in do zdaj še precej neraziskano. Za merjenje ultrahitrega preklapljanja pomnilnika smo uporabili optoelektronski eksperiment *laboratorij na čipu*, ki omogoča natančno merjenje električnih preklopnih parametrov s časovno ločljivostjo 100 fs. Fotovzbujanje in elektrooptično vzorčenje na substratu (Cd,Mn)Te se uporabljata za generiranje in nato merjenje širjenja električnega sunka z medpasovnim vzbujanjem in sondiranjem v polprevodniški energijski reži. Pokazali smo visoko kontrastno trajno uporabno preklapljanje iz stanja visokega upora v stanje nizkega upora v napravi na podlagi 1T-TaS₂ z električnimi sunki, krajšimi od 2 ps. S podrobnim modeliranjem smo ugotovili, da je gostota preklopne energije na enoto površine izjemno majhna, EA = 9,4 fJ/μm². Hitrost in energetska učinkovitost procesa elektronskega pisanja uvrščata naprave 1T-TaS₂ v posebno kategorijo med trajno pomnilniškimi napravami nove generacije. Rezultati so bili objavljeni v *Applied physics letters*, 120, 253510 (2022).

Optična karakterizacija novih snovi

Sintetizirali smo spojino changchengit (IrBiS) in kot prvi izmerili fononske Ramanove spektre pri sobni temperaturi. V sodelovanju z Odsekom za teoretično fiziko F1 smo primerjali eksperimentalne fononske frekvence s teoretičnimi, ki smo jih izračunali z metodo ab initio gostotnega funkcionala z upoštevanjem in brez upoštevanja učinkov sklopitve spin-tir. S kombinacijo Ramanovih spektrov pri dveh različnih energijah vzbujevalnih fotonov smo eksperimentalno opazili vse simetrijsko napovedane Ramanove fonone. Z izračuni je bilo ugotovljeno, da so elektronske lastnosti IrBiS podobne nedavno raziskani izostrukturini spojini IrBiSe, ki kaže velik Dresselhausov spinsko-tirni razcep na vrhu valenčnega pasu. Dobro ujemanje med eksperimentalnimi in teoretično predvidenimi frekvencami Ramanovih fononov je doseženo le, če je mrežna konstanta omejena na eksperimentalno vrednost. Kljub močnemu vplivu na valenčne pasove vključitev sklopitve spin-tir ne vpliva bistveno na teoretično izračunane fononske frekvence. Rezultati so bili objavljeni v *Journal of Raman Spectroscopy*, 2023, <https://doi.org/10.1002/jrs.6491>.



Slika 3: Fononski Ramanovi spektri in struktura changchengita (IrBiS)

Spominske naprave na podlagi konfiguracije naboja

V rokopisu, objavljenem v reviji *Nano Letters* (doi: 10.1021/acs.nanolett.2c01116), smo raziskali skaliranje preklopne energije spominske naprave na principu konfiguracije naboja (CCM) kot funkcijo velikosti naprave in dolžine preklopnega pulza, kar je še posebej pomembno za vgradnjo naprave CCM v krio-računalniška okolja, kjer ima naprava potencialne aplikacije. Ugotovili smo, da preklopna energija skoraj linearno skalira z obema parametroma čez več velikostnih redov. Od odstopanja od linearnosti pride le pri ultravisokih frekvencah, kar se najverjetneje zgodi zaradi omejitev mikrovalovnega vezja in ni posledica intrinzičnih lastnosti CCM-naprav. Pokazali smo uporabno preklapljanje CCM-naprave s 16 ps dolgimi električnimi pulzi (2,2 fJ na pulz), kar kaže, da so naprave CCM hitrejšje in energijsko bolj učinkovite v primerjavi z drugimi alternativnimi spominskimi tehnologijami. Prav tako so izjemno vzdržljive z več kot 106 uspešnimi cikli pisanja/brisanja. Skaliranje preklopne energije tudi nakazuje, da bi lahko naprave CCM neposredno poganjali z izjemno majhnimi pulzi na ravni kvantnega toka (SFQ), če bi dimenzije naprave dodatno zmanjšali, kar je dosegljivo s trenutnimi postopki litografije, in če bi dosegli optimalen prenos prek visokofrekvenčnih kovinskih elektrod v obliki prenosnih linij. Proučili smo tudi kontaktno strukturo naprave s pomočjo presevne elektronske mikroskopije visoke ločljivosti (TEM), energijsko-disperzijsko spektroskopijo

(EDS) in mikroskopijo s Kelvinovo sondo (KPFM) v iskanju potencialnih plasti na spojih naprave, ki bi lahko omejile učinkovitost delovanja. TEM-meritev je razkrila, da na stiku med napravo in kovinskimi elektrodami ni bilo nobenih dodatnih plasti (npr. ostankov organskih spojin, oksidov ...), meritev KPFM pa je tudi nakazala ohmski stik med napravo in kovinsko elektrodo. To obnašanje je bilo potrjeno s prisotnostjo linearnih napetostno-tokovnih karakteristik in prej omenjenim linearnim skaliranjem.

V publikaciji, ki je trenutno v postopku revizije v reviji *Nature Communications*, s pomočjo tunelskega mikroskopa raziskujemo mikroskopsko obnašanje strukture elektronskih domen v napravi CCM, ki je izpostavljena električnemu toku. Sledimo razvoju in izbrisu netrivialnih topoloških defektov v domenski strukturi v obliki dislokacij in razkrivamo, kako se vbrizgani naboj porazdeli vzdolž zapletene mreže domenskih sten. Ugotavljamo, da so dislokacije stabilne pri nizkih tokovih, pri višjih tokovih pa kažejo parno anihilacijo, kar se direktno kaže tudi z makroskopsko spremembo električnega upora vzorca. Z uporabo podrobnega modeliranja naprave tudi pokažemo, da opazovano preklapljanje ni posledica toplotnih učinkov.

Teoretične študije na nanoskali

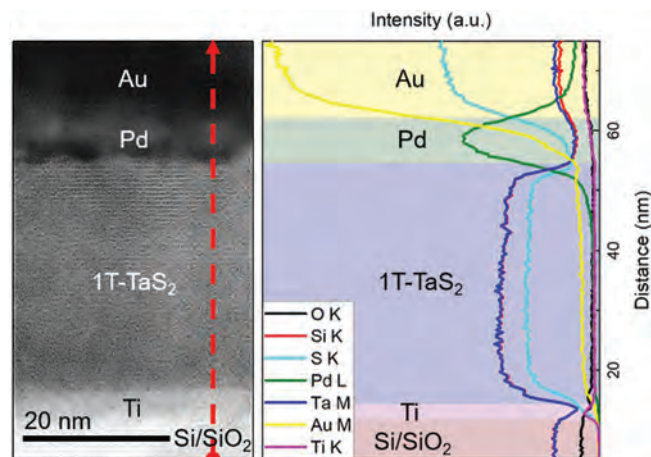
Metastabilna stanja se pojavljajo na številnih področjih fizike kot posledica faznih prehodov, ki kršijo simetrijo. Pomemben izziv je razumeti mikroskopske mehanizme, ki vodijo do nastanka energijske pregrade, ki ločuje metastabilno stanje od osnovnega stanja. Raziskali smo eksperimentalni primer skritega metastabilnega domenskega stanja v $1T\text{-TaS}_2$, ki je nastalo s fotoekscitacijo ali injiciranjem nosilcev naboja. Sistem je primer super rešetke vala gostote naboja v limiti Wignerjevega kristala, ki kaže diskomenzuracije in tvorbo domen, ko se v snov injicira dodatni naboj električno ali s fotoekscitacijo. Zlasti domenske stene in njihova križišča kažejo zanimive topološko prepletene strukture, ki imajo ključno vlogo pri metastabilnosti sistema. Modelirali smo lastnosti eksperimentalno opažene termično aktivirane dinamike topološko zaščitene defektov – dislokacij –, katerih dinamiko anihilacije lahko eksperimentalno opazujemo z vrstično tunelsko mikroskopijo kot pojave, ki jih opisuje dopirani Wignerjev kristal. Različna dinamika trivialnih in netrivialnih topoloških defektov je precej presenetljiva. Zdi se, da trivialni defekti pri nizkih temperaturah v časovnem merilu poskusov precej hitro anihilirajo, medtem ko netrivialni defekti anihilirajo redko, če sploh. Rezultati te teorije so bili objavljeni v reviji *Symmetry*, 14, 926 (2022).

Izvedli smo ab initio izračune heterostrukture, ki temelji na feroelektrični barijevega titanata in dielektrikih lantan-mangan (LaMnO_3) ali silicij (Si). Analizirali smo strukture stikov $\text{BaTiO}_3/\text{LaMnO}_3$ in BaTiO_3/Si ter proučili magnetne lastnosti in vpliv feroelektrične polarizacije. Uporaba feroelektrika v heterostrukturi ima ključno vlogo, zlasti feroelektrična polarizacija povzroči pojav prevodnega stanja na stiku in v plasteh v njegovi bližini. Pokažemo, da lahko napake (v tem primeru kisikove vrzeli), vključene v sistem, spremenijo elektronske in magnetne lastnosti sistema. Rezultati so objavljeni v *Materials*, 15, 23, str. 1–11, (2022).

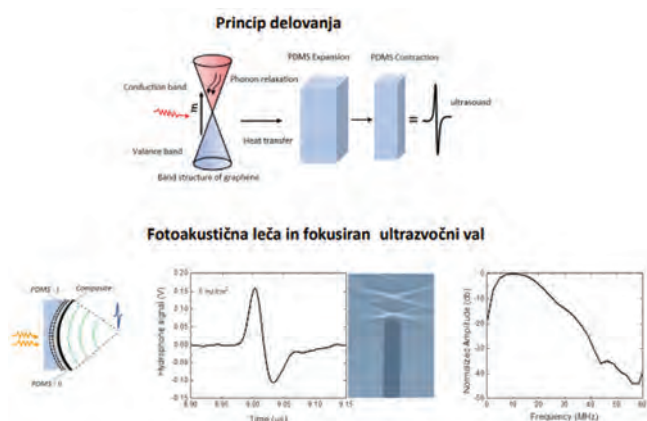
Analitična teorija za spektralno funkcijo elektronov, povezanih s fononi, je formulirana v adiabatski limiti. Kadar je kemijski potencial velik in negativen, osnovno stanje nima adiabatske deformacije in je spektralna funkcija opredeljena s standardno perturbacijsko teorijo. V tej limiti smo uporabili diagramsko tehniko za formulacijo integralne enačbe za renormalizirano vozlišče. Spektralna funkcija je bila ocenjena z reševanjem Dysonove enačbe za samoenergijo z renormaliziranim vozliščem. Momenti spektralne funkcije izpolnjujejo pravila natančne vsote do sedmega momenta. Kadar je kemijski potencial pripet na polaronsko vezavno energijo, je spektralna funkcija opredeljena z osnovnim stanjem z neničelno adiabatsko deformacijo. Spektralno funkcijo smo izračunali tudi s končno gostoto polaronov v adiabatski limiti. V nasprotju s primerom ničelne gostote polaronov ima spektralna funkcija s končno koncentracijo polaronov nekatere prispevke, ki so značilni za polarone. Rezultati so objavljeni v *Journal of physics communications*, 6, 115002 (2022).

Nanomateriali

Sodelovali smo pri meritvah in analizi fotoluminescence ter ekstinkcijskih spektrov volframovih suboksidov v obliki kvazi-2D nanoploščic ($\text{W}_n\text{O}_{3n-1}$) in nanožičk (W_5O_{14} , $\text{W}_{18}\text{O}_{49}$) ter analizah njihovih elektronskih lastnosti, zlasti površinske plazmonske rezonance in ekscitonskih prehodov v povezavi z obliko in strukturo nanokristalov (sodelovanje z Oddelkom za fiziko kondenzanih snovi, IJS in Inštitutom za fiziko Univerze v Beogradu). (*Nanotechnol.*, 33, 275705, 2022)



Slika 4: Analiza kontaktne strukture naprave CCM. Levo je TEM-posnetek plasti CCM-naprave, desno pa EDS-analiza istega prereza z identificiranimi posameznimi plastmi.



Slika 5: Fotoakustična leča in fokusiran ultrazvočni val

fotoakustičnih leč. Obravnavane so bile tudi možne uporabe tega fleksibilnega fotoakustičnega kompozita v različnih biomedicinskih in biokemičnih aplikacijah. Rezultate raziskave smo objavili v reviji *Photoacoustics*.

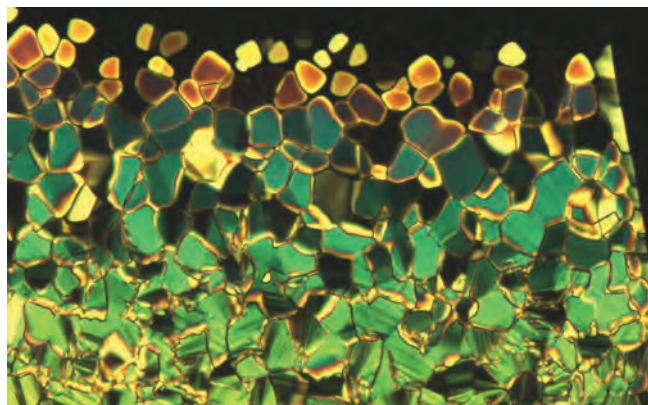
Mehka snov

Raziskovali smo mehanizme tvorbe gvanozinskih žic (G-žic) v z gvanozinom bogati DNA sekvenci d(G2AG4AG2) in njenih variacijah z različnimi vrstami ostankov v zankah. Kombinacija različnih komplementarnih eksperimentalnih metod (DLS, AFM, NMR itd.) nam je omogočila pomemben vpogled v obnašanje teh nanostruktur na molekularni ravni. Ugotovili smo, da ključni korak razkritega sofisticiranega mehanizma spontane organizacije vključuje strukturno preureditev kinetično kontroliranega G-kvadrupleksnega gradnika v termodinamično kontrolirani gradnik. Pokazali smo, da je mogoče lastnosti nastalih G-žic, tj. njihovo dolžino in termično stabilnost, prilagoditi s spreminjanjem vrste in s tem lastnosti ostankov v zankah. Razumevanje podrobnosti tega mehanizma omogoča regulacijo procesa samozdruževanja sekvenc DNK v G-žice. O opisanem delu smo poročali v *Nature Communications* 13, art. 1062 (2022).

Velik del naših raziskovalnih dejavnosti v letu 2022 je bil osredotočen na nastavljive optične lastnosti tekočerkristalnih materialov. V sodelovanju z raziskovalci z univerze Nankai na Kitajskem smo raziskovali vpliv kvantnih pik na fotoluminescenčne lastnosti holesteričnega tekočega kristala (*Liquid Crystals* 49, 2095 (2022)). Nadaljevali smo tudi s skupnimi raziskavami nastavljivih optičnih uklonskih struktur iz tekočerkristalnih materialov, vgrajenih v periodično polimerno ogrodje. V sodelovanju z Univerzo v Beogradu smo proučevali strukturne prehode, ki jih povzroča optična osvetlitev v tekoče kristalnih materialih z upognjeno sredico ter z ogrodjem iz azo-cimetne kisline (*Journal of Molecular Liquids* 366, 120182 (2022)). Začeli smo tudi z raziskavami svetlobno inducirane dinamike tekočerkristalnih kapljic na površini z železom dopiranih fotorefraktivnih kristalov litijevega niobata.

V sodelovanju z raziskovalci z Vzhodnobavarske tehnične visoke šole (OTH) v Regensburgu in Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani smo nadaljevali raziskovanje različnih vidikov magnetno reguliranih površinskih lastnosti magnetno-aktivnih elastomerov (MAE). MAE so kompozitni materiali, sestavljeni iz magnetnih mikrodelcev, uvedenih v mehko elastomerno mrežo. Pokazali smo, da je z lasersko mikroobdelavo MAE mogoče izdelati površinske mikrovzorke različnih velikosti in oblik (*Advanced Materials Technologies* 7, 2101045 (2022)). Prav tako smo pokazali, da se lahko lamelne površinske mikrostrukture, izdelane s to metodo, uporabijo za regulacijo površinskega omakanja (*Polymers* 14, 3883 (2022)).

Nadaljevali smo raziskave polarnih, to je feromagnetnih in feroelektričnih nematskih tekočin. Proučevali smo dinamiko nastajanja magnetnih domen v feromagnetni tekočini. Optimizirali smo material, da omogoča ponovljivo in nadzorovano analizo domenskih struktur in dinamiko njihovega nastajanja, pri čemer se domene tvorijo na časovni skali sekund (*Journal of Molecular Liquids* 366, 120308 (2022)). V sodelovanju z raziskovalci iz TU Braunschweiga in Univerze Otto von Guericke, Magdeburg, Nemčija, smo proučevali magnetno dinamiko v suspenzijah feromagnetnih ploščic. Raziskovali smo magnetno dinamiko v suspenziji v območju izotropne in nematske faze z uporabo magnetne AC susceptometrije in torzijske tehtnice. Pokazali smo, da v izotropnem režimu pri nizkih koncentracijah preprost mehanizem tipa Debye ne more opisati dinamike. Združevanje delcev v skupine povzroči nizkofrekvenčne



Slika 6: DNK zaporedje d(G4C2) se spontano ureja v štirivijačne strukture, ki v zgoščenih raztopinah tvorijo tekočerkristalne faze: kiralno nematično (zgornji del slike) in kolumnarno heksagonalno (spodnji del slike).

prispevke (*Journal of Molecular Liquids* 360, 119484 (2022)). V sodelovanju z raziskovalci s Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani smo prispevali k razumevanju aminofunkcionalizacije magnetnih nanoplošč s silani in fosfonati (*Nanomaterials* 12, 2123 (2022)), v sodelovanju z raziskovalci s Fakultete za elektrotehniko, računalništvo in informatiko Univerze v Mariboru pa smo razvili miniaturni magnetno-optični senzor kotnega položaja (*Optics Letters* 47, 4696 (2022)).

Uredniki revije *Physical Review E* so nas povabili, da napišemo članek o perspektivi feroelektričnih tekočih kristalov, v katerem smo podali pregled tega nastajajočega področja s povezovanjem zgodovine in teoretičnih napovedi s splošnim pogledom na razvoj in lastnosti materialov, ki kažejo feroelektrične lastnosti. Izpostavili smo najbolj relevantna opažanja do danes, kot so velikanska vrednost dielektrične susceptibilnosti in spontane polarizacije, ki je za red velikosti večja kot v klasičnih feroelektričnih tekočih kristalih, ter nelinearne optične koeficiente, primerljive z več feroelektričnimi trdnimi materiali. Razpravljali smo tudi o ključnih lastnostih sidranja in elektrooptičnega obnašanja. Zbrani pregled vodi v končno razpravo o odprtih izzivih pri razvoju materialov, teoretičnem opisu, eksperimentalnih raziskavah in možnih uporabah feroelektričnih faz (*Physical Review E* 106, 021001 (2022)).

Biomedicinska optika

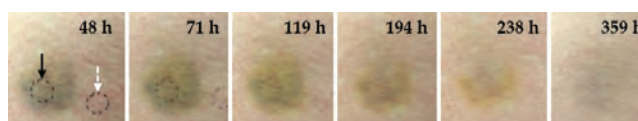
Nadaljevali smo z razvojem inovativnih aplikacij na podlagi naše edinstvene optične tehnike za neinvazivno karakterizacijo človeške kože *in vivo*. S kombinacijo difuzne refleksijske spektroskopije in sunkovne fototermalne radiometrije z namenskim numeričnim modelom svetlobnega transporta v močno sipajočih večplastnih strukturah ta omogoča oceno več fiziološko relevantnih parametrov človeške kože (npr. vsebnost melanina in krvi, skupaj s stopnjo nasičenosti s kisikom, v različnih plasteh kože). Potek vrednosti, dobljenih na opisan način pri vzdolžnem spremljanju travmatičnih podplutb na ljudeh, nam je uspelo popisati z matematičnim modelom razvoja oz. celjenja modric. Tovrstna tehnologija bi lahko omogočila razvoj tehnike za objektivno oceno starosti modric v kriminalistiki oziroma sodni medicini. (doktorska disertacija, FMF UL, 2022)

Naša originalna tehnika za optično karakterizacijo podplutb v človeški koži in matematični model njihovega razvoja sta osnova za razvoj metodologije za objektivno oceno časa poškodbe, ki bi bila velikega pomena pri forenzičnih preiskavah.

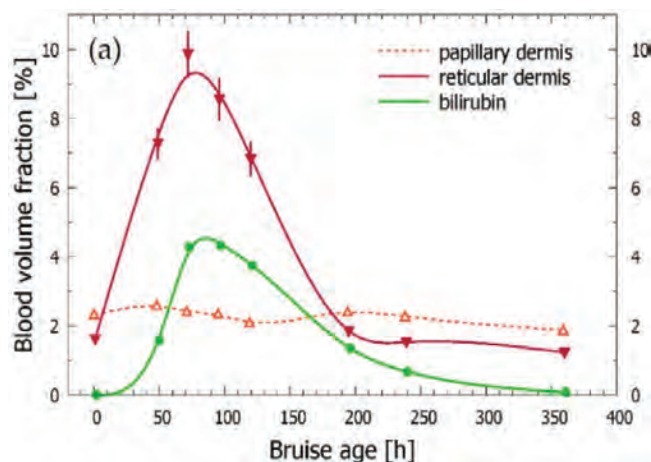
Sodelovali smo pri raziskavi originalne metode za tridimenzionalno lokalizacijo in sledenje biološkim celicam na globinah, ki presegajo transportno dolžino uporabljene svetlobe. Metoda temelji na edinstvenih spektralnih značilnostih sferičnih optičnih mikroresonatorjev, ki so neodvisne od sipanja, absorpcije in avtofluorescence okolnega tkiva. S funkcionalizacijo takih mikroresonatorjev smo pokazali tudi zmožnost zaznavanja njihove okolice (npr. lomni količnik, temperatura ali vrednost pH), s čimer postanejo mnogo bolj uporabni kot običajni fluorescenčni označevalci (sodelovanje z Oddelkom za fiziko kondenziranih snovi, IJS; Fakulteto za matematiko in fiziko, UL ter Inštitutom za fiziko trdnega stanja, Univerza za tehnologijo v Gradcu). (*Nature Commun.* 13, 1269-1-10, 2022)

Proučevali smo anorganske nanodelce, ki izkazujejo fluorescenco z energijskim prenosom navzgor (ang. Upconversion fluorescence), npr. $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}, \text{Er}^{3+}$, ki imajo velik potencial za uporabo pri diagnostičnem slikanju v biomedicini. Osredotočili smo se na vpliv različnih fosfonatnih prevlek, ki lahko pomembno povečajo kemijsko stabilnost takih nanodelcev v fizioloških pogojih in s tem zmanjšajo njihovo citotoksičnost, vendar pa lahko vplivajo tudi na jakost fluorescence (sodelovanje z Odsekom za sintezo materialov ter Odsekom za anorgansko kemijo in tehnologijo, IJS; Inštitutom za farmakologijo in eksperimentalno toksikologijo, Medicinska fakulteta, UL; in Inštitutom za makromolekularno kemijo, Češka akademija znanosti). (*Methods Appl. Fluoresc.* 10, 014001, 2022)

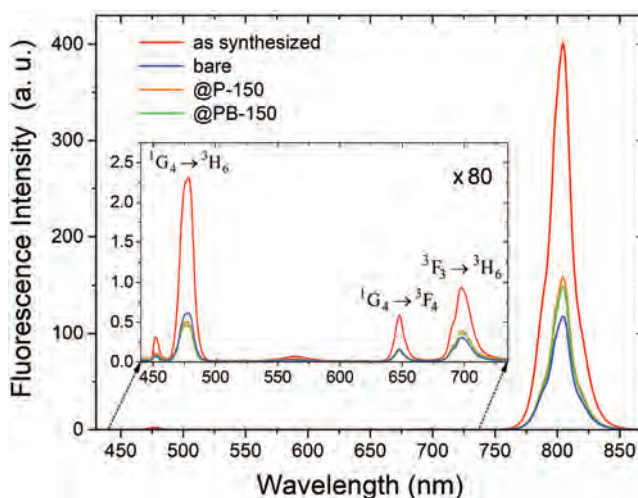
V podrobni analizi sistematične napake, ki nastane pri meritvah difuzne reflektivnosti z uporabo integracijske kroglice (ang. Single-beam



Slika 7: Fotografije podplutb na človeški koži ob različnih časih po poškodbi



Slika 8: Na podlagi optičnih meritev ocenjene vsebnosti krvi v papilarnem in retikularnem dermisu ter koncentracije bilirubina v sedmih časovnih točkah dobro popisan dinamični model razvoja in celjenja podplutbe (črte)



Slika 9: Spektri fluorescence z energijskim prenosom navzgor (ang. Upconversion fluorescence) nanokristalov $\text{NaYF}_4:\text{Yb}^{3+}, \text{Tm}^{3+}$ ob vzbujanju s svetlobo pri 976 nm: kot sintetizirane (v kloroformu) in neprevlečene ter z dvema polimernima prevlekama v vodni suspenziji

substitution error), smo pokazali, da je predhodno objavljeni izraz za njeno računsko korekcijo netočen. S sistematično analizo odstopanj od eksperimentalno korigiranih rezultatov smo to pojasnili s predhodno ignoriranim spektralnim potekom odbojnosti notranje površine IS, kar je omogočilo tudi odstranitev težave. V sorodni študiji, temelječi na Monte Carlo modeliranju transporta svetlobe v režimu večkratnega sipanja, nam je uspelo določiti prej nepoznani absorpcijski in sipalni spekter Spectralona (to je najpogosteje uporabljani beli standard pri meritvah difuzne reflektivnosti) v vidnem spektralnem območju. (*Proc. SPIE 12147, 121470L, 2022; Proc. SPIE 12147, 1214704, 2022*)

Omejeni koloidni sistemi in mikrofluidika

Raziskave koloidnih sistemov v omejenih geometrijah, kakršne so v mikrofluidičnih sistemih ali na mejnih površinah, smo izvajali v tesnem sodelovanju z laboratorijem za eksperimentalno mehko snov na Fakulteti za matematiko in fiziko Univerze v Ljubljani ter v zadnjem času tudi z industrijskimi farmacevtskimi partnerji.

V sodelovanju z Northwestern University in Argonne National Laboratory, ZDA, smo nadaljevali mikrofluidične raziskave s proučevanjem kolektivne dinamike aktivnih delcev. Pokazali smo, da se Quinkejevi koloidni delci v kapljici, katerih hitrost premikanja nadzorujemo z zunanjim električnim poljem, samoorganizirajo v vrtnice, fluktuacije oblike kapljice, v katero so delci ujeti, pa so sorazmerne z dejavnostjo koloidnih delcev. Rezultati raziskav so objavljeni v *Comm. Phys.* 5, 91 (2022).

V sodelovanju s farmacevtsko družbo Lek, d. d., smo proučevali dinamiko, adsorpcijo in agregacijo delcev v tekočinah ter na njihovih faznih mejah. Pri tem smo uporabili Brewstrovsko mikroskopijo in opazovali tanko površinsko plast monoklonskih protiteles na vodi. Metoda omogoča sprotno spremljanje procesov na površini, zato smo lahko opazovali mehanske poškodbe na plasti, ki smo jih nadzorovano zadali s tanko iglo, in obnovo plasti v odvisnosti od koncentracije proteinov in dodanih surfaktantov. Pokazali smo, da je časovna skala za obnovo filma pri tipičnih koncentracijah precej krajša od sekunde, kar je pomembno pri izdelavi in transportu bioloških zdravil. Eksperimentalna opazovanja smo podkrepili z numeričnim modelom Comsol, ki je uspešno napovedal rekonstrukcijo površinskega filma, rezultate pa objavili v *Colloids and Surfaces B* 218, 112757 (2022).

Z odsekom za biotehnologijo B3 smo sodelovali pri proučevanju stresnih granul. To so citoplazemski organeli, ki se pojavijo, kadar celica občuti stresne pogoje, in celici omogočajo preživetje. Pokazali smo, da lahko z optično pinceto proučujemo mobilnost lipidnih kapljic, ki predstavljajo model za nemembranske organele, in izmerili mobilnost v odvisnosti stresnih granul od zunanjih parametrov. Dodatno smo razvili in izdelali novo metodo za določanje viskoelastičnih lastnosti površinskih filmov, ki temelji na uporabi reometra na magnetno iglo. Delo je bilo opravljeno v okviru uspešno zaključenega magistrskega dela na FMF.

Proučevali smo kolektivno dinamiko aktivnih delcev in opazovali fluktuacije oblike in premikanje kapljic, v katere so aktivni delci ujeti, v odvisnosti od njihove dejavnosti.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Kavčič, Aljaž, Zorc, Maja, Marinčič, Matevž, Unger, Katrin, Coclite, Anna Maria, Majaron, Boris, Humar, Matjaž, Deep tissue localization and sensing using optical microcavity probes, *Nature communications*, 2022, 13, 1269-1-10
2. Višič, Bojana, Pirker, Luka, Opačič, Marko, Milosavljević, Ana, Lazarević, Nenad, Majaron, Boris, Remškar, Maja, Influence of crystal structure and oxygen vacancies on optical properties of nanostructured multi-stoichiometric tungsten suboxides, *Nanotechnology*, 2022, 33, 27, 275705-1-11
3. Sebastián, Nerea, Čopič, Martin, Mertelj, Alenka, Ferroelectric nematic liquid-crystalline phases, *Physical review E*, 2022, 106, 2, 021001-1-021001-27
4. Pavc, Daša, Sebastián, Nerea, Spindler, Lea, Drevenšek Olenik, Irena, Koderman Podboršek, Gorazd, Plavec, Janez, Šket, Primož, Understanding self-assembly at molecular level enables controlled design of DNA G-wires of different properties, *Nature communications*, 2022, 13, 1062
5. Kravanja, Gaia, Belyaeva, Inna A., Hribar, Luka, Drevenšek Olenik, Irena, Shamonin, Mikhail, Jezeršek, Matija, Laser micromachining of magnetoactive elastomers as enabling technology for magneto-responsive surfaces, *Advanced materials technologies*, 2022, 7, 2101045
6. Venturini, Rok, Mraz, Anže, Vaskivskiy, Igor, Vaskivskiy, Yevhenii, Svetin, Damjan, Mertelj, Tomaž, Pavlovič, Leon, Trivedi Sudhir, B., Sobolewski, Roman, Mihailović, Dragan, Ultraefficient resistance switching between charge ordered phases in 1T-TaS₂ with a single picosecond electrical pulse, *Applied physics letters*, 2022, 120, 25, 253510, 253510-1-253510-6
7. Venturini, Rok, Mraz, Anže, Vaskivskiy, Igor, Svetin, Damjan, Sever, Vitomir, Mihailović, Ian, Ambrožič, Bojan, Dražič, Goran, Kazaziz, Dimitrios, Ravnik, Jan, Ekinci, Yasin, Mihailović, Dragan, Charge configuration memory devices : energy efficiency and switching speed, *Nano letters*, 2022, 22, 12, 4814-4821

Patent

1. Marko Kazič, Nejc Lukač, Blaž Tašič Muc, Matjaž Lukač, Micro-pulsed liquid spray for cooling, US11490945 (B2), US Patent Office, 8. 11. 2022

MEDNARODNI PROJEKTI

1. COST CA17123; MAGNETOFON; Ultrahitna opto-magnetna elektronika za ne-disipacijsko informacijsko tehnologijo
COST Association AISBL
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović
2. COST CA17140 - Nano2Clinic; Nanomedicina raka - od laboratorijskih raziskav do klinične uporabe in COST akcija druga CA17140 izobraževalna šola (Institute of Oncology Research (IOR), Bellinzona, Švica), 13. 3. 2023 - 14. 3. 2023
COST Association AISBL
prof. dr. Boris Majaron
3. COST CA20129; Obsevalno in kemijsko nadzorovani procesi in z njimi povezane tehnologije
COST Association AISBL
doc. dr. Lea Spindler
4. COST-CA17123; Ultrahitna opto-magnetna elektronika za ne-disipacijsko informacijsko tehnologijo - MAGNETOFON
COST Association AISBL
doc. dr. Tomaž Mertelj
5. H2020 - INTERFAST; Vratni vmesni stiki za hitro procesiranje informacij
European Commission
doc. dr. Tomaž Mertelj
6. H2020 - MAGNELIQ; Magneto-električna tekočina - Boljše zaznavanje
European Commission
doc. dr. Alenka Mertelj
7. Preučevanje strukture in dinamike tekočih magnetov z metodama SAXS in SANS
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Alenka Mertelj
8. Nastavljive optične uklonske strukture na osnovi tekočerkristalnih materialov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Irena Drevenšek Olenik
9. Novi tekočerkristalni materiali za uporabo v difrakcijskih optičnih elementih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Irena Drevenšek Olenik
10. Raztegljivi laserji
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Luka Cmok
11. COST CA21144; Superprevodne nanonaprave in kvantni materiali za koherentno manipuliranje
COST Association AISBL
prof. dr. Viktor Kabanov

PROGRAMI

1. Medicinska fizika
prof. dr. Matija Milanič
2. Teorija trdnih snovi in statistična fizika
prof. dr. Svjetlana Fajfer
3. Teorija jedra, osnovnih delcev in polj
prof. dr. Svjetlana Fajfer
4. Svetloba in snov
prof. dr. Irena Drevenšek Olenik
5. Neravnovesna dinamika kvantnih sistemov
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović
6. Fizika kvantnih tehnologij
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović

PROJEKTI

1. Metode in materiali za fotorejene matrike za kiralne tekočerkristalne leče in fotonске komponente
prof. dr. Irena Drevenšek Olenik
2. Stabilizacija in destabilizacija spinskih tekočin zaradi perturbacij
prof. dr. Andrej Zorko
3. Modeliranje neravnovesnih kvantnih materialov na različnih skalah
dr. Denis Golež
4. Tekoči magneti: temeljne raziskave feromagnetnega urejanja v tekočinah
dr. Nerea Sebastian Ugarteche
5. Tehnologija površinsko selektivne hibridizacije za magneto-električne hibride
doc. dr. Alenka Mertelj
6. Aktivna prevleka za zaščito pred elektromagnetnim sevanjem
dr. Matej Pregelj
7. Magnetno odzivne površine za manipulacijo svetlobe in tekočin
prof. dr. Irena Drevenšek Olenik
8. Izkoriščanje magneto-mehanskega učinka pri zdravljenju nevrodegenerativnih boleznih
doc. dr. Alenka Mertelj
9. Spominske naprave na principu konfiguracije naboja in krmiljene s pomočjo SFQ pulzov
prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović
10. CMEM: Ultrahitri električni spominski element na osnovi vala gostote naboja za naslednjo generacijo računalništva
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
dr. Igor Vaskivskiy

OBISKI

1. prof. dr. Valentin Alek Dediu, CNR-ISMN, Bologna, Italija, 10.-11. 3. 2022
2. mag. Dejan Bošnjaković, Univerza v Osijeku, 16.-20. 5. 2022
3. Luka Matović, Jelena Ladarević, Univerza v Beogradu, 25. 9.-1. 10. 2022
4. mag. Dejan Bošnjaković, Univerza v Osijeku, 9.-13. 10. 2022
5. prof. dr. Georg Mehl, Univerza v Hullu, Anglija, 29. 11.-3. 12. 2022
6. prof. dr. Martin Fally, Univerza na Dunaju, 7.-10. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA

Odsečni seminarji na F-7

1. Francesco Petocchi, University of Fribourg, Zoom meeting, Mott versus hybridization gap in the low-temperature phase of 1T-TaS₂, 23. 6. 2022
2. Izidor Straus, Univerza v Ljubljani, FMF, Magneto-responsive surface structures based on magneto-active elastomers, 20. 10. 2022
3. Tomaž Mertelj, Department of Complex Matter F7, IJS, Ultrafast optical polarimetry in magnetic phases of Kondo semimetal CeSb, 3. 11. 2022
4. Mimoza Naseska, Department of Complex Matter F7, IJS, Ultrafast dynamics of strongly excited correlated states, 24. 11. 2022
5. Georg H. Mehl, University of Hull, Investigation of the emergence of chiral structures materials with two nematic phases, 1. 12. 2022

6. Ana Marin, University of Ljubljana, FMF, Development of a bruise age determination approach using optical techniques, 8. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJIH

1. Nerea Sebastian, 48th German Liquid Crystal Conference GLCC 2022, Würzburg, Nemčija, 27.-31. 3. 2022
2. Boris Majaron, Neža Golmajer Zima, SPIE- Photonics Europe, Strasbourg, Francija, 3.-7. 4. 2022
3. Irena Drevenšek Olenik, Alenka Mertelj, Matija Lovšin, Luka Cmok, Nerea Sebastian Ugarteche, Mojca Vilfan, ILCC 2022, 28th International Liquid Crystal Conference, Lizbona, Portugalska, 24.-29. 7. 2022
4. Irena Drevenšek Olenik - vabljeno predavanje, ICOOPMA 2022, Ghent, Belgija, 3.-8. 7. 2022
5. Neža Golmajer Zima, Boris Majaron, Dnevi biofizike 2022, Celje, Slovenija, 30.-31. 5. 2022
6. Boris Majaron, 21st International Conference on Photoacoustic and Photothermal Phenomena - ICPPP21, Bled, Slovenija, 19. 6.-24. 6. 2022
7. Luka Cmok, vabljeno predavanje, Prize Symposium: Liquid Crystal Technology for Light, 27. 6.-30. 7. 2022
8. Neža Golmajer Zima, Summer School. ICPPP21, Vipava, Slovenija, 18.-19. 6. 2022
9. Anže Mraz, Workshop on Low Temperature Electronics - WOLTE 2022, Matera, Italija, 6.-9. 6. 2022

10. Alenka Mertelj, Peter Medle Rupnik, Institute of Physics of the Czech Academy of Science- FZU), 20.-23. 4. 2022
11. Lea Spindler, konferenca 8th Int. Meeting on Quadruplex Nucleic Acids, Marienbad, Češka, 27. 6.-1. 7. 2022
12. Jaka Vodeb, QUANTUMatter, Barcelona, Španija, 2022, 21.-23. 6. 2022
13. Jaka Vodeb, American Physical Society, Chicago, ZDA, 14.-18. 3. 2022
14. Dragan Mihailović, Tomaž Mertelj, Igor Vaskivskiy, Gregor Jecl, Yevhenii Vaskivskiy, Yelyzaveta Chernolevska, Rok Venturini, ECRYS 2022, Cargese, Francija, 7.-21. 8. 2022
15. Irena Drevenšek Olenik, Rank Prize Funds Symposium, Grasmere, Velika Britanija, 19.-22. 4. 2022
16. Igor Vaskivskiy, Ultrafast Phenomena in Cooperative Systems GRC and GRS, Ventura, ZDA, 9.-14. 10. 2022
17. Alenka Mertelj, Irena Drevenšek Olenik, Marko Zgonik, Martin Čopič, Mojca Vilfan, Luka Cmok, Jaka Vodeb, 12. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah, Čatež, Slovenija, 11. 11. 2022
18. Dragan Mihailović, Viktor Kabanov, Anže Mraz, Andrei Shumilin, Jaka Vodeb, Qing Hu, Yevhenii Vaskivskiy, Yelyzaveta Chernolevska, Igor Vaskivskiy, Tomaž Mertelj, Nonequilibrium Quantum Workshop, Krvavec, Slovenija, 11.-15. 12. 2022
19. Tomaž Mertelj, 5th Ultrafast Magnetic Conference - UMC 2022, Nancy, Francija, 12.-16. 9. 2022
20. Aleš Mrzel, 7th International Congress on Energy Efficiency and Energy related Materials, Mugla, Turčija, 13.-19. 10. 2022
21. Dragan Mihailović, Igor Vaskivskiy, WINDS 2022, Kauai, ZDA, 4.-9. 12. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Steven Daniel Conradson, znanstveni svetnik
2. prof. dr. Irena Drevenšek Olenik*, znanstveni svetnik
3. dr. Denis Golež
4. prof. dr. Viktor Kabanov, znanstveni svetnik
5. dr. Matjaž Lukač*
6. prof. dr. Boris Majaron
7. doc. dr. Alenka Mertelj, pomočnik vodje odseka
8. doc. dr. Tomaž Mertelj
9. **prof. dr. Dragan Dragoljub Mihailović, znanstveni svetnik - vodja odseka**
10. doc. dr. Matija Milanič*
11. dr. Aleš Mrzel
12. doc. dr. Natan Osterman*
13. dr. Nerea Sebastian Ugarteche
14. doc. dr. Lea Spindler*
15. dr. Igor Vaskivskiy
16. doc. dr. Mojca Vilfan

Podoktorski sodelavci

17. dr. Yelyzaveta Chernolevska
18. dr. Luka Cmok
19. *dr. Patricija Hribar Boštjančič, odšla 25. 11. 2022*
20. Qing Hu, PhD. Kitajska
21. dr. Gašper Kokot
22. Andrei Shumilin, PhD., Rusija
23. dr. Jaka Vodeb

Mlajši raziskovalci

24. Neža Golmajer Zima, mag. fiz.
25. Žiga Gregorin, mag. fiz.
26. Gregor Jecl, mag. fiz.
27. *Andrej Kranjec, univ. dipl. fiz., odšel 1. 2. 2022*
28. Matija Lovšin, mag. fiz.
29. Anže Mraz, mag. inž. el.
30. *dr. Mimoza Naseska, 1. 10. 2022 razporeditev v odsek F5*
31. *Ankita Sarkar, Msc., Indija, 1. 3. 2022 razporeditev v odsek K5*
32. Yevhenii Vaskivskiy, Master, Ukrajina
33. Rok Venturini, mag. fiz.

Strokovni sodelavci

34. Davor Grabnar, dipl. inž. fiz. (VS)
35. Peter Medle Rupnik, mag. fiz.
36. Damjan Svetin, dipl. inž. fiz.
37. Petra Šutar, dipl. inž. kem. tehnol.
38. Damjan Vengust, mag. nan.

Tehniški in administrativni sodelavci

39. Ula Groznik, dipl. upr. ved (UN)
40. Nataša Kutnjak
41. Barbara Paternoster, mag. posl. ved
42. Eva Trpin, dipl. soc. kult. (UN)

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Agency for Industrial Science and Technology, Tsukuba, Japonska
2. ARESIS, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
3. Brookhaven National Laboratory, Upton, New York, ZDA
4. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, Nemčija
5. Cavendish Laboratory, Cambridge, Velika Britanija
6. Chinese Academy of Sciences, Institute of Physics, Peking, Kitajska
7. Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg, Nemčija
8. École Normale Lyon, Lyon, Francija
9. École Polytechnique fédérale de Lausanne, Švica
10. Elettra-Sincrotrone Trieste S.C.p.A., Basovizza, Trst, Italija
11. Fotona, d. d., Ljubljana, Slovenija
12. Flatiron Institute, New York, ZDA
13. Fermi FEL, Bazovica, Italija
14. Graduate School of Science, Department of Physics, Osaka, Japan
15. Hokkaido University, Sapporo, Japonska
16. Institute of Chemistry, Department of Physical Chemistry & Linz Institute of Organic Solar Cells, University of Linz, Avstrija
17. Institute of Quantum Electronics, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich, Švica
18. Ioffe Physical-Technical Institute of the Russian Academy of Sciences, Sankt Peterburg, Rusija
19. Istituto per lo Studio di Materiali Nanostrutturali - sezione di Bologna, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bologna, Italija
20. Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Nemčija
21. Kazan State University, Kazan, Rusija
22. Kotelnikov Institute of RadioEngineering and Electronics RAS, Moskva, Rusija
23. Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, New Mexico, ZDA
24. Nankai University, TEDA Applied Physics School, Tianjin, Kitajska
25. National Academy of Sciences of Ukraine (NASU), Institute of Physics, Kijev, Ukrajina
26. National Institute for Material Science, Tsukuba, Japonska
27. National Taras Shevchenko University, Physics Faculty, Kijev, Ukrajina
28. NFFA, Basovizza, Trst, Italija
29. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norveška
30. Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Nemčija
31. OTH Regensburg, Nemčija
32. Paul Scherrer Institute, Zürich, Švica
33. Politecnico di Milano, Italija
34. Radboud University, Nijmegen, Nizozemska
35. Saarland University, Saarbrücken, Nemčija
36. Shanghai Jiao Tong University, Department of Physics, Shanghai, Kitajska
37. Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Hrvaška
38. Technische Universität Wien, Dunaj, Avstrija
39. Tokyo University, Tokio, Japonska
40. Trinity College Dublin, Irska
41. University of Bologna, Italija
42. Università degli Studi di Napoli Federico II, Neapelj, Italija
43. Università di Pisa, Italija
44. Universität Wien, Dunaj, Avstrija
45. Universität Zürich, Švica
46. University of Bristol, Velika Britanija
47. University of California San Diego
48. University of California at Irvine, Beckman Laser Institute and Medical Clinic, ZDA
49. University of California at Riverside, ZDA
50. University of Colorado, Boulder, CO, ZDA
51. University of Duisburg-Essen, Faculty of Physics, Duisburg, Nemčija
52. University of Lorraine and Centrale Supélec, Metz, Francija
53. University of Luxembourg
54. University of Tsukuba, Japonska
55. Wigner Centre for Science, Budimpešta, Madžarska
56. Zhejiang University, Department of Physics, Hangzhou, Kitajska

Glavna področja našega dela so:

- **teoretična, eksperimentalna in uporabna reaktorska fizika**
- **fizika plazme**
- **nevtronski transportni preračuni v fuzijskih reaktorjih**
- **medicinska fizika**

Na področju reaktorske fizike smo raziskave nadaljevali predvsem v smeri razvoja novih računskih in eksperimentalnih metod za analizo raziskovalnih in močnostnih fisijskih in fuzijskih jedrskih reaktorjev.

Glavni cilj projekta Stabilnost jedrskih reaktorjev pri obratovanju v načinu sledenja bremenu, ki se je začel leta 2020, je proučiti omejitve pri obratovanju jedrskih elektrarn v načinu sledenja bremenu iz jedrskega vidika na reaktorsko sredico in gorivo ter zagotoviti učinkovite rešitve operaterjem za optimizacijo obratovanja elektrarne. Letos smo opravili analize radialne porazdelitve temperature. Rezultati so pokazali, da je odstopanje za začetne gorivne cikle nezamerljivo za stanje all-rods-out (ARO) v primerjavi s meritvami. Dodatne analize smo opravili s primerjavo sklopljenega nevtronskega in termo-hidravličnega modela. Razvili smo dvotočkovni nelinearni model tlačnovodnega reaktorja z regulacijo moči v okolju Matlab-Simulink, ki omogoča grobo simulacijo kompenzacije profila proizvodnje električne energije s prilagajanjem moči jedrske elektrarne. Rezultati simulacije so pokazali, da je mogoč dobro nadzorovan režim sledenja spremembam referenčne moči pri regulaciji moči prek koncentracije borove kisline in regulaciji osnega zamika moči prek položaja krmilnih palic. Pri občutljivostni analizi negotovosti smo pripravili posodobljene knjižnice jedrskih podatkov, ki se bodo uporabile pri propagaciji negotovosti na simulacije močnostnih sprememb reaktorja. V letošnjem letu smo vzpostavili sodelovanje s skupino, ki razvija programski paket SANDY, kjer smo začeli z razvojem omenjene kode pri uporabi paketa za propagacijo negotovosti iz jedrskih podatkov na rezultate simulacij močnostnih tranzientov. Opravili smo tudi pregled metod za propagacijo negotovosti in izvedli pilotne izračune z metodo one-at-a-time in metodo simultane vzorčenja.

V letu 2022 smo začeli tudi s projektom Načrtovanje selektivnih katalitskih postopkov pretvorbe CO_2 v etanol. V okviru projekta bomo proučili učinke ionizirajočega sevanja nevtronov in žarkov gama na razpad CO_2 . Preizkuse bomo izvedli v izjemno intenzivnem polju sevanja raziskovalnega jedrskega reaktorja IJS TRIGA. Izvedli bomo obsevanja med obratovanjem v polju žarkov gama in nevtronov ter po zaustavitvi samo z žarki gama. Obsevanja bomo izvedli v obsevalnih mestih v in ob sredici reaktorja. Obsevanja bomo natančno modelirali z modeli za Monte Carlo transport delcev. Pri zasnovi katalizatorjev bomo optimirali delež sevalne energije, ki povzroči obstojen razkroj CO_2 .

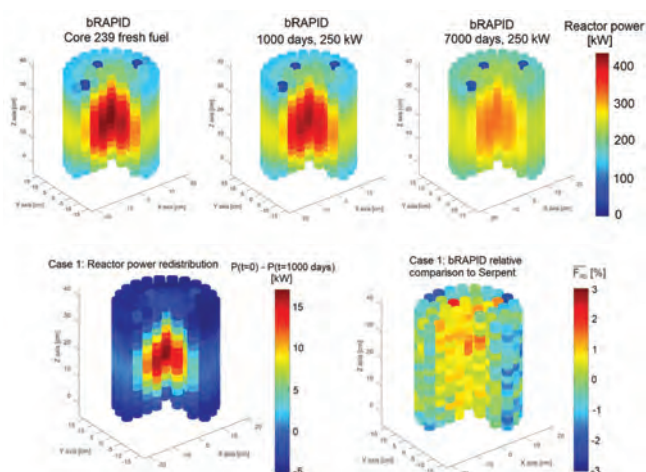
V sklopu projekta z naslovom *Občutljivost fizikalnih parametrov jedrskega reaktorja na termične jedrske podatke* raziskujemo generiranje podatkov sipalnih presekov termičnih nevtronov in pripadajočih kovariančnih podatkov z natančno metodo, ki temelji na osnovnih fizikalnih principih z uporabo naj sodobnejših atomskih simulacij, ki se v kombinaciji z izračuni atomske rešetke ali molekularne dinamike zanaša na teorijo funkcionalne gostote. V okviru projekta potekajo dejavnosti v okviru atomskih simulacij za potrebe določevanja termičnih sipalnih presekov. Vzpostavljena je bila ključna povezava z državno Univerzo v Severni Karolini, katere eksperti bodo pripomogli k uspešnemu začetku projekta. Delo na projektu poteka po načrtanem časovnem okvirju. V letu 2022 so bili generirani podatki termičnih sipalnih presekov za material ZrH_2 . Izračuni so bili v več korakih izračuna primerjani z eksperimentalnimi vrednostmi in drugimi izračunanimi vrednostmi za namen validacije izračunov. V nadaljevanju bodo generirani podatki termičnih sipalnih presekov za material $\text{ZrH}_{1,5}$. Rezultati bodo za oba materiala primerjani z drugimi izračunanimi podatki in testirani z referenčnimi eksperimenti, ki so občutljivi na material ZrH . V nadaljevanju bodo generirani tudi kovariančni podatki.

Cilj raziskave z naslovom Napredne metode za analizo termičnih sipalnih presekov je pridobiti podatke sipalnih presekov termičnih nevtronov za še neraziskane materiale, kot so recimo uran-hidridna goriva, diamant, ter na konvencionalne moderatorje (npr. polietilen, polimetil metakrilat, teflon in grafit). Poleg sipalnih presekov termičnih nevtronov pa želimo pridobiti tudi pripadajoče kovariančne podatke. Vzpostavljen in preizkusen je bil postopek generiranja podatkov sipalnih presekov termičnih nevtronov za uporabo v Monte Carlo kodi iz predhodno določenih podatkov gostote stanj. Postopek je bil izveden s pomočjo modulov NJOY (in sicer modulov LEAPR, RECONR, BROADR, THERMR in ACER). Pridobljeni podatki so trenutno v postopku validacije z eksperimentalnimi vrednostmi. V letu 2022 so bili generirani termični sipalni preseki za material ZrH , ki se uporablja v mnogih raziskovalnih reaktorjih, kot je reaktor TRIGA. Termični sipalni presek za material ZrH je bil generiran za dve različni fazi, faza



Vodja:

prof. dr. Luka Snoj



Slika 1: Primerjava 3D porazdelitve moči reaktorja med svežim gorivom in z zgorelim gorivom 15.4 MWd/kg. Absolutna primerjava med svežim gorivom in porazdelitvijo moči je prikazana na spodnji levi sliki, relativna primerjava porazdelitve izvora fisije s programom Serpentom pa na spodnji desni sliki.

delta za razmerje 1.5 in faza epsilon za razmerje 2. Izvedli smo temeljne izračune v več zaporednih korakih ter rezultate teh izračunov primerjali z eksperimentalnimi vrednostmi in drugimi izračunanimi vrednostmi. To smo storili z namenom, da bi potrdili zanesljivost in pravilnost naših izračunov. Rezultati bodo za oba materiala v nadaljevanju testirani z referenčnimi eksperimenti, ki so občutljivi na material ZrH.

Glavni cilj evropskega projekta TOURR, ki se je začel leta 2020 in se bo končal konec leta 2023, je pripraviti skupno strategijo za evropske raziskovalne reaktorje in pripraviti osnovo za njeno implementacijo. Ta strateški cilj je razdeljen na specifične cilje: Pregled in analiza trenutnega stanja evropske flote raziskovalnih reaktorjev, vključno z načrti za nadgradnje, evalvacije nujnih potreb Evropske unije, razvoj orodij za optimalno uporabo flote raziskovalnih reaktorjev in ne nazadnje ozaveščanje odločevalcev o prihodnji uporabi raziskovalnih reaktorjev. IJS je uspešno odvodil prvi delovni paket, kjer smo bili sodelavci odseka odgovorni za zbiranje informacij o statusu in načrtih flote evropskih raziskovalnih reaktorjev. V preteklem letu smo raziskovali pri delovnih paketih dva in tri, kjer smo s konzorcijem razvili strategijo za optimizirano rabo raziskovalnih reaktorjev v Evropi in izdelali platformo, kamor se lahko raziskovalni reaktorji in raziskovalci prijavijo za lažje sodelovanje. Osnova

vseh raziskav je bila analiza vrzeli uporabnosti evropskih raziskovalnih reaktorjev in identifikacija priložnosti za izboljšave na področjih znanstvenih raziskav, produkcijo medicinskih izotopov in izobraževanje. Poleg tega smo bili vpleteni tudi v strategijo širjenja rezultatov med ciljno publiko, kjer smo predstavili zaključke projekta na treh mednarodnih konferencah.

Tudi v letu 2022 smo nudili podporo obratovanju Nuklearne elektrarne Krško (NEK). Izvedli smo neodvisne projektne izračune za 33. cikel in fizikalne teste ob začetku obratovanja po zaključenem remontu. Za NEK smo izdelali neodvisno strokovno mnenje varnostne evalvacije po novi polnitvi jedrskega goriva. NEK smo nudili tudi strokovno in računsko podporo za projekt bodočega suhega skladiščenja izrabljenih gorivnih elementov. Glavnina dela je bila namenjena občutljivostni analizi vpliva različnih parametrov na karakterizacijo izrabljenega goriva.

V okviru sodelovanja z Mednarodno agencijo za atomsko energijo (MAAE) smo sodelovali pri izvedbi ciljnega raziskovalnega projekta Karakterizacija izrabljenega goriva. Zaključili smo občutljivostno analizo vpliva obsevalnih parametrov in vpliv različnih knjižnic jedrskih podatkov na karakterizacijo 16×16 goriva. Začeli smo delati na področju analize vpliva 3D učinkov na karakterizacijo goriva in izračunov SKB-50 testnih primerov.

V letu 2022 je naša ekipa delala na projektu Support for implementation and calculations in the SFDS project, katerega primarni cilj je podpora Jedrski elektrarni Krško pri načrtovanju in implementaciji suhega skladišča za izrabljeno gorivo. V dogovoru z NEK smo v letu 2022 opravljali analize in izboljšave, s katerimi bomo povečali natančnost izvornega člena izrabljenega goriva in zmanjšali negotovost prihodnjih izračunov jedrske sredice. V okviru projekta smo v zadnjem obdobju opravili posodobitve orodij za preračune parametrov sredice, ki omogočajo, da se kode prevedejo z modernimi prevajalniki in omogočajo sočasno poganjanje simulacij v okolju Linux.

V okviru mednarodnega projekta E-SiCure2 - Izboljšanje varnosti na mejah in pristaniščih, ki poteka v mednarodnem partnerstvu pod okriljem programa NATO Znanost za mir, smo začeli razvijati detektorje različnih vrst sevanja na osnovi silicijevega karbida (SiC). Raziskave slonijo na znanstvenih rezultatih, doseženih v okviru predhodnega projekta E-SiCure (2016-2019), njihov cilj pa je razviti pikselizirane detektorje, ki bodo omogočali sočasno zaznavanje termičnih oz. hitrih nevtronov, nabitih delcev ter X in gama žarkov. V okviru projekta smo preiskovali nove konverterske materiale, ki bi omogočali občutljivost na hitre nevtrone. Opravili smo eksperimentalne meritve odziva diode iz SiC, opremljene s konverterjem iz kalijevega klorida (KCl), ter računsko analizo v podporo razumevanju eksperimentalnih rezultatov.

V sodelovanju z Univerzo v Lancastru smo kot prvi na svetu pokazali, da se nevtrone lahko uporabi za komunikacijo.

V letu 2022 smo nadaljevali delo v okviru evropskega projekta EURAD, v katerem sodelujemo v skupini WP3 CORI - cementno organske interakcije med radionuklidi in WP8 SFC - karakterizacija izrabljenega goriva. Znotraj WP8 smo izvedli več podrobnih izračunov zakasnele toplote ter nevtronskega in ftonskega izvora goriva gorivnih elementov PWR reaktorjev. Pri tem smo bili osredotočeni na občutljivostno in negotovostno analizo z uporabo različnih kod in modelov.

V letu 2022 smo nadaljevali sodelovanje v okviru evropskega projekta ENEEP - European Nuclear Experimental Educational Platform. Namen projekta je ustanoviti platformo na evropski ravni, ki bo omogočala eksperimentalne izobraževalne aktivnosti na področju jedrske znanosti in tehnike za študente na vseh ravneh študija in mlade

profesionalce. Pri projektu sodelujemo s partnerji s STU (Slovaška), CTU (Češka), ATI (Avstrija) in BME (Madžarska). V letu 2022 smo organizirali serijo 7 demonstracijskih izobraževalnih tečajev (<https://www.eneep.org/courses/previous-courses/>), IJS je sodeloval pri izvedbi treh.

V okviru sodelovanja z Laboratorijem za instrumentacijo, senzorne in dozimetrijo francoskega Komisarjata za atomsko in alternativne energije (CEA – Cadarache) smo nadaljevali delo v okviru več bilateralnih ARRS-CEA raziskovalnih projektov in projektov v sodelovanju z industrijo.

Raziskovali smo izvedljivost uporabe pulznega načina obratovanja reaktorja za specifične aplikacije, npr. za testiranje nuklearne instrumentacije pri izjemno visokih ravneh nevtronskega fluksa, tj. do 10^{16} n cm⁻² s⁻¹, ki so dosegljive le ob pulzu reaktorja. Pri tem je nujna sposobnost sprotnega merjenja absolutnega nivoja fluksa nevtronov, ki se v času nekaj ms spremeni za 6–7 velikostnih redov. V letu 2022 smo izvedli obsežno eksperimentalno kampanjo, v kateri smo sprožili 137 pulzov reaktorja. Časovni potek nevtronskega fluksa in hitrosti doze žarkov gama smo merili z uporabo:

- miniaturnih fisijskih celic in merilnim sistemom MONACO, ki je bil razvit na CEA,
- miniaturnih ionizacijskih celic in merilnim sistemom LIBERA Current meter slovenskega proizvajalca I-TECH, d. o. o.,
- Čerenkovega merilnika moči reaktorja, ki je bil razvit na IJS v okviru magistrskega dela Julijana Perica, ki temelji na moduli RedPitaya slovenskega proizvajalca I-TECH, d. o. o.,
- pulznega instrumentacijskega kanala reaktorja TRIGA.

V treh lokacijah smo za določanje fluence nevtronov med pulzi obsevali aktivacijske folije iz Al-0.1% Au, Al-1% Co in Ni.

V okviru bilateralnega ARRS-CEA projekta Referenčni eksperiment za validacijo modeliranja odziva jedrske instrumentacije na nevtrone in žarke gama smo v marcu in aprilu 2022 izvedli dve obsežni eksperimentalni kampanji v sodelovanju z raziskovalci s CEA. Izmerili smo aktivacijske hitrosti za različne jedrske reakcije z uporabo aktivacijskih folij, izmerili fluks nevtronov in žarkov gama z uporabo fisijskih in ionizacijskih celic ter samonapajalnih detektorjev nevtronov in žarkov gama. Izmerili smo tudi hitrosti doze nevtronov in žarkov gama z uporabo termoluminescentnih dozimetrom (TLD). Poleg izvedbe eksperimentov je bila v letu 2022 izvedena tudi večina obdelave eksperimentalnih podatkov, vzporedno je potekal tudi razvoj računskih modelov, ki bodo služili za primerjavo rezultatov z meritvami.

V letu 2022 smo nadaljevali z ARRS-CEA projektom *Nove jedrske reakcije inelastičnega sipanja za epitermično dozimetrijo*. Izveden je bil prvi cilj projekta, poiskati primerne reakcije tipa (n,n') za obsevanje v reaktorju TRIGA na IJS. Drugi cilj, obsevanje tako standardnih materialov kot tudi materialov za aktivacijo preko (n,n') reakcij na reaktorju TRIGA, je predviden za leto 2022. Tretji cilj, primerjava rezultatov izračunov in meritev, pa za konec leta 2022 oz. leto 2023.

CEA sodeluje s slovenskim podjetjem I-TECH, d. o. o., pri razvoju komercialne različice sistema za zajem podatkov MONACO za meritve nevtronskega fluksa s fisijskimi celicami v jedrskih reaktorjih, npr. v bodočem reaktorju Jules Horowitz, ki je v izgradnji v centru CEA Cadarache na jugu Francije. V letu 2022 smo za potrebe CEA opravili eksperimentalno kampanjo na reaktorju TRIGA, v kateri je bil sistem MONACO testiran in validiran.

V okviru projekta EURO-LABS smo izvedli preračune za potencialno obsevalno napravo, katere cilj je zmanjšati nizkoenergijsko komponento nevtronov, ki inducira radioaktivnost v materialih, vključenih v integrirana vezja, ne prispeva pa bistveno k sevalnim poškodbam na samem siliciju. V izračunih smo predvideli uporabo kadmija (Cd), ki absorbira termične nevtrone, v tangencialnem obsevalnem kanalu reaktorja IJS TRIGA, ki je trenutno namenjen obsevanju čipov in integriranih vezij. Ta kanal bomo opremili s cevno oblogo s Cd pločevino debeline 1,4 mm. Računsko smo raziskali vpliv dolžine cevne obloge. Izkazalo se je, da takšne obloge zmanjšajo poškodbe na siliciju za 4–5 %, medtem ko se aktivnost najbolj pogostih materialov v integriranih vezjih zaradi zmanjšanja deleža termičnih nevtronov zmanjša od 10 % do dveh velikostnih redov in je odvisna od samih materialov.

Na področju uporabe jedrskega sevanja kot katalizatorja za kemijske procese smo proučili literaturo in fizikalne procese, povezane z vplivom ionizirajočega sevanja na potek kemijskih reakcij. V literaturi se pri vrednotenju učinkovitosti sevanja za pospešitev kemijskih reakcij opazuje količina LET (angl. Linear Energy Transfer), ki poda povprečno deponirano energijo na enoto prepotovane razdalje. Izkaže se, da lahko sevanje z enakim LET vzbudi različne reakcije, zato predlagamo novo metriko, in sicer povprečno razdaljo med reakcijami in povprečno deponirano energijo na reakcijo v odvisnosti od vpadne energije delca. Proučili smo tudi vpliv dodatkov materialov, ki pretvarjajo ene vrste sevanja v drugo vrsto, navadno iz sevanja, ki interagira zelo redko, npr. nevtralni delci, kot so nevtroni in žarki gama, v nabite delce ionizirajočega sevanja, kot so elektroni, žarki alfa, žarki beta ipd.

V letu 2022 smo v okviru projekta Aktivacijske meritve z uporabo nevtronskih filtrov za validacijo dozimetrijskih podatkov, ki ga financira IAEA, opravili serijo Monte Carlo izračunov transporta delcev za določanje eksperimentalnih pogojev v določenih obsevalnih kanalih v reaktorju TRIGA ter v podporo zasnovi nevtronskih filtrov iz obogatenega borovega karbida, ki jih nameravamo uporabiti v kampanji.

V letu 2022 smo nadaljevali sodelovanje pri evropskem projektu SANDA. IJS sodeluje na več področjih, npr. pri razvoju in uporabi programov za občutljivostne in negotovostne analize, preračune referenčnih eksperimentov ter uporabi obeh za validacijo in izboljšanje jedrskih podatkov.

Za Laboratorij za fiziko plazme je bilo leto 2022 pomembno, saj smo nadaljevali s projekti okvirnega raziskovalnega programa FP9 znotraj konzorcija EUROfusion. Uspešno smo se vpleli v eksperimentalne kampanje na tokamakih MST in JET. Aktivni smo bili tudi na področju simulacij in razvoju simulacijskih modelov filamentarnega transporta v sklopu raziskovalne naloge RT15. Raziskave so bile usmerjene na vpliv reciklacije devterija iz divertorja in sten posode reaktorja ter na vpliv velikosti filamentov. Za simulacije uporabljamo računske ure, pridobljene na superračunalniku HPC Marconi, delo pa se je nadaljevalo v letu 2022. Poleg razvitijskega modela delčne kode in preprostega termičnega modela monobloka v divertorja smo opravili uspešno verifikacijo in validacijo našega analitičnega modela invertiranega plašča, ki je posledica visoke termionske emisije. Validacijo smo opravili s pomočjo delčne kode, ki nam je razkrila tudi nekaj novih fizikalnih lastnosti, hkrati pa tudi nekaj pomanjkljivosti delčne računske metode oz. kode, ki jo uporabljamo, kar bi želeli v prihodnosti odpraviti. Delo smo nadaljevali tudi v okviru dveh razvojnih nalog za reaktor DEMO, in sicer razvoj kinetičnih in girokinetičnih kod ter razvoj modelov

divertorja. Pri prvi nalogi sodelujemo pri razvoju robnih pogojev za girokinetične kode, pri drugi nalogi pa smo vključeni v modeliranje divertorske plazme v reaktorju DEMO, katere rezultati bodo vplivali na razumevanje pojavov v tovrstni plazmi in izboljšali naše predikativne sposobnosti za obnašanje plazme v tovrstnem nizkotemperaturnem divertorju.

Na področju nevtronskih transportnih preračunov v fuzijskih reaktorjih smo nadgradili in nadaljevali delo in sodelovanje v okviru projektov EUROfusion ter drugih kolaboracij za fuzijske naprave DEMO, IFMIF-DONES, JET in FNG.

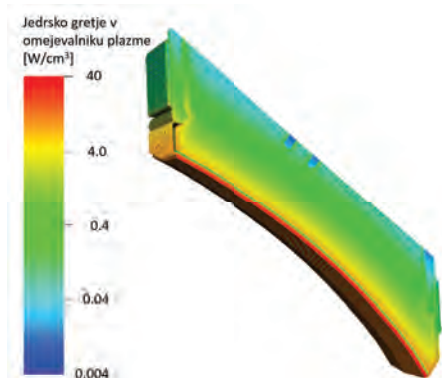
Nadaljevali smo delo na projektu za načrtovanje bodoče fuzijske elektrarne DEMO, in sicer na področju nevtronskih preračunov, aktivacije, zakasnele toplote in izračunov hitrosti doz. Naša naloga so preračuni aktivacije in zakasnele toplote v komponentah divertorja za različne čase po zaustavitvi reaktorja. Scenarij obsevanja obsega približno 5 let neprekinjenega obsevanja in nato nekaj reaktorskih pulzov pri fuzijski moči 2 GW. Pri načrtovanju reaktorja DEMO sodelujemo tudi pri pregledu Varnostnega poročila z namenom posredovati čim več dolgoročnih priporočil. Naša skupina je pri tem osredotočena na analizo konvencionalnih nevarnosti in kvantifikacijo virov. Sodelovali smo tudi pri procesu integracije sistema za omejevanje plazme (limiter), kjer smo računali jedrsko gretje, poškodbe materiala in produkcijo helija v različnih komponentah sistema, rezultati pa so bili posredovani kot vhodni podatki za druge analize, npr. za analize hlajenja komponent.

V letu 2022 smo nadaljevali s projektom Optimizacija nevtronskih karakteristik fuzijskih reaktorjev s pomočjo strojnega učenja, v okviru katerega smo delali na parametrizaciji enostavnih modelov tokamakov, ki so primerni za uporabo z avtomatiziranimi optimizacijskimi algoritmi. Začeli smo tudi z iskanjem in uporabo optimizacijskih algoritmov na podlagi genetskih algoritmov.

V letu 2022 smo začeli s sodelovanjem na EUROfusion projektom WPENS (Work Package Early Neutron Source), ki je namenjen analizam v podporo IFMIF-DONES, naprave, ki bo na osnovi reakcije $D+Li$ producirala velike količine nevtronov s fuzijsko relevantnimi energijami. V letu 2022 smo tako izvajali analize negotovosti v izračunanih poškodbah materiala zaradi negotovosti v jedrskih podatkih, računali hitrosti doz okrog stavbe, v kateri je IFMIF-DONES kot posledica direktnega sevanja in efekta sky-shine, in modelirali pospeševalnik LIPAc, ki obratuje na Japonskem in testira tehnologije, ki jih potrebujemo za IFMIF-DONES.

V letu 2022 smo sodelavci odseka F8 v sodelovanju s kolegi z več drugih evropskih institutov/laboratorijev/univerz analizirali rezultate, pridobljene pri eksperimentalnem delu na tokamaku Joint European Torus – JET, trenutno največjem fuzijskem reaktorju. Glavnina dela je bila posvečena preračunom nevtronskega polja na različnih lokacijah v tokamaku in primerjavi z eksperimentalnimi vrednostmi. Najpomembnejši rezultati so bili izračuni aktivacije vzorcev v JET za tritijevo (TT) eksperimentalno kampanjo, izvedeno v letih 2020–21, ter primerjava z meritvami na pozicijah za dolgotrajna obsevanja vzorcev (angl. Long Term Irradiation Station (O-LTIS)) in poziciji KN2, namenjeni aktivacijskim folijam. Simulirali smo tudi odziv detektorjev pri različnih plazmah (DD, DT, TT), potrebnih za pripravo obsevanj za zadnjo kampanjo JET s tritijevo plazmo v letu 2023. Sodelavci odseka F8 so v letu 2022 dokončali tudi razvoj računske metodologije izvora in transporta žarkov gama v tokamaku JET v podporo meritvam, saj so meritve žarkov gama lahko komplementarne meritvam moči tokamaka z nevtroni.

V okviru EUROfusion projektov Evropskega fuzijskega programa smo nadaljevali mednarodno sodelovanje, začeto pred več kot 20 leti, 21.–22. marca 2000, ko se je Slovenija s temi raziskavami prvič vključila v evropski fuzijski program. V letu 2022 smo nadaljevali z razvojem metode za izračun občutljivosti integralnih parametrov na spremembe v jedrskih podatkih z metodo sočasnega vzorčenja, rezultate pa objavili na konferenci M&C v Kanadi. Izvedli smo analizo vplivov novih jedrskih podatkov v testni knjižnici JEFF-4T za nuklide, katerih podatki so bili



Slika 2: Jedrsko gretje omejevalnika plazme v bodoči fuzijski elektrarni DEMO. Poznavanje podrobne porazdelitve depozicije energije nevtronov in žarkov gama je pomembno za načrtovanje hladilnega sistema, ki bo poskrbel za primerne temperature po celotnem omejevalniku.

privzeti iz knjižnice TENDL na simulacije eksperimentov, pomembnih za fuzijo. Rezultati so bili predstavljeni na konferenci ISFN23, članek na to temo pa je v postopku recenzije za objavo v posebni izdaji revije *Fusion Engineering and Design*. Prav tako smo nadaljevali delo na aktivaciji vode v reaktorju TRIGA, ki je relevantno za fuzijo.

V letu 2022 smo začeli tudi na področju računske analize občutljivosti in negotovosti izmerjenih hitrosti reakcij z nevtroni, izvedenih v okviru referenčnega eksperimenta Water Cooled Lithium Lead (WCLL) na napravi z nevtronskim izvorom z energijo 14 MeV FNG, Frascati v Italiji. Eksperiment je sestavljen iz blokov svinca, znotraj katerih so dozimetri. Ti bloki imajo svoja dimenzijska odstopanja, ki so ocenjena na 1–2 mm. Sprva smo občutljivosti ocenili z uporabo determinističnih metod za transport nevtronov z izračunom t. i. prispevnega polja, ki pove, kateri deli geometrije najbolj vplivajo h končnemu rezultatu. Nato smo z metodo za Monte Carlo transport delcev izračunali reakcijske hitrosti na dozimetrih znotraj svinčenih blokov, katerih položaj smo naključno vzorčili v vseh 3 smereh, z normalno porazdelitvijo, s standardno deviacijo 2 mm. Iz rezultatov smo izluščili negotovosti meritev in prišli do občutljivostne enačbe prvega reda.

Sodelovali smo pri delu programske skupine fuzijske tehnologije, ki je začela delovati leta 2019. V tej programski skupini so zbrani vodilni slovenski strokovnjaki na področju tehnologije fuzije in fizike plazme s štirih odsekov Instituta "Jožef Stefan" in dveh fakultet Univerze v Ljubljani. Štirje izmed trinajstih raziskovalcev v tej skupini prihajajo z odseka F8.

V letu 2022 smo aktivno sodelovali v okviru projekta *JET3-NEXP streaming benchmark experiment*, pri čemer smo nadaljevali analizo eksperimenta za določanje strujanja nevtronov s pomočjo termo-luminescentnih detektorjev in aktivacijskih folij. Izračuni nevtronske fluence in reakcijskih hitrosti so bili izvedeni s pomočjo hibridnih (Monte Calo/determinističnih) kod na več eksperimentalnih lokacijah znotraj zgradbe tokamaka. V letu 2022 smo ovrednotili meritve eksperimentalne kampanje, med katero je tokamak JET deloval s tritijevo plazmo (TT), in opravili primerjavo med meritvami in izračuni. Slednji so posebej težavni zaradi zelo majhnega fluksa nevtronov na lokacijah nekaterih izmed detektorjev in zapletene geometrije JET. Rezultati so pokazali, da je razhajanje med meritvami in izračuni znatno in za nekatere lokacije detektorjev dosega faktor do 3. Ta razlika ni povezana s statistično napako izračunov, ki je bila majhna, ampak predvsem z zapleteno geometrijo okolice vakuumske posode JET, kar nakazuje na težavno modeliranje tega največjega delujočega fuzijskega reaktorja – tokamaka.

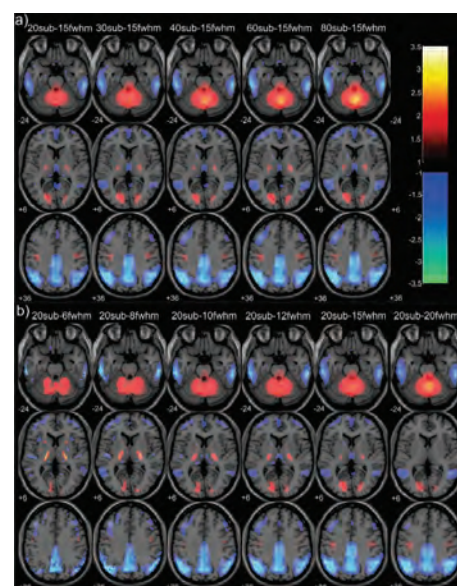
V letu 2022 smo na področju **medicinske fizike**, specifične na področju biomedicinske optike, v delo skupine uvedli novo slikovno tehniko optične koherenčne tomografije, ki omogoča tridimenzionalno slikanje presevnih vzorcev ob uporabi laserske svetlobe z valovno dolžino okoli 1300 nm. Tehnika omogoča opazovanje morfologije vzorcev, kontraste na podlagi gibanja tkivnih komponent in določanje optičnih lastnosti vzorcev. Nadaljevali smo mednarodna sodelovanja z Univerzo na Reki pri raziskavah na temo uporabe metod strojnega učenja za analizo hiperspektralnih slik. S sodelavci na Univerzi v Bologni smo testirali razviti sistem za infrardečo spektroskopijo FTIR in izvedli potrebne izboljšave. Na novo smo vzpostavili sodelovanje z Univerzo Vanderbilt v Nashvillu, Tennessee, ZDA na področju optične koherenčne tomografije.

Delovanje skupine na področju hiperspektralne mikroskopije smo v letu 2022 nadgradili s projektom *Modeli urejenosti za optično mikroskopijo bioloških tkiv*. Cilj projekta je razvoj novih modelov, ki opišejo urejenost različnih zdravih in obolelih tkiv. Za dosego tega cilja bo delo vključevalo razvoj in uporabo hiperspektralne mikroskopije, barvne mikroskopije in polarizacijsko občutljive mikroskopije za zajem baze slik različnih tkiv. V letu 2022 smo v sklopu projekta začeli zajemati hiperspektralne podatke in pripravo računske kode za analizo v Fourierovem prostoru.

Poleg tega smo nadaljevali raziskave na področju analize slik pozitronske emisijske tomografije (PET). Osredotočali smo se na uporabo FDG-PET slikanja v nevrologiji pri diferencialni diagnozi nevrodegenerativnih boleznih. Reševali smo odprto vprašanje, kakšne FDG-PET slike lahko uporabimo za mrežno analizo in koliko slik potrebujemo za uporaben model. V naših raziskavah smo ugotovili, da je za uspešno diferencialno diagnozo treba uporabiti zadostno število referenčnih slik (vsaj 30 bolnikov in 30 zdravih kontrol). Ugotovili smo tudi, da imajo te slike lahko razmeroma slabo resolucijo (približno 12 do 15 mm FWHM). Rezultate smo objavili v znanstveni reviji *EJNMMI Research*.

Sodelavci odseka F8 smo bili v letu 2022 vključeni v projekt RAPTOR (Real-time adaptive particle therapy, <https://raptor-consortium.com>), namenjen uvedbi adaptivne hadronske terapije v klinično okolje. V okviru projekta, ki ga financira Evropska komisija prek sheme evropske učne mreže, European Training Network, ETN pod okriljem sredstev Marie Sklodowska-Curie, preverjamo algoritme prenosa označb struktur z načrtovalne slike računalniške tomografije (CT) na posnetke dnevne anatomije, vlogo umetne inteligence in vpliv na načrtovanje terapije.

Kot tudi v preteklih obdobjih smo nadaljevali izredno tesno mednarodno sodelovanje z Univerzo v Wisconsinu – ZDA. Tesna organizacijska povezanost se je v letu 2022 nadaljevala z rednimi mednarodnimi raziskovalnimi sestanki, sodelovanjem pri internih recenzijah člankov itd.



Slika 3: Presnovni vzorci, povezani z Alzheimerjevo boleznijo, določeni na podlagi FDG-PET slik za a) različno število slik in b) pri istem številu slik, ampak različnih ločljivostih.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Stergar, Jošt, Lakota, Katja, Perše, Martina, Tomšič, Matija, Milanič, Matija, Hyperspectral evaluation of vasculature in induced peritonitis mouse models, *Biomedical optics express*, 2022, 13, 6, 3461-3475, DOI: 10.1364/BOE.460288
2. Košťál, Michal, Evžen Losa, Stanislav Simakov, Martin Schulz, Jan Šimon, Vojtech Rypar, Martin Mareček, Trkov, Andrej *et al.*, Impact of reactor neutron spectrum on measured spectrum averaged cross sections, *Annals of Nuclear Energy*, 2022, 179, 109418
3. Čalić, Dušan, Kromar, Marjan, Spent fuel characterization analysis using various nuclear data libraries, *Nuclear Engineering and Technology*, 2022, 54, 9, 3260-3271, DOI: 10.1016/j.net.2022.04.009
4. M. Joyce, L. Snoj, *et al.*, Wireless information transfer with fast neutrons, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*, 2022, 1021, 165946
5. V. Mascolino, A. Haghighat & L. Snoj, Development and validation of new algorithms for control rods insertion modeling in the RAPID code system using the JSI TRIGA Mark-II reactor, *Annals of Nuclear Energy*, 2022, 166, 108711
6. Žohar, Andrej, Nocente, Massimo, Kos, Bor, Štancar, Žiga, Rebai, M., Rigamonti, S. D., Craciunescu, T., Gorelenkova, M., Kazakov, Y. O., Kiptily, V., Lengar, Igor, Čufar, Aljaž, Kodeli, Ivan Aleksander, Snoj, Luka, *et al.*, Validation of realistic Monte Carlo plasma gamma-ray source on JET discharges, *Nuclear fusion*, 2022, 62, 6, 066004, DOI: 10.1088/1741-4326/ac50c0

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Sodelovanje pri izvedbi konference KONFOR 2022, Terme Čatež, Čatež ob Savi, 11. 11. 2022, dr. Igor Lengar kot soorganizator in član Organizacijskega odbora

Nagrade in priznanja

1. Domen Kotnik: nagrada za najboljše mlade avtorje, Portorož, mednarodna konferenca 31st International Conference Nuclear Energy for New Europe – NENE 202, september 2022, članek z naslovom *Analysis of water activation loop at the JSI TRIGA research reactor* v soavtorstvu z Anil Kumar Basavaraj, Igor Lengar

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Obsevanja za podjetje Rolls-Royce Civil Nuclear SAS
Rolls-Royce Civil Nuclear SAS
dr. Vladimir Radulović
2. E-SiCure2 - Krepitev varnosti na mejah in v pristaniščih
NATO - North Atlantic Treaty Organisation
prof. dr. Luka Snoj
3. Kinetični pristop k modeliranju in meritvam v postrgani plasti tokamakov; Mreža majhnih in srednje velikih naprav z magnetnim zadrževanjem plazme v fuzijskih raziskavah
IAEA - International Atomic Energy Agency
dr. Jernej Kovačič
4. IAEA RC 24324 - Določitev negotovosti lastnosti izrabljenega goriva glede na variacije materiala goriva in njegove zgodovine zgorevanja; CRP T13018: Karakterizacija izrabljenega goriva
IAEA - International Atomic Energy Agency
doc. dr. Marjan Kromar
5. H2020 - EURAD; Evropski skupni program za obvladovanje radioaktivnih odpadkov
European Commission
dr. Vladimir Radulović
6. H2020 - ENEEP; Evropska jedrska eksperimentalna izobraževalna platforma
European Commission
dr. Vladimir Radulović
7. H2020 - SANDA; Določitev natančnih jedrskih podatkov za energetsko in neenergetsko uporabo
European Commission
prof. dr. Ivan Aleksander Kodeli
8. H2020 - ARIEL; Pospeševalniki in raziskovalni reaktorji za izobraževanje in učenje
European Commission
prof. dr. Ivan Aleksander Kodeli
9. H2020 - TOURR; Optimizacija uporabe raziskovalnih reaktorjev v Evropi
European Commission
prof. dr. Luka Snoj
10. Termični sipalni preseki iz osnovnih načel
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Aljaž Čufar
11. Metode za analizo termičnih sipalnih presekov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andrej Trkov
12. Meritve in simulacije za podporo kalibracije detektorjev reaktorskih anti-nevtrinov iz serije Chandler za določitev izotopske sestave sredice reaktorja
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Klemen Ambrožič
13. Referenčni eksperimenti tridimenzionalnega zgorevanja jedrskega goriva za namene razvoja in validiranja kode za zgorevanje goriva in transport nevtronov bRAPID na reaktorju IJS TRIGA Mark-II
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Luka Snoj
14. Transport nevtronov v fuzijskih in fisisjskih reaktorjih s sklopitvijo deterministične in Monte Carlo metode
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Igor Lengar
15. Prispevek k izboljšanju nuklearnih podatkov s pomočjo visoko kakovostnih referenčnih „benchmark“ eksperimentov penetracije sevanja
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Ivan Aleksander Kodeli
16. Absolutne radiacijske meritve pri zelo visokih ravnih nevtronskega fluksa med pulziranjem reaktorja
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Igor Lengar

17. Napredne metode za analizo termičnih sipalnih presekov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Luka Snoj
18. Referenčni eksperiment za validacijo modeliranja odziva jedrske instrumentacije na nevtrone in žarke gama
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Vladimir Radulović
19. Nove jedrske reakcije inelastičnega sipanja za epitermično nevtronsko dozimetrijo
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Gašper Žerovnik
20. OE - EUROfusion; WP08: DES-1,2_OE-FU
European Commission
dr. Aljaž Čufar
21. OE - EUROfusion; WP19: SAE-1_OE-FU
European Commission
Domen Kotnik, mag. jedr. teh.
22. OE - EUROfusion; WP10: BB_OE-FU
European Commission
dr. Gašper Žerovnik
23. OE - EUROfusion; WP06: PrIO-5_OE-FU; WPPrio-ITERneutronics&Safety
European Commission
prof. dr. Luka Snoj
24. OE - EUROfusion; WP01: WPTE - Tokamak Exploitation, OE - EUROfusion; WP01: WPTE-JET
European Commission
dr. Jernej Kovačič
25. OE - EUROfusion; WP04: AC-TSVV-4,7_OE-FU
European Commission
dr. Jernej Kovačič
26. OE - EUROfusion; WP25: PMU_OE-FU, RU-Mgmt-1_OE-FU
European Commission
prof. dr. Luka Snoj
27. OE - EUROfusion; WP24: TRED_OE-FU, EDU_OE-FU
European Commission
prof. dr. Luka Snoj
28. OE - EUROfusion; WP20: ENS_OE-FU
European Commission
dr. Aljaž Čufar
29. OE - EURO-LABS; Evropski laboratoriji za znanost na pospeševalnikih EVRO-LZP
European Commission
prof. dr. Luka Snoj
30. Meritve aktivacije za validacijo dozimetričnih podatkov z uporabo filtrov nevtronskega spektra
IAEA - International Atomic Energy Agency
dr. Vladimir Radulović
2. Elektrokalorični elementi za aktivno hlajenje elektronskih vezij
prof. dr. Luka Snoj
3. Občutljivost fizikalnih parametrov jedrskega reaktorja na termične jedrske podatke
prof. dr. Andrej Trkov
4. Jedrsko sevanje kot katalizator kemijskih procesov
dr. Vladimir Radulović
5. Stabilnost jedrskih reaktorjev pri obratovanju v načinu sledenja bremenu
prof. dr. Luka Snoj
6. Optimizacija nevtronskih karakteristik fuzijskih reaktorjev s pomočjo strojnega učenja
dr. Aljaž Čufar
7. Modeli urejenosti za optično mikroskopijo bioloških tkiv
dr. Jošt Stergar
8. Obsevanja na reaktorju TRIGA
prof. dr. Luka Snoj
9. Kritičnost in transport nevtronov v reaktorski sredici
Institut de radioprotection et de surete nucleaire
dr. Vladimir Radulović
10. Obsevanje kapsul FT-TIMS na reaktorju TRIGA za 2020-2023
CEA-Commissariat a l' Energie Atomique et aux Energies Alternatives
prof. dr. Luka Snoj
11. SiC kampanja v okviru pogodbe med CEA/AMU in FRAMATOME
CEA Saclay
dr. Vladimir Radulović
12. MCNP preračuni ščitenja za EPFL tokamak TCV
EPFL/SB/SPC
dr. Andrej Žohar
13. Eksperimentalno testiranje akvizicijskega sistema MONACO na reaktorju IJS TRIGA
CEA Saclay
dr. Vladimir Radulović
14. MCNP analiza predhodnega dizajna za nevtronsko in gama ščitenje TCV tokamaka
EPFL/SB/SPC
dr. Andrej Žohar

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Stokovno mnenje za spremembo TS in USAR v skladu z RSE Cy33
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marjan Kromar
2. L2-2612 Sofinanciranje L-projekta: Stabilnost jedrskih reaktorjev pri obratovanju v načinu sledenja bremenu
GEN energija, d. o. o.
prof. dr. Luka Snoj
3. Fizikalni testi za Cikel 32 - Reload Operational Core Analysis, Post Refuelling Nuclear Design Check Tests, PIS and KFSS Cycle Specific Data for Future Fuel Cycles
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marjan Kromar
4. NEK PSR3 Projektna naloga „Varnostne analize“
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
prof. dr. Luka Snoj
5. Fizikalni testi za Cikel 33 - Reload Operational Core Analysis, Post Refuelling Nuclear Design Check Tests, PIS and KFSS Cycle Specific Data for Future Fuel Cycles
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marjan Kromar
6. Podpora pri pregledih in izračunih v projektu SFDS za 2022 - 2023
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
prof. dr. Luka Snoj

PROGRAMI

1. Medicinska fizika
prof. dr. Robert Jeraj
2. Reaktorska fizika
prof. dr. Luka Snoj
3. Fuzijske tehnologije
prof. dr. Igor Lengar

PROJEKTI

1. Načrtovanje selektivnih katalitskih postopkov pretvorbe CO₂ v etanol - UliSess
prof. dr. Luka Snoj

OBISKI

1. dr. Loic Barbot, dr. Gregoire de Izarra, Commissariat a l'Energie Atomique - CEA / DER / SPESI / LDCl, Cadarache, Francija, 17.-28. 1. 2022
2. dr. Francois Trompier, IRSN - Institute de Radioprotection et de Surete Nuclear, External Dosimetry Dept., Fontenay-aux-Roses, Francija, 13.-15. 3. 2022
3. dr. Loic Barbot, Hubert Carcreff, Damien Fourmentel, Elsa Dupin, Adrien Gruel in Vincent Chaussonnet, Commissariat a l'Energie Atomique - CEA / DER / SPESI / LDCl, Cadarache, Francija, 8.-25. 3. 2022
4. dr. Blaž Likožar, Kemijski inštitut Ljubljana, 29. 3. 2022
5. dr. Gilles Bignan, dr. Christophe Destouches, dr. Xavier Wohleber in dr. Robert Jacqmin, CEA Cadarache, Francija, 2.-4. 5. 2022
6. dr. Loic Barbot, Christophe Comergue, Herve Philibert, Commissariat a l'Energie Atomique - CEA / DER / SPESI / LDCl, Cadarache, Francija; Danilo Bisiach, Sebastjan Zorzut, Aleš Bardorfer, Instrumentation Technologies, Solkan, Slovenija, 16.-27. 5. 2022
7. dr. Takahiro Makino, QST, Japonska; Jose Coutinho, Univerza v Aveiru, Portugalska; dr. Ivana Capan, Robert Bernat, Tihomir Knežević, Institut Rudjer Bošković, Hrvaška, 30. 5.-3. 6. 2022
8. prof. dr. Benoit Forget, Massachusetts Institute of Technology - MIT, Department of Nuclear Science and Engineering, Cambridge, MA, ZDA, 27. 5. 2022
9. Abdoulaye Sakho, The National School of Computer Science for Industry and Enterprise (ENSIIE), Francija, 30. 5.-18. 9. 2022
10. prof. dr. Pierre-Jacques Dossantos-Uzarralde, ENSIIE (École nationale supérieure d'informatique pour l'industrie et l'entreprise), Évry-Courcouronnes, Francija, 3. 8. 2022
11. Samuel Henshaw, Virginia Tech University, Virginia, ZDA, 1. 10.-15. 12. 2022
12. prof. Henri Weisen, EPFL, Lozana, Švica; dr. Patrick Blaise, CEA, Cadarache, Francija; dr. Branislav Vrban, Slovak University of Technology (STUBA), Bratislava, Slovaška, 12.-15. 9. 2022
13. prof. dr. Piero Ravetto, Politecnico di Torino, Dipartimento Energia, NEMO Group, Torino, Italija, 23.-29. 10. 2022
14. dr. Jakub Lúley in dr. Branislav Vrban, Slovak University of Technology (STUBA), Bratislava, Slovaška, 24.-28. 10. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Roberto Capote: IAEA Nuclear Data Section activities on data evaluation, 25. 1. 2022
2. Samuel Henshaw: Personal presentation (study, work), 17. 11. 2022
3. Žiga Štancar: Overview of experimental and modelling work at JET, 19. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Klemen Ambrožič, udeležba na 12. Konferenci fizikov v osnovnih raziskavah, Terme Čatež, 11. 11. 2022 (1 prispevek)
2. Klemen Ambrožič, Dušan Čalič, Aljaž Čufar, Tanja Goričanec, Domen Kotnik, Jernej Kovačič, Marjan Kromar, Igor Lengar, Jan Malec, Sebastian Pleško, Anže Pungercič, Vladimir Radulović, Luka Snoj, Andrej Trkov, Bojan Žefran, Gašper Žerovnik, Andrej Žohar, udeležba na konferenci *Nuclear Energy for New Europe – NENE 2022*, Portorož, 12. 9.–15. 9. 2022 (16 prispevkov)
3. Aljaž Čufar, delovni obisk z ogledom reaktorja EPFL in pogovori, EPFL, Lozana, Švica, 20. 3.–23. 3. 2022
4. Aljaž Čufar, Domen Kotnik, Igor Lengar, Luka Snoj, Andrej Žohar, udeležba na konferenci SOFT 2022, Dubrovnik, Hrvaška, 18. 9.–24. 9. 2022 (5 prispevkov)
5. Aljaž Čufar, udeležba na delavnici *3rd Workshop on Calibration of ITER Neutron Diagnostics*, ITER, Saint-Paul-les-Durance, Cadarache, Francija, 4. 10.–8. 10. 2022
6. Tanja Goričanec, Domen Kotnik, Igor Lengar, Anže Pungercič, Luka Snoj, udeležba na konferenci PHYSOR22, Pittsburgh, Pensilvanija, ZDA, 14. 5.–21. 5. 2022 (5 prispevkov)
7. Tanja Goričanec, Anže Pungercič, Luka Snoj, poslovni sestanek na Virginia Tech University, Arlington, Virginia, ZDA, 22. 5.–26. 5. 2022
8. Tanja Goričanec, udeležba na MAAE tečaju SMR – *Understanding the Physics and Technology of SMRs using iPWR simulator*, Dunaj, Avstrija, 4. 7.–9. 7. 2022
9. Tanja Goričanec, udeležba na konferenci ICRS/RPSD 2022, Seattle, Washington, ZDA, 24. 9.–1. 10. 2022 (1 prispevek)
10. Robert Jeraj, sestanek ICRU komisije in pogovori, Univerza v Pavii, Pavia, Italija, 26. 4.–1. 5. 2022
11. Robert Jeraj, objavljena udeležba s predavanjem na letnem srečanju indijskih medicinskih fizikov (AMPICON 2022) in sestanki na AIIMS, NCI, Delhi, IIT Kharagpur in Tata Memorial Hospital, Delhi, Calcutta, Chandigarh, Indija, 5. 11.–19. 11. 2022 (1 objavljeno predavanje)
12. Domen Kotnik, udeležba na FuseNet PhD Event, Orto Botanico Padova, Padova, Italija, 3. 7.–6. 7. 2022
13. Domen Kotnik, udeležba na poletni šoli Japan-IAEA Nuclear Energy Management School, University of Tokio, JAEA, Tokio, Japonska, 14. 7.–9. 8. 2022
14. Marjan Kromar, udeležba na 13th Int. Conference of the Croatian Nuclear Society, Zadar, Hrvaška, 7. 6.–8. 6. 2022 (1 prispevek)
15. Marjan Kromar, udeležba na NSC Working Party on Nucl. Criticality Safety (WPNGS), OECD Headquarters, Pariz, Francija, 23. 6.–30. 6. 2022
16. Marjan Kromar, udeležba na srečanjih EURAD WP8 in IAEA SFC CRP, Calmar, Švedska, 17. 9.–25. 9. 2022
17. Marjan Kromar, udeležba na konferenci 31th Spent Fuel Workshop, Barcelona, Španija, 15. 10.–23. 10. 2022 (1 prispevek)
18. Igor Lengar, udeležba na 56. Governing Board Meeting F4E, Barcelona, Španija, 6. 7.–9. 7. 2022
19. Igor Lengar, udeležba na konferenci KONFOR 2022 kot soorganizator, član Organizacijskega odbora, Terme Čatež, Čatež ob Savi, 11. 11. 2022
20. Igor Lengar, udeležba s predavanjem na 2. dnevih DECE 2022 – ETRA, Fakulteta za logistiko, Celje, 15. 11. 2022 (1 predavanje)

21. Igor Lengar, udeležba na strokovnih sestankih na: ECC Luksemburg, UO ITER Barcelona, JET Culham, Luksemburg, Barcelona, Španija; Culham, Velika Britanija; 28. 11.–8. 12. 2022
22. Jan Malec, udeležba na GRE@T-PIONEer course on Nuclear data for energy and non-energy applications, Univerzitat Politcnica de Valencia (UPV), Valencia, Španija, 14. 11.–19. 11. 2022
23. Jan Malec, Andrej Trkov, Gašper Žerovnik, udeležba na NEA Nuclear Data Week (JEFF tehnični sestanek), NEA, Boulogne-Billancourt, Pariz, Francija, 20. 11.–25. 11. 2022 (3 prispevki)
24. Anže Pungercič, udeležba na delovnem sestanku projekta TOURR (v sklopu konference ERPW 2022), Estoril Congress Center, Lizbona, Portugalska, 9. 10.–11. 10. 2022
25. Vladimir Radulović, udeležba na delovnem sestanku v okviru projekta ENEEP, Slovak University of Technology, Bratislava, Slovaška, 15. 6.–17. 6. 2022
26. Vladimir Radulović, udeležba na ENEEP delavnici in projektne sestanku ENEEP, STU, Bratislava, Slovaška, 27. 11.–29. 11. 2022
27. Luka Snoj, udeležba na konferenci SRK 2022, Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, 2. 2. 2022 (1 predavanje)
28. Luka Snoj, delovni sestanki, pogovori o tekočih in prihodnjih raziskovalnih projektih s partnerji z ITER, CEA Cadarache in AMU (Aix Marseilles University), obisk ITER in JHR, ITER, CEA, Aix Marseilles University, JHR, Marseille, Cadarache, Francija, 19. 2.–26. 2. 2022
29. Luka Snoj, Andrej Žohar, delovni obisk z ogledom reaktorja EPFL in pogovori, EPFL, Lozana, Švica, 20. 3.–23. 3. 2022
30. Luka Snoj, udeležba na NSC meeting – NEA Headquarters, NEA, Boulogne-Billancourt, Pariz, Francija, 8. 6.–10. 6. 2022
31. Luka Snoj, udeležba na 3rd Workshop on Calibration of ITER Neutr. Diagnostics, St. Paul les Durance, Francija, 4. 10.–8. 10. 2022
32. Luka Snoj, udeležba na ANIMMA 2023 Program Committee Meeting, CEA Cadarache, Cadarache, Francija, 28. 11.–1. 12. 2022
33. Andrej Trkov, udeležba z vabilom na sestanku na temo Thermo capture and resonance integral data, Mednarodna agencija za atomsko energijo (MAAE), Dunaj, Avstrija, 22. 5.–27. 5. 2022
34. Andrej Trkov, udeležba na Technical Meeting on Long Term International Collaboration to Improve Nucl. Data Evaluation, Mednarodna agencija za atomsko energijo (MAAE), Dunaj, Avstrija, 28. 8.–1. 9. 2022
35. Andrej Trkov, udeležba z vabilom na IAEA Technical Meeting of the Int. Nucl. Data Evaluation Network, Mednarodna agencija za atomsko energijo (MAAE), Dunaj, Avstrija, 9. 10.–13. 10. 2022
36. Andrej Trkov, udeležba na sestanku Technical Meeting on Nuclear Data Processing, Mednarodna agencija za atomsko energijo (MAAE), Dunaj, Avstrija, 28. 11.–2. 12. 2022
37. Gašper Žerovnik, udeležba na sestanku JEFF-APR22, OECD/NEA, Pariz, Francija, 24. 4.–29. 4. 2022 (1 prispevek)
38. Gašper Žerovnik, udeležba na konferenci 31th Spent Fuel Workshop (SFW), Barcelona, Španija, 18. 10.–22. 10. 2022 (1 prispevek)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Robert Jeraj: University of Wisconsin, Madison, WI, ZDA, 5. 5.–4. 8. 2022
2. Anže Pungercič: Virginia Tech University, Arlington, Virginia, ZDA, 27. 2.–20. 3. 2022 (gostujoči študent – obisk pri prof. A. Haghghatu, z vabilom)
3. Jošt Stergar: Univerza v Bologni, Bologna, Italija, 27. 6.–22. 7. 2022 (raziskovalni obisk v okviru bilateralnega projekta IT-SLO)
4. Ingrid Švajger: CEA Cadarache, Cadarache, Francija, 20. 3.–2. 4. 2022 (raziskovalni obisk z vabilom somentorja pri doktorski disertaciji, prof. Gilles Nogiera)
5. Andrej Trkov: Mednarodna agencija za atomsko energijo (MAAE), Dunaj, Avstrija, 7. 2.–18. 2. 2022 (svetovanje, z vabilom, pri evalvaciji presekov za Pu-239 v okviru IAEA INDEN projekta)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Dušan Čalič
 2. dr. Aljaž Čufar
 3. prof. dr. Tomaž Gyergyek*, znanstveni svetnik
 4. prof. dr. Robert Jeraj, znanstveni svetnik
 5. prof. dr. Ivan Aleksander Kodeli, *časna prekinitev 1. 2. 2022*
 6. doc. dr. Marjan Kromar
 7. prof. dr. Igor Lengar
 8. doc. dr. Matija Milanič*
 9. dr. Vladimir Radulović
 10. dr. Urban Simončič*
 11. prof. dr. Luka Snoj, vodja odseka
 12. prof. dr. Andrej Trkov, znanstveni svetnik
 13. dr. Gašper Žerovnik
- ### Podoktorski sodelavci
14. dr. Klemen Ambrožič
 15. Stefan Costea, Master, Fizica, Romunija

16. dr. Jernej Kovačič
 17. dr. Jošt Stergar
 18. dr. Andrej Žohar
- ### Mlajši raziskovalci
19. Tanja Goričanec, mag. jedr. teh.
 20. Domen Kotnik, mag. jedr. teh.
 21. Jan Malec, mag. fiz.
 22. Julijan Peric, mag. jedr. teh.
 23. Anže Pungercič, mag. jedr. teh.
 24. Ingrid Švajger, mag. jedr. teh.
- ### Strokovni sodelavci
25. Sebastian Pleško, dipl. kem. (UN)
 26. Saša Škof, dipl. fin. mat. (UN)
- ### Tehniški in administrativni sodelavci
27. Slavko Slavič, prof. mat.
 28. Bojan Žefran

Opomba
* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aix-Marseille University, Marseille, Francija
2. Agencija za radioaktivne odpadke – ARAO, Ljubljana
3. Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile – ENEA, Fusion Technical Unit, Frascati, Rim, Italija
4. Belgian Nuclear Research Centre (SCK CEN), Mol, Belgija
5. Brookhaven National Laboratory, National Nuclear Data Center, Brookhaven, NY, ZDA
6. Budapest University of Technology and Economics, Budimpešta, Madžarska
7. Centro de Investigaciones Energeticas, Medioambientales y Technologicas – CIEMAT, Madrid, Španija
8. China Nuclear Power Technology Research Institute, Shenzhen, Guangdong, Kitajska
9. Commissariat a l'Energie Atomique, Francija
10. CREATE, Engineering School of Basilicata University, Campus Macchia Romana, Potenza, Italija
11. Culham Centre for Fusion Energy, Culham, Velika Britanija
12. Czech Technical University, Praga, Češka republika
13. DITO Lighting, Slovenija
14. École National Supérieure d'Informatique pour l'Industrie et l'entreprise (ENSIE), Évry, Francija
15. ENEA, Department of Fusion and Nuclear Safety Technology, Frascati, Italija
16. European Consortium for the Development of Fusion Energy, Garching, Nemčija
17. Fusion for Energy – F4E, Barcelona, Španija
18. IAEA, Nuclear Data Section, Dunaj, Avstrija
19. IDOM – Consulting, Engineering, Architecture, Bilbao, Španija
20. Institute of Plasma Physics, Praga, Češka republika
21. International Atomic Energy Agency, Dunaj, Avstrija
22. JET Exploitation Unit, Abingdon, Združeno kraljestvo
23. Joint Research Centre, Geel, Belgija
24. Karlova univerza v Pragi, Češka republika
25. Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Nemčija
26. Lancaster University, Lancaster, Združeno kraljestvo
27. LANL – Los Alamos National Laboratory, Los Alamos, NM, ZDA
28. Massachusetts Institute of Technology – MIT, Cambridge, MA, ZDA
29. National Institutes for Quantum and Radiological Science - QST, Takasaki, Japonska
30. Nuklearna elektrarna Krško
31. North Carolina State University, Raleigh, NC, ZDA
32. Oak Ridge National Laboratory, Nuclear Data, Oak Ridge, ZDA
33. OECD – Nuclear Energy Agency, Pariz, Francija
34. Onkološki inštitut Ljubljana
35. Princeton Plasma Physics Laboratory, Princeton, ZDA
36. Rolls Royce Civil Nuclear Company, Grenoble, Francija
37. Ruder Bošković Institute (RBI), Hrvaška
38. Slovak University of Technology in Bratislava (STU), Bratislava, Slovaška
39. Swiss Plasma Center – EPFL, Lozana, Švica
40. TU Wien, Dunaj, Avstrija
41. UK Atomic Energy Authority, Culham Science Centre, Abingdon, Združeno kraljestvo
42. Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, Španija
43. Universidad Politécnica de Madrid
44. Universität Innsbruck, Institut für Ionen Physik und Angewandte Physik, Innsbruck, Avstrija
45. University of Bologna, Bologna, Italija
46. University of Aveiro, Aveiro, Portugalska
47. University of Rijeka, Rijeka, Hrvaška
48. University of Wisconsin, Madison, WI, ZDA
49. Univerza Alexandru-Ioan-Cuza, Iasi, Romunija
50. Univerza Ovidius, Constanca, Romunija
51. Univerza St. Kliment Ohridski, Fakulteta za fiziko, Sofija, Bolgarija
52. Univerza v Ljubljani
53. Univerzitetna klinika za pljučne bolezni in alergijo Golnik
54. Univerzitetni klinični center Ljubljana
55. Uppsala University, Department of Physics and Astronomy, Uppsala, Švedska
56. Virginia Tech – Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburgh, Virginia, ZDA

ODSEK ZA EKSPERIMENTALNO FIZIKO OSNOVNIH DELCEV

F-9

Raziskave na odseku so usmerjene v meritve v svetu osnovnih delcev, kjer proučujemo osnovne gradnike narave in interakcije med njimi, ter v razvoj in uporabo tehnološko zahtevnih detektorjev delcev. Eksperimenti v fiziki visokih energij so narasli tako po zahtevnosti kot tudi po stroških, in sicer toliko, da se za njihovo izvedbo znanstveniki z vsega sveta združujejo v velike kolaboracije v mednarodnih središčih za fiziko delcev. V teh središčih delujejo pospeševalniki z največjimi človeštvu dostopnimi energijami. Slovenski znanstveniki sodelujemo pri poskusih v CERN-u pri Ženevi in KEK-u v Tsukubi. Astrofizika delcev je področje, ki uporablja detekcijske metode fizike delcev za študij pojavov v vesolju. Slovenski znanstveniki sodelujemo pri meritvah kozmičnih delcev najvišjih energij z observatorijem Pierre Auger v Malargue v Argentini.



Vodja (od 1. 5. 2022):

prof. dr. Borut Paul Kerševan

Meritve lastnosti osnovnih gradnikov narave so izvedljive na pospeševalnikih delcev z visoko energijo. Primer je Veliki hadronski pospeševalnik (LHC) v CERN-u. Pri njegovi gradnji so razen držav članic CERN-a z znatnimi finančnimi prispevki sodelovale Japonska, Kanada, Rusija in Združene države Amerike. Raziskovalci Odseka za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev skupaj s kolegi z Oddelka za fiziko Fakultete za matematiko in fiziko, Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani in Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Mariboru izvajamo svoje meritve v dveh mednarodnih središčih za fiziko delcev: v evropski organizaciji za jedrske raziskave (CERN) v Ženevi in japonskem središču KEK v Tsukubi. Naše delo poteka v okviru dveh mednarodnih skupin:

- ATLAS pri Velikem hadronskem trkalniku (LHC) v CERN-u (3000 znanstvenikov, 182 institucij iz 42 držav),
- BELLE II na asimetričnem trkalniku elektronov in pozitronov KEK-B v KEK, Tsukuba (1200 znanstvenikov, 130 institucij iz 27 držav).

Na področju astrofizike delcev sodelujemo v kolaboraciji Pierre Auger (500 znanstvenikov, 91 institucij iz 18 držav), ki blizu Malargue v Argentini meri z observatorijem za kozmične delce najvišjih energij s površino 3000 km². Raziskave na tem področju izvajamo skupaj s kolegi z Univerze v Novi Gorici.

Sledi podrobnejše poročilo po dejavnostih v letu 2022.

ATLAS pri Velikem hadronskem trkalniku (LHC) v CERN-u

V CERN-u se je po treh letih nadgradnje Velikega hadronskega trkalnika LHC in nadgradnje detektorjev na njem v letu 2022 začelo novo obdobje poskusov, imenovano Run 3. Tako je 5. julija 2022 Veliki hadronski trkalnik LHC v CERN-u dosegel novo rekordno težiščno energijo trkov protonov 13,6 TeV. V celotnem obdobju zajemanja podatkov v lanskem letu je eksperiment ATLAS zabeležil veliko zanimivih trkov protonov z integrirano luminoznostjo 40 fb⁻¹. V kombinaciji s prej zajetimi podatki iz obdobja Run 2 (2015–2018) ti novodobljeni podatki že omogočajo najnatančnejše analize iskanja procesov nove fizike onkraj standardnega modela do zdaj. Z uporabo najnaprednejših metod v analizi podatkov, kot je na primer uporaba grafovskih nevronske mreže v metodah strojnega učenja, so bile postavljene nove meje pri iskanju temne snovi, najnatančnejše meritve lastnosti Higgsovega bozona pa so bile ob deseti obletnici odkritja Higgsovega bozona s strani kolaboracij ATLAS in CMS objavljene v reviji *Nature*. Veliko zanimivih rezultatov je bilo objavljenih na temo iskanja redkih razpadov Higgsovega bozona in preverjanja aktualnih teorij, povezanih z razširitvami standardnega modela in napovedmi novih nenavadnih delcev, kot so na primer leptokvarki. Očitno bo za nova odkritja in povečanje natančnosti meritev potrebnih še več podatkov, ki jih bo eksperiment ATLAS zajel v prihodnjih letih obdobja Run 3 – tako bodo tudi prihodnja leta polna izzivov in pričakovani prelomni dogodki. V letu 2022 je kolaboracija ATLAS objavila več kot 60 znanstvenih člankov v najuglednejših mednarodnih revijah, s čimer se je število vseh objavljenih člankov kolaboracije povečalo na 1100, v pripravi pa jih je še več kot sto.

Ljubljanska skupina pri eksperimentu ATLAS je vodilna pri načrtovanju, izgradnji in obratovanju več sistemov, ki skrbijo za nadzor in spremljanje delovanja notranjega detektorja: ATLAS Beam Condition Monitor (BCM), Beam Loss Monitor (BLM) in Radiation Monitor (RADMON). BCM je namenjen spremljanju pogojev v žarkih protonov Velikega

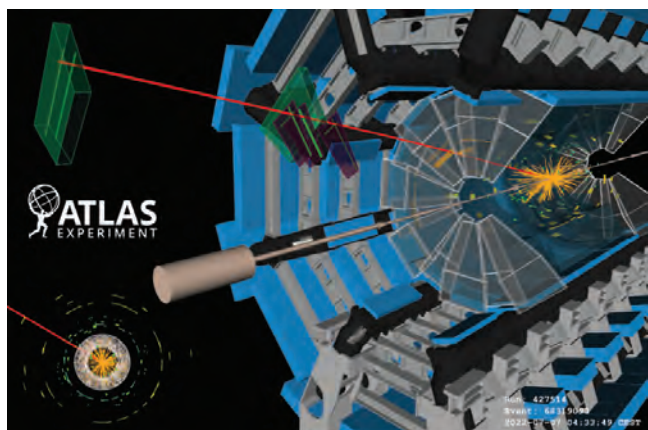


Vodja (do 30. 4. 2022):

prof. dr. Marko Mikuž

Veliki hadronski trkalnik LHC v CERN-u je 5. julija 2022 dosegel novo rekordno težiščno energijo trkov protonov 13,6 TeV.

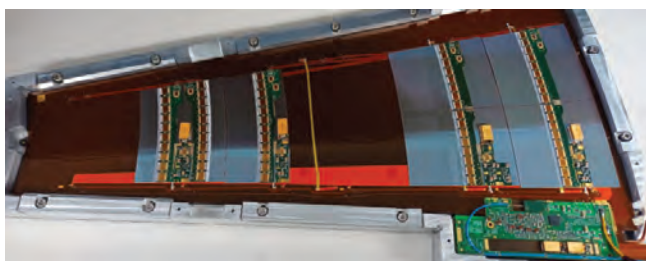
Z uporabo najnaprednejših metod v analizi podatkov, kot je na primer uporaba grafovskih nevronske mreže v metodah strojnega učenja, so bile postavljene nove meje pri iskanju temne snovi, najnatančnejše meritve lastnosti Higgsovega bozona pa so bile ob deseti obletnici odkritja Higgsovega bozona s strani kolaboracij ATLAS in CMS objavljene v reviji *Nature*.



Slika 1: Prikaz trka, zabeleženega v detektorju ATLAS 7. julija 2022, ko je LHC v ATLAS pripeljal stabilne žarke protonov z rekordno energijo 6,8 TeV. Rdeča črta prikazuje mionskega kandidata s transversalno gibalno količino 15 GeV, rekonstruiranega z uporabo informacij iz notranjih sledilnih detektorjev in stranskega dela mionskega spektrometra ob uporabi novega detektorja New Small Wheel (NSW). Na sliki so prikazane tudi sledi nabitih delcev, kot so rekonstruirane v notranjem detektorju (oranžne sledi), ter izmerjena oddana energija v elektromagnetnih (zeleni polja) in hadronskih (rumena/oranžna polja) kalorimetrih.

V obdobju 2025–2029 bo izvedena obsežna nadgradnja detektorja ATLAS za prilagoditev na pospeševalnik LHC z visoko luminoznostjo (High Luminosity LHC ali HL-LHC). Velik del kolaboracije ATLAS, vključno s skupino z odseka F9, se intenzivno ukvarja z razvojem in izdelavo sistemov za nadgradnjo.

Visokozrnat detektor časa (High Granularity Timing Detector) je del nadgradnje eksperimenta ATLAS. Ljubljanska skupina s F9 je prispevala velik delež k razvoju senzorjev, primernih za HGTD. Ključno smo prispevali k razumevanju delovanju detektorjev LGAD in pojasnili odvisnost njihovega odziva od gostote ionizacije, ki jo povzroči prelet različnih ionizirajočih delcev.



Slika 2: Prvi senzorski moduli, povezani s fleksibilnim vezjem, ki je bil izdelan v ELGOLINE, d. o. o., iz Podskrajnika. Takšni moduli so gradniki novega notranjega sledilnika nabitih delcev v eksperimentu ATLAS.

hadronskega pospeševalnika (Large Hadron Collider, LHC) in opozarjanju pred potencialno nevarnimi dogodki. Med prvim obdobjem zajemanja podatkov je bil BCM tudi glavni monitor luminoznosti spektrometra ATLAS. Po drugi strani je precej bolj preprost sistem BLM namenjen samo varovanju notranjega detektorja spektrometra ATLAS pred potencialnimi nevarnimi pogoji, kjer deluje neodvisno in vzporedno z BCM. BLM je do zdaj nekajkrat sprožil in zaustavil žarke LHC ter s tem preprečil morebitne poškodbe najbolj občutljivih notranjih delov spektrometra ATLAS. Sistem RADMON meri doze, ki jih prejmejo različni deli notranjega detektorja spektrometra ATLAS. V letu 2022 smo obnovili in nadgradili elektroniko za krmiljenje in branje BCM in BLM ter programsko opremo za nadzor teh komponent. Sistema smo uspešno vključili v zajemanje podatkov eksperimenta ATLAS v letu 2022 in skrbeli za njihovo nemoteno delovanje v letu 2022.

Nadgradnja detektorja ATLAS

V letu 2022 je LHC začel novo obdobje zajemanja podatkov, imenovano Run 3, ki bo trajalo do konca leta 2025. Za tem bo sledila večja nadgradnja pospeševalnika LHC za visoko luminoznost (High Luminosity LHC ali HL-LHC), ki bo začel obratovati leta 2029. V obdobju 2025–2029 bo potekala tudi obsežna nadgradnja detektorja ATLAS. Velik del kolaboracije ATLAS, vključno s skupino z odseka F9, se intenzivno ukvarja z razvojem in izdelavo sistemov za nadgradnjo.

Skupina odseka F9 je prevzela vodilno vlogo pri razvoju popolnoma novega sistema za monitoriranje in nadzor žarkov BCM¹, za katerega smo razvili bralni čip, odporen proti sevalnim poškodbam, ki bo povezan s senzorji iz diamantov pCVD. V letih 2021 in 2022 smo izvedli več preverjanj sevalne odpornosti bralnega čipa in potrdili ustrezno delovanje tudi po obsevanju. Delovanje diamantnega senzora, priključenega na bralni čip, smo večkrat uspešno preverili v testnem žarku. Trenutno načrtujemo, izdelujemo, preverjamo in usklajujemo delovanje različnih komponent sistema. BCM je postavljen blizu interakcijske točke in je podsistem blazinčastega detektorja za nabite delce, s katerimi morajo biti komponente usklajene.

Visoko zrnat detektor časa (High Granularity Timing Detector) je del nadgradnje eksperimenta ATLAS. Ljubljanska skupina s F9 je prispevala velik delež k razvoju senzorjev, primernih za HGTD, ki temeljijo na tehnologiji silicijevih detektorjev z nizkim ojačenjem LGAD, o čemer priča več kot 10 publikacij v letu 2022. Testirali smo senzorje različnih proizvajalcev in jih kvalificirali za uporabo v eksperimentu ATLAS. Sistematsko smo določili učinkovitost zbiranja naboja in določitve časa preleta nabitih delcev v odvisnosti od števila nevtronov, ki so preleteli senzorje. Razvijali in preskusili smo senzorje z različnimi pomnoževalnimi plastmi in pokazali koristnost dodanih primesi ogljika za njihovo sevalno trdnost. S primesmi ogljika se namreč zmanjša upad začetnih primesi bora z obsevanjem. Z meritvami v testnem žarku smo pokazali, da je uporaba detektorjev v žarku visokoenergijskih delcev zaradi destruktivnih dogodkov omejena na precej nižje napetosti kot pri delu v laboratoriju in so detektorji s primesjo ogljika edina izbira. Pokazali smo stabilnost delovanja obsevanih večkanalnih senzorjev LGAD v pogojih, kot bodo v eksperimentu ATLAS. Ključno smo prispevali k razumevanju delovanja detektorjev LGAD za zaznavo različnih ionizirajočih delcev in pojasnili odvisnost njihovega odziva od gostote ionizacije.

V letu 2022 je kolaboracija ATLAS nadaljevala sestavljanje komponent za nadgradnjo notranjega detektorja (ITk), kjer bomo kot senzorje uporabili mikropasovne silicijeve detektorje. Približno 25 % od 22.000 senzorjev je bilo proizvedenih do konca leta 2022. Naša skupina sodeluje v postopku zagotovitve kakovosti teh senzorjev. Na Reaktorskem centru IJS

smo z nevtroni obsevali testne strukture, izdelane na silicijevih rezinah. Predvidena so redna obsevanja vsak mesec v obdobju štirih let. V za to posebej sestavljenem merilnem sistemu smo merili odziv senzorjev s pomočjo vira Sr^{90} in večkanalnega bralnega sistema ALIBAVA. Vsi senzori iz predserije kažejo pričakovano degradacijo signalov, signal se po obsevanju z $1,6 \cdot 10^{15} n_{eq} cm^{-2}$ zmanjša na približno tretjino, kar ustreza približno 7500 elektronom. Meritve na senzorjih iz serije so pokazale pričakovane rezultate.

Poleg razvoja senzorjev smo se v sodelovanju s podjetjem Elgoline, d. o. o., iz Cerknice priključili razvoju posebnih večplastnih fleksibilnih tiskanih vezij, ki bodo služila povezavi senzorjev s periferno bralno elektroniko. V letu 2021 je bila narejena predserija, ki obsega 5 odstotkov končne produkcije. Serijsko izdelavo smo začeli v sredini leta 2022. Na Odseku za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev smo v sodelovanju z Univerzo v Oxfordu razvili robota, s katerim testiramo fleksibilna vezja velikih dimenzij. V podjetju Elgoline bodo v naslednjih letih izdelali več kot 1000 takšnih vezij, kar bo zadoščalo za oba sprednja dela silicijevega pasovnega detektorja. Do zdaj je bilo narejenih okoli 10 odstotkov vezij. Vsako fleksibilno vezje bomo testirali trikrat, po različnih stopnjah proizvodnega procesa.

V ITk bo vgrajen nov sistem za sprotno merjenje integriranih doz (RadMon). Sevanje, ki nastane med delovanjem hadronskega trkalnika, poškoduje senzore in bralno elektroniko, ki je blizu interakcijske točke. Za razumevanje delovanja detektorjev je pomembno meriti količino sevanja, ki so mu izpostavljeni. V letu 2022 smo izdelali in preverili delovanje prototipa bralne elektronike za RadMon in pripravili načrte za integracijo sistema v eksperiment ATLAS. Proti koncu leta 2022 smo izvedli tudi obsevanje senzorjev za merjenje ionizacijske doze (RadFET) s protoni z energijo 24 GeV v pospeševalniku v CERN-u.

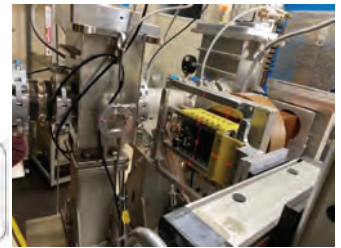
Belle in Belle II na trkalniku elektronov in pozitronov SuperKEKB v KEK

Sodelavci odseka so nadaljevali raziskave pri eksperimentih Belle in Belle II na trkalniku elektronov in pozitronov KEKB oz. SuperKEKB v Tsukubi na Japonskem. Osnovna motivacija obeh eksperimentov, ki spadata v eksperimentalne napore na t. i. obzorju natančnosti, je iskanje procesov in delcev, ki niso zajeti v standardnem modelu (SM) interakcij in jih s skupnim nazivom označujemo kot Nova fizika (NF). Eksperimenti na obzorju natančnosti izvajajo izjemno natančne meritve in rezultate primerjajo s podobno natančnimi teoretičnimi napovedmi v okviru SM. Standardni model je izjemno uspešen in eksperimentalno potrjen opis procesov na ravni osnovnih delcev pri trenutno dosegljivih energijah in natančnosti. Procesi NF morajo biti odgovorni – med drugim – tudi za opaženo prevlado snovi nad antisnovjo v vesolju.

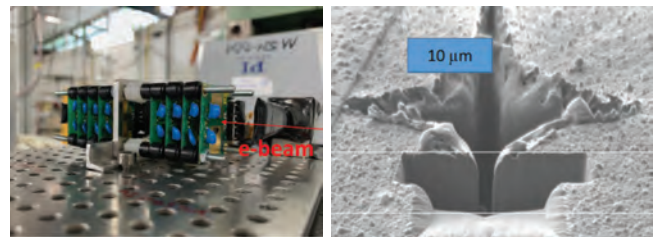
Detektor Belle je zaključil zajemanje podatkov v letu 2010, številne analize pa še potekajo. Med rezultati leta 2022 je več študij razpadov in lastnosti barionov, ki vsebujejo kvark c, iskanje eksotičnih tetrakvarkovskih stanj in meritev matričnih elementov kvarkovske mešalne (tako imenovane Cabibbo-Kobayashi-Maskawa) matrike, da bi razrešili neujemanje med vrednostmi matričnih elementov $|V_{ub}|$ in $|V_{cb}|$ matričnih elementov, izmerjenih z inkluzivno in ekskluzivno metodo. Velik poudarek je bil tudi na iskanju anomalij pri razpadih mezona B z leptoni v končnem stanju. Izvedena so bila iskanja razpadov na par dveh leptonov različnih okusov (lepton tau in lahki lepton), bodisi samega ali v spremstvu mezona K.

Eksperiment Belle II je do zdaj zbral $360 fb^{-1}$ podatkov, pri čemer je SuperKEKB leta 2022 večkrat podrl svetovni rekord trenutne luminoznosti. Med pomembnimi rezultati raziskovalne skupine Belle II leta 2022 je

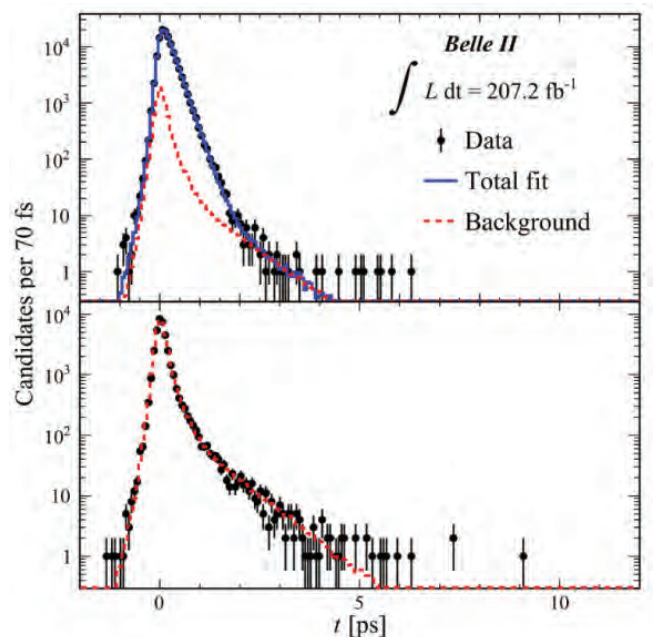
1111 1111 → 1111 1101
0010 1100 → 0100 1100



Slika 3: Med testi na pospeševalniku v Paul Scherrer Institute (PSI) v Švici, kjer smo iskali t. i. Single Event Effect-e (SEE), sta bila zabeležena dva dogodka v Calypso ASIC-u (leva slika). Na desni sliki se vidi postavitev eksperimenta, kjer s pomočjo laserja poravnamo elektronsko vezje v protonski žarek.



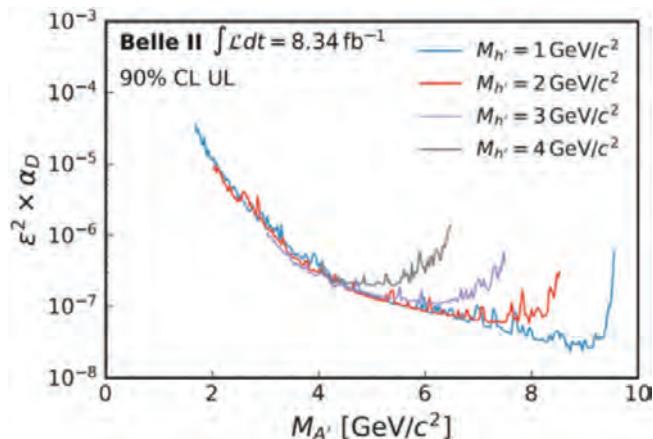
Slika 4: (levo) Slike postavitve sistema, pripravljenega na IJS za študij odpornosti detektorjev LGAD na destruktivni preboj (SEB). (desno) Fotografija poškodbe po destruktivnem preletu posameznega visokoenergijskega delca skozi detektor LGAD.



Slika 5: Porazdelitev razpadnega časa pri razpadih $\Lambda_c \rightarrow p K^+ \pi^-$ v signalnem območju (zgoraj) in v kontrolnem področju, kjer prevladujejo dogodki ozadja (spodaj).

Eksperiment Belle II je do zdaj zbral $360 fb^{-1}$ podatkov, pri čemer je SuperKEKB leta 2022 večkrat podrl svetovni rekord trenutne luminoznosti. Med pomembnimi rezultati raziskovalne skupine Belle II leta 2022 je najnatančnejša meritev življenjskega časa bariona Λ_c na svetu.

Pomemben sklop raziskovalnih tem na Belle II so iskanja kandidatov za temno snov in možnih nosilcev interakcij med delci temne snovi in navadno snovjo.



Slika 6: Izmerjena zgornja meja (z 90-odstotno zanesljivostjo) sklopitve temnega fotona kot funkcija njegove mase za štiri različne predpostavke velikosti mase temnega Higgsovega bozona.

imenujemo atmosferski pljusk. Če hočemo oceniti izvor, energijo in tip primarnega delca, je treba izmeriti lastnosti pljuska. Ker so tovrstni delci zelo redki (na Zemljo namreč pride zgolj en delec na kvadratni kilometer na stoletje z energijo 10^{20} eV), je potrebna nadvse obsežna merilna naprava. Observatorij Pierre Auger zato obsega površino 3000 km^2 , nahaja pa se v provinci Mendoza v Argentini.

Observatorij Pierre Auger uporablja dve komplementarni tehniki zaznave atmosferskih pljuskov. Na poti skozi atmosfero sekundarni delci vzbujajo molekule dušika. Pri relaksaciji te izsevajo fluoreescenčno svetlobo, ki jo zaznavamo z mrežo velikih teleskopov. Sekundarne delce, ki dosežejo zemljo, pa zaznavamo z mrežo Čerenkovih detektorjev prek meritve svetlobe, izsevane ob prehodu relativističnega delca skozi vodo.

Kolaboracija Pierre Auger je izmerila strmo upadanje energijskega spektra delcev z energijo nad 10^{20} eV. Dušenje

fluksa pri visokih energijah razlagamo z interakcijo delcev z mikrovalovnim prasevanjem (tako imenovani GZK-učinek) ter s fotonsko dezintegracijo. Kljub temu pa je bilo pokazano, da GZK-učinek ne more biti edina razlaga, saj podatki nakazujejo težjo masno sestavo, kot bi jo pričakovali, zato razlogi za spektralni upad ostajajo nepojasnjeni.

Eden od ciljev kolaboracije je tudi študij izvora kozmičnih delcev visokih energij nad 8×10^{18} eV. V ta namen se je kolaboracija posvečala tako ocenam korelacije vpadnih smeri z distribucijo mase v vesolju kot meritvam dipolarne anizotropije, ki so z visoko stopnjo verjetnosti pokazale, da delci visokih energij dejansko imajo preferenčno smer vpada.

Trki visokoenergijskih kozmičnih žarkov z atmosferskimi molekulami ponujajo vpogled v hadronske interakcije pri energijah, ki za nekaj velikostnih razredov presegajo težiščno energijo trkalnika LHC. Obsežni poskusi integracije LHC rezultatov v meritve observatorija so pokazali na precejšnje razhajanje, saj je število mionov, ki jih dobimo pri simulaciji Monte Carlo, temelječi na dosedanjih meritvah, precej manjše, kot jih zaznavamo, prav tako tudi globina interakcijske točke znotraj atmosfere odstopa od pričakovane za smiselno sestavo kozmičnih žarkov.

Observatorij Pierre Auger je v fazi nadgradnje, ki bo ponudila dodaten vpogled v opisane težave. Ključni element nadgradnje je namestitve scintilacijskih detektorjev na vsakega od 1660 Čerenkovih detektorjev. Tako bo identifikacija primarnih delcev olajšana, saj z uporabo scintilatorjev dosežemo lažje razločevanje med elektromagnetno in mionsko komponento pljuska. K meritvam kompozicije pa bo pripomogla tudi nova bralna elektronika Čerenkovih detektorjev.

Poteka tudi nadgradnja observatorija s sistemom AERA (Auger Engineering Radio Array). AERA je mreža anten, ki merijo emisijo radijskih valov v frekvenčnem pasu med 30 in 80 MHz, ki nastanejo ob tvorbi pljuska sekundarnih delcev v atmosferi.

Center za distribuirano računanje

Odsek F9 je s svojim računskim centrom SiGNET z več kot 3072 jedri in okoli 6 PB podatkovne hrambe v letu 2022 nadaljeval sodelovanje v mednarodnih projektih in organizacijah WLCG, EGI, EGI/InSPIRE, Nordugrid. Poleg tega

najnatančnejša meritev življenjskega časa bariona Λ_c na svetu (slika 5). Ta meritev spet potrjuje odlično delovanje sistema za rekonstrukcijo razpadnih verteksov v detektorju Belle II in dobro razumevanje sistematskih učinkov, ki bodo imeli ključno vlogo pri prihajajočih študijah mešanja nevtralnih mezonov in časovno odvisne kršitve simetrije CP. Drug pomemben rezultat izhaja iz kombinirane analize podatkov Belle in Belle II; takšna analiza ima dvojno prednost: večji vzorec podatkov in uporabo orodij za analizo, ki so bila na novo razvita za poskus Belle II. Dobljena meritev parametra ϕ_3 , enega od kotov unitarnega trikotnika, je odlično izhodišče za analize večjih vzorcev podatkov, ki bodo na voljo med delovanjem SuperKEKB v letih 2023 in 2024.

Pomemben sklop raziskovalnih tem na Belle II so iskanja kandidatov za temno snov in možnih nosilcev interakcij med delci temne snovi in navadno snovjo. Med drugim so iskali temni foton in nevidni temni Higgsov bozon v končnih stanjih s parom $\mu^+\mu^-$ in z manjkajočo energijo. Rezultat meritve je med drugim tudi zgornja meja na sklopitvi temnega fotona v odvisnosti od njegove mase (slika 6).

Observatorij Pierre Auger

Observatorij Pierre Auger je bil zgrajen z namenom zaznavanja visokoenergijskih kozmičnih žarkov, pod katerimi razumemo subatomske delce z energijami nad 10^{18} eV. Tovrstni delci v zemeljski atmosferi interagirajo z atomi in tako povzročijo nastanek sekundarnih delcev, ki jih

Rezultati kolaboracije Pierre Auger kažejo, da GZK-učinek ne more biti edina razlaga za spektralni upad, zato razlogi zanj ostajajo nepojasnjeni.

smo sodelovali z drugimi računskimi centri, kot sta inštitutski NSC in center Arnes. V okviru sodelovanja evropske iniciative EuroHPC in vključenosti v Slovensko nacionalno superračunalniško omrežje SLING smo v letu 2022 sodelovali pri vzdrževanju superračunalnika Vega v mariborskem IZUM-u. Kapacitete centra SiGNET so bile leta 2022 večinoma uporabljene pri analizi podatkov in produkciji mednarodnih eksperimentov ATLAS in Belle II ter pri drugih projektih odseka. Deloma pa so bile na voljo tudi drugim sodelavcem inštituta in zunanjim sodelavcem. Še naprej smo delovali v konzorciju Leonardo, pri vzpostavitvi enega od treh velikih sistemov EuroHPC na Cineci v Bologni. Leta 2022 smo se dogovorili za sodelovanje pri nabavi in integraciji Leonardo Quantum Computer s HPC, kjer smo začeli sodelovanje s Cineca in INFN. Poleg vzdrževanja in administracije odsek sodeluje pri številnih projektih za podporo in načrtovanje računske infrastrukture ter pri razvoju, distribuciji in vzpostavitvi distribuirane infrastrukture, na primer EuroHPC JU, EuroCC in Castiel 2.

Razvoj detektorjev

Silicijevi in diamantni detektorji

Večina dela, povezanega z razvojem silicijevih detektorjev nabitih delcev, je potekala v okviru mednarodnih kolaboracij ATLAS in CERN-RD50. Skupina je aktivna tudi pri razvoju diamantnih detektorjev v okviru mednarodne kolaboracije RD42.

Nadgradnja detektorja ATLAS za HL-LHC je osrednja aktivnost pri delu s silicijevimi detektorji. To zajema meritve pasovnih silicijevih detektorjev in razvoj LGAD za HGTD, kot je že opisano zgoraj.

Raziskovali smo vpliv obsevanja s protoni, pospešenimi do zelo visoke energije, na pasovne detektorje za ITk. Ugotovili smo, da jih ti delci poškodujejo veliko bolj, kot bi pričakovali. To je bil presenetljiv rezultat, zato bomo delo na tem področju nadaljevali tudi naprej. Razumevanje delovanja detektorjev po obsevanju s protoni je zelo pomembno, saj ravno visokoenergijski protoni pomembno prispevajo k sevalnim poškodbam, ki jih v eksperimentu ATLAS med zajemanjem podatkov utrpijo detektorji.

V letu 2022 smo razvijali sistem za meritve tranzientov (Transient Current Technique TCT) z uporabo dvofotonske absorpcije (Two Photon Absorption) TPA-TCT. S tem pojavom lahko v siliciju sprostimo nosilce naboja na omejenem področju v detektorju in tako izmerimo prostorsko odvisnost odziva detektorja.

Del raziskav smo posvetili razvoju tako imenovanih Silicijevih 3D-detektorjev, ki ponujajo najboljšo sevalno odpornost ter hkrati odlično krajevno in časovno ločljivost.

Proučevali smo vpliv izpostavljenosti visokim temperaturam na delovanje močno obsevanih LGAD. Ugotovili smo, da bi bilo z gretjem za določen čas do približno 350 °C možno izboljšati sevalno odpornost LGAD. Seveda pa izpostavljenost detektorskega sistema tako visoki temperaturi povzroči vrsto praktičnih težav, ki jih je še treba rešiti.

Naša skupina se ukvarja tudi z razvojem silicijevih detektorjev za nabite delce za naslednjo generacijo hadronskih trkalnikov, kot je Future Circular Collider (FCC). Delo na tem področju zajema meritve odziva detektorjev po obsevanju s hadroni do ekstremnih fluenc, to je do 10^{17} n/cm² in več. V letu 2022 smo izvedli nekaj obsevanj in meritev z detektorji, obsevanimi do ekstremnih fluenc.

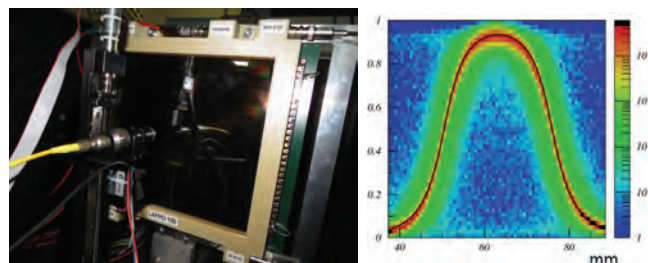
Pri razvoju diamantnih detektorjev smo se leta 2022 ukvarjali z detektorji za sistem BCM'. Izvedli smo več meritev v laboratoriju s sevanjem iz radioaktivnega izvira ⁹⁰Sr in tudi v testnem žarku. Merili smo z diamantnim senzorjem površine 1 cm x 1 cm in z debelino 500 μm. Na površino diamanta je nanosenih več bralnih elektrod, ki so povezane z bralnim čipom Calypso, ki je bil namensko izdelan za BCM'.

V letu 2022 smo v okviru bilateralnega projekta z Institutom NürDAM, Bolu, Turčija razvijali dozimetre vrste FET, pri katerih je pod kovino na vratih dodana plast bora (¹⁰B), kar zelo poveča občutljivost na termične nevtrone. Dozimetre smo obsevali z nevtroni v reaktorju TRIGA in prvi rezultati so spodbudni, zato bomo z meritvami nadaljevali.

Fotonski detektorji

Raziskave fotonskih senzorjev za novo generacijo detektorjev obročev Čerenkova (RICH) smo nadaljevali tudi v letu 2022. Za nadgradnjo detektorja Belle II v smeri naprej in za nadgradnjo detektorja obročev Čerenkova pri spektrometru LHCb razvijamo detektor posameznih fotonov, ki bo zelo hiter, bo imel fino prostorsko granulacijo, bo občutljiv za svetlobo daljših valovnih dolžin in bo zdržal radiacijsko obremenitev predvsem zaradi nevtronov. Naboru možnih kandidatov za izgradnjo fotonskega detektorja smo dodali LAPPD (Large Area Picosecond Photon Detector). V laboratoriju smo testirali njegove karakteristike (glej sliko 7), predvsem

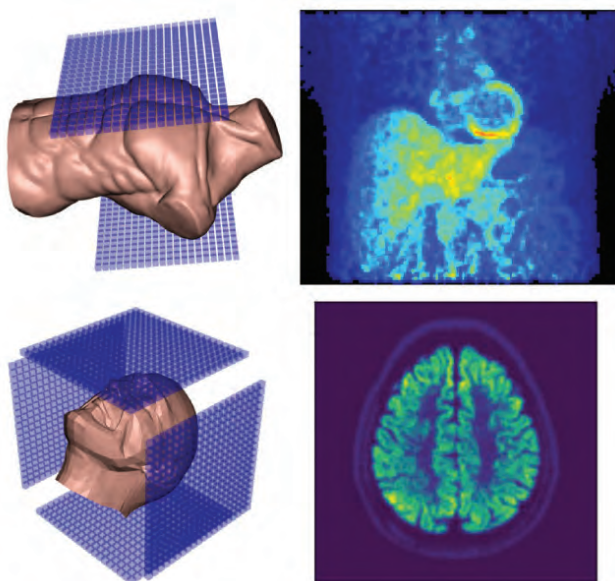
Odsek F9 je s svojim računskim centrom SiGNET z več kot 3072 jedri in okoli 6 PB podatkovne hrambe v letu 2022 nadaljeval sodelovanje v mednarodnih projektih in organizacijah WLCG, EGI, EGI/InSPIRE, Nordugrid.



Slika 7: Karakterizacija novega svetlobnega senzorja LAPPD (Large Area Picosecond Photon Detector). Levo: slika senzorja v sistemu za karakterizacijo prostorske in časovne ločljivosti. Desno: relativni odziv kanala širine 25,4 mm glede na mesto osvetlitve.

Naboru možnih kandidatov za izgradnjo fotonskega detektorja smo dodali LAPPD (Large Area Picosecond Photon Detector).

Zasnovali smo napravo za pozitronsko tomografijo (PET) s ploščatimi detektorji, ki na podlagi ultrahitrega zaznavanja omogoča rekonstrukcijo slike z občutno manjšo količino detekcijskega kristala, in s tem omogočili nižjo ceno in večjo fleksibilnost. Uspelo nam je pridobiti projekt Evropskega sveta za inovacije Pathfinder Open za izgradnjo in preizkus PET-naprave s ploščatimi detektorji.



Slika 8: Uporaba ploščatih detektorjev omogoča cenovno dostopno in fleksibilno pozitronsko tomografijo: detektorje se lahko prilagodi za različne vrste slikanj, npr. slikanje v kardiologiji (zgoraj) ali neurologiji (spodaj).

Za razvoj prvega večjega prototipa naprave za PET z uporabo svetlobe Čerenkova smo prejeli projekt ERC Proof of Concept Evropskega raziskovalnega sveta z naslovom CherPET.

in z ionizacijskim sevanjem sredice ob ustavljeni fisiji za različne znanstvene ustanove z vsega sveta. Reaktor IJS je referenčna obsevalna naprava pri razvoju silicijevih detektorjev in elektronike za LHC in druge eksperimente v fiziki delcev.

EURO-LABS

V letu 2022 je bil odobren, septembra pa je začel delovati projekt EURO-LABS v okviru programa Horizon Europe. Proračun projekta je 14,5 milijona evrov, vanj je vključenih 33 institucij iz 18 držav. Med drugim EURO-LABS

V letu 2022 je bil odobren, septembra pa je začel delovati projekt EURO-LABS v okviru programa Horizon EU s proračunom 14,5 milijona evrov.

krajevni in časovni odziv, ki sta pomembna parametra pri izbiri ustreznega senzorja za detektor obročev Čerenkova.

Detektorji za uporabo v medicini

Eksperimentalna fizika delcev stremi k razvoju in obvladovanju najsodobnejše tehnologije. Inovacije, ki izhajajo iz naših laboratorijev, se lahko koristno prenesejo tudi na druga področja. Medicinska fizika je uspešen primer, kjer uvajamo napredek na področju fotodetektorjev in bralne elektronike, da bi izboljšali detektorsko tehnologijo v nuklearni medicini in pri slikovnih metodah v biomedicinski optiki.

Zasnovali smo napravo za pozitronsko tomografijo (PET) s ploščatimi detektorji, ki na podlagi ultra hitrega zaznavanja omogoča rekonstrukcijo slike z občutno manjšo količino detekcijskega kristala, in s tem omogočili nižjo ceno in večjo fleksibilnost (slika 8). Z natančnimi fizikalnimi simulacijami smo pokazali, da takšen pristop doseže kakovost slik, primerljivo s trenutno najboljšimi komercialnimi napravami, omogoča pa tudi cenovno bolj ugodno hkratno slikanje celotnega telesa. Uspelo nam je pridobiti projekt Evropskega sveta za inovacije Pathfinder Open, za izgradnjo in preizkus PET-naprave s ploščatimi detektorji. Pri projektu PetVision bomo raziskovalci z Odseka za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev F9 sodelovali s partnerji z Univerze v Barceloni, Instituta za instrumentacijo za molekularno slikanje v Valencii, Fundacije Bruno Kessler iz Trenta, Klinike Rechst der Isar Tehnične Univerze v Munchnu, Massachusetts General Hospital iz Bostona in podjetja Oncovision iz Valencie.

Na podlagi naših izkušenj z uporabo svetlobe Čerenkova v eksperimentalni fiziki delcev razvijamo še eno vrsto naprednega detektorja za PET. Uporaba sevalcev svetlobe Čerenkova namesto tipično uporabljenih scintilatorjev omogoča naprave za PET, ki so hitreje in cenejše. Za razvoj prvega večjega prototipa takšne naprave za PET smo prejeli projekt ERC Proof of Concept Evropskega raziskovalnega sveta z naslovom CherPET.

Razvili smo tudi sistem za meritve življenjskega časa fluorescence, ki s pomočjo najnovejših detektorjev svetlobe omogoča hitreje meritve od obstoječih metod. Delovanje sistema smo demonstrirali več slovenskim in tujim podjetjem, ki delujejo na področjih biotehnologije in farmacije, in načrtujemo nadaljnji razvoj sistema za specifične potrebe teh podjetij.

Obsevanja v reaktorju TRIGA

Na Reaktorskem centru v Podgorici smo izvedli več obsevanj z nevtroni in v letu 2022 je bil odobren, septembra pa je začel delovati projekt EURO-LABS v okviru programa Horizon Europe. Proračun projekta je 14,5 milijona evrov, vanj je vključenih 33 institucij iz 18 držav. Med drugim EURO-LABS financira dostop do infrastrukture za raziskave detektorjev in F9 skupaj z RIC koordinira to področje. S projektom EURO-LABS je omogočeno obsevanje detektorjev na reaktorju TRIGA in v letu 2022 smo izvedli več obsevanj iz tega programa.

ERC-projekti

1. H2020 - FAIME; Anomalije v fiziki okusov z naprednimi identifikacijskimi metodami
European Commission
prof. dr. Peter Križan

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. ATLAS Collaboration, A detailed map of Higgs boson interactions by the ATLAS experiment ten years after the discovery, *Nature*, 2022, 607, 52–59, DOI: 10.1038/s41586-022-04893-w
2. ATLAS Collaboration, Search for invisible Higgs-boson decays in events with vector-boson fusion signatures using 139 fb⁻¹ of proton-proton data recorded by the ATLAS experiment, *JHEP*, 2022, 2022, 8, 104, DOI: 10.1007/JHEP08(2022)104
3. ATLAS Collaboration, Direct constraint on the Higgs-charm coupling from a search for Higgs boson decays into charm quarks with the ATLAS detector, *Eur.Phys.J.C*, 2022, 82, 717, DOI: 10.1140/epjc/s10052-022-10588-3 (publication)
4. ATLAS Collaboration, Measurements of Higgs boson production cross-sections in the $H \rightarrow \tau^+ \tau^-$ decay channel in pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector, *JHEP*, 2022, 2022, 8, 175, DOI: 10.1007/JHEP08(2022)175
5. ATLAS Collaboration, Search for long-lived charginos based on a disappearing-track signature using 136 fb⁻¹ of pp collisions at $\sqrt{s} = 13$ TeV with the ATLAS detector, *Eur.Phys.J.C*, 2022, 82, 7, 606, DOI: 10.1140/epjc/s10052-022-10489-5
6. A. Howard *et al.*, Determination of impact ionization parameters for low gain avalanche detectors produced by HPK, *JINST*, 2022, 17, P10036
7. L. Diehl *et al.*, Investigation of the signal amplitude decrease in subsequent detection in irradiated silicon sensors, *Nucl. Inst. & Meth. A*, 2022, 1036, 166873
8. A. Studen, N. Clinthorne, System resolution versus image uncertainty for positron emission tomography scanners, *Journal of medical imaging*, 2022, 9, 3, 033501-033519, DOI: 10.1117/1.JMI.9.3.033501
9. G. Razdevšek *et al.*, Multi-panel limited angle PET system with 50 ps FWHM coincidence time resolution: a simulation study, *IEEE transactions on radiation and plasma medical sciences*, 2022, 6, 6, 721–730, DOI: 10.1109/TRPMS.2021.3115704
10. Skomina Petja, Hiti Bojan, Cindro Vladimir, Howard Alissa, Mandić Igor, Mikuž Marko, Kramberger Gregor, Studies of inter-pad distance in low gain avalanche detectors, *Nuclear instruments and methods in physics research, Section A, Accelerators, spectrometers, detectors and associated equipment*, 2022, 1027, 166158-1-166158-7, DOI: 10.1016/j.nima.2021.166158
11. Howard Alissa, Cindro Vladimir, Hiti Bojan, Kramberger Gregor, Kljun Žan, Mandić Igor, Mikuž Marko, Determination of impact ionization parameters for low gain avalanche detectors produced by HPK, *Journal of instrumentation*, 2022, 17, 10, p10036-1-p10036-13, DOI: 10.1088/1748-0221/17/10/P10036

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Belle mednarodna delavnica za nadobudne dijake 2022, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, 16. 3. 2022
- ATLAS mednarodna delavnica za nadobudne dijake 2022, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, 4. 4. 2022
2. 10. obletnica Higgsovega bozona, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija, 4. 7. 2022
3. VII. Mediteranska tematska delavnica naprednega molekularnega slikanja, Portorož, Slovenija, 5. 9.–7. 9. 2022
4. Noč ima svojo moč, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, Slovenija, 30. 9. 2022

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ERC H2020 - FAIME; Anomalije v fiziki okusov z naprednimi identifikacijskimi metodami
European Commission
prof. dr. Peter Križan
2. H2020 - JENNIFER2; Japonsko - evropska mreža za eksperimentalne raziskave na področju neutrinov in obzorja natančnosti
European Commission
prof. dr. Rok Pestotnik
3. H2020 - EUROCC; Nacionalni kompetenčni centri v okviru EuroHPC
European Commission
prof. dr. Marko Mikuž
4. H2020 - AIDAInnova; Razvoj in inovacije detektorskih tehnologij za uporabo na pospeševalnikih
European Commission
dr. Gregor Kramberger
5. H2020 - HITRIplus; Integracija raziskav težko jonskih terapij
European Commission
doc. dr. Andrej Studen

6. Izdelava in kvalifikacija dozimetrov NürFET za uporabo v nuklearnih reaktorjih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Gregor Kramberger
7. Študij leptonskih anomalij
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Peter Križan
8. Hitri časovni detektorji za pozitronsko tomografijo
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Rok Pestotnik
9. OE - interTwin; Interdisciplinarni digitalni dvojček za znanost
European Commission
prof. dr. Andrej Filipčič
10. OE - EURO-LABS; Evropski laboratoriji za znanost na pospeševalnikih EVRO-LZP
European Commission
prof. dr. Marko Mikuž

PROGRAMA

1. Večglasniška astrofizika
prof. dr. Marko Zavrtanik
2. Eksperimentalna fizika osnovnih delcev
prof. dr. Borut Paul Kerševan

PROJEKTI

- Razvoj metod strojnega učenja za analizo podatkov na Velikem hadronskem trkalniku (LHC)
dr. Andrej Gorišek
- Daljinsko zaznavanje atmosfere na observatoriju Cherenkov Telescope Array in njen vpliv na opazovanje visokoenergijskih kozmičnih gama žarkov
prof. dr. Marko Zavrtanik
- Razvoj prostorsko občutljivega detektorja časa v eksperimentu ATLAS
dr. Gregor Kramberger
- Napredni detektor za pozitronsko tomografijo z meritvijo časa preleta
prof. dr. Samo Korpar
- Nadgradnja sledilnega sistema detektorja ATLAS za delovanje na LHC z visoko luminoznostjo
prof. dr. Marko Mikuž
- Deetektorji obroček Cherenkova za naslednjo generacijo eksperimentov
prof. dr. Peter Križan
- Razvoj sistema za protonsko CT slikanje za uporabo silicijevih detektorjev z nizkim ojačanjem
dr. Gregor Kramberger
- BELLE II
prof. dr. Peter Križan
- Kolaboracija CERN RD-39
CERN
prof. dr. Marko Mikuž
- Kolaboracija CERN RD-50
CERN
prof. dr. Marko Mikuž
- Kolaboracija DELPHI
CERN
prof. dr. Borut Paul Kerševan
- Kolaboracija ATLAS
CERN
prof. dr. Marko Mikuž
- Kolaboracija CERN RD-42
CERN
prof. dr. Marko Mikuž
- Kolaboraciji Belle in Belle II
KEK - High Energy Accelerator Research
prof. dr. Peter Križan
- Obsevanja v jedrskem reaktorju TRIGA
prof. dr. Vladimir Cindro
- MEDAMI 2022 - 7. Sredozemska tematska delavnica o naprednem molekularnem slikanju, Grand Hotel Portorož, Slovenija, 5. - 9. september 2022
prof. dr. Rok Pestotnik

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

- Analize kakovosti izdelave fleksibilnih vezij
Elgoline, d. o. o.
dr. Andrej Gorišek

OBISKI

- dr. Andrii Tykhonov, Univerza v Ženevi, Ženeva, Švica, 30. 3. 2022
- Jovana Doknić, Univerza v Črni gori, Naravoslovno matematična fakulteta v Podgorici, Podgorica, Črna gora, 4. 7.-9. 7. 2022
- Ivona Božović, Univerza v Črni gori, Naravoslovno matematična fakulteta v Podgorici, Podgorica, Črna gora, 4. 7.-9. 7. 2022
- Fasih Zareef, Univerza za znanost in tehnologijo, Krakow, Poljska, 4. 7.-14. 7. 2022
- dr. Andrii Tykhonov, Univerza v Ženevi, Ženeva, Švica, 1. 7.-31. 8. 2022
dr. Marcela Mikešitkov, Institut za fiziko Češke akademije znanosti, Praga, Češka, 24. 10.-25. 10. 2022
dr. Pavla Federičov, Institut za fiziko Češke akademije znanosti, Praga, Češka, 24. 10.-25. 10. 2022
- mag. Patrik Novotny, Institut za fiziko Češke akademije znanosti, Praga, Češka, 24. 10.-25. 10. 2022
- Andrej Filipčič, EuroHPC Summit Week, Pariz, Francija, 21. 3.-25. 3. 2022
- Andrej Filipčič, Jakob Merljak, Nordugrid ARC7 Technical Workshop, Lund, Švedska, 3. 5.-5. 5. 2022 (1)
- Andrej Filipčič, Jakob Merljak, Austrian - Slovenian HPC Meeting 2022, Seeblickhotel Grundsee, Avstrija, 30. 5.-2. 6. 2022 (1)
- Andrej Filipčič, Barcelona Build vs Buy HPC Summit 3B4HPC, Barcelona, Španija, 29. 6.-2. 7. 2022
- Andrej Filipčič, EGI Conference 2022, Praga, Češka, 18. 9.-20. 9. 2022
- Andrej Filipčič, Andrej Gorišek, Borut Paul Kerševan, Blaž Leban, Marko Mikuž, picel ATLAS Week 2022, Lizbona, Portugalska, 9. 10.-15. 10. 2022 (1)
- Andrej Filipčič, konferenca QT4HEP22, Ženeva, Švica, 31. 10.-2. 11. 2022
- Andrej Filipčič, WLCG Workshop, Lancaster, Velika Britanija, 7. 11.-10. 11. 2022
- Andrej Gorišek, konferenca CIPANP 2022, Lake Buena Vista, ZDA, 29. 8.-5. 9. 2022 (1)
- Andrej Gorišek, Gregor Kramberger, Marko Mikuž, konferenca PIXEL2022, Santa Fe, New Mexico, ZDA, 11. 12.-16. 12. 2022 (3)
- Bojan Hiti, The 30th International on Lepton Photon Interactions at High Energies, Manchester, Velika Britanija, 10. 1.-13. 1. 2022 (*virtualno*) (1)
- Borut Paul Kerševan, konferenca JENAS2022, Madrid, Španija, 3. 5.-7. 5. 2022
- Gregor Kramberger, konferenca RAPP22, Thessaloniki, Grčija, 5. 6.-12. 6. 2022 (1)
- Gregor Kramberger, poletna šola NDRA2022, Riva del Garda, Italija, 2. 7.-4. 7. 2022 (1)
- Peter Križan, konferenca Clues to a mysterius Universe, Kitzbuehl, Avstrija, 26. 6.-1. 7. 2022 (1)
- Peter Križan, Blaž Leban, ICHEP 2022, Bolonia, Italija, 6. 7.-13. 7. 2022 (2)
- Peter Križan, 2022 LHC Days in Split, Split, Hrvaška, 4. 10.-5. 10. 2022 (1)
- Samo Korpar, Rok Pestotnik, 15th Pisa Meeting on Advanced Detectors, La Biodola - Elba, Italija, 22. 5.-28. 5. 2022 (1)
- Samo Korpar, Kick - off - meeting: Synergies between the Electron-Ion Collider and the Large Hadron Collider, Ženeva, Švica, 19. 6.-22. 6. 2022
- Samo Korpar, Andrej Lozar, Anja Novosel, Rok Pestotnik, Marko Starič, Luka Šantelj, konferenca RICH2022, Edinburgh, Velika Britanija, 11. 9.-17. 9. 2022 (2)
- Blaž Leban, konferenca SUSY2022, Ioannina, Grčija, 26. 6.-3. 7. 2022 (1)
- Blaž Leban, Exotic Workshop 2022, Amsterdam, Nizozemska, 26. 9.-30. 9. 2022
- Blaž Leban, Andrej Lozar, ESHEP 2022, Jeruzalem, Izrael, 30. 11.-14. 12. 2022
- Dejan Lesjak, NDGF AHM 2022-01, Oslo, Norveška, 20. 6.-23. 6. 2022
- Igor Mandić, Gregor Kramberger, 41st RD50 Workshop, Sevilla, Španija, 28. 11.-2. 12. 2022
- Jakob Novak, HDBS Workshop, Uppsala, Švedska, 5. 9.-10. 9. 2022
- Rok Pestotnik, LHCB TORCH meeting, Hastings, Velika Britanija, 7. 4.-8. 4. 2022
- Rok Pestotnik, Luka Šantelj, FTMI 2022 Workshop: Fast Timing in Medical Imaging, Valencia, Španija, 2. 6.-6. 6. 2022 (1)
- Rok Pestotnik, konferenca NDIP2022: New Developments in photon detection, Le Troies, Pariz, Francija, 4. 7.-8. 7. 2022 (1)
- Andrej Seljak, konferenca TWEPP Topical Workshop on Electrics for Particle Physics, Bergen, Norveška, 18. 9.-24. 9. 2022 (1)
- Marko Starič, konferenca BEACH 2022, Krakow, Poljska, 5. 6.-11. 6. 2022 (1)
- Luka Šantelj, 19. Božični simpozij fizikov, Maribor, Slovenija, 15. 12.-16. 12. 2022
- Marko Zavrtanik, RAP22 - International Conference on Radiation Applications, Thessaloniki, Grčija, 5. 6.-12. 6. 2022 (1)

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- dr. Andrii Tykhonov, Catching TeV - PeV cosmic rays in space, 30. 3. 2022
- dr. Karol Adamczyk, Lepton universality tests in B-meson decays - a laboratory to search for new physics, 25. 8. 2022
- Jan Gavranovič, Uporaba strojnega učenja za simulacijo porazdelitev opazljivk na Velikem hadronskem trkalniku, 2. 9. 2022
- Jernej Debevc (MR), Meritve časovnih lastnosti CMOS detektorja nabityh delcev, 6. 9. 2022
- Krištof Špenko (MR), Uporaba metod strojnega učenja za hitro ekstrapolacijo sledi delcev v detektorjih na Velikem hadronskem trkalniku, 8. 9. 2022
- dr. Dania Consuegra Rodriguez, Cerenkov PET detector based on silicon photomultipliers, 12. 10. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Karol Mateusz Adamczyk, Marko, Bračko, Anja Novosel, Marko Starič, Luka Senekovič, Luka Šantelj, Workshop: Quirks in Quark Flavour Physics, Zadar, Hrvaška, 13. 6.-17. 6. 2022
- Karol Mateusz Adamczyk, konferenca NuFACT 2022, Utah, ZDA, 31. 7.-8. 8. 2022 (1)
- Karol Mateusz Adamczyk, Samo Korpar, Anja Novosel, Luka Šantelj, 2022 Belle II Physics Week, Valencia, Španija, 27. 11.-3. 12. 2022 (1)
- Vladimir Cindro, Igor Mandić, Marko Mikuž, ATLAS ITK Week, Bonn, Nemčija, 2. 9.-16. 9. 2022 (2)
- Rok Dolenc, Samo Korpar, Peter Križan, Dania Consuegra, Rodriguez, Andrej Studen, Dejan Žontar, konferenca MEDAMI2022, Portorož, Slovenija, 5. 9.-7. 9. 2022 (1)
- Rok Dolenc, Rok Pestotnik, Andrej Seljak, IEEE Nuclear Science Symposium nad Medical Imaging Conference, Milano, Italija, 6. 11.-12. 11. 2022 (3)

- Rok Pestotnik, LHCB TORCH meeting, Hastings, Velika Britanija, 7. 4.-8. 4. 2022
- Rok Pestotnik, Luka Šantelj, FTMI 2022 Workshop: Fast Timing in Medical Imaging, Valencia, Španija, 2. 6.-6. 6. 2022 (1)
- Rok Pestotnik, konferenca NDIP2022: New Developments in photon detection, Le Troies, Pariz, Francija, 4. 7.-8. 7. 2022 (1)
- Andrej Seljak, konferenca TWEPP Topical Workshop on Electrics for Particle Physics, Bergen, Norveška, 18. 9.-24. 9. 2022 (1)
- Marko Starič, konferenca BEACH 2022, Krakow, Poljska, 5. 6.-11. 6. 2022 (1)
- Luka Šantelj, 19. Božični simpozij fizikov, Maribor, Slovenija, 15. 12.-16. 12. 2022
- Marko Zavrtanik, RAP22 - International Conference on Radiation Applications, Thessaloniki, Grčija, 5. 6.-12. 6. 2022 (1)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Marko Bračko, Jurij Eržen, Boštjan Golob, Samo Korpar, Peter Križan, Andrej Lozar, Rok Pestotnik, Marko Starič, Andrej Seljak, Luka Senekovič, Luka Šantelj: KEK, Tsukuba, Japonska (krajši obiski – delo na kolaboraciji Belle, B2GM srečanja skozi vse leto) (*virtualno*)

2. Vladimir Cindro, Jernej Debevc, Andrej Filipčič, Andrej Gorišek, Jan Gavranovič, Bojan Hiti, Alissa Shirley-Ann Howard, Borut Paul Kerševan, Gregor Kramberger, Dejan Lesjak, Blaž Leban, Miha Mali, Boštjan Maček, Igor Mandič, Marko Mikuž, Jakob Novak, Andrej Studen, Marko Zavrtanik: CERN, Ženeva, Švica (krajši obiski – delo na kolaboracijah ATLAS, RD-42 in RD50) (*virtualno*)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. Karol Mateusz Adamczyk, PhD., Poljska
2. doc. dr. Marko Bračko*
3. prof. dr. Vladimir Cindro, znanstveni svetnik
4. doc. dr. Rok Dolenc*
5. prof. dr. Andrej Filipčič
6. prof. dr. Boštjan Golob*, znanstveni svetnik
7. dr. Andrej Gorišek
8. **prof. dr. Borut Paul Kerševan***, znanstveni svetnik - vodja odseka
9. prof. dr. Samo Korpar*, znanstveni svetnik
10. dr. Gregor Kramberger, znanstveni svetnik
11. prof. dr. Peter Križan*, znanstveni svetnik
12. dr. Boštjan Maček
13. doc. dr. Igor Mandič
14. prof. dr. Marko Mikuž*, znanstveni svetnik
15. prof. dr. Rok Pestotnik
16. doc. dr. Tomaž Podobnik*
17. dr. Andrej Seljak
18. prof. dr. Marko Starič, znanstveni svetnik
19. doc. dr. Andrej Studen*
20. prof. dr. Marko Zavrtanik, znanstveni svetnik
21. prof. dr. Danilo Zavrtanik*, znanstveni svetnik
22. doc. dr. Dejan Žontar*

Podoktorski sodelavci

23. dr. Bojan Hiti
24. dr. Luka Šantelj

Mlajši raziskovalci

25. dr. Dania Consuegra Rodriguez
26. Jernej Debevc, mag. fiz.
27. Jan Gavranovič, mag. fiz.
28. Alissa Shirley-Ann Howard, M.Sci., Združeno kraljestvo
29. Blaž Leban, mag. fiz.
30. Andrej Lozar, mag. med. fiz.
31. Miha Mali, mag. fiz.

32. Jakob Novak, mag. fiz.
33. Anja Novosel, mag. fiz.
34. Ihor Prudiiiev, Master, Ukrajina
35. *Leonardo Benjamin Rizzuto, odšel 1. 11. 2022*
36. *Luka Senekovič, mag. fiz., odšel 15. 10. 2022*
37. Krištof Špenko, mag. fiz.
38. Valentina Igorevna Zhukova, Msc., Rusija

Strokovni sodelavci

39. Jakob Merljak, dipl. inž. rač. in inf. (UN)
40. Brigita Novak, dipl. inž. fiz. (VS)

Tehniški in administrativni sodelavci

41. Andreja Butina Čalič, mag. posl. ved
42. Jurij Eržen
43. Dejan Lesjak, dipl. posl. inf. (VS)
44. Erik Margan

Opomba

- * delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. CERN – European Organization for Nuclear Research, Ženeva, Švica
2. DESY – Deutsches Elektronen-Synchrotron, Hamburg, Nemčija
3. ELGO line, Proizvodno podjetje, d. o. o., Podskrajnik, Cerknica
4. FERMLAB, Chicago, ZDA
5. KEK – High Energy Accelerator Research Organization, Tsukuba, Japonska
6. Univerza v Nišu, Elektro Fakulteta, Niš, Srbija
7. Kolaboracija ATLAS (174 institucij)
8. Kolaboracija Belle (62 institucij)
9. Onkološki Inštitut, Ljubljana
10. Pierre Auger Observatory, Argentina (94 institucij)
11. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
12. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Ljubljana
13. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Maribor
14. Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica
15. Uprava RS za varstvo pred sevanji, Ministrstvo za zdravje, Ljubljana

ODSEK ZA ANORGANSKO KEMIJO IN TEHNOLOGIJO

K-1

Odsek za anorgansko kemijo in tehnologijo je ena od vodilnih skupin v svetu na področju sinteze novih anorganskih spojin, ki vsebujejo fluor. Glavna raziskovalna področja so: sinteza novih koordinacijskih spojin z različnimi ligandi, kemija žlahtnih plinov, kemija elementov glavnih skupin, sinteza hibridnih materialov in sinteza novih anorganskih materialov s posebnimi lastnostmi. Znatno del dejavnosti skupine je usmerjeno v reševanje tehnološke, ekološke in varnostne problematike. Skupina že več kot trideset let tesno sodeluje z gospodarstvom. Aktivna je tudi na področju izobraževanja ter skrbi za promocijo naravoslovnih znanosti predvsem med učenci srednjih in osnovnih šol.

S področja raziskav novih anorganskih spojin lahko izpostavimo spojine z anioni $[\text{AuF}_6]^-$. Iz raztopin M^{2+} ($\text{M} = \text{Ca}, \text{Sr}, \text{Ba}$) in $[\text{AuF}_6]^-$ (molsko razmerje 1:2) v brezvodnem vodikovem fluoridu smo pripravili kristale $[\text{Ca}(\text{HF})_2(\text{AuF}_6)_2]$, $[\text{Sr}(\text{HF})_2(\text{AuF}_6)_2]$ in $\text{Ba}[\text{Ba}(\text{HF})_4(\text{AuF}_6)_4]$. V plastoviti strukturi $[\text{Ca}(\text{HF})_2(\text{AuF}_6)_2]$ so kationi $[\text{Ca}(\text{HF})_2]^{2+}$ povezani z enotami AuF_6 , medtem ko lahko kristalno strukturo $\text{Ba}[\text{Ba}(\text{HF})_4(\text{AuF}_6)_4]$ opišemo kot tridimenzionalno ogrodje (3-D), sestavljeno iz kationov Ba^{2+} in $[\text{Ba}(\text{HF})_4]^{2+}$, ki so povezani prek skupine AuF_6 . Z uporabo molskega razmerja $\text{M}^{2+}:[\text{AuF}_6]^-$ 1:1 smo pripravili kristale soli $[\text{Sr}(\text{HF})_2(\text{H}_3\text{F}_4)(\text{AuF}_6)]$. Kristalna struktura je sestavljena iz 3-D ogrodja, ki ga sestavljajo $[\text{Sr}(\text{HF})_2]^{2+}$ kationi, povezani z anioni $[\text{AuF}_6]^-$ in $[\text{H}_3\text{F}_4]^-$. Slednji ima konformacijo v obliki črke Z, ki prej ni bila znana. Kristale soli $\text{M}(\text{BF}_4)(\text{AuF}_6)$ ($\text{M} = \text{Sr}, \text{Ba}$) je mogoče pripraviti, če je bila med kristalizacijo prisotna majhna količina BF_3 . Med dolgotrajnimi postopki kristalizacije $[\text{AuF}_6]^-$ soli lahko vlaga prodre skozi stene kristalizacijske posode. To lahko privede do delne redukcije Au(V) v Au(III) in nastanka soli $[\text{AuF}_4]^-$, kot je pokazal nastanek kristalov $[\text{Ba}(\text{HF})_4(\text{AuF}_4)(\text{AuF}_6)_7]$. Njegovo kristalno strukturo sestavljajo kationi $[\text{Ba}(\text{HF})_4]^{2+}$, ki so povezani prek oktaedrov AuF_6 in kvadratno planarnih enot AuF_4 .

S pripravo in ustrezno karakterizacijo spojin z Bi^{3+} kot centralnim kationom in XeF_2 kot ligandom smo dodali nov primer v to raznoliko skupino spojin z žlahtnimi plini. $[\text{Bi}(\text{XeF}_2)_3(\text{BiF}_6)_3]$ lahko pripravimo z reakcijo med BiF_3 , BiF_5 in XeF_2 v brezvodnem vodikovem fluoridu. V spojinu je ista kovina prisotna v dveh oksidacijskih stanjih Bi(III) in Bi(V) . Kemija srebra je še naprej del raziskovalnih vsebin na odseku. Raziskovalno delo je bilo predstavljeno tudi na naslovnici revije *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie* (slika 1).

Nadaljuje se tudi delo pri projektu ERC Starting Grant, European Research Council, *Challenging the Oxidation-State Limitations of the Periodic Table via High-Pressure Fluorine Chemistry – HiPeR-F*, 2021–2026. Projekt HiPeR-F se osredotoča na raziskave kemijskih reakcij s fluorom pod izredno visokim tlakom – od 10.000 barov do prek 100.000 barov. Element fluor, ki ga zaradi svoje izjemne reaktivnosti lahko imenujemo kar tiger periodnega sistema, bo pod ekstremnimi pogoji omogočil preizkušanje omejitev, ki trenutno veljajo v kemiji. Gre torej za združitev dveh specializiranih eksperimentalnih in tudi ekstremnih področij raziskav – študij snovi pod izjemno visokimi pritiski in raziskave ekstremne kemijske reaktivnosti.

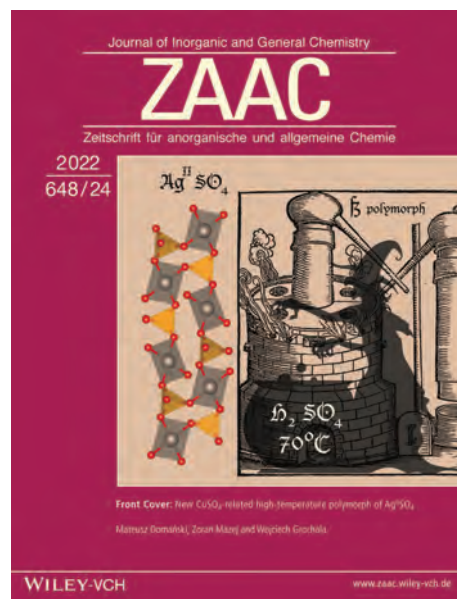
Fluorirne reagente na osnovi imidazola $[\text{IPrH}][\text{F}]$, $[\text{IPrH}][(\text{HF})\text{F}]$ in $[\text{IPrH}][(\text{HF})_2\text{F}]$, ki smo jih v preteklih letih pripravili, smo želeli proučiti z vidika njihove reaktivnosti z različnimi organskimi spojinami. Fluoriranje 4-tert-butilbenzil bromida je razkrilo, da je $[\text{IPrH}][\text{F}(\text{HF})_2]$ najbolj selektiven reagent, zlasti v kombinaciji z dodatkom sterično oviranega amina DIPEA ali fluoridov alkalijskih kovin in je odličen reagent za fluoriranje različnih organskih substratov. Obseg substratov, ki jih uspešno fluorira, vključuje benzil bromide, jodide in kloride, alifatske halogenide, tozilate, mezilate, alfa-haloketone, silil klorid, acil in sulfuril kloride ter nitroarene. Poleg tega je tudi stabilen na zraku in ni higroskopičen. Razmeroma preprosto ga je pripraviti in regenerirati po reakciji s fluorovodikovo kislino kot cenovno dostopnim virom fluorida.

Iste reagente smo uporabili za pripravo alkilaluminijevih spojin (AlR_3 , $\text{R} = \text{Me}, \text{n-Bu}$). Uspelo nam je izolirati soli, ki vsebujejo diskretne anione triorganofluoroaluminatov ($[\text{R}_3\text{AlF}]^-$), diorganofluoroaluminatov ($[\text{R}_2\text{AlF}_2]^-$) in organotrifluoroaluminatov ($[\text{RAlF}_3]^-$). Nastanek anionov $[\text{R}_2\text{AlF}_2]^-$ in $[\text{RAlF}_3]^-$ je spremljalo sproščanje RH . Sinteze so učinkovite, selektivne in preproste. Povezane reakcije arilaluminijevih spojin (AlPh_3) so vodile do mešanice različnih fenilfluoroaluminatnih anionov. NMR, ramansko spektroskopijo in rentgensko difrakcijsko analizo monokristalov smo uporabili za karakterizacijo in rezultate ovrednotili še s kalkulacijami DFT.



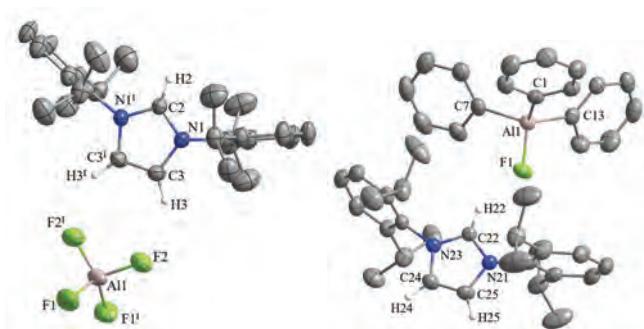
Vodja:

doc. dr. Gašper Tavčar



Slika 1: naslovnica revije *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, Issue No. 24, 2022 predstavlja članek *New CuSO_4 -related high-temperature polymorph of $\text{Ag}^{\text{II}}\text{SO}_4$* avtorjev Mateusza Domańki, Zorana Majeja and Wojciecha Grochala.

Raziskovalno področje kemije organokovinskih spojin dobiva vedno več pozornosti.



Slika 2: kristalni strukturi $[IPrH][AF_3]$ in $[IPrH][Ph_3F]$, rezultate raziskav smo objavili v reviji *Organometallics*, Issue 1, 2022

Obvladovanje varnosti v različnih okoljih postaja pomembno.

TRANSCPEARLYWARNING, ki se ukvarja z zgodnjim opozarjanjem na naravne in druge nevarnosti v Jadransko-Ionski regiji. Začeli smo delo na Horizon Europe projektu ATLANTIS, ki se ukvarja z varnostjo (nesreče in fizični ali kibernetični napadi) evropske kritične infrastrukture na ravni sistemov in povezav med njimi. Na aplikativnem področju smo vodili preiskavo posledic in vzrokov za večjo nesrečo v družbi Melamin, d. d., Kočevje, ki se je zgodila 12. 5. 2022, in za izredni dogodek v družbi UNIOR, d. d., Zreče, ki se je zgodila 26. 10. 2022.

Skupaj z našimi partnerji z Naravoslovnotehniške fakultete smo nadaljevali ponovno predelavo sekundarne svinčene žlindre z uporabo različnih gravitacijskih in magnetnih tehnik ločevanja, da bi pridobili obogatene tokove za nadaljnji hidrometalurški proces.

Treba je omeniti tudi dejavnosti odseka na področju izobraževanja. Sodelavci odseka so aktivno sodelovali na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana kot predavatelji in kot mentorji magistrskim in doktorskim študentom. Ob tem Šola eksperimentalne kemije, ki deluje v okviru odseka, ohranja izredno pomembne povezave Instituta s šolami, tako z osnovnimi kot srednjimi, zanimanje pa je tudi v vrtcih. Z izvedbo delavnic, bodisi na šolah ali v šolskem laboratoriju Odseka za anorgansko kemijo in tehnologijo omogočamo učencem eksperimentiranje in odkrivanje lastnosti snovi. Atraktivne kemijske poskuse pa smo v letu 2022 predstavili v okviru različnih prireditev, kot so Slovenski festival znanosti, Znanstival, festival Igraj se z mano. Del teh dejavnosti poteka s sodelovanjem pri projektu, ki ga poleg IJS financira tudi Mestna občina Ljubljana. S promocijo znanosti in raziskovanja ter neformalnim izobraževanjem je povezana tudi vseevropska akcija Noč raziskovalcev v okviru programa Obzorje Europa 2022. Konzorcij partnerjev Ustanova Hiša eksperimentov, Institut "Jožef Stefan", Kemijski inštitut, Tehniški muzej Slovenije, Geološki zavod Slovenije in Botanični vrt je v ta namen sooblikoval projekt Noč ima svojo moč. V preteklem letu smo zadnji petek v septembru v sklopu tega projekta organizirali in izvedli vrsto dejavnosti. Z delavnicami Šole eksperimentalne kemije smo se predstavili v osnovnih in srednjih šolah, domovih starejših občanov, knjižnici in v središču Ljubljane. V večernih urah smo v sodelovanju z raziskovalnimi odseki in centri odprli vrata instituta v Ljubljani in Podgorici. Obiskovalci so si ogledali nekatere odseke in centre, jedrski reaktor TRIGA ter sodelovali pri različnih delavnicah. Novost tega projekta v preteklem letu je predstavljala dejavnost Raziskovalci v šolah. Člani odseka smo v tem delovnem sklopu izvedli več kot 20 interaktivnih delavnic za osnovnošolce in srednješolce. Cilj te dejavnosti je bil približati raziskovalce in znanost mladi generaciji.

Članica Odseka za anorgansko kemijo in tehnologijo je bila v okviru projekta H2020 CSA Athena (<https://www.athenaequality.eu/>) vključena predvsem v delovni sklop, ki se je nanašal na spremljanje in vrednotenje dejavnosti, potrebnih za izvajanje Načrta enakosti spolov.

ERC-projekti

1. H2020 - HiPeR-F; Preizkušanje omejitev oksidacijskih stanj periodnega sistema s kemijo fluora pod visokimi tlaki
European Commission
doc. dr. Matic Lozinšek

V letu 2022 smo se osredotočili na sintezo bakrovih cianidnih tiocianatnih organokovinskih spojin (MOF). Z neposredno interakcijo CuCN in CuSCN z ustreznimi prehodnimi kovinami v ustreznem topilu nam je uspelo pridobiti novo anionsko mrežo $\{[Cu_8(SCN)_4(CN)_6]^{2-}\}_n$ z neskončnimi kanali, napolnjenimi s solvatiranimi kationi M^{2+} . Poleg tega smo z uporabo različnih originalnih sinteznih pristopov in drugih kovinskih kationov pripravili spojine z neznanimi anionskimi 2D fragmenti $\{[Cu_5(SCN)_3(CN)_5]^{3-}\}$, $\{[Cu_4(SCN)_2(CN)_5]^{3-}\}$ in $\{[Cu_2(SCN)_2(CN)]^{3-}\}$.

Sodelovali smo pri raziskavi priprave fosfonatnih prevlek za izboljšanje stabilnosti nanodelcev z energijsko pretvorbo navzgor pod fiziološkimi pogoji, prav tako pa smo sodelovali tudi pri raziskavah stabilnosti in viabilnosti teh delcev pod fiziološkimi pogoji. Začeli smo z raziskavami morebitne toksičnosti fluorida in aluminija, ki sta prisotna v čaju. Raziskava poteka v sodelovanju z Inštitutom za mikrobiologijo in imunologijo v Ljubljani.

Na področju upravljanja z industrijskimi tveganji smo v letu 2022 raziskovali in objavili dela na različnih področjih. Končali smo delo na področju uvajanja varne uporabe utekočinjenega zemeljskega plina (UZP) za pogon ladij (Evropski projekt SUPER-LNG PLUS), nadaljevali smo delo na raziskavi razmerij med slogi vodenja in sistemi obvladovanja varnosti v industrijskih organizacijah ter na EU Interreg projektu

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Z. Mazej, E. A. Goreschnik, Crystal growth from anhydrous HF solutions of M^{2+} ($M=Ca, Sr, Ba$) and $[AuF_6]^-$, not only simple $M(AuF_6)_2$ salts, *Inorganic chemistry*, 2022, **61**, 27, 10587-10597
2. B. Alič, J. Petrovčič, J. Jelen, G. Tavčar, J. Iskra, Renewable reagent for nucleophilic fluorination, *Journal of organic chemistry*, 2022, **87**, 9, 5987-5993
3. E. Gruden, M. Tramšek, G. Tavčar, Discrete organofluoroaluminate anions: synthetic, structural, and spectroscopic aspects, *Organometallics*, 2022, **41**, 1, 41-51
4. Z. Mazej, E. A. Goreschnik, Crystal structures of hexafluoroantimonate(V) salts of d-block metals in oxidation state +2, *European Journal of Inorganic Chemistry*, 2022, **2022**, 9, e20210107
5. T. Pavčnik, M. Lozinšek, K. Pirnat, A. Vižintin, T. Mandai, D. Aurbach, R. Dominko, J. Bitenc, On the practical applications of the magnesium fluorinated alkoxyaluminate electrolyte in Mg battery cells, *ACS applied materials & interfaces*, 2022, **14**, 23, 26766-26774
6. M. Gerbec, O. Aneziris, Uncertainties in failure rates in the LNG bunkering risk assessment, *Safety science*, 2022, **152**, 105774-1-105774-13

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Matic Lozinšek, član organizacijskega odbora, 28th Croatian-Slovenian Crystallographic Meeting, 7.-11. 9. 2022, Poreč, Hrvaška
2. Matic Lozinšek, član organizacijskega odbora, Slovenski kemijski dnevi 2022, 21.-23. 9. 2022, Portorož, Slovenija

Patenta

1. Piotr Połczyński, Rafał Jurczakowski, Piotr J. Leszczyński, Wojciech Rafał Grochala, Zoran Mazej, Metoda elektrosintezy związków srebra(II) i produkty otrzymane tą metodą, PL240270 (B1), Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej, 7. 3. 2022
2. Piotr J. Leszczyński, Adam Krzysztof Budniak, Wojciech Marek Adamczyk, Jakub Henryk Gawraczyński, Tomasz Edward Gilewski, Piotr Połczyński, Rafał Jurczakowski, Wojciech Rafał Grochala, Zoran Mazej, Methods for obtaining salts of silver(II) and hydrates thereof, products obtained by the methods and use of the same, EP3347309 (B1), European Patent Office, 20. 7. 2022

Nagrade in priznanja

1. Erik Uran, 3rd Place Prize at the Student Paper Contest, Slovenski kemijski dnevi 2022, september 2022, Portorož, Slovenija
2. Klemen Motaln, Best presentation by a young scientist, 28th Croatian-Slovenian Crystallographic Meeting, september 2022, Poreč, Hrvaška
3. Erik Uran, Best Poster Award, 20th European Symposium on Fluorine Chemistry, avgust 2022, Berlin, Nemčija
4. Erik Uran, Best Student Oral Presentation Award, 4th International Congress of Chemists and Chemical Engineers of Bosnia and Herzegovina, julij 2022, Sarajevo, Bosna in Hercegovina
5. Klemen Motaln, Best abstract in the field of Nanosciences and Nanotechnologies, 14th Jožef Stefan International Postgraduate School Students' Conference, junij 2022, Kamnik, Slovenija
6. Melita Tramšek, priznanje Prometej znanosti za odličnost v komuniciranju za leto 2021
7. Melita Tramšek, priznanje za uredniško delo pri reviji *Acta Chimica*, Slovenski kemijski dnevi 2022, september 2022, Portorož, Slovenija

MEDNARODNI PROJEKTI

- ERC H2020 - HiPeR-F; Preizkušanje omejitev oksidacijskih stanj periodnega sistema s kemijo fluora pod visokimi tlaki
European Commission
doc. dr. Matic Lozinšek
- Čiščenje tantalovega in niobijevega hidroksida
Mining Mineral Resources S.A.R.L.
doc. dr. Gašper Tavčar
- H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
dr. Melita Tramšek
- Silicij in fluor: Univerzalna kombinacija za nove mešane polimerizacijske enote, zaščito ozonske plasti in prenos CF₃
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Gašper Tavčar
- Supramolekularni sklopi vinilnih monomerov kot matrice za templatno polimerizacijo
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Evgeny Goreschnik
- Reaktivnost zlahtnih plinov v ekstremnih okoljih vesolja
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Kristian Radan
- Visokotlačna strukturna študija ksenonovih spojin, ki tvorijo ogrodja
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Matic Lozinšek
- OE - NOCMOC; (Noč ima svojo moč), Evropska noč raziskovalcev
European Commission
dr. Melita Tramšek
- OE - ATLANTIS; Izboljšana odpornost kritične infrastrukture napram velikim mednarodnim in sistemskim tveganjem
European Commission
prof. dr. Marko Gerbec

PROGRAM

- Anorganska kemija in tehnologija
doc. dr. Gašper Tavčar

PROJEKTI

- Celostna ocena trajnosti kritičnih surovin - odpravljanje vrzeli in razvoj novih metodoloških pristopov
dr. Robert Kocjančič
- Iskanje visoko temperaturne superprevodnosti in eksotičnega magnetizma v fluorido argentatih(II)
doc. dr. Matic Lozinšek
- Napredni reagenti za (asimetrično) nukleofilno fluoriranje
doc. dr. Gašper Tavčar
- Določevanje struktur spojin zlahtnih plinov s 3D elektronsko difrakcijo
doc. dr. Matic Lozinšek
- Visokotlačna stabilizacija in fazni prehodi zmuzljivih fluoridov prehodnih kovin
doc. dr. Matic Lozinšek
- Uporaba sekundarnih svinčevih žlinder kot vir sekundarnih surovin za pridobivanje svinca
doc. dr. Gašper Tavčar
- PLASMA SEED TREATMENT: Inovativna eko plazemska obdelava semen (za setev ter za prehrano ljudi in živali)
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
doc. dr. Gašper Tavčar
- SUPER LNG PLUS
Demokritos
prof. dr. Marko Gerbec
- Svetovanja in analize za tuje kupce
prof. dr. Maja Ponikvar-Svet
- P439148; Metoda oligomerizacije nenasičenih ogljikovodikov
University of Warsaw
dr. Zoran Mazej

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

- Preiskava vzrokov in posledic izrednega dogodka
Melamin, kemična tovarna, d. d.
prof. dr. Marko Gerbec
- L1-2608 sofinanciranje L-projekta : Uporaba sekundarnih svinčevih žlinder kot vir sekundarnih surovin za pridobivanje svinca
TH Re-MINING, d. d.
doc. dr. Gašper Tavčar
- Ocena ogroženosti za opretni sistem in obstoječega Varnostnega načrta upravljavca Plinovodi, d. o. o.
prof. dr. Marko Gerbec

OBISKI

- Vit Jenček in Michal Trojan, sodelovanje pri projektu CZ-SI, VSCHT, Praga, Češka, od 22. 1. 2022 do 12. 2. 2022
- dr. Luka Fotović, delovni obisk, delo v laboratoriju in izpopolnjevanje, Zavod za opcu i anorgansku kemiju, Kemijski odsjek, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvaška, od 25. 4. 2022 do 31. 7. 2022
- Xaver Hanushevsky, delovni obisk, Universität Wien, Dunaj, Avstrija, od 1. 6. 2022 do 31. 7. 2022
- izr. prof. dr. Marko Rodič, vzpostavitev in začetek znanstvenega sodelovanja na področju eksperimentalnega določevanja elektronske gostote, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Srbija, od 20. 6. 2022 do 29. 6. 2022
- izr. prof. dr. Vladimir Stilinović, odsečno predavanje in pogovori o sodelovanju, Prirodoslovno-matematički fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvaška, 18. 7. 2022
- prof. Alain Tressaud; obisk v okviru sodelovanja na področju fluorokemije, CNRS, Bordeaux, Francija, od 19. 7. 2022 do 21. 7. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- izr. prof. dr. Marko Rodič, odsečno predavanje z naslovom: Towards self-drying Schiff base MOF-s for carbon capture, 27. 6. 2022
- izr. prof. dr. Vladimir Stilinović, odsečno predavanje z naslovom: Halogen bond - from a weakly attractive to a partially covalent interaction, 18. 7. 2022
- dr. Luka Fotović; Odsečno predavanje z naslovom: Halogenated organic cations as halogen bond donors, 18. 7. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Matic Lozinšek, Erik Uran, ogled specialne raziskovalne opreme, Zagreb, Hrvaška, 21. 1. 2022
- Matic Lozinšek, Erik Uran, udeležba na delavnici: Determination of X-ray charge density *Bring your own datasets*, Zagreb, Hrvaška, 21. 2.-25. 2. 2022
- Gašper Tavčar, Raziskovalni obisk in vabljen predavanje v Centru novih tehnologij, Varšava, Poljska, 25. 4.-27. 4. 2022
- Matic Lozinšek, usposabljanje oziroma trening na kupljeni opremi za študij lastnosti in strukture materialov pod visokimi tlaki, Diksmuide, Belgija, 27. 4.-30. 4. 2022
- Marko Gerbec, projektni sestanek in udeležba na konferenci CISAP10, Bologna, Italija, 8. 5.-11. 5. 2022
- Anja Pavlovič, Klemen Motaln, Udeležba na konferenci IPSSC, Kamnik, Slovenija, 1. 6.-3. 6. 2022
- Erik Uran, udeležba na poletni šoli: Crystallography under extreme conditions the future is bright and very compressed, Erice, Italija, 3. 6.-10. 6. 2022
- Matic Lozinšek, udeležba na konferenci INCOME 2022, Cagliari, Italija, 5. 6.- 20. 6. 2022
- Klemen Motaln, udeležba na Zürich School of Crystallography 2022, Zürich, Švica, 19. 6.-7. 7. 2022
- Matic Lozinšek, Miha Virant, Erik Uran, Kristian Radan, udeležba na konferenci ICCCEB&H 2022 Sarajevo, Sarajevo, Bosna in Hercegovina, 29. 6.-2. 7. 2022
- Erik Uran, udeležba na delavnici: 7th European Crystallographic School, Lizbona, Portugalska, 9. 7.-16. 7. 2022
- Melita Tramšek, delovni sestanek na AMSE-22, Opatija, Hrvaška, 21. 7. 2022
- Matic Lozinšek, obisk raziskovalne skupine prof. dr. Simona Parsonsa, Edinburg, Velika Britanija, 3. 8.-10. 8. 2022
- Evgeny Goreschnik, Udeležba na 33th European crystallographic meeting, Versaille, Francija, 23. 8.-27. 8. 2022

15. Gašper Tavčar, Zoran Mazej, Melita Tramšek, Jan Gnidovec, Evelin Gruden, Matic Lozinšek, Kristian Radan, Klemen Motaln, Erik Uran, Miha Virant, 20th European Symposium on Fluorine Chemistry, Berlin, Nemčija 13. 8. 2021–21. 8. 2022
16. Marko Gerbec, sestanek v okviru projekta Super-LNG PLUS, Atene, Grčija, 24. 8.–26. 8. 2022
17. Matic Lozinšek, udeležba na 2022 Annual General Assembly Meeting of the European Chemical Society (EuChemS), Lizbona, Portugalska, 25. 8.–28. 8. 2022
18. Marko Gerbec, konferenca ESREL 2022, Dublin, Irska, 28. 8.–3. 9. 2022
19. Evgeny Goreschnik, obisk v okviru bilateralnega projekta BI-US/22-24-135, Filadelfija, ZDA, 2. 9.–13. 9. 2022
20. Matic Lozinšek, Kristian Radan, Miha Virant, Klemen Motaln, Erik Uran, udeležba na konferenci CSCM28, Poreč, Hrvaška, 7. 9.–11. 9. 2022
21. Matic Lozinšek, Jan Gnidovec, Anja Pavlovič, Klemen Motaln, Miha Virant, Erik Uran, Kristian Radan, Melita Tramšek, udeležba na SKD2022, Portorož, Slovenija, 21. 9.–23. 9. 2022
22. Gašper Tavčar, srečanje s podjetjema MMR in Metamaterial, Gostivar, Severna Makedonija, 21. 9.–1. 10. 2022
23. Matic Lozinšek, European Single-Crystal Users' Meeting – oktober 2022, Rigaku Europe, Neu Isenburg, Nemčija, 10. 10.–12. 10. 2022
24. Marko Gerbec, projektni sestanek za projekt ATLANTIS, Rim, Italija, 24. 10.–28. 10. 2022
25. Matic Lozinšek, Kristian Radan, izvajanje demonstracijskih eksperimentov na festivalu znanosti, Genova, Italija, 28. 10.–3. 11. 2022
26. Matic Lozinšek, Klemen Motaln, projektni sestanek s češkimi sodelavci pri projektu N1-0189, Praga, Češka republika, 15. 11.–18. 11. 2022
27. Erik Uran, delovni obisk v DESY Sinhrotron, Hamburg, Nemčija, 24. 11.–28. 11. 2022

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Miha Virant, Učenje novih programskih paketov, tj. Gaussian in VASP, University of El Paso, El Paso, ZDA, 13. 10.–14. 11. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Marko Gerbec
2. doc. dr. Evgeny Goreschnik
3. dr. Robert Kocjančič
4. doc. dr. Matic Lozinšek
5. dr. Zoran Mazej
6. prof. dr. Maja Ponikvar-Svet
7. doc. dr. Tomaž Skapin
8. **doc. dr. Gašper Tavčar**
9. dr. Melita Tramšek

Podoktorski sodelavci

10. dr. David Levovnik
11. Svitlana Petrusenko, PhD, Ukrajina
12. dr. Kristian Radan
13. dr. Miha Virant

Mlajši raziskovalci

14. Jan Gnidovec, mag. kem.
15. dr. Evelin Gruden
16. Jan Jelen, mag. kem.
17. Klemen Motaln, mag. inž. kem. inž.
18. Klara Ogorevc, mag. inž. kem. inž.
19. Anja Pavlovič, mag. farm.
20. Olha Sanko, Msc., Ukrajina
21. Erik Uran, Msc., Hrvaška

Strokovni sodelavci

22. mag. Tine Oblak
23. *mag. Tomaž Ogrin, upokožitev 1. 5. 2022*

Tehniški in administrativni sodelavci

24. Peter Frkal, mag. ekotehnol.
25. Marko Jeran, kem. teh.
26. Robert Moravec
27. Mira Zupančič

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

Domače

1. ACRONI, Jesenice
2. Istrabenz Plini, d. o. o., Koper
3. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ljubljana
4. Ministrstvo za delo, družino, socialne zadeve in enake možnosti
5. Ministrstvo za okolje in prostor
6. RACI, Ljubljana
7. Fit Media Celje
8. Intercal Slovenija, d. o. o., Zagorje ob Savi
9. TH Remining, Ljubljana
10. Slovenska znanstvena fundacija, Ljubljana
11. Inštitut za matematiko, fiziko in mehaniko, Ljubljana
12. Univerza v Ljubljani, Naravoslovno tehniška fakulteta
13. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
14. Kemijski inštitut, Ljubljana
15. Univerza v Novi Gorici
16. Ustanova Hiša eksperimentov, Ljubljana
17. Zavod za gradbeništvo, Ljubljana

Tuje

1. University of Chemistry and Technology, Praga, Češka
2. MMR Mining, Hyderabad, Indija
3. Universität Innsbruck, Center of Chemistry and Biomedicine (CCB) Institute for General, Inorganic and Theoretical Chemistry Innsbruck, Avstrija
4. Institute of Non-Ferrous Metals, Gliwice, Poljska
5. Institute for technology of nuclear and other mineral raw materials, Beograd, Srbija
6. University of Belgrade – Faculty of Mining & Geology, Beograd, Srbija
7. Politecnico di Milano, Milano, Italija
8. University of Maryland, Baltimore, ZDA
9. University of Warsaw, Poljska
10. Ivan Franko University, Lviv, Ukrajina
11. Veissmann Francija, Faulquemont, Francija
12. University of Namur
13. Florida State University
14. The University of Edinburgh, Edinburg, Združeno kraljestvo
15. Institut de Ciència de Materials de Barcelona (ICMAB-CSIC), Bellaterra, Katalonija, Španija
16. Luke – Natural Resources Institute Finland, Finska
17. Associazione Festival della Scienza, Italija
18. Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie, Poljska
19. Fyzikální ústav Akademie věd České republiky, Češka
20. University of El Paso, ZDA

Na odseku se ukvarjamo z raziskavami fizikalno-kemijskih procesov na površinah trdih snovi, kot sta korozija in heterogena kataliza, ter s sintezo novih spojin. Sinergijo teh raziskav smo ustvarili na področju protikorozijske zaščite in funkcionalizacije materialov z uvedbo integrativnega pristopa, ki obsega eksperimente in molekulsko modeliranje na osnovi prvih principov z uporabo teorije gostotnega funkcionala (angl. density-functional theory, DFT).

Korozija je zelo razširjen pojav z velikim gospodarskim in okoljskim vplivom. Škoda, ki jo povzroča po svetu, je ocenjena na 2,5 bilijona evrov na leto, zato je zaščita površin kovin in zlitin nujna. Zaščita pred korozijo, katere glavni cilj je podaljšati življenjsko dobo kovinskih materialov, je ena od pomembnih metodologij za zmanjšanje potrebe po strmem povečevanju proizvodnje in s tem ohranitev virov za naslednja stoletja. Tradicionalnih načinov zaščite pred korozijo, kot so konverzijske kromatne prevleke, zaradi okoljskih omejitev ni več mogoče uporabljati. Potrebe industrije, zlasti v transportu, gradbeništvu, strojništvu in elektroniki, postavljajo zahteve po razvoju učinkovitih, trajnostnih in okolju prijaznih protikorozijskih zaščit, ki imajo hkrati dodatne funkcionalne lastnosti. Naše raziskovalno delo na področju zaščite pred korozijo je osredotočeno na vse glavne površinske obdelave, kot so uporaba zaviralcev korozije (t. i. korozijski inhibitorji), konverzijske prevleke, organske in anorganske prevleke (slika 1). Pomembna je predvsem zaščita glavnih skupin kovin in zlitin, saj je njihova uporaba danes nepogrešljiva. Te vključujejo lahke kovine (Al) ter energetsko učinkovite (Cu) in infrastrukturne (Fe in Zn) kovine. Aluminijeve zlitine in sodobna visoko trdna jekla se uporabljajo v različnih aplikacijah, zlasti v transportni industriji, kjer je velika potreba po zmanjšanju teže vozil, saj to pripomore k zmanjšanju sproščanja emisij v okolje. Jekla in zlitine na osnovi bakra so nepogrešljivi materiali na področju infrastrukture, gradbeništva in drugih industrij.

V sklopu naših raziskav preiskujemo vse zgoraj omenjene alternative (slika 1) in raziskujemo možne kombinacije, npr. sol-gel prevleke brez dodatkov in z dodatkom zaviralcev korozije, s čimer poleg zaporne zaščite dosežemo tudi aktivno zaščito prevleke na poškodovanih mestih (prevleke z možnostjo t. i. samoceljenja). Raziskujemo tudi sodobne metodologije protikorozijske zaščite, kot je nanos atomskih plasti (angl. atomic layer deposition, ALD).

Velik preboj v razumevanju mehanizma zaviranja korozije z organskimi molekulami smo dosegli tudi z uvedbo integrativnega eksperimentalno-modelirnega pristopa s kombinacijo eksperimentalnih tehnik elektrokemijske in površinske analize ter modeliranjem in simulacijo na podlagi prvih principov z uporabo teorije gostotnega funkcionala. Rezultat takšnega pristopa je bolj racionalna in okoljsko usmerjena uporaba kemikalij, kar je v skladu z direktivami Evropske unije o trajnostnem razvoju in krožnem gospodarstvu.

Poleg kovin, ki so pomembne za inženirske aplikacije, raziskujemo tudi kovine/zlitine za biomedicinske aplikacije, to je ortopedske in dentalne vsadke. Tukaj gre predvsem za titanove zlitine, ki se pridobivajo s klasičnimi metalurškimi postopki in z aditivno tehnologijo. V letu 2022 smo s tega področja pridobili tudi raziskovalni projekt, ki ga financira Javna agencija za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost ter je namenjen razvoju protibakterijskih titanovih zlitin.

Na področju heterogene elektrokatalize smo z izračuni na osnovi teorije gostotnega funkcionala (DFT) modelirali podprte kovinske katalizatorje za reakciji sproščanja kisika (angl. oxygen evolution reaction, OER) in vodika (angl. hydrogen evolution reaction, HER), da bi podrobno proučili vlogo interakcije kovina-nosilec na stabilnost in aktivnost katalizatorjev reakcij OER in HER. Gre za temeljni reakciji elektrolize vode, katere produkt je vodik.

1. Integrativni pristop študije zaviralcev korozije

Pri načrtovanju učinkovite zaščite pred korozijo je potrebno poglobljeno temeljno znanje o površinskih procesih, saj je razumevanje mehanizma zaviranja korozije na atomski ravni še vedno zelo pomanjkljivo. Da bi to presegli, smo uvedli sinergijski iterativni pristop, ki je sestavljen iz naslednjih treh raziskovalnih smeri: (1) anorganska in organska sinteza, (2) tehnike elektrokemijske in površinske analize ter (3) modeliranje in simulacije na podlagi metode DFT.

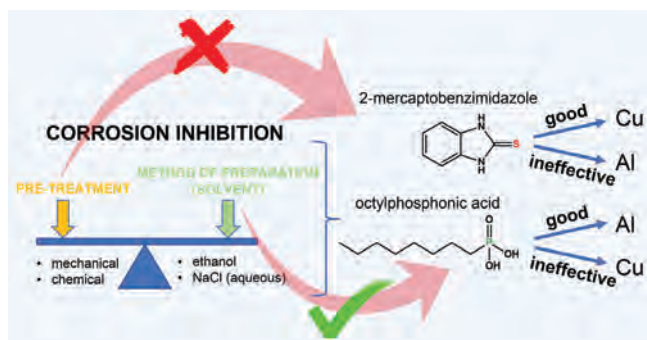


Vodja:

prof. dr. Ingrid Milošev



Slika 1: Vrste protikorozijske zaščite in funkcionalizacije površine materialov



Slika 2: Vpliv predobdelave površine in tipa organske spojine na stopnjo inhibicije korozije bakra in aluminija smo proučevali z elektrokemijskimi in površinskoanaliznimi metodami. Če sta bili kovini potopljeni v etanolno raztopino organskih spojin, do inhibicije korozije kovine ni prišlo. Če sta bili potopljeni v vodno raztopino, pa je bil 2-mercaptobenzimidazol učinkovit inhibitor za baker, oktilfosfonska kislina pa za aluminij.

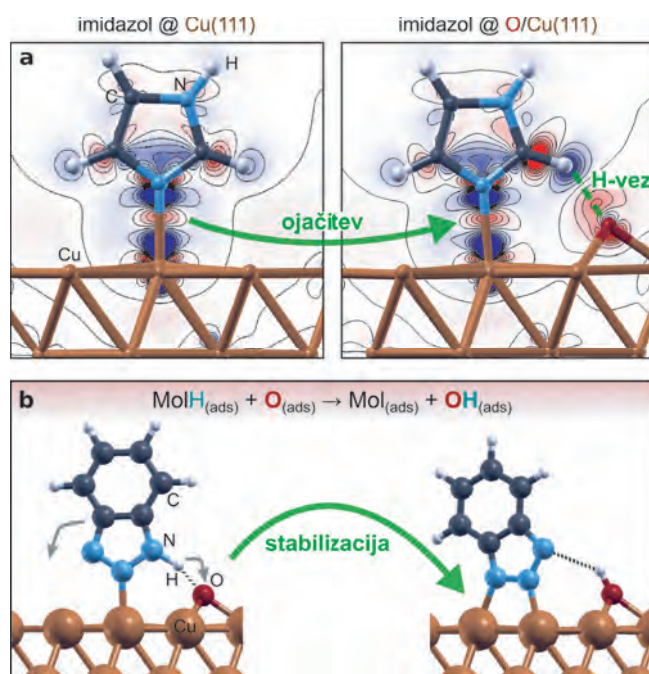
ampak le, če je bil ta nanosen iz vodne raztopine. Znatno zmanjšanje gostote korozijskega toka je potrdilo, da je MBI učinkovit inhibitor za Cu, ne pa tudi za Al. OPA pa deluje nasprotno in je učinkovit inhibitor samo za Al. Z metodo XPS smo potrdili, da se na površini bakra tvori film, ki je kompleks med Cu(I) in MBI, slednji pa je v deprotonirani obliki tiolata (MBI lahko obstaja v dveh tautomerih: tiolu in stabilnejšem tionu; z deprotonacijo tiona nastane tiolat, ki se veže na površino bakra prek S in N atomov). Na površini aluminija se v raztopini OPA tvori plast, ki vsebuje Al fosfonat. S to študijo smo pokazali, da je način priprave inhibitorjskega filma ključen za doseganje njegove optimalne učinkovitosti.

1.1. Organske spojine kot zaviralci korozije

Raziskali smo, kako predobdelava površine podlaga vpliva na delovanje organskih spojin kot površinsko aktivnih zaviralcev korozije (inhibitorjev). Za aluminijeve in bakrene podlage smo raziskali optimalne pogoje predobdelave površine za izboljšano adsorpcijo 2-mercaptobenzimidazola (MBI) in oktilfosfonske kisline (OPA) (slika 2). V ta namen so bile uporabljene mehanske in kemijske predobdelave, ki so vključevale brušenje in poliranje oziroma kemijsko jedkanje. Organski filmi so bili pripravljani z nanašanjem v tekoči fazi iz etanolne ali vodne raztopine z dodatkom MBI in OPA. Mehanizem nastanka in degradacijo filmov na vzorcih Cu in Al v 3 mas. % NaCl smo raziskali z elektrokemijskimi metodami, morfologijo in vezavo inhibitorjev pa z vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM), sklopljeno z energijsko disperzijsko rentgensko spektroskopijo (EDS) in z rentgensko fotoelektronsko spektroskopijo (XPS). Ugotovljeno je bilo, da površinska predobdelava ni pomembno vplivala na kemijsko sestavo površine Cu in Al, ampak je bila ključni korak za učinkovito tvorbo filma. Organski filmi na površini Cu in Al se niso tvorili v etanolni raztopini,

1.2. Vpliv predhodno adsorbiranih zvrsti na adsorpcijo molekul inhibitorjev korozije

Površine kovin so običajno oksidirane ali vsaj prekrte z zvrstmi, kot sta O in OH. Iz tega razloga smo obravnavali, kako adsorbirane zvrsti, kot so O, OH, H in Cl (označene kot $X_{(ads)}$), vplivajo na adsorpcijsko vezavo imidazola in benzotriazola na površinah bakra; ti dve spojini smo uporabili kot modela azolnih inhibitorjev korozije. Izvedli smo sistematično študijo DFT z upoštevanjem več sto različnih adsorpcijskih konfiguracij. Proučili smo učinke pokritosti površine, tipa zvrsti $X_{(ads)}$ ter razdalje med molekulo inhibitorja in $X_{(ads)}$. Naši izračuni kažejo, da O in Cl okrepi adsorpcijsko vez imidazola, H nima skoraj nobenega učinka, medtem ko je učinek OH bolj zapleten. Učinek zvrsti $X_{(ads)}$ na adsorpcijo inhibitorja se zmanjša z naraščajočo razdaljo inhibitor- $X_{(ads)}$ in z manjšo pokritostjo $X_{(ads)}$. Ugotovili smo, da $X_{(ads)}$ vpliva na adsorpcijo inhibitorjev na štiri načine. Trije se nanašajo na nedisociativno in en na disociativno adsorpcijo. Prvi učinek, ki je značilen za O in Cl, je posledica povečanja jakosti vezi N-Cu med inhibitorjem in površino zaradi prisotnosti $X_{(ads)}$. Drugi učinek je povezan s spremembo izstopnega dela, ki jo povzroči $X_{(ads)}$ in je lahko stabilizirajoč (za O in Cl), zanemarljiv (za H) ali destabilizirajoč (za OH) za adsorpcijo imidazola ter pojasnjuje, zakaj se vpliv $X_{(ads)}$ na adsorpcijsko vez zmanjša s pokritostjo $X_{(ads)}$. Tretji učinek je posledica tvorbe vodikove vezi med $O_{(ads)}$ ali $OH_{(ads)}$ in bližnji adsorbirano molekulo inhibitorja (slika 3a). Ta učinek vodi do četrtega učinka, tj. deprotonacije adsorbiranih molekul azola (slika 3b). Deprotonacija vključuje cepitev vezi N-H, čeprav se lahko imidazol deprotonira tudi prek cepitve vezi C-H. Izračunane aktivacijske energije deprotonacije so bistveno manjše za cepitev vezi N-H (pod 0,1 eV) kot za cepitev vezi C-H (od 0,6 do 0,9 eV), čeprav je cepitev vezi C-H termodinamsko bolj ugodna za imidazol. Reakcijske energije deprotonacije niso močno odvisne od površinske pokritosti O in OH. Pomen deprotonacije adsorbiranih molekul je v večji stabilnosti nastalih adsorpcijskih stanj, kar poveča obstojnost kemisorbiranih molekul. Deprotonirane molekule benzotriazola so za približno 1 eV bolj stabilne na O/Cu(111) in OH/Cu(111) v primerjavi z adsorbirano nedeponirano molekulo na čisti površini Cu(111). Pri imidazolu je obseg takšne stabilizacije šibkejši, a še vedno precejšen (od 0,3 do 0,7 eV).



Slika 3: a) Razlika elektronske gostote imidazola, adsorbiranega na Cu(111) [levo] in O/Cu(111) [desno]. Območja pribitka elektronov so obarvana rdeče, območja primanjkljaja elektronov pa modro. Imidazol se močneje adsorbira na O/Cu(111) zaradi okrepljene vezi N-Cu in nastale H-vezi z $O_{(ads)}$. b) Tako oblikovana H-vez lahko povzroči deprotonacijo adsorbirane molekule, kar ima za posledico stabilnejše adsorbirano stanje.

Učinek zvrsti $X_{(ads)}$ na adsorpcijo inhibitorjev na štiri načine. Trije se nanašajo na nedisociativno in en na disociativno adsorpcijo. Prvi učinek, ki je značilen za O in Cl, je posledica povečanja jakosti vezi N-Cu med inhibitorjem in površino zaradi prisotnosti $X_{(ads)}$. Drugi učinek je povezan s spremembo izstopnega dela, ki jo povzroči $X_{(ads)}$ in je lahko stabilizirajoč (za O in Cl), zanemarljiv (za H) ali destabilizirajoč (za OH) za adsorpcijo imidazola ter pojasnjuje, zakaj se vpliv $X_{(ads)}$ na adsorpcijsko vez zmanjša s pokritostjo $X_{(ads)}$. Tretji učinek je posledica tvorbe vodikove vezi med $O_{(ads)}$ ali $OH_{(ads)}$ in bližnji adsorbirano molekulo inhibitorja (slika 3a). Ta učinek vodi do četrtega učinka, tj. deprotonacije adsorbiranih molekul azola (slika 3b). Deprotonacija vključuje cepitev vezi N-H, čeprav se lahko imidazol deprotonira tudi prek cepitve vezi C-H. Izračunane aktivacijske energije deprotonacije so bistveno manjše za cepitev vezi N-H (pod 0,1 eV) kot za cepitev vezi C-H (od 0,6 do 0,9 eV), čeprav je cepitev vezi C-H termodinamsko bolj ugodna za imidazol. Reakcijske energije deprotonacije niso močno odvisne od površinske pokritosti O in OH. Pomen deprotonacije adsorbiranih molekul je v večji stabilnosti nastalih adsorpcijskih stanj, kar poveča obstojnost kemisorbiranih molekul. Deprotonirane molekule benzotriazola so za približno 1 eV bolj stabilne na O/Cu(111) in OH/Cu(111) v primerjavi z adsorbirano nedeponirano molekulo na čisti površini Cu(111). Pri imidazolu je obseg takšne stabilizacije šibkejši, a še vedno precejšen (od 0,3 do 0,7 eV).

Obravnavali smo tudi pogosto uporabljeno temeljno predpostavko, da je mogoče standardno Gibbsovo energijo adsorpcije uporabiti za razlikovanje med fizisorpcijo in kemisorpcijo. Ta predpostavka temelji na dejstvu, da je fizisorpcijska interakcija šibka in kemisorpcijska interakcija močna. V ta namen smo oblikovali več argumentov, ki dokazujejo, da standardna Gibbsova energija adsorpcije ni zanesljivo merilo za razlikovanje med obema načinoma adsorpcije. Najpomembnejši med njimi je, da lahko kemisorpcija vključuje cepitev in nastanek vezi, kar lahko povzroči precej šibko standardno Gibbsovo energijo in entalpijo adsorpcije. Zato smo za razločevanje med fizisorpcijo in kemisorpcijo predlagali bolj zanesljive kriterije, ki so na voljo pri modeliranju adsorpcije, kot sta razdalja med molekulo in površino ter analiza elektronske strukture vezi med molekulo in površino.

2. Protikorozijske hibridne sol-gel prevleke

2.1. Silan-siloksanske prevleke

Sinteza po sol-gel postopku je vsestranska metoda, ki se uporablja za pripravo najrazličnejših materialov in se vse pogosteje uporablja kot metoda za modifikacijo površin, za spreminjanje poroznosti, omočljivosti, katalitične aktivnosti, biokompatibilnosti in protikorozijske zaščite kovin. Sol-gel prevleke ostajajo eno od pomembnih področij našega raziskovalnega dela.

Nove hibridne sol-gel-akrilne prevleke so bile sintetizirane z združitvijo dveh solov, kar privede do polikondenzacije sola 1, pripravljenega s kopolimerizacijo med MAPTMS (3-(trimetoksisilil)propil metakrilat) in akrilatnimi monomeri, in sola 2, ki je hidroliziran TEOS (tetraetil ortosilikat). Uporabili smo sedem monomerov z različnimi dolžinami alkilne verige: E etil, M metil, B butil, H heksil, O oktil in D dodecil. Siloksanske prevleke siloksan-PXMA, kjer *X* pomeni derivat akrilatnega monomera, lahko razdelimo v dve skupini: prevleke s kratkoverižnimi monomeri (M1, E2 in B4) z do štirimi ogljikovimi atomi in prevleke z dolgoverižnimi monomeri (H6, O8 in D12) z do dvanajstimi ogljikovimi atomi. Dodatno smo uporabili tudi fluoroakrilatni monomer z etilno dolžino verige (FE). Derivate različnih dolžin alkilnih in perfluoroalkilnih verig smo karakterizirali glede na kinetiko kopolimerizacije med sintezo sola in sestavo, strukturo, omočljivost, toplotne lastnosti in poroznosti prevlek z uporabo infrardeče spektroskopije s Fourierjevo transformacijo v realnem času (ATR FTIR), XPS, masne spektrometrije sekundarnih ionov s časom preleta (ToF-SIMS), razelektrivne optične emisijske spektroskopije (GDOES) in optotermične spektroskopije z odklonom laserskega žarka (PTBD). Stopnja kopolimerizacije med MAPTMS in akrilatnim derivatom (t. j. organskim delom) je odvisna od vrste derivata: poveča se od metila do butila in nato doseže plato. Pri derivatih z daljšo verigo sterični učinek preprečuje nadaljnje povečanje kinetike kopolimerizacije in vodi do neenakomerne polikondenzacije. Enak trend smo opazili pri hidrofobnosti prevlek: poveča se pri derivatih z alkilnimi verigami do štirimi atomi ogljika, vendar daljše verige niso pokazale nadaljnjih sprememb v hidrofobnosti. Molekule, ki vsebujejo v verigi fluor namesto vodika, izboljšajo kinetiko kopolimerizacije sola in povečajo hidrofobnost prevleke.

Površinsko in globinsko kemijsko sestavo smo raziskali s tehnikami XPS, ToF-SIMS in GDOES. Prevleke so sestavljene pretežno iz organskega dela, anorganski del s siloksanskimi vezmi pa je izjemno pomemben za doseganje dobrega oprijema s podlago. Identificirani so bili pozitivni in negativni TOF-SIMS fragmenti, značilni za alkilne verige pri akrilatnih derivatih, njihova intenziteta pa je odvisna od vrste derivata. Globinski profili GDOES so potrdili homogeno globinsko sestavo premazov z ostrim vmesnikom premaz/podlaga. Rezultati fototermične odklonske spektrometrije so pokazali, da imajo prevleke z alkilnimi verigami med heksilom in dodecilom večjo poroznost v primerjavi s tistimi s krajšimi verigami. To se izkazuje tudi v stopnji protikorozijske zaščite. Siloksan-poliakrilne sol-gel prevleke so bile nanosene na aluminijevo zlitino 7075-T6. Prevleka Si-BMA je izkazala največjo impedanco po 18 mesecih v 5 utež. % raztopini NaCl in zato najučinkovitejšo protikorozijsko zaščito. Zamenjava vodika s fluorom ne vpliva bistveno na odpornost proti koroziji.

Drug pomemben rezultat se nanaša na toplotno prevodnost in difuznost teh prevlek. V primerjavi z organskimi prevlekami polimetil metakrilata dosegajo anorgansko-organske hibridne sol-gel prevleke Si-PXMA približno 50 % večjo toplotno prevodnost in difuznost. To smo pojasnili z ugodnim učinkom siloksanske faze v prevleki. Študijo smo izvedli v sodelovanju z raziskovalci CNRS, Chimie ParisTech, Francija in Univerze v Novi Gorici.

Prof. dr. Ingrid Milošev je bila imenovana za pridruženo urednico revije *Journal of The Electrochemical Society (JES)*. JES je vodilna revija združenja The Electrochemical Society. JES, ki izhaja neprekinjeno od leta 1902 do danes, ostaja ena najbolj citiranih revij na področju elektrokemije ter znanosti in tehnologije trdnih snovi. Prof. dr. Milošev je pridružena urednica v sekciji Corrosion Science & Technology.

Prof. dr. Ingrid Milošev je 31. maja 2022 predstavila spletni seminar v okviru serije CorroZoom, ki jo organizira prof. G. S. Frankel na The Ohio State University, Columbus, ZDA. Predavanje prof. dr. Milošev z naslovom *Cerijeve konverzijske prevleke na aluminijevih zlitinah* je spremljalo okoli 300 udeležencev po vsem svetu.

2.2. Silan-cirkonijeve prevleke

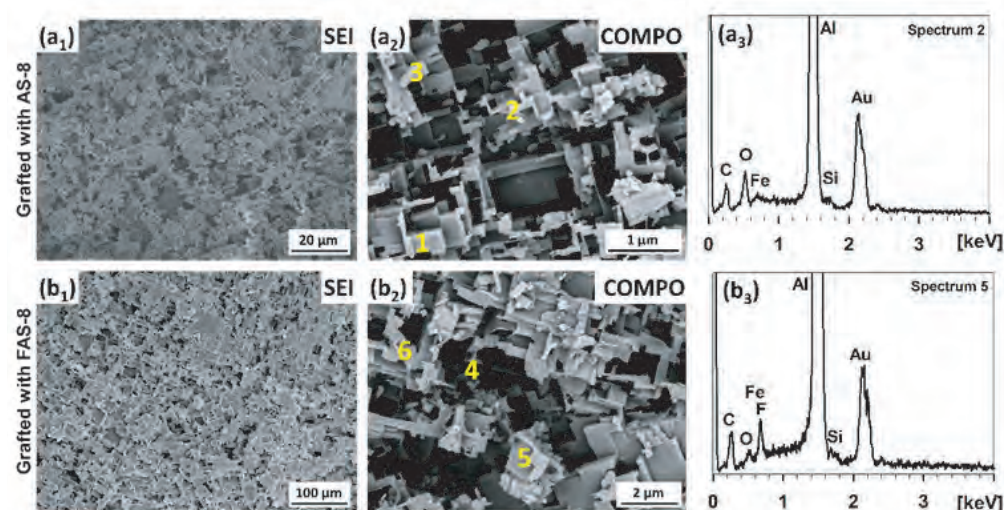
Pripravili smo hibridne sol-gel prevleke iz prekursorjev TEOS in MAPTMS z dodatkom cirkonijevega(IV) tetrapropoksida, zamreženega z metakrilno kislino (prevleke TMZ). Prevleke smo pripravili z dodatkom cirkonijevega(IV) tetrapropoksida, zamreženega z metakrilno kislino. Raziskani sta bili dve seriji vzorcev: prva serija TMZ-I, TMZ-II in TMZ-III z različnimi količinami cirkonija ter druga serija TMZ-I/Ce, TMZ-II/Ce in TMZ-III/Ce z dodatkom cerijevega nitrata. Analizirali smo vpliv vsebnosti cirkonija in cerija na toplotne parametre sol-gel prevlek. V ta namen sta bili uporabljeni dve nedestruktivni in fototermični tehniki: fototermaalna radiometrija (PTR) in optotermična spektroskopija z odklonom laserskega žarka (PTBD). Za interpretacijo fototermičnih spektrov je bil uporabljen dvoslojni model. Rezultati, dobljeni s tema dvema tehnikama, so primerjani in obravnavani.

Različne količine Zr v siloksanski mreži in dodatek Ce v Si/Zr sol so povzročile različne toplotne lastnosti prevlek. Dokazano je bilo, da je mogoče hkrati določiti tako toplotno difuznost kot toplotno prevodnost vzorcev iz prilagoditve teoretične na eksperimentalno frekvenčno amplitudo in fazo PTR ter karakteristike PTBD. Vrednosti toplotne difuznosti, dobljene z metodo PTR, so v območju $(1,838-2,404) \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$; po drugi strani pa so vrednosti toplotne prevodnosti v območju $(1,710-2,730) \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$. Vrednosti toplotne difuznosti, dobljene s PTBD, so v območju $(1,75-2,53) \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$, vrednosti toplotne prevodnosti pa v območju $(1,8-2,6) \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{cm}\cdot\text{K})$. Uporaba dveh metod je omogočila natančno določitev dobljenih toplotnih parametrov testiranih prevlek. Ugotovljeno je bilo, da se je v obeh primerih toplotna difuznost zmanjšala z večanjem količine Zr v prevleki. Toplotna prevodnost je imela enako tendenco kot toplotna difuznost. Pokazalo se je tudi, da je dodatek Ce v sol-gel prevleke dodatno zmanjšal toplotno prevodnost in difuznost. Študija je bila izvedena v sodelovanju z raziskovalci z Univerze v Novi Gorici in Tehnološke univerze v Koszalinu na Poljskem.

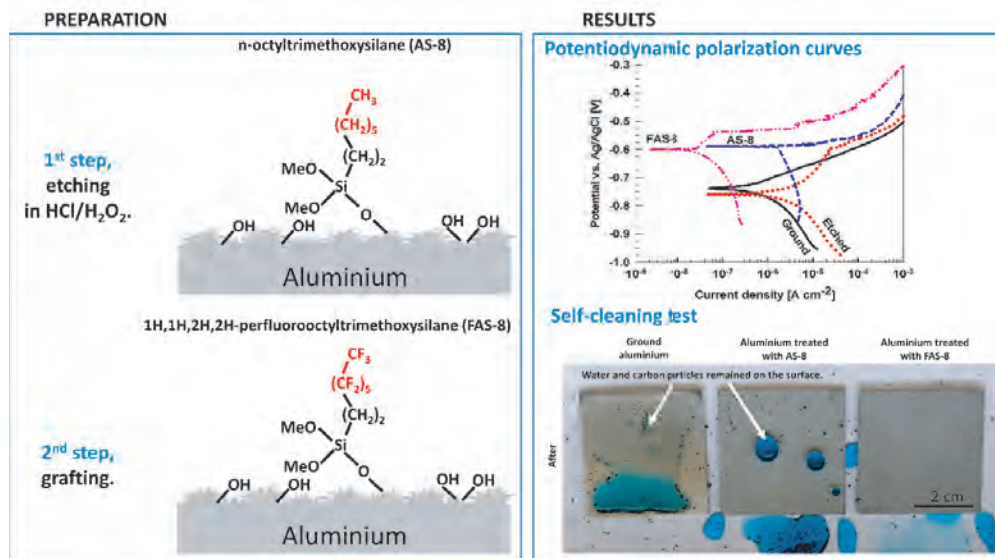
2.3. Superhidrofobne hibridne sol-gel prevleke

Ena od pomembnih modifikacij kovinske površine je pridobitev superhidrofobne površine. Tako modificirana površina ima kontaktni kot vodne kapljice večji od 150° in drsni kot manjši od 10° ter daje visoko vodoodbojne lastnosti, kar se odraža na izboljšani protikorozijski zaščiti, saj preprečuje stik med kovinsko podlago in korozivnim medijem. Obenem pa pridobi površina tudi druge, zelo zaželene lastnosti, kot sta samočistilnost in podaljšana obstojnost proti zmrzovanju. Zaradi teh lastnosti je tovrstna površinska obdelava privlačna za mnoga akademska in industrijska področja.

Za izdelavo hidrofobne ali superhidrofobne površine je bil uporabljen dvostopenjski postopek. V prvem koraku je bila površina aluminija zbrušena in potem jedkana v raztopini klorovodikove kisline in vodikovega peroksida (HCl/H₂O₂). Jedkanje je zelo eksotermna in burna reakcija, v kateri se kovina raztoplja s hitrostjo 1,2 % /min. Površina zato postane zelo hrapava, povprečno okrog 5–7 μm (slika 4). Dodatna lastnost je, da je hrapavost hierarhična in sestavljena iz mikro- in nanostruktur. Takšna topografija omogoča zadrževanje zraka, kar je nujno za pridobitev superhidrofobnih lastnosti.



Slika 4: Posnetki površine aluminija z vrstičnim elektronskim mikroskopom, jedkane 20 minut v 1 M HCl/H₂O₂, obdelane 30 minut v 1 utež. % raztopini n-oktiltrimetoksilana (AS-8) in 1H,1H,2H, 2H-perfluoroktiltrimetoksilana (FAS-8). Posnetki so bili posneti s sekundarnimi elektroni (SEI) in povratno sipanimi elektroni (COMPO). Številke 1–6 označujejo mesta, kjer je bila opravljena kemijska analiza z metodo EDS. Spektra 2 in 5 sta prikazana kot reprezentivna.



Slika 5: Postopek priprave hidrofobne in superhidrofobne površine aluminija vključuje dva koraka: tvorbo hierarhično hrapave površine z jedkanja v raztopini HCl/H₂O₂ in potopitev v etanolno raztopino *n*-oktiltrimetoksilana (AS-8) ali 1H,1H,2H,2H-perfluoroktiltrimetoksilana (FAS-8). Modificirana (super) hidrofobna površina izboljša korozijsko obstojnost in izkazuje samočistilne lastnosti.

V drugem koraku je bila tako hrapava površina modificirana, in sicer potopljena v etanolno (1 utež. %) raztopino silanskih spojin: *n*-oktiltrimetoksilana (AS-8) ali 1H,1H,2H,2H-perfluoroktiltrimetoksilana (FAS-8) v trajanju 30 minut pri sobni temperaturi. Nemodificirano in silanizirano površino aluminija smo okarakterizirali glede površinske hrapavosti, omočljivosti, morfologije in sestave površine (slika 5). Nadalje smo testirali tudi obstojnost silanizirane površine na temperaturo in izpostavljenost UV. Korozijske lastnosti so bile ovrednotene s potenciodinamskimi meritvami in standardnim testiranjem v slani-vlačni komori (standard ASTM B117-19). Nazadnje so bile ocenjene samočistilne sposobnosti in sposobnosti proti zaledenitvi.

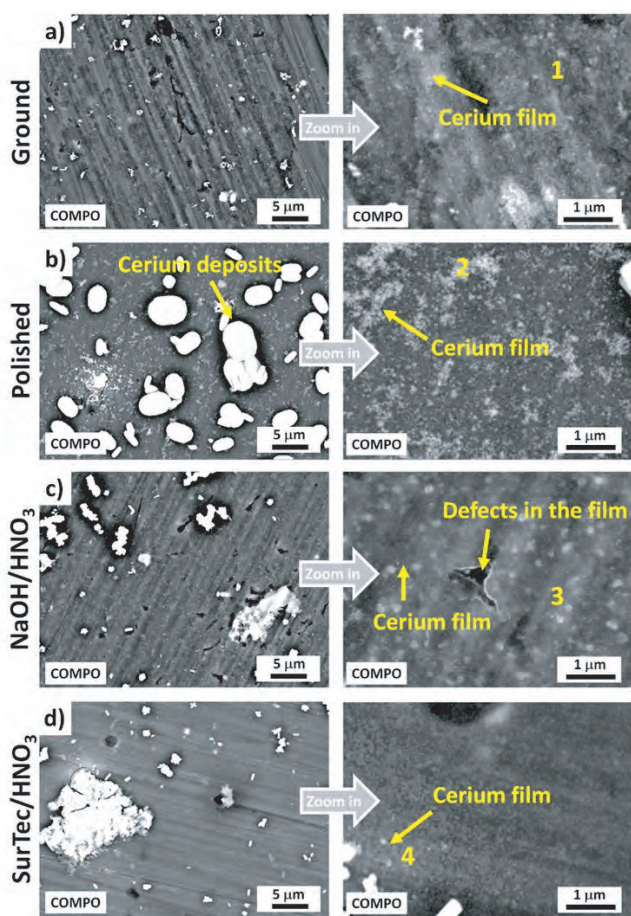
Z modifikacijo s silanskima spojinama AS-8 in FAS-8 se na površini aluminija tvori nanometrsko tanek film, ki je kovalentno vezan na podlago. Tako silanizirana površina je odražala visoko hidrofobnost (AS-8, kot vodne kapljice 132°) in superhidrofobnost (FAS-8, kot vodne kapljice 156°). Testi vzdržljivosti so potrdili, da ima površina, modificirana s FAS-8, večjo toplotno in UV-stabilnost. Aluminij, ki je bil silaniziran s FAS-8, je prav tako pokazal odlično samočistilno zmogljivost in učinkovitost proti zaledenitvi.

Obe modificirani aluminijasti površini, zlasti pa površina, obdelana s FAS-8, zagotavljata zelo učinkovito odpornost proti koroziji med potopitvijo v 0,1 M raztopino NaCl. Površina, obdelana s FAS-8, ostane nespremenjena tudi po 2 tednih izpostavljenosti v komori. Ti rezultati odražajo vpliv sestave silanske spojine, saj ima dodatek fluora v FAS-8 za posledico tvorbo bolj odbojne površine, kar potem vpliva tudi na vse druge lastnosti. Predstavljeni postopek jedkanja in silanizacije površine je mogoče nadalje uporabiti za izdelavo velikih superhidrofobnih aluminijastih površin, ki se uporabljajo za različne industrijske aplikacije, saj je relativno preprost in vključuje komercialno dostopne kemikalije.

2.4. Konverzijske prevleke

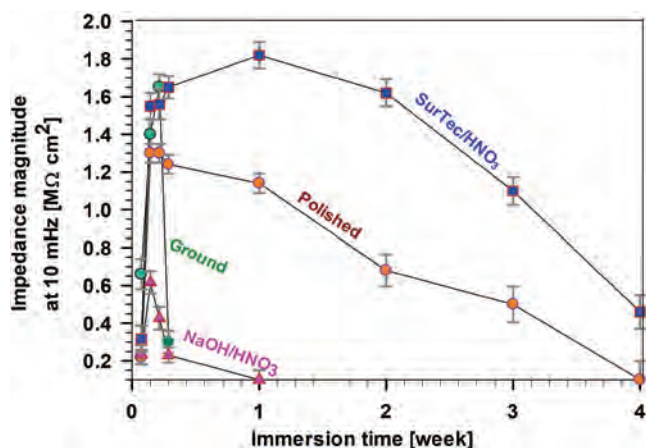
Protikorozijska zaščita aluminijevih zlitin je izredno pomembno področje raziskav, saj ti materiali spadajo med najpomembnejše tehnološke kovine današnjega časa in se uporabljajo v številnih aplikacijah. Aluminijeve zlitine so heterogene zlitine, ki so sestavljene iz aluminijevega matriksa in številnih interkovinskih delcev (IMP) na osnovi železa, bakra, cinka, silicija, magnezija ali mangana, dodanih z namenom izboljšanja trdnosti in mehanskih lastnosti. Po drugi strani pa ti delci izkazujejo drugačno elektrokemijsko aktivnost od aluminija in je zato zlitina podvržena lokalnim oblikam korozije, zlasti galvaniki in jamičasti. Ta proces zmanjšujemo s tvorbo konverzijskih prevlek, ki na površini tvorijo zaščitno plast in tako zmanjšajo elektrokemijsko aktivnost tako matriksa kot IMP-jev. Najbolj učinkovite konverzijske prevleke so na osnovi cirkonija ali redkih zemelj, zlasti cerija. Slednje pripravimo iz cerijevih(III) soli, kjer inhibicijski učinek temelji na obarjanju Ce(OH)₃. Ta proces, ki je možen le pri pH okoli 8,5,

V letu 2022 smo na javnem razpisu Agencije za znanstvenoraziskovalno in inovacijsko dejavnost R. Slovenije (ARIS) za (so)financiranje raziskovalnih projektov za leto 2022 pridobili triletni projekt BIOAD Protibakterijske zlitine: razvoj z aditivno 3D tehnologijo, karakterizacija in klinična uporaba (J7-4639), ki združuje konzorcij petih partnerjev: Instituta "Jožef Stefan", Ortopedske bolnišnice Valdoltra ter Fakultete za strojništvo, Medicinske fakultete in Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Projekt, ki ga vodi prof. dr. Ingrid Milošev, je bil odobren kot velik projekt na področju medicine in ga bo ARIS financirala v treh letih v višini 1,5 milijona evrov.



Slika 6: Posnetki površine vzorcev aluminijeve zlitine 7075-T6 z vrstičnim elektronskim mikroskopom, ki so bili obdelani z različnimi površinskimi obdelavami: a) brušenje, b) brušenje in poliranje ter brušenje in kemijska obdelava s c) NaOH/HNO₃ in d) SurTec/HNO₃ ter potopljene za 1 mesec v raztopino v 0,1 M NaCl z dodatkom 3 mM Ce(OAc)₃. Posnetki so bili posneti s povratno sipanimi elektroni.

Slika 7 prikazuje odvisnost velikosti impedance od časa potopitve v 0,1 M NaCl z dodatkom 3 mM Ce(OH)₃. Ker je magnituda impedance sorazmerna stopnji korozijske zaščite, ugotovimo, da predpriprava vpliva na stopnjo zaščite. Ustrezna kemijska obdelava je izboljšala zaščito pred lokalno korozijo tudi po dolgotrajni potopitvi. Pomembno sporočilo te študije je, da je učinkovitost zaščite pred korozijo močno odvisna tudi od predobdelave površine.



Slika 7: Odvisnost velikosti impedance pri 10 mHz od časa potopitve v 0,1 M NaCl z dodatkom 3 mM Ce(OAc)₃ za različno predobdelane vzorce: brušene, polirane ter brušene in kemijsko obdelane z NaOH/HNO₃ in SurTec/HNO₃.

sledi lokalnemu povečanju pH med reakcijo redukcije kisika na katodnih mestih IMP, zato se depozicija na teh mestih tudi začne in potem postopoma razširi na matriks zlitine. Cerijevi ioni reagirajo s hidroksilnimi ioni in tvorijo Ce(OH)₃. V nevtralnih raztopinah se lahko Ce(III) hidroksid delno oksidira v Ce(OH)₄. Zato sta tako Ce(III) kot Ce(IV) odgovorna za zaviranje korozije na površini aluminijeve zlitine.

V našem laboratoriju smo že obravnavali vpliv različnih mehanskih in kemijskih predobdelav na morfologijo, sestavo, omočljivost in korozijske lastnosti zlitine AA7075-T6. Študirali smo tudi, kako vrsta Ce(III) soli vpliva na tvorbo konverzijske cerijeve plasti, in ugotovili, da Ce(III) acetat tvori najučinkovitejšo plast. V središču te študije je bila korelacija med različnimi površinskimi predobdelavami pred in po potopitvi v natrijev klorid z dodanim Ce(III) acetatom. Glavna hipoteza je, da je mogoče doseči še učinkovitejšo inhibicijo z ustrezno predobdelavo površine. Izbrali smo dve vrsti mehanske predobdelave (brušenje in poliranje) in dve vrsti kemijske predobdelave (alkalno čiščenje s komercialnim jedkalom SurTec® (pH = 8,3) ali z natrijevim hidroksidom (pH = 11,6); v obeh primerih je bila površina podvržena še izpiranju z raztopino dušikove kisline (HNO₃), da se odstranijo produkti alkalnega jedkanja s površine).

Površino zlitine smo analizirali glede na sestavo, topografijo, morfologijo in elektrokemijske lastnosti, tudi med dolgotrajnim testiranjem (do 1 meseca). Na sliki 6 so podani posnetki vzorcev aluminijeve zlitine 7075-T6, ki so bili obdelani z različnimi površinskimi obdelavami: a) brušenje, b) brušenje in poliranje ter brušenje in kemijska obdelava s c) NaOH/HNO₃ in d) SurTec/HNO₃ ter potem potopljene za 1 mesec v raztopino 0,1 M NaCl z dodatkom 3 mM Ce(OAc)₃. Bistvena razlika v površinskih predobdelavah se je odrazila v lastnostih nastale cerijeve plasti. Med mehanskimi predobdelavami je poliranje dalo boljše rezultate kot brušenje, saj je bila plast bolj homogena. Predobdelava z NaOH/HNO₃ je negativno vplivala na tvorbo cerijeve plasti, saj je bil po 3 dneh potopitve velik del vzorca prekrit s produkti korozije, kar potrjuje, da dodana cerijeva spojina ne more učinkovito zaščititi površine pred korozijo. Po 1 mesecu je debela plast produktov korozije prekrila skoraj celotno površino zlitine. Po kemijski predobdelavi s SurTec/HNO₃ se je cerijeva plast tvorila enakomerno po celotni površini in ni bilo produktov korozije.

V naslednji študiji smo raziskovali, kakšna je povezava med mikrostrukturo aluminijeve zlitine 7075-T6 in vrsto cerijeve(III) soli. Nanos cerijeve konverzijske plasti na aluminijevo zlitino 7075-T6 poteka s preprostim postopkom potapljanja, vendar nanjo vpliva več dejavnikov, ki določajo stopnjo protikorozijske zaščite. Cilj študije je bil raziskati dve ključni razmerji: (i) kako vrsta cerijeve soli, uporabljene za konverzijo, vpliva na sestavo, debelino in elektrokemijske lastnosti plasti ter (ii) kako je depozicija odvisna od mikrostrukture oziroma od vrste interkovinskih delcev. Štiri serije vzorcev smo pripravili s potopitvijo v 0,1 M NaCl z in brez dodajanja 3 mM Ce(III) soli: klorida, nitrata in acetata. Vzorci so bili analizirani z vrstično elektronsko mikroskopijo s kemijsko analizo na istem mestu pred potopitvijo in po njej. Zato je ta študija specifična za posamezno lokacijo in se osredotoča na način korozije in depozicijo cerijeve plasti v odvisnosti od vrste interkovinskih delcev.

V raztopini NaCl so bili vsi IMP dovzetni za selektivno raztapljanje. V S-fazi Al₂CuMg je raztapljanje Mg in Al povzročilo obogatitev delcev s Cu in intenzivno raztapljanje okoliškega matriksa, kar je povzročilo tvorbo razpok. Tudi v IMP Al(Fe,Cu)Si je raztapljanje Al povzročilo obogatitev s Cu,

kar je prispevalo k močnejši katodni aktivnosti IMP-ja in sčasoma močno raztapljanje okoliškega matriksa.

Dodajanje Ce(III) klorida in nitrata NaCl je znatno zmanjšalo korozijski napad na AA7075-T6. Površina je bila prekrita z depoziti, bogatimi s cerijem. Depozicija plasti, bogatih s Ce, se je začela pri velikih IMP Al(Fe,Cu)Si in potekala lateralno po površini, odvisno od elektrokemijskega značaja posameznega IMP. Zato so bili nekateri IMP bolj počasni kot drugi v procesu depozicije, ki je potekala tudi na matriksu, vendar počasneje kot na IMP-jih.

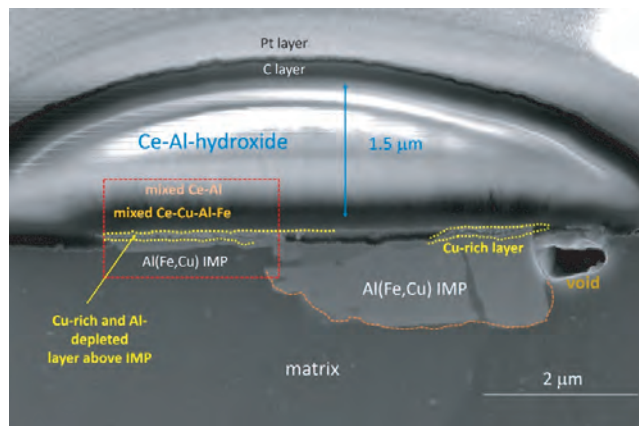
Presečna analiza večjih depozitov je prinesla nove podrobnosti o operativnem mehanizmu depozicije cerijevega hidroksida. Raztapljanje Al iz IMP Al(Fe,Cu)Si pusti za seboj delce, močno obogatene s Cu. Ugotovili smo torej, da ta mehanizem ne velja samo za S-fazo, ampak tudi za IMP-je, ki vsebujejo Fe in Cu. Druga nova ugotovitev je prisotnost klora v notranjosti depozita, kar kaže, da kloridni ioni spodbujajo selektivno raztapljanje Al. Površina IMP, ki ostane obogatena s Cu, postane močna katoda, kjer pride do redukcije kisika, kar vodi do lokalne alkalizacije ($\text{pH} = 8,5$), potrebne za obarjanje Ce-hidroksida. Pri velikih IMP je lahko proces tako intenziven, da izbruh elektrokemijske aktivnosti povzroči obarjanje mikrometrskih depozitov cerijevega hidroksida (slika 8). Slednji vsebujejo tako cerij iz raztopine kot tudi kovinske ione, ki se raztapljajo iz zlitine. Tvorba konverzijske plasti je torej dinamičen proces s selektivnim raztapljanjem Al navzven in obarjanjem Ce-hidroksida navznoter. Zaradi te dinamike dvosmerne ceste je notranjost depozita nad IMP kompleksna in obsega: (a) na vrhu IMP mešano mejno plast, bogato s Cu/osiromašeno z Al, ki vsebuje Fe, nekaj O in tudi Cl, (b) vmesno mešano plast Ce-Cu-Al-Fe z manjšo vsebnostjo Cu in Fe ter večjo vsebnostjo O kot v spodnji plasti ter (c) plast Ce-Al-hidroksida, ki tvori večino notranjosti depozita.

Na matriksu zlitine, ki je prekrita s spontano nastalo nanometrsko plastjo aluminijevega oksida, ta mehanizem selektivnega raztapljanja s pomočjo klorida ne deluje in se plast cerijevega hidroksida tvori le počasi zaradi veliko manjše elektrokemijske aktivnosti in posledično daljšega časa, ki je potreben, da se ustvari alkalni pogoji, potrebni za pretvorbo cerijevih ionov iz raztopine v cerijeve depozite. Razlika v debelini Ce-konverzijske plasti je bila 50–100-krat manjša kot pri velikih IMP.

Delovanje Ce(III) acetata se popolnoma razlikuje od delovanja Ce(III) klorida in nitrata. Na IMP ali površini matriksa ni bilo opaziti velikih depozitov, bogatih s Ce. Namesto tega je bila celotna površina prekrita s tanko plastjo Ce-hidroksida, ki je preprečila selektivno raztapljanje IMP, vključno s S-fazo. Študija torej potrjuje, da je proces depozicije Ce hidroksida na površini aluminijeve zlitine iz vodne raztopine cerijevih ionov kompleksen proces, v katerem ima selektivno raztapljanje interkovinskih delcev ključno vlogo.

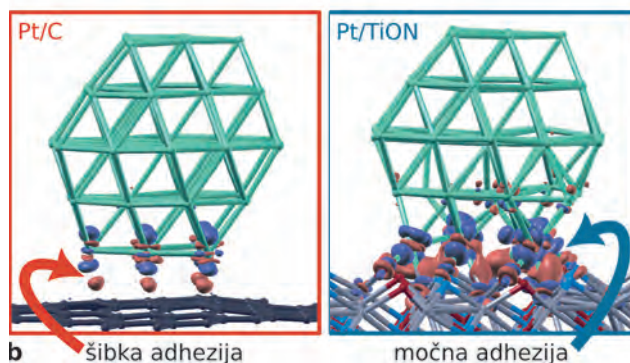
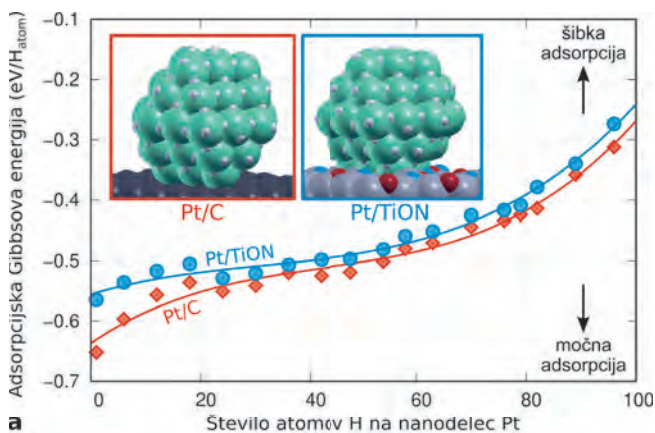
2.5. Proučevanje katalize z modeliranjem na osnovi DFT: nanodelci Pt na nosilcu iz titanovega oksinitrida

Titanov oksinitrid (TiON) je bil pred kratkim spoznan kot obetaven nosilni material za elektrokatalitske aplikacije. Katalizator, sestavljen iz nanodelcev Pt na nosilcu TiON, kaže boljšo stabilnost in aktivnost za reakcijo sproščanja vodika (HER) v primerjavi z referenčnim katalizatorjem HER, ki je sestavljen iz nanodelcev Pt na ogljikovem nosilcu z veliko površino. Za pomoč pri razlagi te eksperimentalne ugotovitve smo izvedli modelno študijo z metodo DFT. Pokazali smo, da je adhezija nanodelcev Pt precej močnejša na podlagi TiON kot na ogljikovi podlagi (slika 9b). Močnejša adhezija zagotavlja dve prednosti za HER: 1) zmanjša odlepljanje in koalescenco nanodelcev Pt, s čimer jih ohranja dobro razpršene, površina platine pa med reakcijo ostaja velika. 2) Znano je, da nosilci, ki močnejše vežejo kovinske nanodelce, vplivajo na njihovo reaktivnost, tako da ti



Slika 8: Presečni posnetek cerijeve konverzijske plasti na interkovinskih delcih Al(Fe,Cu) v aluminijevi zlitini 7075-T6, ki se tvori po 24 urah v raztopini 0,1 M NaCl z dodatkom 3 mM CeCl₃. Rdeči pravokotnik označuje detajl vmesne plasti nad IMP, bogato s Cu/osiromašeno z Al, plast Ce-Cu-Al-Fe, prekrita z debelo plastjo Ce-Al-hidroksida. Ta plast vsebuje tudi nekaj kloridnih atomov.

Ugotovitev, da lahko kloridni ioni stabilizirajo adsorpcijo azolnih inhibitorjev korozije, je presenetljiva in neintuitivna glede na dobro znano eksperimentalno dejstvo, da so kloridni ioni aktivatorji korozije.



Slika 9: Nanodelci Pt na nosilcu iz ogljika (Pt/C) in titanovega oksinitrida (Pt/TiON). a) Nanodelci Pt, podprti na TiON, sistematično vežejo atome H šibkeje kot tisti, podprti na ogljikom. b) Razlika v gostoti elektronskega naboja razkriva, da so nanodelci Pt šibko vezani na podlago iz ogljika in močno na podlago iz TiON.

Z modeliranjem DFT smo pomagali razložiti, zakaj nanodelci Pt na podlagi iz titanovega oksinitrida prekašajo referenčne Pt katalizatorje za reakcijo razvijanja vodika.

tvorijo šibkejšje kovalentne vezi z adsorbati. Po Sabatierjevem principu Pt nekoliko premočno veže kemisorbirane atome H, zato bi morala zmanjšana jakost vezi H-Pt, ki je posledica močne interakcije med kovino in nosilcem, izboljšati aktivnost katalizatorja. Izračuni DFT so potrdili, da nanodelci Pt na nosilcu TiON sistematično vežejo atome H šibkeje kot tisti, podprti z ogljikom (slika 9a), ne glede na pokritost nanodelcev z atomi H.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Milošev I., Hamulič D., Rodič P., Carrière C., Zanna S., Budasheva H., Korte D., Franko M., Mercier D., Seyeux A., Marcus P., Siloxane polyacrylic sol-gel coatings with alkyl and perfluoroalkyl chains: Synthesis, composition, thermal properties and long-term corrosion protection, *Appl. Surf. Sci.*, 2022, 574, 151578
2. Milošev I., Rodič P., The effect of surface pretreatment of aluminum alloy 7075-T6 on the subsequent inhibition by cerium(III) acetate in chloride-containing solution, *J. Electrochem. Soc.*, 2022, 169, 1, 011504
3. Rodič P., Kapun B., Milošev I., Superhydrophobic aluminium surface to enhance corrosion resistance and obtain self-cleaning and anti-icing ability, *Molecules*, 2022, 27, 3, 1099
4. Kozlica D. K., Milošev I., Corrosion inhibition of copper and aluminium by 2-mercaptobenzimidazole and octylphosphonic acid: surface pre-treatment and method of film preparation, *Electrochim. Acta*, 2022, 431, 141154
5. Dlouhy M., Kokalj A., How adsorbed H, O, OH, and Cl affect plain adsorption of imidazole on copper, *Corros. Sci.*, 2022, 205, 110443
6. Kokalj A., Corrosion inhibitors: physisorbed or chemisorbed?, *Corros. Sci.*, 2022, 196, 109939
7. Smiljanić M., Panić S. R., Bele, M., Ruiz-Zepeda F., Pavko L., Gašparič L., Kokalj A., Gaberšček M., Hodnik N., Improving the HER activity and stability of Pt nanoparticles by titanium oxynitride support, *ACS Catal.*, 2022, 12, 20, 13021-13033

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Prof. dr. I. Milošev je bila skupaj s S. Virtanen, J. Locke in C. Dong gostujoča urednica posebne številke revije *Focus issue Women in Electrochemistry*, ki je izšla v reviji *Journal of The Electrochemical Society* (2022). Namen številke je bil promovirati številne dosežke žensk, ki raziskujejo nešteto vidikov elektrokemije, in tako prispevati k zmanjšanju neenakosti spolov v znanosti in inženirstvu.

Nagrade in priznanja

1. Veronika Bračič (študentka Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani) je dobila Krkino posebno pohvalo na razpisu za 52. Krkine nagrade za leto 2022. Delo z naslovom Korozijska zaščita aluminijeve zlitine s konverzijsko in hibridno sol-gel prevleko je opravila pod mentorstvom doc. dr. Petra Rodiča.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. COST CA17126: Razumevanje in modeliranje intenzivnih elektronskih vzburjanj
COST Association AISBL
prof. dr. Anton Kokalj
2. H2020 - MAMI; Magnetizem in mikrohodinamika
European Commission
prof. dr. Ingrid Milošev
3. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Ingrid Milošev
4. DCOIN: Razčlenjenje korozije in njene inhibicije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Matic Poberžnik
5. Protikorozijska zaščita zlitin, izdelanih iz primarnih in sekundarnih surovin
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Ingrid Milošev

PROGRAMA

1. Kemija za trajnostni razvoj
doc. dr. Peter Rodič
2. Napredni materiali za nizkoogljeno in trajnostno družbo
prof. dr. Ingrid Milošev

PROJEKTI

1. Razvoj sodobnih nanostrukturiranih katalizatorjev za hidrogenacijo ogljikovega dioksida v metanol
prof. dr. Anton Kokalj
2. Določevanje struktur spojin žlahtnih plinov s 3D elektronsko difrakcijo
prof. dr. Anton Kokalj
3. 4D STEM energijsko učinkovitih materialov do kvantne ravnini
prof. dr. Anton Kokalj
4. Protibakterijske zlitine: razvoj z aditivno 3D tehnologijo, karakterizacija in klinična uporaba
prof. dr. Ingrid Milošev

5. Fotokatalitsko čiščenje vode - razvoj pritrjenih katalizatorjev in kompaktnih reaktorskih sistemov
doc. dr. Peter Rodič
6. ELME - Ekološki laboratorij z mobilno enoto
Ministrstvo za obrambo RS
doc. dr. Peter Rodič

OBISKI

1. dr. Njomza Ajvazi, College of Medical Sciences Rezonanca, Priština, Republika Kosovo, 5. 7.–30. 9. 2022
2. dr. Dominique Costa, Physical Chemistry and Surfaces, Chimie ParisTech, Francija, 5. 12.–8. 12. 2022
3. prof. dr. Philippe Marcus, Physical Chemistry and Surfaces, Chimie ParisTech, Francija, 5. 12.–7. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Lea Gašparič: *Analysis of electrocatalytic processes using Density Functional Theory*, 11. 4. 2022
2. Ingrid Milošev: *Cerium conversion coatings on aluminium alloys*, 24. 5. 2022
3. Erik Gregori: *Descriptors of corrosion inhibition: integrative experimental-modeling approach based on DFT and machine learning*, 16. 6. 2022
4. Dževad Kozlica: *Synergistic action of organic inhibitors to mitigate corrosion of aluminium, copper, and aluminium-copper alloy in chloride solution*, 17. 6. 2022
5. Ivan Spajič: *Protection of biomedical alloys by thin films of alumina and hafnia prepared by atomic layer deposition*, 20. 6. 2022
6. Ana Kraš: *Optimization of Zr-based conversion coatings on different substrates via response surface methodology*, 26. 8. 2022
7. Dominique Costa: *N heterocyclic carbens as potential inhibitor of Al: a DFT study*, 7. 12. 2022
8. Philippe Marcus: *Effect of surface preparation on corrosion inhibition of Cu by MBT: a surface spectroscopic and electrochemical investigation*, 6. 12. 2022
9. Thiago Trevizam Dorini: *Theoretical investigation of surfaces and interfaces at the atomic scale: ultrathin films supported on metals and intermetallics*, 15. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. A. Kraš, L. Gašparič, E. Gregori, I. Milošev, A. Kokalj: 14. Študentska konferenca Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana, 1.–3. 6. 2022
2. A. Kraš, M. Dlouhy, I. Milošev, A. Kokalj: EUROCORR 2022, 28. 8.–1. 9. 2022
3. I. Milošev, D. Kozlica: Electrochemical Society Meeting, 9.–13. 10. 2022
4. I. Milošev, D. Kozlica, P. Rodič, I. Spajič, B. Kapun, A. Kokalj: 8th Regional Symposium on Electrochemistry of South-East Europe together with the 9th Kurt Schwabe Symposium, 11.–15. 7. 2022
5. P. Rodič, I. Milošev: AETOC 2022, 29. 3.–1. 4. 2022
6. P. Rodič, B. Kapun, I. Milošev: Tehnologijada, 2.–8. 5. 2022
7. I. Milošev: European Bioresorbable Conference 2022, 18.–20. 5. 2022
8. M. Dlouhy, A. Kokalj: CrossNano: Crossborder Workshop in Nanoscience and Nanotechnology, 22.–24. 2. 2022
9. A. Kokalj: European C-MetAC Days 2022, 21.–24. 11. 2022
10. M. Dlouhy, L. Gašparič, A. Kokalj: ML4M 2022, Young Researcher's Workshop on Machine Learning for Materials, 9.–13. 5. 2022
11. A. Kokalj: Slovenski kemijski dnevi 2022, 21.–23. 9. 2022

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. dr. Matic Poberžnik, CNR-IOM (Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto Officina dei Materiali, Trst, Italija, 1. 1. 2022–31. 12. 2022 (podoktorsko izpopolnjevanje)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Anton Kokalj, znanstveni svetnik
2. **prof. dr. Ingrid Milošev, znanstveni svetnik - vodja odseka**
3. doc. dr. Peter Rodič

Podoktorski sodelavci

4. dr. Dževad Kozlica
5. dr. Matic Poberžnik, *časna prekinitev 1. 1. 2021*
6. dr. Ivan Spajič

Mlajši raziskovalci

7. Matjaž Dlouhy, mag. kem.
8. Lea Gašparič, mag. kem.
9. Erik Gregori, mag. inž. kem. inž.
10. Ana Kraš, mag. appl. chem., R. Hrvaška
11. *Nikolina Lešić, mag. chem., R. Hrvaška, odšla 1. 3. 2022*

Strokovni sodelavci

12. Barbara Kapun, dipl. inž. kem. tehnol.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
2. Univerza v Novi Gorici, Laboratorij za raziskavo materialov
3. Ortopedska bolnišnica Valodtra, Ankaran
4. Kemijski inštitut, Ljubljana
5. Center odličnosti CIPKeBiP, Ljubljana

6. Center odličnost Nanocenter
7. Talum, d. d., Kidričevo
8. Trimio, d. o. o., Trebnje
9. Hidria, d. o. o., Ljubljana
10. Kolektor Mobility, d. o. o., Idrija
11. Alkemika, d. o. o., Celje
12. Gabrijel Aluminium, Grosuplje
13. University of Zagreb, Faculty of Chemical Engineering and Technology, Zagreb, Hrvaška
14. CNR-IOM DEMOCRITOS National Simulation Center, Trst, Italija
15. SISSA/ISAS - International School for Advanced Studies, Trst, Italija
16. CNR, Istituto di Scienze e Tecnologie Molecolari, Milano, Italija
17. University of Udine, Polytechnic Department of Engineering and Architecture, Italija
18. University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, Srbija
19. University of Belgrade, Faculty of Physical Chemistry, Srbija
20. University of Erlangen-Nürnberg, Erlangen, Department of Materials Science and Engineering, Nemčija
21. The Ohio University, Fontana Corrosion Center, Columbus, ZDA
22. Hasselt University, Institute for Materials Research, Hasselt, Belgija
23. National University of Mar del Plata, INTEMA, Conicet, Argentina
24. Universitat Politècnica de Catalunya, Department of Physics, Barcelona, Španija
25. Delft University of Technology, Materials Science and Engineering, Nizozemska
26. CNRS, Chimie ParisTech, PSL University, Institut de Recherche de Chimie Paris, Francija
27. Institut Jean Lamour & Université de Lorraine, Francija
28. Bay Zoltán Nonprofit Ltd. for Applied Research LTD, Budimpešta, Madžarska
29. Joanneum Research Materials, Niklasdorf, Avstrija
30. University of Virginia, Department of Materials Science and Engineering, ZDA
31. University of La Laguna, La Laguna, Tenerife, Španija

Odsek za elektronsko keramiko raziskuje sintezo, lastnosti in uporabo keramičnih materialov za elektroniko in energetiko, pretežno kompleksnih materialov in struktur, ki lahko opravljajo več funkcij (multifunkcijski materiali). To so predvsem piezoelektriki, feroelektriki, relaksorji, multiferoiki, prevodni oksidi, nizko dimenzionalni magneti in bakrovi superprevodniki. Poudarek raziskav je na kreiranju lastnosti s sintezo in strukturo na nano-, mikro- in makroravni. Raziskujemo tudi osnove procesov za pripravo senzorjev tlaka, keramičnih mikroelektromehanskih sistemov (MEMS) in fleksibilne elektronike.



Vodja:

prof. dr. Barbara Malič

Nadaljevali smo z raziskavami na področju okolju prijaznih feroikov brez svinca. Natrijev niobat (NaNbO_3) je mejna spojina številnih trdnih raztopin na osnovi alkaljskih niobatov ($\text{KNbO}_3\text{-NaNbO}_3$) z izvrstnimi piezoelektričnimi lastnostmi, poleg tega je eden od prototipnih antiferoelektrikov. V sodelovanju s kolegi s Tehniške univerze Darmstadt, Nemčija, smo raziskovali nedopirani in donorsko dopirani natrijev niobat (1 molski % Ca ali Sr). Povprečna velikost zrn se z dodatkom dopantov drastično zmanjša, od približno 90 μm do mikronske velikosti, kar lahko razložimo z zmanjšano gibljivostjo mej zrn in je značilno za druge alkaljske niobate. Donorsko dopirani natrijev niobat izkazuje nizko električno prevodnost pri sobni temperaturi, do $10 \times 10^{-10} \text{S/cm}$, kar je primerljivo z nedopiranim materialom. Rezultati nakazujejo, da je energijska reža natrijevega niobata precej višja od reže 3,4 eV–3,5 eV, določene z optično spektroskopijo, ki jo navajajo v literaturi.

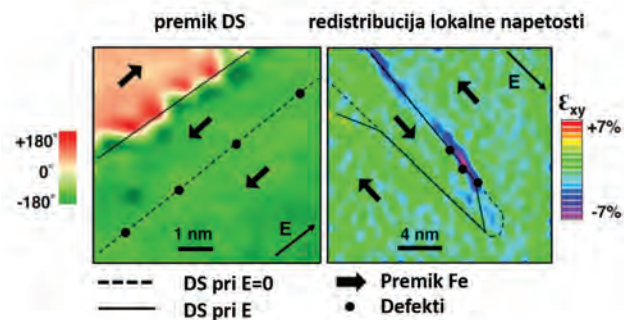
Nadaljevali smo z raziskavami mehanizmov mikrodeformacije, ki jo povzroča električno polje, v polikristalnem BiFeO_3 . Z *in situ* rentgensko difrakcijo smo odkrili nepričakovano zmanjšanje deformacije rešetke z naraščajočo amplitudo polja pri frekvencah pod Hz. Odziv je bil pripisan povezanemu učinku prevodnosti lokalne domenske stene in elastičnega medzrnskega spajanja. Slednje vodi do obsežne prerazporeditve električnih polj znotraj posameznih zrn, kar povzroči posebno odvisnost od polja deformacije rešetke.

V sodelovanju z raziskovalci Kemijskega inštituta, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Švica, in Univerze Paris-Saclay, CentraleSupélec, Francija, smo z uporabo *in situ* vrstične presevalne elektronske mikroskopije proučevali dinamiko domenskih sten in defektov v monokristalu bizmutovega ferita pod električnim poljem. Dinamika domenskih sten v prisotnosti defektov razkriva edinstvene in kompleksne pojave na atomski ravni (slika 1). Rezultati študije, ki je bila objavljena v reviji *Nanoletters*, prispevajo k vpogledu v dinamične atomistične procese na domenskih stenah v feroelektričnih materialih.

Testirali smo nov pristop k mehanokemijski sintezi keramike $\text{BiFeO}_3\text{-BaTiO}_3$ z uporabo kali v sodelovanju s kolegi iz Danske. Postopek je vključeval uporabo praškastih kali BaTiO_3 med mehanokemijsko aktivacijo, ki naj bi spodbudila tvorbo perovskitne faze. V nasprotju s pričakovanji je uporaba kali BaTiO_3 vodila k nastanku kemijsko nehomogene keramike s področji, bogatimi z BaTiO_3 . Medtem ko so za homogeno keramiko $\text{BiFeO}_3\text{-BaTiO}_3$, ki smo jo pripravili s konvencionalno sintezo brez kali, značilni večji piezoelektrični koeficienti šibkega polja, je heterogena keramika izkazovala izrazite napetosti pod visokim poljem zaradi večje reverzibilnosti odziva, kar smo povezali s prisotnostjo kemijskih heterogenosti.

V sodelovanju s kolegi z Odseka za fiziko trdne snovi in Odseka za raziskave sodobnih materialov IJS ter s kolegi iz Maroka, Francije in Ukrajine smo proučili dielektrične in piezoelektrične lastnosti keramike na osnovi barijevega titanata. Pripravili smo različne sestave trdne raztopine $(1-x)\text{Ba}_{0,85}\text{Ca}_{0,15}\text{Zr}_{0,10}\text{Ti}_{0,90}\text{O}_3\text{-xBaTi}_{0,89}\text{Sn}_{0,11}\text{O}_3$ ($x\text{BTSn}$, $x = 0,2, 0,4$ in $0,6$). Keramika s sestavo $x = 0,2$ je izkazovala najvišji piezoelektrični koeficient $d_{33} = 228 \text{pC}\cdot\text{N}^{-1}$.

Nadalje smo raziskali izvor velikega piezoelektričnega odziva relaksorsko feroelektrične keramike na osnovi trdne raztopine $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3\text{-xPbTiO}_3$ (PMN-PT). Sistematična analiza piezoelektričnega nelinearnega harmoničnega odziva relaksorske keramike PMN-PT in nerelaksorske keramike na osnovi $\text{Pb}(\text{Zr,Ti})\text{O}_3$ (PZT) je razkrila temeljne

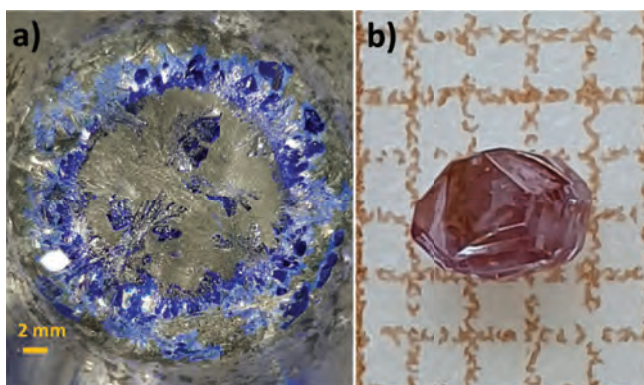


Slika 1: Odziv domenskih sten (DS) pod električnim poljem, raziskan z *in situ* presevalno elektronsko mikroskopijo. Usmerjenost premika Fe (levo) in porazdelitev napetosti (desno) sta bili ovrednoteni iz slik atomske ločljivosti HAADF. Na DS smo pri spremembi električnega polja opazili segregacijo defektov ter spremembe v lokalnih napetostih in porazdelitvi naboja.

Barbara Malič je prejela najvišjo nagrado društva IEEE Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control Society (UFFC-S) za izjemen prispevek k razjasnitvi odnosov med kemijskimi in fizikalnimi lastnostmi feroelektrične keramike.

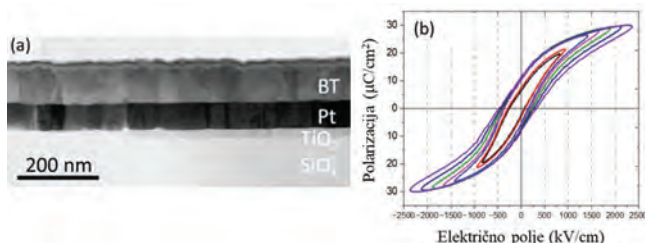
razlike v prispevkih dinamičnih domenskih sten k lastnostim v teh dveh sistemih. Čeprav posredno smo lahko prvič identificirali ključne nelinearne značilnosti, povezane z dinamiko domenskih sten pod nizkimi koti, in to vedenje primerjali z dinamiko običajnih domenskih sten v feroelektrikih, kot je PZT. Rezultati so bili objavljeni v preglednem članku v reviji *Journal of the American Ceramic Society*.

Doktorske študentke Oana-Andreea Condurache, Katarina Žiberna in Barbara Repič so na mednarodnih konferencah prejele nagrade za predstavitev rezultatov iz njihovih doktorskih študijev.



Slika 2: a) Modri monokristali $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ milimetrskih dimenzij, pridobljeni z metodo za gojenje monokristalov iz taline anorganske snovi, v platinastem lončku. b) Monokristal lila barve kandidatne spojine za kvantnospinsko tekočino $\text{NdTa}_7\text{O}_{19}$, vzgojen na K5.

Andreja Benčan Golob od leta 2022 vodi triletni velik interdisciplinarni projekt ARRS, katerega namen je vzpostaviti platformo za razvoj nove metodologije vrstične preseвне elektronske mikroskopije (4D STEM) za karakterizacijo energetsko učinkovitih materialov do kvantne ravni. Projekt povezuje znanstvenike, ki se ukvarjajo z razvojem mikroskopije, sinteze različnih energetsko učinkovitih materialov, računalniških metod in metod umetne inteligence iz dveh vodilnih slovenskih raziskovalnih ustanov, Instituta "Jožef Stefan" in Kemijskega inštituta.



Slika 3: a) Posnetek s presevnim elektronskim mikroskopom preseka tanke plasti barijevega titanata (BT) na podlagi platiniziranega silicija prikazuje pretežno stebričasto mikrostrukturo. Raztopino prekurzorjev v toplih etilen glikol in etanol smo štirikrat nanесли na podlago, sušili, pirolizirali in žgali pri $800\text{ }^\circ\text{C}$, da smo dosegli debelino plasti okrog 130 nm . b) Histerezne zanke polarizacija - električno polje tanke plasti BT z zlato zgornjo elektrodo.

V sodelovanju s kolegi z Odseka za reaktorsko fiziko IJS smo raziskali možnost uporabe **elektrokalične keramike** $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - x\text{PbTiO}_3$ (PMN-100xPT) v primerih, ko je material izpostavljen sevanju nevtronov in γ -žarkov. Keramiko PMN-100xPT ($x = 0, 0,1$ in $0,35$) smo obsevali s snopom $10^{15} - 10^{17}$ nevtronov/ cm^2 , kar presega največje pričakovano obsevanje v Evropski organizaciji za jedrske raziskave (CERN). Nevtroni in γ -žarki delno vplivajo na funkcijske lastnosti keramike PMN-35PT. Nasprotno pa so funkcijske lastnosti obsevanih vzorcev keramike PMN in PMN-10PT podobne tistim, ki niso bili obsevani, iz česar sledi, da sta PMN in PMN-10PT primerna za uporabo v elektrokaličnih hladilnih napravah, ki so izpostavljene sevanju nevtronov in γ -žarkov.

Del naših raziskav je bil osredotočen na gojenje **monokristalov in magnetne študije nizkodimenzionalnih in frustriranih magnetnih materialov**, kot sta na primer $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ in $\text{NdTa}_7\text{O}_{19}$. Najprej smo sintetizirali polikristalinični $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ in nato razvili metodo za gojenje monokristalov iz taline, s katero smo pridobili modre monokristale $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ in dopiran $\text{SrCu}_2(\text{BO}_3)_2$ milimetrskih velikosti (slika 2a), kar nam je omogočilo nadaljnje raziskave magnetnih lastnosti tega materiala. Poleg tega smo gojili tudi monokristale Isingovega antiferomagnetnega neodimijevega heptatantalata s trikotno mrežo, $\text{NdTa}_7\text{O}_{19}$ (slika 2b), ki bodo uporabljeni za nadaljnje raziskave osnovnega magnetnega stanja te spojine. V sodelovanju z Odsekom za fiziko trdne snovi IJS bomo kristale uporabili za vrsto meritev, kot so meritve magnetizacije, toplotne kapacitete, mionske spinske resonance in neelastičnega sipanja nevtronov.

Drugi del raziskav je bil osredotočen na spojine srebra(II). Predvideno je, da bodo imele fluoridne faze, ki vsebujejo spin $\frac{1}{2} 4d^9 \text{Ag}^{2+}$, eksotične magnetne lastnosti podobne kupratom. Ker je Ag^{2+} zelo močan oksidant, so sintezne tehnike omejene na uporabo F_2 ali brezvodnega HF. Poleg tega termični razpad AgF_2 , glavnega prekurzorja Ag^{2+} spojin, dodatno omejuje metode priprave teh materialov. Ravno zato smo se usmerili na nove sintezne tehnike za pripravo novih faz srebra(II).

Med okolju prijaznimi alternativami svinčevi piezoelektrični keramiki (PZT) so tudi trdne raztopine na osnovi $\text{Ba}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3 - (\text{Ba},\text{Ca})\text{TiO}_3$ (BZT-BCT). Priprava tankih plasti iz raztopin omogoča cenovno ugodno možnost miniaturizacije elektronskih komponent. V splošnem priprava plasti zemljoalkalijskih perovskitov, kot je BaTiO_3 (BT) in trdne raztopine na osnovi BT, kot je BZT-BCT, temelji na uporabi zemljoalkalijskih karboksilatov, raztopljenih v karboksilni kislini, in alkoksidov kovin prehoda, razredčenih z alkoholi. Problem je, da počasna reakcija med topli vodi do pojava vode, ki hidrolizira alkoksid, kar lahko vodi do delnega obarjanja in izgube kemijske homogenosti. Razvili smo novo sintezno pot, ki temelji na uporabi topila etilenglikol za zemljoalkalijske reagente in vodi do raztopin prekurzorjev z dolgo življenjsko dobo nekaj mesecev. Tanke plasti BT, pripravljene z novo kombinacijo topil, kristalizirajo po segrevanju pri $800\text{ }^\circ\text{C}$ v perovskitni fazi s kolumnarno mikrostrukturo in izkazujejo dobre dielektrične in feroelektrične lastnosti (slika 3).

V sodelovanju s kolegi z Odseka za fiziko trdne snovi in Odseka za raziskave sodobnih materialov, IJS, ter s kolegi iz Maroka, Francije in Ukrajine smo proučili piezoelektrične lastnosti nanožičk $\text{H}_2(\text{Zr}_{0.1}\text{Ti}_{0.9})_3\text{O}_7$. Z mikroskopom na atomsko silo s piezoelektričnim modulom (PFM) smo določili piezoelektrični koeficient $d_{33} \sim 25\text{ pm}\cdot\text{V}^{-1}$ posamezne nanožičke. Nadalje smo v sodelovanju s kolegi z Odseka za sintezo materialov, IJS, raziskali funkcijske lastnosti nanodelcev in nanožičk $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Opazovanja

feroelektričnih domen s PFM so pokazala piezoelektrično/feroelektrično naravo obeh nanostruktur.

Nadaljevali smo raziskave na področju debelih plasti okoli prijaznih piezoelektrikov na osnovi $K_{0,5}Na_{0,5}NbO_3$ (KNN) za uporabo v ultrazvočnih pretvornikih. Izdelali smo večplastno strukturo, ki je bila sestavljena iz podlage KNN z visokim koeficientom dušenja 0,5 dB/mm/MHz in debele plasti KNN, pripravljene s sitotiskom. Elektroakustični odziv večplastne strukture v vodi je imel osrednjo frekvenco 15 MHz in zelo veliko pasovno širino (BW) 127 % pri -6 dB. Večplastno strukturo bi lahko uporabili za izdelavo ultrazvočnega pretvornika za medicinsko diagnostiko pri frekvenci nad 15 MHz. Raziskavo smo izvedli v okviru projekta Proteus v sodelovanju z raziskovalci Univerze v Toursu, Francija.

Nadaljevali smo z raziskavami materialov in tehnologij za realizacijo elektrokemijskega senzorskega sistema (MES) za detekcijo neonicotinoidnih pesticidov. Miniaturne trielektrodne sisteme na korundni podlagi smo izdelali z metodo sitotiska. Potrdili smo elektrokemijski odziv delovnih elektrod na osnovi čistega ogljika za neonicotinoide. V sodelovanju s Fakulteto za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani smo izboljšali odziv tako, da smo delovno elektrodo na osnovi ogljika modificirali z delci kovinskega oksida.

Nadaljevali smo z raziskavami debelih plasti z metodo nanosa v aerosolu v okviru Laboratorija za ultrahladno pripravo kompleksnih oksidov. Sredstva za postavitev laboratorija smo prejeli v okviru projekta Direktorjevega sklada ULTRACOOOL. S kolegi z Univerze Friedrich-Alexander, Erlangen-Nürnberg, Nemčija, in z Univerze v Toursu, Francija, smo pripravili in okarakterizirali večfunkcijske debele plasti $0,65Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-0,35PbTiO_3$ (PMN-35PT) na jeklenih podlagah. Plasti, segrete pri 500 °C, vzdržijo električna polja 1350 $kV\cdot cm^{-1}$ in imajo obetavne lastnosti shranjevanja energije pri sobni temperaturi. Gostota shranjene energije v teh plasteh doseže 15 $J\cdot cm^{-3}$ ter izkazuje stabilnost tudi po 5 milijonih ciklov električnega polja. Makroskopske piezoelektrične meritve so pokazale največjo relativno deformacijo 0,38 % pri 1000 $kV\cdot cm^{-1}$, kar ustreza obratnemu piezoelektričnemu koeficientu $\sim 40 pm\cdot V^{-1}$.

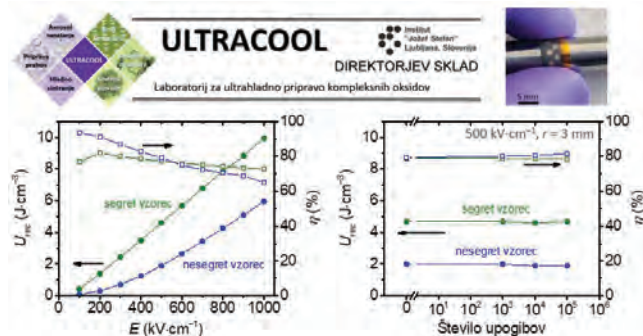
Nadalje smo razvili postopek za proučevanje piezoelektričnih plasti v preseku s PFM. Na ta način smo raziskali relaksorsko feroelektrično domensko strukturo po preseku debelih plasti PMN-35PT, pripravljenih s sitotiskom in nanosom v aerosolu. Zaradi različnih metod priprave in toplotne obdelave vzorcev se velikost zrn in struktura relaksorsko feroelektričnih domen v njih razlikujeta. V plasteh, natisnjenih s sitotiskom, je velikost domen v mikrometrskem območju, medtem ko je v plasteh, nanesenih z aerosolom, velikost domen v nanometrskem območju. V obeh skupinah vzorcev pa ni opaznih sprememb v domenski strukturi po debelini.

Nadalje smo z nanosom v aerosolu pripravili debele plasti $0,9Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O_3-0,1PbTiO_3$ (PMN-10PT) na upogljivih polimernih podlagah (slika 4). Po segrevanju pri 400 °C plasti izkazujejo visoko polarizacijo ($38 \mu C\cdot cm^{-2}$) in nizke histerezne izgube. Gostota shranjene energije v teh plasteh doseže 10 $J\cdot cm^{-3}$ pri 1000 $kV\cdot cm^{-1}$. Plasti izkazujejo odlično stabilnost funkcijskih lastnosti na upogibe s polmerom 3 mm (upogibna deformacija 1,1 %) in tudi na mehansko cikliranje do 100.000 ciklov. Pripravljene plasti izkazujejo lastnosti, ki so potencialno obetavne za aplikacije, povezane s fleksibilno elektroniko.

V sklopu raziskav hladnega sintranja funkcijskih oksidov v laboratoriju ULTRACOOOL smo poleg keramike $BiFeO_3$ vključili $(K,Na)NbO_3$ in kompozite s piezoelektričnimi polimeri (PVDF). Medtem ko je optimizacija parametrov hladnega sintranja keramičnih materialov še v teku, so prve izmerjene elektromehanske lastnosti hladno sintrane keramike zelo obetavne in kažejo veliko perspektivo za uporabo v aktuatorjih in zbiralnikih energije. Predhodne študije kažejo, da so glavne prednosti hladnega sintranja poleg prihranka energije zaradi nizkotemperaturne obdelave velika dielektrična prebojna trdnost, ki omogoča uporabo visokih napetosti, visoka dielektrična konstanta in nizke dielektrične izgube tako pripravljenih keramičnih materialov.

V sodelovanju s Kemijskim inštitutom iz Ljubljane in RC eNeM raziskujemo integracijo transparentne elektronike na industrijske steklene izdelke naslednje generacije. Projekt se osredotoča na izdelavo električno prevodnih oksidov brez vsebnosti indija in na cenovno ugodne okolju prijazne postopke za pripravo plasti iz raztopin.

Podeljen je bil evropski patent z naslovom A vibration system and a filtering plate for filtering substances, katerega soavtorji so Danjela Kuščer, Tadej Rojac in Darko Belavič.



Slika 4: Shranjevanje električne energije v debelih plasteh PMN-10PT na polimerni podlagi: (levo) gostota shranjene energije (U_{rec}) in izkoristek (η) v odvisnosti od električnega polja (E), (desno) U_{rec} in η v odvisnosti od števila mehanskih upogibov.

Mojca Otoničar in Tadej Rojac sta s pomočjo sodelavk in sodelavcev ter strokovnega društva MIDEM organizirala 57. mednarodno konferenco o mikroelektroniki, napravah in materialih z delavnico Zbiranje energije: materiali in uporaba, ki je potekala v Mariboru septembra 2022.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Šadl, Matej, Lebar, Andrej, Valentinčič, Joško, Uršič Nemevšek, Hana, Flexible energy-storage ceramic thick-film structures with high flexural fatigue endurance, *ACS applied energy materials*, 2022, 5, 6, 6896-6902, doi: 10.1021/acsaem.2c00518
2. Uršič Nemevšek, Hana, Prah, Uroš, Rojac, Tadej, Jazbec, Anže, Snoj, Luka, Drnovšek, Silvo, Bradeško, Andraž, Mirjanič, Anja, Vrabelj, Marko, Malič, Barbara, High radiation tolerance of electrocaloric $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_{3-x}\text{PbTiO}_3$, *Journal of the European ceramic society*, 2022, 42, 13, 5575-5583, doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2022.05.051
3. Kuščer, Danjela, Kmet, Brigita, Drnovšek, Silvo, Bustillo, Julien, Levassort, Franck, Lead-free sodium potassium niobate-based multilayer structures for ultrasound transducer applications, *Sensors*, 2022, 22, 9, 3223-1-3223-13, doi: 10.3390/s22093223
4. Otoničar, Mojca, Dragomir, Mirela, Rojac, Tadej, Dynamics of domain walls in ferroelectrics and relaxors, *Journal of the American Ceramic Society*, 2022, 105, 11, 6479-6507, DOI: 10.1111/jace.18623

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. MIDEM 2022: 57. mednarodna konferenca o mikroelektroniki, elektronskih sestavnih delih in materialih za delavnico *Zbiranje energije: materiali in aplikacije*, Maribor, Slovenija, 14.–16. 9. 2022

Patent

1. Mirko Faccini, Morillo Martín, David Amantia, Danjela Kuščer, Darko Belavič, Tadej Rojac, A vibration system and a filtering plate for filtering substances, EP3454977 (B1), European Patent Office, 9. 2. 2022

Nagrade in priznanja

1. Oana-Andreea Condurache, študentska nagrada za prispevek: *In situ* študija dinamike domenskih sten bizmutovega ferita pod električnim poljem s presevnim elektronskim mikroskopom z atomsko ločljivostjo, organizacijski odbor konference Microscopy & Microanalysis 2022
2. Barbara Malič, nagrada za izjemen prispevek k razjasnitvi odnosov med kemijskimi in fizikalnimi lastnostmi feroelektrične keramike, odbor za feroelektrike pri društvu Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control Society (UFFC-S) v okviru zveze Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)
3. Barbara Repič, nagrada za najboljšo predstavitev v sklopu kategorije Senzorskih tehnologij, organizacijski odbor 14. študentske konference Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana
4. Katarina Žiberna, nagrada za uvrstitev med najboljše tri postre s področja materialov, organizacijski odbor 16th Multinational Congress on Microscopy

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Meritve na segrevalnem mikroskopu
Meggitt Sensing Systems
prof. dr. Barbara Malič
2. Laboratorijske meritve za TDK
TDK Electronics GmbH & Co OG
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
3. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Barbara Malič
4. H2020 - QMatCh; Iskanje kvantnih stanj snovi s kemijo pod ekstremnimi pogoji
European Commission
doc. dr. Mirela Dragomir
5. Tanke plasti okolju prijaznih feroelektrikov za zbiranje energije in za shranjevanje energije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič
6. In-situ študije dinamičnih procesov v keramičnih oksidih v redukcijskem okolju presevnega elektronskega mikroskopa
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andreja Benčan Golob
7. Načrtovanje mikrostrukture in lastnosti piezoelektrikov brez svinca za zbiranje energije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič
8. Okolju prijazna priprava tankih plasti funkcijskih oksidov brez svinca za uporabo v mikro-elektro-mehanskih sistemih (MEMS)
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič
9. Pametna zasnova večfunkcijskih kompozitov z optimiziranim prenosom energije med komponentami
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Barbara Malič
10. ABO₃ perovskitna feroelektrična keramika za bodoče senzorje, akuatorje in hladilne sisteme na osnovi trdne snovi
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
11. Nizkotemperaturna priprava piezoelektričnih debelih plasti za medicinsko diagnostiko in zbiranje energije
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
12. Feroelektrični in antiferoelektrični keramični materiali
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek

- Gojenje monokristalov in raziskave nizkodimenzionalnih kvantnih magnetov pod visokimi tlaki
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Mirela Dragomir

PROGRAM

- Multifunkcijski materiali in naprave: od kvantnega do makro nivoja
prof. dr. Barbara Malič

PROJEKTI

- In situ kvantitativna vrstična presečna elektronska mikroskopija funkcijskih materialov na atomski ravni
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- TCCbuilder: odprtokodno simulacijsko orodje za toplotne tokokroge
prof. dr. Barbara Malič
- Elektrokalični elementi za aktivno hlajenje elektronskih vezij
prof. dr. Barbara Malič
- Napredne anorganske in organske tanke plasti z ojačenim električno induciranim odzivom
prof. dr. Barbara Malič
- Iskanje visoko temperaturne superprevodnosti in eksotičnega magnetizma v fluorido argentatih(II)
doc. dr. Mirela Dragomir
- Oblikovanje funkcionalnosti feroelektrikov brez svinca in inženiringom domenskih sten
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- Hladno sintranje multifunkcijskih elektronskih komponent
doc. dr. Mojca Otoničar
- Načrtovanje tankih plasti relaksorskih feroelektrikov za piezoelektrične aplikacije in shranjevanje energije
prof. dr. Tadej Rojac
- Določevanje struktur spojin zlahkih plinov s 3D elektronsko difrakcijo
doc. dr. Mirela Dragomir

- Več-kalorični elementi za okolju prijazne hladilne sisteme
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Visokotlačna stabilizacija in fazni prehodi zmuzljivih fluoridov prehodnih kovin
doc. dr. Mirela Dragomir
- Povečan piezoelektrični odziv relaksorske feroelektrične keramike s strukturnim neredom
prof. dr. Tadej Rojac
- Mikrofluidni Senzorski Sistem za zaznavanje Pesticidov (MISS PES)
prof. dr. Danjela Kušcer Hrovatin
- Upogljivi elementi z multi-fizikalnimi lastnostmi
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Antiferoelektrični materiali za hladilne in energetske elektronske aplikacije
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- 4D STEM energijsko učinkovitih materialov do kvantne ravnini
prof. dr. Andreja Benčan Golob
- Procesna intenzifikacija kontinuirne sinteze vodikovega peroksida visoke čistosti z uporabo elektrokatalitskega mikroreaktorja
prof. dr. Barbara Malič
- Napredni materiali in tehnologije za trajnostno tiskano elektroniko na steklu
prof. dr. Danjela Kušcer Hrovatin
- Cool BatMan: Sistem za toplotno upravljanje baterij na osnovi digitalnega mikrofluidnega magnetnokaličnega hlajenja
Univerza v Ljubljani
prof. dr. Hana Uršič Nemevšek
- Manjše storitve - tuji naročniki
prof. dr. Barbara Malič

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

- Sofinanciranje L2-4469 Napredni materiali in tehnologije za trajnostno tiskano elektroniko na steklu
Razvojni center eNeM Novi Materiali, d. o. o.
prof. dr. Danjela Kušcer Hrovatin

OBISKI

- Nikola Tutić, Univerza v Bjelovarju, Bjelovar, Hrvaška, 16. 1. 2022–15. 4. 2022
- prof. Dragan Damjanovic, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Švica, 8. 3. 2022–2. 4. 2022
- Matheiu Fricaudet, CentraleSupélec, Pariz, Francija, 20. 3. 2022–10. 6. 2022
- dr. Ilona Zamaraitė, Vilnius University, Vilnius, Litva, 1.–30. 4. 2022
- Justine Breuzard, Université de Tours, Tours, Francija, 5.–24. 6. 2022
- Jeanne Gonzales, Université de Tours, Tours, Francija, 5. 4.–24. 6. 2022
- Meryem Lachhab, Université de Limoges, Limoges, Francija, 19. 4.–8. 7. 2022
- Longfei Song, Luxembourg Institute of Science and Technology, Luksemburg, Luksemburg, 16. 5.–15. 6. 2022
- Ivica Grgić, Univerza v Bjelovarju, Bjelovar, Hrvaška, 16. 5.–14. 7. 2022
- Christine Farmer, Institute of Technology Blois, Blois, Francija, 20. 5. 2022
- prof. Marco Deluca, Materials Center Leoben Forschung GmbH, Leoben, Avstrija, 24. 5. 2022
- dr. Xi Shi, Friedrich–Alexander–Universität Erlangen–Nürnberg. Nürnberg, Nemčija, 29. 5.–8. 6. 2022
- Marah Alqedra, Faculty of Science, Ankara University, Ankara, Turčija, 5. 7.–26. 9. 2022
- Matheiu Fricaudet, CentraleSupélec, Pariz, Francija, 23. 8.–13. 10. 2022
- dr. Julian Walker, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norveška, 19.–20. 9. 2022
- prof. Jacob L. Jones, North Carolina State University, Raleigh, ZDA, 23. 9. 2022
- prof. dr. Geoff Brennecke, Colorado School of Mines, Golden, ZDA, 1. 10. 2022–28. 2. 2023
- Matheiu Fricaudet, CentraleSupélec, Pariz, Francija, 25. 10.–9. 12. 2022
- Alexander Kobold, Materials Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben, Avstrija, 7.–11. 11. 2022
- Luka Čubrilo, Faculty of Sciences, University of Novi Sad, Novi Sad, Srbija, 7. 11. 2022–7. 2. 2023
- prof. Vera Gradišnik, Prof. Duško Čakara, Univerza v Rijeki, Reka, Hrvaška, 22. 11. 2022
- dr. Jaroslav Kita, Faculty of Engineering Science, University of Bayeruth, Bayeruth Nemčija, 15.–16. 12. 2022
- dr. Yongli Wang, Albertus Santano, Kyosuke Nakamura, TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija, 22. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- Oana–Andreea Condurache: In situ študija feroelektričnih domenskih sten pod napetostjo v presevnem elektronskem mikroskopu, 20. 1. 2022
- Matic Belak Vivod: Mehanokemijska sinteza alternativna metoda za pripravo fluoridoargentatov (II), 24. 3. 2022

- prof. Dragan Damjanovic, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Švica: Pojav »prepovedanih« lastnosti zaradi izgube centrosimetričnosti v kompleksnih materialih, 29. 3. 2022
- Victor Regis de Moraes: Multikalorični kompoziti, pripravljeni z metodo nanosa v aerosolu, 31. 3. 2022
- Lia Šibav: Efekti dopiranja kvantnega antiferomagneta SrCu₂(BO₃)₂, 7. 4. 2022
- Matheiu Fricaudet, CentraleSupélec, Pariz, Francija: Feroelektrični materiali za zbiranje energije, 14. 4. 2022
- dr. Ilona Zamaraitė, Vilnius University, Vilnius, Litva: Probing Perovskite Oxides: Fizikalne lastnosti lamelnih kristalov kovinskih tiosulfatov: pregled dosedanjih raziskav in obeti za prihodnost, 20. 4. 2022
- Ankita Sarkar: Raziskave optičnih in magnetnih lastnosti perovskitnih oksidov, 11. 5. 2022
- prof. Jacob L. Jones, North Carolina State University, Raleigh, ZDA: Napredek v razumevanju sinteze v trdnem stanju s kontrolo reakcijskih pogojev in z in situ rentgensko difrakcijo, 23. 9. 2022
- Katarina Žiberna: Mehansko obnašanje perovskitnih feroelektrikov brez svinca na nano nivoju, 29. 9. 2022
- Brigita Kmet: Debele plasti kemijsko modificiranega kalijevega natrijevega niobata na platiniziranih podlagah aluminijevega oksida, 23. 11. 2022
- dr. Antonio Iacomini: Sinteza in električne lastnosti piezoelektrične keramike KNN–BF, pripravljene z visokoenergijskim mletjem, 1. 12. 2022
- Matej Šadl: Debele plasti svinčevega magnezijevega niobata titanata, pripravljene z metodo nanašanja v aerosolu, 8. 12. 2022
- dr. Jaroslav Kita, Faculty of Engineering Science, University of Bayeruth, Nemčija: Razvoj na področju nanašanja prahu z aerosolom, 16. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Matic Belak Vivod, Mirela Dragomir, Lia Šibav, 17th European Powder Diffraction Conference (EPDiC17), Šibenik, Hrvaška, 31. 5.–3. 6. 2022 (2)
- Matic Belak Vivod, Mirela Dragomir, Slovenski kemijski dnevi 2022, Portorož, 21.–23. 9. 2022 (1)
- Matic Belak Vivod, Mirela Dragomir, Lia Šibav, 22th Croatian–Slovenian Crystallographic Meeting (CSCM28), Poreč, Hrvaška, 7.–11. 9. 2022 (2)
- Andreja Benčan Golob, Katarina Žiberna, 16th Multinational Congress on Microscopy – 16MCM, Praga, Češka Republika, 4.–9. 9. 2022 (1)
- Andreja Benčan Golob, Oana–Andreea Condurache, Katarina Žiberna, 15th International Ceramics Congress – CIMTEC 2022, Perugia, Italija, 20.–24. junij 2022 (3)

6. Andreja Benčan Golob, Maja Koblar, Mojca Otoničar, Katarina Žiberna, 4. slovensko posvetovanje mikroskopistov, Ankaran, 12.-13. maj 2022 (1)
7. Andreja Benčan Golob, Mirela Dragomir, Ivana Goričan, Sabi W. Konsago, Danjela Kuščer, Barbara Malič, Mojca Otoničar, Victor Regis de Moraes, Tadej Rojac, Samir Salmanov, Ankita Sarkar, Matej Šadl, Hana Uršič Nemeššek, 57th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials & The Workshop on Energy Harvesting: Materials and Applications, 14.-16. september 2022, Maribor (4)
8. Oana-Andreea Condurache, konferenca Ceramics in Europe, Krakov, Poljska, 10.-14. 7. 2022 (1)
9. Oana-Andreea Condurache, konferenca Microscopy & Microanalysis (M&M), Portland, Oregon, ZDA, 30. 7.-4. 8. 2022 (1)
10. Mirela Dragomir, Solid State Chemistry Gordon Research Conference, New London, ZDA, 24.-30. 7. 2022 (1)
11. Mirela Dragomir, 19th Annual Meeting of the Science and Technology Forum (STS Forum), Kyoto, Japonska, 1.-4. 10. 2022 (1)
12. Mirela Dragomir, Science Festival Association - Event Designer & Sponsors, Genova, Italija, 28. 10.-2. 11. 2022
13. Sabi W. Konsago, Matej Šadl, Japonsko-slovenska delavnica o piezoelektričnih tankih filmih, 4. 2. 2022, virtualno (2)
14. Sabi W. Konsago, Barbara Repič, Matej Šadl, 14th Jožef Stefan International Postgraduate School Students' Conference (IPSSC) Mekinje, 1.-3. 6. 2022 (3)
15. Sabi W. Konsago, Barbara Malič, Mojca Otoničar, Victor Regis de Moraes, Matej, Šadl, ISAF-PPM-ECAPD Joint symposium 2022, 27. 6.-1. 7. 2022, Tours, Francija (5)
16. Danjela Kuščer, Kostja Makarovič, Barbara Repič, Ceramic Interconnect and Ceramic Microsystems Technologies (CICMT 2022), Dunaj, Avstrija, 13.-15. 7. 2022 (3)
17. Kostja Makarovič, konferenca YUCOMAT 2022, Herceg Novi, Črna gora, 29. 8.-2. 9. 2022 (1)
18. Mojca Otoničar, 7th International Workshop on Relaxor Ferroelectrics, 7.-12. 8. 2022, Vilna, Litva (1)
19. Mojca Otoničar, Advanced African School & Workshop on Multifunctional Ferroic Materials, 26.-30. 5. 2022, Hammamet, Tunizija (1)
20. Barbara Malič, Victor Regis de Moraes, 2022 UFFC Ferroelectrics School, 20.-24. 6. 2022, Lyon, Francija (1)
21. Maja Koblar, konferenca 2022 SVC TechCon, 2.-5. 5. 2022, Long Beach, ZDA (1)
22. Danjela Kuščer, International Congress on Advanced Materials Sciences and Engineering (AMSE-2022), 21.-24. 7. 2022, Opatija, Hrvaška (1)
23. Hana Uršič Nemeššek, konferenca CALORIGS, 12.-14. 9. 2022, Cambridge, Velika Britanija (1)
24. Hana Uršič Nemeššek, Pace Young Scientists 2022 Conference, Luksemburg, Luksemburg, 10.-12. 10. 2022 (1)
25. Hana Uršič Nemeššek, School on Energy Conversion Systems, 1. 3. 2022, virtualno (1)
26. Lia Šibav, European School on Magnetism 2022, 11.-23. 9. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Andreja Benčan Golob, znanstveni svetnik
2. doc. dr. Mirela Dragomir
3. prof. dr. Goran Dražič*, znanstveni svetnik
4. prof. dr. Danjela Kuščer Hrovatin
5. dr. Kostja Makarovič*
6. **prof. dr. Barbara Malič, znanstveni svetnik - vodja odseka**
7. doc. dr. Mojca Otoničar
8. prof. dr. Tadej Rojac, znanstveni svetnik
9. prof. dr. Hana Uršič Nemeššek

Podoktorski sodelavci

10. dr. Andraž Bradeško*
11. Antonio Iacomini, PhD., Italija
12. Soukaina Merselmiz, PhD., Maroko
13. *dr. Uroš Prah, časasna prekinitev 15. 6. 2021*

Mlajši raziskovalci

14. Matic Belak Vivod, mag. kem.
15. Oana Andreea Condurache, master fizica, Romunija
16. Ivana Goričan, mag. kem.
17. Maja Koblar, mag. nan.
18. Sabi William Konsago, Msc., Rusija
19. Victor Regis De Moraes, Msc., Brazilija
20. Barbara Repič, mag. inž. kem. inž.
21. Samir Salmanov, Msc., Rusija
22. Ankita Sarkar, Msc., Indija
23. dr. Matej Šadl
24. Lia Šibav, mag. kem.
25. Blaž Velkavrh, mag. inž. str.
26. Katarina Žiberna, mag. kem.

Strokovni sodelavci

27. Silvo Drnovšek, dipl. inž. kem. tehnol.
28. Brigita Kmet, mag. nan.
29. Izabela Stojanoska, mag. kem.

Tehniški in administrativni sodelavci

30. Andrej Debevec
31. Tina Ručigaj Korošec, univ. dipl. soc.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Adam Mickiewicz University, Poznań, Poljska
2. Alexandru Ioan Cuza University (A.I. Cuza), Dielectric, Ferroelectric and Multiferoic Materials Department, Iași, Romunija
3. Associazione Festival della Scienza, Genova, Italija
4. BioSense Institute, Novi Sad, Srbija
5. Biosistemika, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
6. Center odličnosti NAMASTE, Ljubljana, Slovenija
7. Center odličnosti VESOLJE, Ljubljana, Slovenija
8. Centrale Supélec, Université Paris-Saclay, Pariz, Francija
9. Colorado School of Mines, Golden, Colorado, ZDA
10. École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Švica
11. European Organization for Nuclear Research CERN, Genova, Švica
12. Frantsevich Institute for Problems of Materials Science NAS of Ukraine, Kijev, Ukrajina
13. Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Department of Materials Science and Engineering, Erlangen, Nemčija
14. Institut für Elektronenmikroskopie und Nanoanalytik - Zentrum für Elektronenmikroskopie (FELMI TU Graz), Gradec, Avstrija
15. Institut za multidisciplinarna istraživanja Univerziteta u Beogradu, Odeš za nauku o materijalima (IMSI UB), Beograd, Srbija
16. Institut za nuklearne nauke Vinča, Beograd, Srbija
17. Institute for Materials Science, University of Duisburg-Essen, Essen, Nemčija
18. Institute for Technical Physics and Materials Science, Centre for Energy Research, Hungarian Academy of Science, Budimpešta, Madžarska
19. Institute of Physics of the Czech Academy of Science, Praga, Češka
20. Institute of Molecular Physics, Polish Academy of Sciences, Poznań, Poljska
21. KEKO - Oprema, d. o. o., Žužemberk, Slovenija
22. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
23. Knauf Insulation, d. o. o., Škofja Loka, Slovenija
24. Lotrič Meroslovje, d. o. o., Selca, Slovenija
25. Luxembourg Institute of Science and Technology (LIST), Luksemburg, Luksemburg
26. MAHLE Electric Drives Slovenija d. o. o., Šempeter pri Gorici, Slovenija
27. Materials Center Leoben Forschung GmbH (MCL), Leoben, Avstrija
28. McMaster University, Hamilton, Ontario, Kanada
29. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija
30. Meggitt Sensing Systems, Meggitt A/S, Kvistgård, Danska
31. Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija
32. Murata Manufacturing Co., Ltd, Kyoto, Japonska
33. Murexin, d. o. o., Puconci, Slovenija
34. National Institute of Materials Physics, Magurele, Romunija
35. North Carolina State University (NCSSU), Materials Science and Engineering Department, Raleigh, Severna Karolina, ZDA
36. Norwegian University of Science and Tehnology (NTNU), Department of Materials Science and Engineering, Trondheim, Norveška
37. Osaka Prefecture University - Graduate School of Engineering, Department of Physics and Electronics, Osaka, Japonska
38. Penn State University, Materials Research Center, State College, Pensilvanija, ZDA
39. RC eNeM, d. o. o., Zagorje ob Savi, Slovenija
40. Shanghai University, Department of Electronic Information Materials, Šanghaj, Kitajska
41. Shizuoka University, Research Institute of Electronics, Department of Engineering, Graduate School of Integrated Science and Technology, Hamamatsu, Japonska
42. Steklarna Hrastnik, Hrastnik, Slovenija
43. STELEM, d. o. o., Žužemberk, Slovenija
44. TDK Electronics GmbH & Co OG, Deutschlandsberg, Avstrija
45. Technical University of Denmark (DTU), Kongens Lyngby, Danska
46. Technische Universität Darmstadt (TU Da), Darmstadt, Nemčija
47. Tsinghua University, School of Materials Science and Engineering, Peking, Kitajska
48. Université François-Rabelais Tours, Gremam CNRS, Tours, Francija
49. University of Applied Sciences, Department of Mechatronics, Bjelovar, Hrvaška
50. University of Aveiro (UA), Aveiro, Portugalska
51. University of Latvia, Institute of Solid State Physics, Riga, Latvija
52. University of New South Wales, Sydney, Avstralija
53. University of Hull, Hull, Velika Britanija
54. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
55. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
56. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
57. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za naravoslovje, Nova Gorica, Slovenija
58. VARS, podjetje za proizvodnjo varistorja in sklopov, d. o. o., Ljubljana, Slovenija

Raziskave in razvoj na Odseku za nanostrukturne materiale so osredotočeni na vodilna področja nanotehnologije in naprednih materialov za reševanje najzahtevnejših družbenih izzivov, s katerimi se Evropa in svet trenutno spopadata. Slednje vključuje razvoj materialov in tehnologij za učinkovito rabo zelene energije in kritičnih surovin, zdravje ter okolje. Interdisciplinarnost raziskovalne skupine odseka s komplementarnimi bazičnimi in aplikativnimi znanji v kombinaciji z najsodobnejšimi raziskovalnimi metodami omogoča, da se lahko hitro odzovemo na številne nastale družbene izzive. Temeljne in aplikativne raziskave na Odseku za nanostrukturne materiale vključujejo raziskave in razvoj na področju magnetov in intermetalnih zlitin, inženirske in funkcijske keramike, mineralov, senzorjev, materialov za trajnostno in ekološko grajeno okolje ter biomimetske in biomateriale.



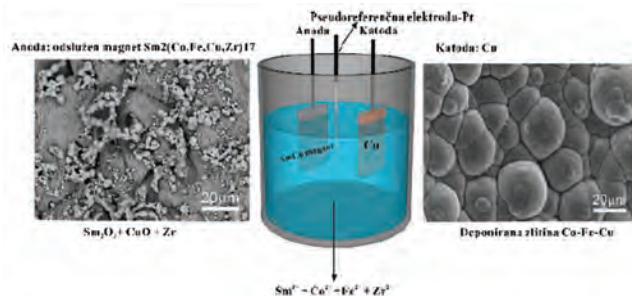
Vodja:
prof. dr. Sašo Šturm

Magnetni materiali

Ukvarjamo se z enim od najbolj perečih evropskih socialnih izzivov, ki je tesno povezan s cilji evropskega zelenega dogovora. Z razvojem z viri gospodarne in okolju prijazne e-mobilnosti ter zelene proizvodnje energije želimo prispevati k podnebni nevtralnosti, hkrati pa spodbujamo boljše krožno gospodarstvo pri uporabi materialov, kar vodi k zmanjšani odvisnosti EU od kritičnih surovin iz tujih virov. Za EU so še posebej skrb vzbujajoči trajni magneti na osnovi redkih zemeljskih elementov, kot so magneti na osnovi Nd-Fe-B in Sm-Co. Nd-Fe-B magneti so trenutno najbolj zmogljivi trajni magneti na trgu. Ponašajo se z najvišjo vrednostjo energijskega produkta, zato so neizogibni v električni mobilnosti in za proizvodnjo zelene elektrike v vetrnih turbinah. V ta namen snujemo rešitve glede zasnove in proizvodnje trajnih magnetov z izboljšanimi magnetnimi lastnostmi in učinkovito uporabo materialnih virov. S svojim delom si prizadevamo za razvoj znanja in ustvarjanje novih rešitev, ki bodo prispevale k bolj trajnostni in odporni prihodnosti Evrope in širše.

Za ta namen izkoriščamo elektrokemijske in kemične postopke za obdelavo odpadnih magnetov, kjer predlagamo nove paradigme selektivnega izločanja magnetnih faz. V članku *Elektrokemijske poti za okolju prijazno recikliranje trajnih magnetov na osnovi redkih zemelj (Sm-Co)*, objavljenem v reviji *Journal of Applied Electrochemistry* (<https://doi.org/10.1007/s10800-022-01696-9>), pojasnjujemo nov koncept elektrokemijskega procesa za recikliranje trajnih magnetov na osnovi $\text{Sm}_2(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zr})_{17}$. Predstavljeni kombinirani elektrokemijski proces anodne oksidacije magneta in katodne redukcije služi kot izhodišče za recikliranje in pridobivanje kritičnih surovin brez uporabe kisline in nastajanja odpadkov (slika 1). Delo se je nadaljevalo v okviru projekta MSCA IF GYROMAGS, kjer smo se usmerili v kemijsko in metalurško predelavo ter reciklažo brusnih odpadkov tipa Sm-Co. V članku *Vpliv ostankov Ni in Cu na magnetne lastnosti in mikrostrukturo magnetov SmCo5*, objavljenem v reviji *MDPI Materials* (<https://www.mdpi.com/1996-1944/15/22/8226>), smo ugotovili, da je mogoče magnetne na osnovi SmCo_5 uspešno reciklirati z ohranitvijo magnetnih lastnosti v prisotnosti nečistoč do 2 mas.% Ni/Cu, ki je posledica predelave zaščitnih prevlek na teh magnetih.

V segmentu trajnih magnetov Nd-Fe-B v okviru projekta MSCA PF OCARINA je naš glavni preboj v inovativni pripravi monokristalne magnetne matrične faze $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ s selektivnim kemijskim jedkanjem medzrnske faze, bogate z Nd, tako iz recikliranih kot iz svežih izhodnih materialov. Slednje omogoča novo obliko inženiringa mej med zrnji za premagovanje trenutnih omejitev pri doseganju najvišjih energijskih produktov. Nadalje smo proučevali možnosti reprocesiranja magnetov iz predhodno pridobljenih monokristalnih zrn faze $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ z na novo konceptuirano medzrnsko fazo s sintranjem v peči SPS (Spark Plasma Sintering), tj. z enoosnim pritiskom v pulzirajočem enosmernem toku in vakuumu. Pripravljeni so bili magneti z dodatkom 2,5, 5, 10 in 20 ut. % nizko evtrektične zlitine $\text{Nd}_{70}\text{Cu}_{30}$. Pokazali smo, da je mogoče s tem načinom povrniti magnetne lastnosti izhodnih magnetov. Doseženi sta bili koercitivnost $H_{ci} = 500 \text{ kA/m}$ in remanenca $B_r = 1,1 \text{ T}$, ki bosta nadaljnje optimizirani. Učinki tega dela so večplastni, saj je slednje usmerjeno tako v recikliranje kot tudi v izboljšanje lastnosti trajnih magnetov z uvajanjem popolnoma novega koncepta inženiringa. Delo se izvaja v okviru tekočega projekta Horizon EU 101058598 – REEsilience.



Slika 1: Kombiniran proces elektrokemijskega recikliranja magnetov na osnovi redkih zemelj, brez uporabe kisline in brez generacije odpadkov.

Z nadaljnjim razvojem koncepta hitrega sintranja smo v okviru **ARRS projekta Z2-2645** proučevali sintranje s pomočjo sevanja (RAS), pri čemer je bila uporabljena peč SPS (Spark Plasma Sintering). Hitri cikli segrevanja povzročajo nezadostno omakanje/omčenje mej med zrni matricne faze $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$, vendar se intrinzična koercitivnost (H_{ci}) podvoji po nizkotemperaturnem (približno 520°C) žarjenju, ki ga izvedemo po sintranju in doseže vrednosti, primerljive s konvencionalno sintranimi vzorci. Nova paradigma hitrega sintranja odpira široke možnosti za preoblikovanje mikrostrukture magnetov Nd-Fe-B z namenom potencialnega preboja v magnetnih lastnostih. Sintranje s pomočjo sevanja (RAS) smo uporabili tudi za sintranje recikliranih prahov Nd-Fe-B, ki jih ni mogoče zgotoviti z običajnimi postopki sintranja.

Novi reciklirani magneti ohranijo kar 94 % osnovne vrednosti H_{ci} (1495 kA/m, razred N35SH), kar odpira nove možnosti za okolju prijazno predelavo magnetnih odpadkov, ki bi lahko nadomestila hidro- in pirometalurške pristope. Pridobljeno znanje o procesiranju Nd-Fe-B je bilo uspešno uporabljeno tudi v okviru **projekta EIT RAW Materials 21043 RECO2MAG**, kjer nam je uspelo v sodelovanju s podjetjem Magneti Ljubljana kakovost magnetov Nd-Fe-B dvigniti za več razredov, na N45-48 ($N_{48} \sim 385 \text{ kJ/m}^3$).

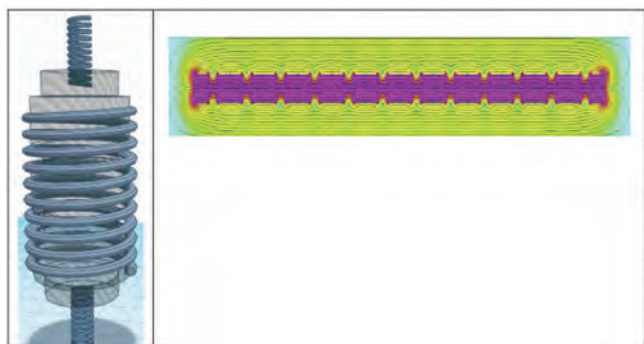
V letu 2022 smo nadaljevali raziskovalne dejavnosti na področju utrjevanja feritnih magnetov. Naša raziskovalna pot poteka po uspešni metodi utrjevanja inženirske keramike z uporabo celuloznih nanovlaken (CNF), ki smo jo razvili v sodelovanju s kolegi z Inštituta za znanost o materialih (CSIC) iz Madrida. Uspelo nam je pripraviti Sr-feritne magnetne, ojačane s CNF, ki so pokazali psevdo-žilavo obnašanje. Po drugi strani je zgoščevanje zelo pomembno pri inženiringu funkcionalnih materialov, za kar raziskujemo možnosti zgoščevanja magnetov na osnovi Sr-ferita z novo hitro tehniko sintranja, tj. sintranje s pomočjo sevanja (RAS).

V letu 2022 smo nadaljevali raziskovalno delo v okviru **projektov SUSMAGPRO in INSPIRES**. Fokus naše raziskovalne tematike v okviru projekta SUSMAGPRO je poleg karakterizacije magnetov tudi razvoj novih prevlek za zaščito proti koroziji. Pomemben cilj, ki ga želimo doseči, je izdelava kakovostnih prevlek, ki jih bo med postopkom recikliranja preprosteje odstraniti in ločiti od magnetnega materiala. V projektu INSPIRES smo dosegli odlične rezultate pri zgoščevanju prahov iz recikliranih odpadnih magnetov z uporabo metode hitrega zgoščevanja in z majhnim dodatkom zlitine z nizkim tališčem Nd-Cu. Dosegli smo koercitivnost nad 1200 kA/m. Za pilotno linijo v tovarni Kolektor KFH pa smo začeli postopek razplinjevanja mletega prahu, dobljenega po HPMS-postopku iz magnetov, dobljenih iz gospodinjstskih aparatov. To delo se nadaljuje v letošnje leto. Poleg razplinjenja mora biti prah oblečen z zaščitno plastjo silana, ki omogoča delo pri atmosferskih pogojih v tovarni.

V letu 2022 smo uspešno pridobili sredstva iz novega vira financiranja, in sicer **EIT Manufacturing za projekt aProMag**. V okviru tega projekta se bomo osredotočili na razvoj tehnologije 3D-tiskanja NdFeB prahov v magnetnem polju za hitro izdelavo prototipov rotorjev za brezkrtačne enosmerne motorje oz. aktuatorje. Tehnologija lahko precej skrajša čas izdelave končnih izdelkov, saj ponuja možnost cenovno ugodne izdelave prototipov v zelo kratkem času in tako drastično zmanjša stroške izdelave orodij za brizganje. Ker bomo pri tem postopku uporabili prah, pridobljen z recikliranjem odpadnih magnetov, predlagana tehnologija preseže odvisnost od dobav vhodnih kritičnih surovin.

Za tehnologijo, ki smo jo razvili za industrijskega partnerja Kolektor KFH, s katero na račun dodatka zlitine Nd-Cu z nizkim tališčem za 30 % izboljšamo koercitivnost komercialnih MQP-B+ prahov (Magnequench), smo v letu 2022 dobili podeljen **patent (SI 26141 A, 2022-07-29)** <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/082607918/publication/SI26141A?q=pn%3DSI26141A>. Tako izboljšana kakovost osnovnega prahu za izdelavo plasto magnetov omogoča njihovo uvrstitev v višji razred kakovosti.

Kot alternativni pristop k zmanjševanju porabe kritičnih materialov, ki vsebujejo elemente redkih zemelj, proučujemo možnost izdelave magnetov z optimizirano obliko, s čimer lahko dosežemo iste rezultate pri manjši prostornini.



Slika 2: Model posebnega oblikovanega magneta v tuljavi magnetnega žetvenika (levo), izračunane silnice polja magnetne gostote, ko je magnet v ravnovesni legi (desno).

Dodatna prednost tega pristopa je, da lahko z enakomerno namagnetenim vzorcem nadomestimo učinek kompleksne sestave večjih, različno orientiranih magnetov, kar lahko poceni in poenostavi proizvodnjo. S pomočjo modeliranja z metodo končnih elementov smo predlagali tako rešitev za t. i. magnetni žetvenik – naprave za samodejno napajanje mobilne elektronske opreme (slika 2) (*Materials Today* 65, 3642 (2022)).

Magnetni skyrmioni so potencialno zanimivi kot nosilci informacije v spominskih in logičnih napravah prihodnosti. Skyrmioni lahko obstajajo posamično ali pa tvorijo heksagonalno mrežo, kot je prikazano na sliki, ki je rezultat simulacij na osnovi mikromagnetizma. V ta namen je treba rešiti enačbo Landau-Lifshitz-Gilbert. Uporabili smo metodo Runge-Kutta v okviru objektno orientiranega orodja oommf. Nadaljnje raziskave bodo vključevale izračun osnovnega stanja in eksperimentalno potrditev s pomočjo presevalne elektronske mikroskopije.

Leta 2022 smo začeli projekt M-Era.Net z imenom **AddMag** (dodajanje materialov s 3D-tiskanjem za izdelavo trajnih magnetov), katerega cilj je uporabiti postopek dodajanja materialov s 3D-tiskanjem za natančno oblikovanje in pomanjšanje trajnih magnetov iz dveh magnetnih materialov, Nd-Fe-B in Fe-Cr-Co. Uporabljali bomo nove pristope, kot so uporaba različnih osnovnih materialov (npr. amorfni prahovi in prahovi iz recikliranih magnetov), ter tiskanje prek in-situ legiranja mešanic prahov. Možne uporabe bodo predvsem magneti za elektronske naprave in elektromotorje, saj so to ključna področja za ta tip materialov.

V okviru projekta ARRS Razvoj kompleksnih večkomponentnih trajnih magnetov s pomočjo napredne tehnologije 3D-tiskanja nadaljujemo naše delo pri razvoju kompleksno oblikovanih, večkomponentnih trajnih magnetov s pomočjo tehnologije dodajanja materialov s 3D-tiskanjem za podjetje Kolektor, d. d. Z uspešnim tiskanjem magnetnih materialov v magnetnem polju smo raziskovali vpliv zunanjega magnetnega polja na natisnjene dele. Pokazalo se je, da natisnjeni del deluje kot dodaten magnet k trajnemu magnetu, kar povečuje doseg magnetnega polja, ki se uporablja za usmerjanje delcev in povečuje anizotropijo natisnjene delca. S tem se povečuje velikost delov, ki jih je mogoče natisniti. To tehnologijo naredi primerno tudi za večje natisnjene kose.

Kompleksne intermetalne zlitine

V okviru mednarodnega sodelovanja, IRP PAC2, na področju kompleksnih zlitin je bila v binarnem sistemu Al-Ir odkrita nova binarna faza s kemično sestavo Al_4Ir . Rezultati so bili objavljeni v reviji *Inorganic Chemistry* (<https://doi.org/10.1021/acs.inorgchem.2c00816>).

Ta struktura izhaja iz strukturnega tipa Ni_2Al_3 in ima supercelico zaradi nadstrukturnega urejenja atomov aluminija, ki nadomeščajo atome niklja v prototipni strukturi. Slednje je bilo potrjeno s pomočjo uporabe tehnike atomskoločljivostne vrstične presevalne elektronske mikroskopije (STEM). Rentgenska difrakcija monokristala je razkrila trigonalno prostorsko skupino $P3c1$ s prostorskimi parametri celice $a = 12,8802(2) \text{ \AA}$ in $c = 9,8130(2) \text{ \AA}$. Teorija gostotnega funkcionala s strukturno optimizacijo je potrdila, da se parametri celice in atomski položaji dobro ujemajo z eksperimentalnimi rezultati. Opisana faza je metastabilna in razpade po kratkem času žarjenja.

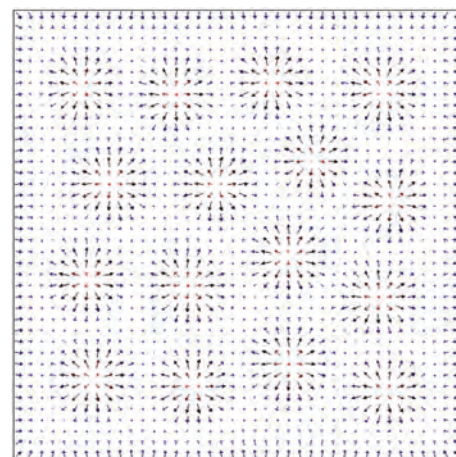
Strukturni materiali

Strukturni materiali predstavljajo eno od ozkih grl za uspešno in ekonomično uporabo fuzije kot vira energije. Razvoj novih materialov v okviru evropskega fuzijskega programa EUROfusion (2021–2025) je zato izjemnega pomena za tehnološki napredek. V tem obdobju smo nadaljevali raziskave na področju kompozitov $\text{W-W}_2\text{C}$ z različnimi sestavami z namenom izboljšanja dolgoročne odpornosti materialov na osnovi volframa. Poleg tega proučujemo aditivno proizvodnjo $\text{W-W}_2\text{C}$, saj se kaže kot obetavna pot do bolj zapleteno oblikovanih in funkcionalno razvrščenih komponent.

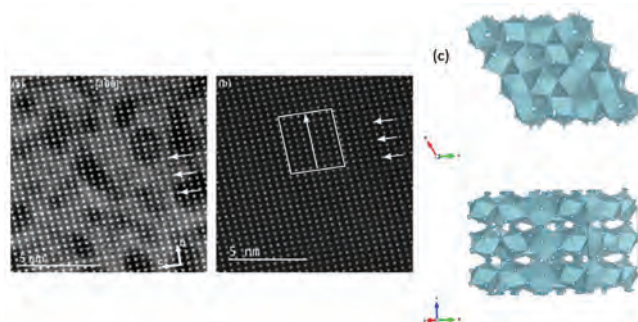
Sestava in postopek priprave kompozitnih materialov $\text{W-W}_2\text{C}$ sta bila optimizirana na podlagi sprememb razmerij komponent pred sintranjem in po njem, ki neposredno vplivajo na temperaturno odvisne (do $1000 \text{ }^\circ\text{C}$) mehanske in termične lastnosti. Glavno merilo za izbiro optimalne sestave je bila odpornost materiala na termične šoke med preskušanjem z visokim toplotnim tokom (ang. *high heat flux test*, HHFT). Letos so bili izdelani testni monobloki divertorja, ki so bili v sodelovanju s Karlsruhe Institute of Technology (KIT, Nemčija) in ENEA Frascati, Italija spojeni na hladilno strukturo CuCrZr ter podvrženi HHFT preizkusom v aktivno hlajenem modelu divertorja (slika 5).

Kompozit $\text{W-W}_2\text{C}$ s 4 at. % C v začetni sestavi se je izkazal za zelo obetavnega, saj ima temperaturo prehoda v krhko-žilavo kar $200 \text{ }^\circ\text{C}$ nižjo v primerjavi s trenutnimi najsodobnejšimi volframovimi materiali. Nadaljnji razvoj bo usmerjen predvsem v razumevanje povezave med mikrostrukturo in lastnostmi tega materiala ter pripravo kompozitov večjih dimenzij s ciljem demonstracije zmožnosti industrijske proizvodnje.

V okviru magistrske naloge z naslovom *Izboljšanje oksidacijske odpornosti volframovega kompozita s karbidnimi vključki z dodatkom kroma in itrija* smo proučili vpliv dodatkov kroma in itrija na visokotemperaturno oksidacijsko odpornost kompozitov $\text{W-W}_2\text{C}$. Dodatek kroma je zamaknil temperaturo oksidacije s $700 \text{ }^\circ\text{C}$ na $900 \text{ }^\circ\text{C}$, vendar mu ni uspelo preprečiti aktivne oksidacije vzorcev pri višjih temperaturah.



Slika 3: Rezultati mikromagnetne simulacije skyrmionske mreže zlitine FeGe na podlagi iz permaloja



Slika 4: (a) Eksperimentalna slika HAADF-STEM v atomskem merilu; (b) nizkofrekvenčna filtrirana slika z atomskimi ravninami Ir, poudarjenimi z večjo intenzivnostjo (označeno s puščico); (c) kristalna struktura Al_4Ir , ki prikazuje polieder Ir v (ab) ravnini (zgoraj) in v (ac) ravnini (spodaj).



Slika 5: Monobloki, spojeni s hladilno strukturo CuCrZr , po HHFT testiranju v aktivno hlajenem modelu divertorja.

Kataliza

Foto(elektro)kataliza je sorazmerno dobro uveljavljen pristop za razgradnjo organskih onesnaževal v vodi in zraku. Kljub temu imajo najpogosteje uporabljeni fotokatalizatorji (kot je TiO_2) veliko pomanjkljivosti, vključno z nizko učinkovitostjo pod vidno svetlobo in hitro rekombinacijo elektronov-lukenj, zato je nujen razvoj novih, visoko učinkovitih foto(elektro)katalizatorjev za razgradnjo onesnaževal na področju foto(elektro)katalize. Glavni cilji, ki jih skupina za katalizo namerava doseči pri svojem raziskovalnem delu, so togo oprijemanje katalizatorja na aktivne dele v reaktorju (objavljeno v reviji *Journal of Cleaner Production*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622006941?via%3Dihub>), visoka fotoaktivnost katalizatorja v vidnem delu sončnega spektra (objavljeno v reviji *ACS Omega*, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.1c02862>), strukturna stabilnost katalizatorja (objavljeno v reviji *Catalysts*, <https://www.mdpi.com/2073-4344/10/7/803>), vsestranskost katalizatorja pri razgradnji različnih onesnaževal (objavljeno v reviji *The Journal of Physical Chemistry*, <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.jpcc.9b09522>), nizki stroški pridobivanja katalizatorja (objavljeno v reviji *Nano Energy*, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211285522010369?via%3Dihub>) in zlahka dosegljive visoke ravni tehnološke pripravljenosti (objavljeno v reviji *Angewandte Chemie*, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/anie.202109212>). Poleg pridobljenega znanja na materialih TiO_2 , TiON in BDD je skupina za katalizo uspešno nadaljevala raziskave na področju uporabe visoko entropijskih zlitin (angl. HEA) v katalitske namene.

V skladu z načelom najvišje entropije so HEA sestavljene iz mešanice petih ali več elementov v enakih ali sorazmernih količinah (5–35 at. %). HEA imajo edinstvene strukturne in fizikalne lastnosti, ki povzročajo številne katalitsko vodene procese. Katalitske lastnosti HEA izhajajo iz naključnih položajev atomov različnih elementov v določeni kristalni strukturi. Predhodno pridobljeno znanje o anodni oksidaciji so uporabili za pridobivanje visoko entropijskih oksidov (angl. HEO) na podlagi iz HEA. Medtem ko raziskovalci odkrivajo številne nove katalitske lastnosti HEA, obstaja zelo malo poročil o katalitskih lastnostih HEO za katalitsko razgradnjo organskih onesnaževal. Poročil o uporabi HEO za katalitsko razgradnjo skoraj ni. Anodno oksidacijo na HEA so izvedli z namenom pridobitve podatkov o kinetiki in termodinamiki pretvorbe HEA v ustrezne HEO in obratno.

Pretvorbo HEA v HEO so testirali na t. i. Cantorjevi zlitini in ognjevzdržni zlitini TiNbZrHfTa. Na slednji so uspešno pripravili popolno oblikovane in enotne nanocevke, togo pritrjene na podlago TiNbZrHfTa. Pripravljene nanocevke so preizkusili pri foto(elektro)katalitski razgradnji antibiotika tetraciklina.

Ugotovili so, da anodizirana zlitina TiNbZrHfTa učinkoviteje razgradi antibiotik tetraciklin v primerjavi z običajno uporabljenim TiO_2 , Cantorjeva zlitina pa je pokazala obetavne rezultate v procesu nastajanja kisika pri razrepu vode.

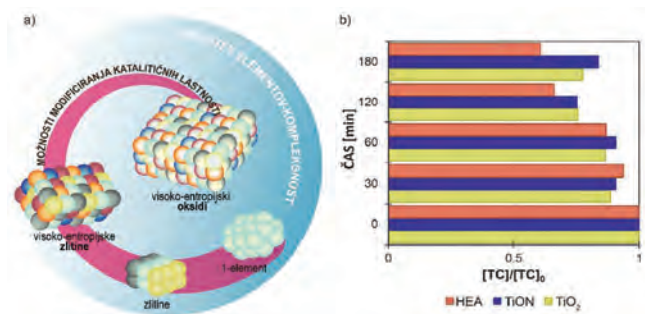
Skupina je prav tako uspešno oblikovala reaktorski sistem, v katerem bodo testirali novo pripravljene materiale HEA in HEO za foto(elektro)katalitsko razgradnjo organskih onesnaževal. Rezultate bodo primerjali z že uveljavljenimi materiali (npr. TiO_2 , TiON in BDD). Kontinuirni reaktorski sistem bo omogočal povečanje obsega procesa (od 1 cm^2 do 10 cm^2 aktivne katalitske površine) in natančno analizo procesa razgradnje organskih onesnaževal z uporabo ultra tlačne tekočinske kromatografije.

Senzorji

Razvijamo receptorske elemente za detekcijo toksičnih organskih spojin (TOC) in številnih bioloških molekul. Na področju detekcije bioloških spojin razvijamo prenosne elektrokemijske biosenzorske platforme za hitro diagnosticiranje patogenov (npr. virusov).

Tarčna molekula naših študij, SARS-CoV-2 (oz. virusni spike (S)-protein), je bila izbrana zaradi trenutnega izbruha covid-19, vendar ima razvit material možnost preproste razširitve tudi na bodoče podobne infekcijske

viruse – slednje je mogoče doseči s preprosto in hitro modifikacijo detekcijske platforme. Za primer detektiranja SARS-CoV-2 razvita platforma temelji na sitotiskanih elektrodah (SPE), ki so modificirane z nanostrukturiranim polistirenom (PS)/polianilinom (PANI)-Au NP kompozitom. Ta omogoča imobilizacijo reprezentativnih receptorskih elementov, tj. specifičnih virusnih protiteles (Ab). Zaznavanje virusa SARS-CoV-2 temelji na pretvorbi specifične kovalentne interakcije med Ab/ACE2 in njegovim ustreznim vezavnim S-proteinom v merljivi, od koncentracije odvisen elektrokemijski signal. S pomočjo številnih elektrokemijskih tehnik (vključno s ciklično voltmetrijo, diferenčno pulzno voltmetrijo in



Slika 6: (a) Shematska primerjava običajnih foto(elektro)katalizatorjev in visoko entropijskih oksidov ter (b) eksperimentalni rezultati fotokatalitske razgradnje tetraciklina z uporabo materialov HEA, TiON in TiO_2

Ukvarjamo se z razvojem receptorskih elementov za detekcijo toksičnih organskih snovi, kot so akrilamid (AA) (nacionalni projekt J2-1739), obstojne in mobilne kemikalije (SENSE-PMC) (nacionalni projekt J2-3051) in benzendioli. Ukvarjamo se tudi z razvojem receptorskih elementov za elektrokemijsko detekcijo SARS-CoV-2 (nacionalni projekt Z2-3206).

elektrokemijsko impedančno spektroskopijo) smo omogočili in dokazali zmožnost kvalitativne in kvantitativne detekcije SARS-CoV-2 (slika 7).

Veliko prednost razvite mikrofluidne biosenzorske platforme hkrati predstavlja detekcija virusa v fiziološki raztopini (pufru), brez uporabe nevarnih kemikalij (npr. $K_3[Fe(CN)_6]$) (ta je še vedno pogosto uporabljena na področju elektrokemijske biosenzorike). Naša razvita elektrokemijska biosenzorska platforma je tudi zaradi izbranega materiala (PANI/polistiren-Au NPs) visoko prevodna in biokompatibilna, kar se kaže v visoki občutljivosti elektrokemijskih meritev in posledično v nizkih mejah zaznave virusa ($15,6 \mu\text{g/mL}$). Prav zaradi teh omenjenih edinstvenih lastnosti je dobro izhodišče za poceni, hitro in praktično testiranje covid-19 ter omogoča uporabo širši populaciji, torej pacientom samim.

Nadaljevali smo raziskave na področju polianilina (PANI) in njegovega obnašanja v prisotnosti amonijaka (NH_3). NH_3 je del naravnega cikla dušika in je toksična ter nevrotoksična spojina, ki označuje obolelo stanje v človeškem telesu. Razvili smo sistem za kronoamperometrično detekcijo NH_3 . Izračunana limita detekcije NH_3 v fiziološki raztopini ($25 \mu\text{M}$) se je z dodatkom Au nanodelcev na površino PANI elektrode znižala trikrat ($8 \mu\text{M}$). Obnovljivost elektrode po vsakem dodatku in ponovljivosti meritev daje sistemu potencial za nadaljnjo aplikacijo v pretočno injekcijskih sistemih. Raziskava je bila objavljena v reviji *Electrochimica Acta* (<https://doi.org/10.1016/j.electacta.2022.141034>).

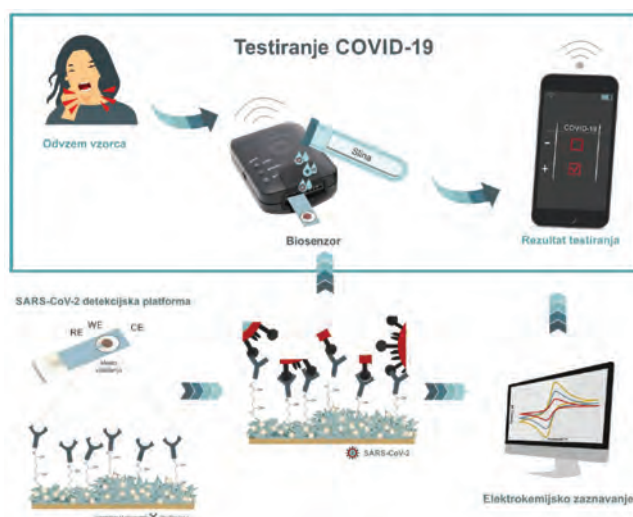
Hlapne strupene organske spojine, katehol (CC), resorcinol (RS) in hidrokinon (HQ), so izomeri benzendiolov, ki so v zadnjem času postali zanimivi zaradi akutnih in kroničnih težav, ki jih povzročajo ljudem. So elektrokemično aktivne molekule, kar pomeni, da so podvržene redoks procesom. Za detekcijo uporabljamo elektrode SPE, kjer delovno elektrodo modificiramo s tanko plastjo katalizatorja in ogljikom (npr. Pt/C ali Au/C).

Za kvalitativno detekcijo posameznih izomerov uporabljamo CV, za selektivno detekcijo več izomerov hkrati uporabljamo DPV, za kvantitativno detekcijo posameznih izomerov pa kronoamperometrijo. Naslednja naloga je bila primerjava analognega in digitalnega potenciostata. Pokazali smo, da analogna strojna oprema zagotavlja opazno prednost pred standardno digitalno strojno opremo, ki se uporablja v običajnih napravah. V naslednjem koraku smo analizirali razgradnjo oz. degradacijo površine delovne SPE z uporabo elektrokemijske impedančne spektroskopije (EIS). Primerjali smo učinkovitost modificirane površine delovne elektrode v primerjavi s komercialnimi.

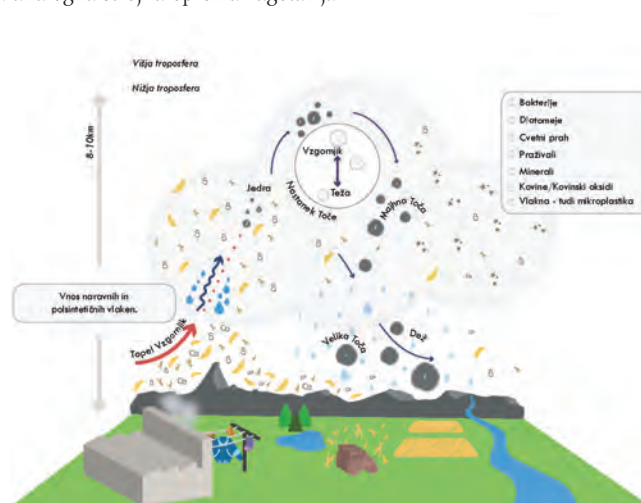
Z uporabo DPV tehnike selektivno zaznavamo vse tri izomere, pri čemer smo dosegli mejo zaznave $1 \mu\text{M}$ za katehol in hidrokinon ter 100 nM za resorcinol. Začeli smo razvijati nove receptorske elemente za prenosne in miniaturne senzore, ki so selektivni in občutljivi na obstojne in mobilne kemikalije (PMC) v vodi. PMC so rezultat razvoja sodobne organske kemije in jih danes najdemo v več deset tisočih vsakodnevnih izdelkih. Čeprav so te kemikalije prisotne že vrsto let, šele zdaj začenjamo razumeti njihov negativen in škodljiv vpliv na zdravje ljudi in živali. Na vrhu prioritete seznama PMC so bisfenoli. Bisfenol S (BPS) je eden najpogostejših fenolov v okolju. V plastiki se uporablja kot nadomestek za bisfenol A (BPA), ki je znan hormonski motilec. Elektrokemijsko zaznavanje bisfenolov je izvedljivo zaradi ireverzibilne oksidacije fenolne skupine, ki vodi do različnih oksidacijskih vrhov za vsak bisfenol (npr. BPS pri $0,7-1,0 \text{ V}$). Z uporabo SPE na osnovi ogljika in izvajanjem CV meritev smo lahko kvalificirali in kvantificirali BPS in BPA. Iz umeritvene krivulje smo dobili visoko občutljivost in nizko mejo detekcije ($0,7 \mu\text{M}$ za BPS in $0,09 \mu\text{M}$ za BPA). Z uporabo DPV lahko na isti SPE elektrodi selektivno zaznavamo BPS, BPA in BPF.

Mikroplastika

V interdisciplinarni raziskavi smo precej podrobno orisali biotsko in abiotsko sestavo velike toče, ki je padla 11. 6. 2019 v Beli krajini. S podrobnim vpogledom v porazdelitev različnih fragmentov po lupinah celotnega volumna toče smo tako lahko tudi sklepali o dinamiki nastanka tako velikih



Slika 7: Koncept testiranja covid-19



Slika 8: Po našem mnenju močni vzgonski tokovi potiskajo lahka vlakna še višje v ozračje, težji delci peska, ki so običajno minerali z večjo gostoto, pa ostajajo nižje. Višje kot običajno in pri manjših koncentracijah vlage tako nastaja toča, ki na poti proti tlu raste.

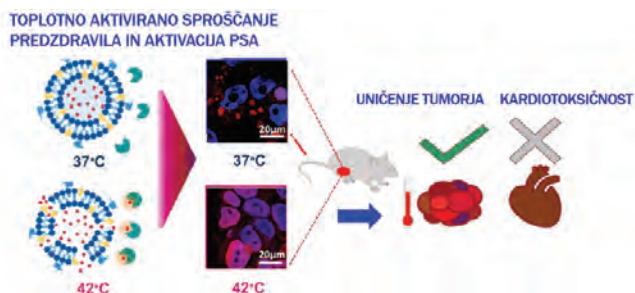
V reviji *Science of the Total Environment* (IF za 2022 10,753, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158786> smo objavili članek *Dissecting giant hailstones: A glimpse into the troposphere with its diverse bacterial communities and fibrous microplastics*. Kot prvi na svetu smo v jedru toče odkrili vlakna polimernega izvora.

primerkov (slika 8). V samem jedru največje toče je bila koncentracija vlaken večja kot v zunanjih plasteh. Populacija drugih fragmentov pa je bila obratna. Več kot 90 % vlaken je sestavljenih iz lignoceluloze, lignina in/ali celuloze, na prvi pogled bi lahko torej sklepali, da so naravnega izvora. Bombaž je prav tako sestavljen iz čiste celuloze, ampak dodatek umetnega barvila kaže na to, da so nastala pri industrijski pridelavi. Smo pa prvi na svetu odkrili vlakna polimernega izvora, v jedru največje toče je bilo 500 μm dolgo in s premerom 12 μm nenaravno gladko vlakno iz polietilen tereftalata (PET). V jedru manjše toče pa smo našli fragment kopolimera polietilen vinil acetata (PEVA).

Materiali za zdravje in čisto okolje

Na tem področju razvijamo nanonosilce za inovativno zdravljenje raka in diagnostiko. V sodelovanju s Queen's University Belfast, Združeno kraljestvo, in Medicinsko fakulteto Univerze v Ljubljani smo razvili temperaturno občutljive liposome za zdravljenje raka prostate, ki vsebujejo predzdravilo, sestavljeno iz doksorubicina (Dox), konjugiranega na peptidni substrat za prostato-specifični antigen (PSA), ki ga lahko cepimo z encimsko aktivnim PSA na mestu tumorja (slika 9). V kombinaciji s hipertermijo je zdravljenje s tako pripravljenimi liposomi znatno

Na področju nanonosilcev smo naredili korak naprej in iz sintetičnih liposomov prešli na uporabo telesu lastnih nanosilcev, narejenih iz eritrocitnih membran, kar zmanjša možnost pojava stranskih učinkov.



Slika 9: Nizkotemperaturno občutljivi liposomi, enkapsulirani z DOX-PSA, so v kombinaciji s hipertermijo znatno upočasnili rast tumorja s podobno hitrostjo kot miši, zdravljene s prostim Dox-PSA, tako v trdnih tumorjih kot metastatskih tumorskih modelih raka prostate.

zavrlo rast tumorja in metastaz pri miših.

Študija je bila objavljena v reviji *Acta Biomaterialia*, (FV = 10,633, <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2021.12.019>).

Eritrocitne membrane uporabljamo kot nosilce za nukleinske kisline za utišanje genov pri genski terapiji raka. Ugotovili smo, da tako pripravljeni nosilci ščitijo siRNA pred encimsko razgradnjo. Prav tako omogočajo učinkovito utišanje genov *in vitro*, primerljivo s komercialno dostopnimi transfekcijskimi reagenti. Trenutno potekajo *in vivo* študije za dokončno potrditev učinkovitosti in varnosti sistema.

V sodelovanju z Medicinsko fakulteto Univerze v Mariboru smo razvili večplastne nanofilme za zdravljenje kožnega raka. Uporabili smo kombinacijo polihidrohietil metakrilat (PHEMA), polihidroksilpropil metakrilat (PHPMA), natrijev deoksiholat (NaDOC) z inkorporiranimi superparamagnetnimi nanodelci FePt in protirakavo zdravilo (5-fluorouracil). Učinkovitost sproščanja zdravila je bila testirana *in vitro*, varnost formulacije pa je bila ocenjena na fibroblastih, pridobljenih iz človeške kože. Študija je bila objavljena v reviji *Pharmaceutics* (<https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14040689>).

Biomateriali

Podoktorski sodelavec na odseku je prejel mednarodno podoktorsko štipendijo JSPS za raziskave na Japonskem, ki jih je začel aprila 2022 na Univerzi Ryukyus, Okinawa, Japonska. Cilj projekta je izdelava keramičnih biointeraktivnih substratov za obnovo morskih habitatov, pripravljenih z aditivnimi metodami.

Bioresorbabilni materiali, ki spodbujajo naselitev koral in kalcifikacijo s sproščanjem ionov Ca^{2+} v mikrookolje 3D-struktur, bodo nameščeni na koralnih grebenih okoli otočja Okinawa na globinah do 25 metrov (slika 10).

Rast koral bo ocenjena glede na kinetiko kalcifikacije skeletov, poroznost, izražanje ionov in genov ter strukturnih sprememb.

Hierarhične strukture mikrodelcev plastovitega dvojnega oksida (layered double oxide – LDO) s fotokatalitičnimi lastnostmi ter izrazito radialno lamelno orientacijo so bile pripravljene v sodelovanju z Univerzo v Szegedu na Madžarskem. Delce LDO z grobo površino je mogoče vključiti v raztopino fluoropolimera in tako pripraviti kompozitno superhidrofobno plast s fotokatalitičnimi lastnostmi, ki onemogoča bakterijsko adhezijo. Študija je bila predstavljena v *Applied Clay Science* (<https://doi.org/10.1016/j.clay.2022.106587>).

Polimetil metakrilat (PMMA) se pogosto uporablja v zobozdravstvu, kjer so netoksičnost, biokompatibilnost in dobre mehanske lastnosti ključnega pomena. Pokazali smo, da povečan dodatek nanodelcev TiO_2 v PMMA inducira morfološko spremembo bakterijskih celic in ovira širjenje biofilma. Delo je bilo predstavljeno v *Coatings* (<https://doi.org/10.3390/coatings12111757>).

V preteklosti smo z večplastnimi polielektroliti modificirali površine, da bi otežili oprijem bakterij in zavrli tvorbo biofilma. Nadaljevanje raziskav s



Slika 10: 3D natisnjeni substrati za obnovo koral, nameščeni pri Onna-son, Okinawa, Japonska.

Fakulteto za zdravstvene vede Univerze v Ljubljani je bilo usmerjeno v zaviranje nastajanja biofilma na površinsko obdelanih urinskih katetrih ter proučevanju tvorbe in karakteristik večslojev. Ugotovili smo, da je debelina večslojev na titanu trikrat večja kot na siliciju.

Poleg tega imajo večplasti, oblikovane na siliciju, zrnato strukturo. Nazadnje je bilo dokazano, da ima poleg elektrostatičnih interakcij tudi hidrofobnost substrata pomembno vlogo v procesu tvorbe večplastnega polielektrolita ter vpliva na njegovo debelino in lastnosti. Študije so bile predstavljene v *Polymers* (<https://doi.org/10.3390/polym14132566>) in *Coatings* (<https://doi.org/10.3390/coatings11121469>).

Inženirska keramika

V letu 2022 je starejši raziskovalec na odseku uspešno zaključil 6-mesečno gostovanje v skupini prof. Raula Bermeja iz Montanuniversität Leoben, Avstrija, v okviru projekta mobilnosti ARRS za kratka gostovanja pri nosilcih projektov ERC. Prof. Bermejo je nosilec projekta ERC za utrditev samostojne raziskovalne poti (Consolidator Grant). Cilj gostovanja je bila prijava ERC Consolidator projekta z naslovom *Rapid Radiation Sintering of 3D Printed Ceramics*, ki pa je EU ni odobrila. Projektna prijava je dosegla prag, na podlagi katerega je bil odobren projekt N2-0301-ARRS iz komplementarne sheme ERC. Rezultate 6-mesečnega gostovanja v Leobnu o aditivnem oblikovanju visokozmogljivih keramičnih komponent s hitrim sintranjem (slika 11) je uspešno objavil v reviji *Additive Manufacturing* (<https://doi.org/10.1016/j.addma.2022.103141>).

Leta 2022 je bil član odseka povabljen v uredniški odbor vodilne znanstvene revije s področja keramičnih materialov *Journal of the European Ceramic Society* (Elsevier).

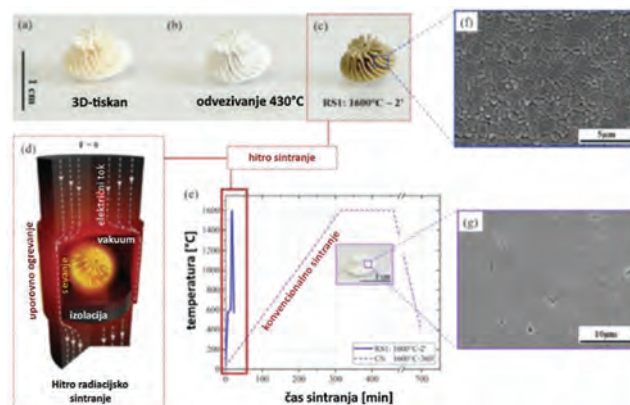
Kot gostujoči urednik revije *Advanced in Applied Ceramics* je objavil uvodnik k izbranim člankom v povezavi s 4. delavnico o naprednih keramičnih materialih in tehnologijah v zobozdravstvu (4th Advanced Ceramics and Technologies for Dentistry) ter v spomin umrlemu prof. dr. Zhijianu (James) Shenu z Univerze v Stockholmu, Švedska, organizatorju delavnice in enemu od vodilnih raziskovalcev dentalne keramike iz cirkonijevega dioksida.

V sodelovanju z zagrebško univerzo Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, smo proučevali možnost recikliranja odpadnega industrijskega prahu aluminijevega oksida po postopku strojne obdelave z uporabo dvostopenjskega sintranja (TSS). Surovce smo pripravili po metodi ulivanja. Vsebovali so različne količine komercialnega in odpadnega aluminijevega oksida. Sintrali smo jih z optimiziranimi pogoji TSS. Za primerjavo smo pripravili vzorce iz komercialnega prahu, ki smo jih konvencionalno sintrali. Preiskave mehanskih lastnosti so pokazale podobne rezultate, kar kaže na potencial TSS kot strategije sintranja pri recikliranju odpadnega keramičnega prahu. Delo je bilo objavljeno v reviji odprtega tipa *Materials* (<https://doi.org/10.3390/ma15217840>).

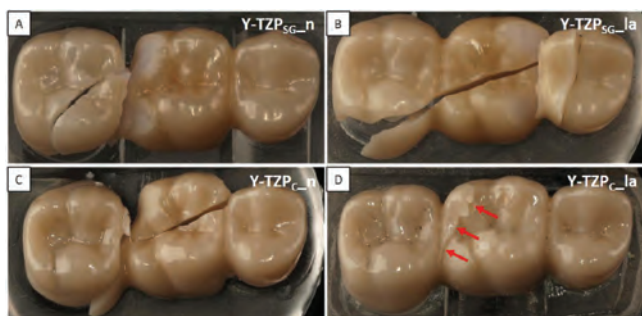
V okviru uspešnega zagovora magistrske disertacije in v sodelovanju z Materials Science Institute (CSIC) iz Madrida, Španija, smo proučevali *in situ* grafitizacijo celuloznih nanovlaknen (CNF), ki smo jih koloidno vnesli v oksidno keramično matrico iz cirkonijevega oksida, stabiliziranega z 8 mol. % irtrijevega oksida (8YSZ). *In situ* grafitizacija je potekala med sintranjem v peči SPS (Spark Plasma Sintering), tj. z enoosnim pritiskom v pulzirajočem enosmernem toku in vakuumu. Grafitizacija je v keramično matrico ionskega prevodnika vnesla še električno prevodnost in hkrati zagotovila fino zrnato mikrostrukturo končnih kompozitov. Lastnosti slednjih ustrezajo materialom, ki se uporabljajo kot anode v gorivnih celicah s trdnim elektrolitom (SOFC). Delo je bilo objavljeno v vodilni znanstveni reviji s področja keramičnih materialov *Journal of the European Ceramic Society* (<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.04.041>).

Dentalna keramika

Na področju dentalne keramike, z irtrijem dopirane cirkonijeve oksidne keramike (YSZ), tesno sodelujemo s Katedro za stomatološko protetiko Medicinske fakultete Univerze v Ljubljani (DPD-MF-UL), kjer izvajamo številne *in vitro* ter *in vivo* klinične študije. Leta 2022 je bila izvedena poglobljena študija vpliva peskanja keramike YSZ z različno vsebnostjo irtrijevega oksida na mehanske lastnosti, in sicer pred regeneracijskim žganjem in po njem. Študija je bila objavljena v *Journal of the European Ceramic Society* (<https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2022.05.010>) in predstavlja enega od rezultatov raziskav v uspešno zaključenem projektu ARRS J2-9222 *Izboljšanje zanesljivosti monolitne dentalne keramike iz cirkonijevega oksida* (2018-2021).



Slika 11: Sintranje s pomočjo sevanja (RAS) v primerjavi s konvencionalnim sintranjem (CS). (a-c) Obdelava rotorja motorja turbopolnilnikom: (a) po 3D-tiskanju LCM, (b) po odstranitvi veziva pri ~ 430 °C in (c) po sintranju RAS pri 1600 °C z 2-minutnim časom zadrževanja (RS1). (d) Nastavitev tehnike RAS, kjer je toplotno sevanje, inducirano z Joulovim segrevanjem zaradi upora električnega toka, edini prenos toplote, ki se uporablja za zgoščevanje keramične komponente. (e) Protokol sintranja za hitro (RS1) in konvencionalno sintranje (CS). (f,g) Posledične mikrostrukture (f) hitrega (RS1) in (g) običajnega protokola sintranja (CS).



Slika 12: Videz samosteklenih Y-TZPSG-FDP (A, B) in konvencionalno brušenih Y-TZPC-FDP (C, D) protez.

V letu 2022 smo v sodelovanju z DPD-MF-UL začeli izvajati nov projekt ARRS, ki je bil podeljen konec leta 2021, tj. J3-3064 z naslovom *Predklinične in klinične raziskave cirkonijsve oksidne dentalne keramike izdelane s tehnologijami aditivnega oblikovanja*.

Poleg tega smo v reviji *Journal of Prosthetic Dentistry* (<https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.02.034>) objavili klinično študijo o posteriornih fiksnih zobnih protezah, izdelanih iz monolitnega cirkonijsvega dioksida.

V letu 2022 smo sodelovali z nemškim Department of Prosthetic Dentistry, Center for Dental Medicine, Faculty of Medicine, Univerze v Freiburgu, kjer smo prispevali naše ekspertize o keramiki iz cirkonijsvega oksida in napredne karakterizacije v skupni študiji o trdnosti monolitnih mostov iz keramike YSZ, pripravljenih po različnih postopkih priprave (slika 12). Delo smo objavili v *Journal of the Mechanical Behaviour of Biomedical Materials* (<https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2022.105456>).

Funkcionalna keramika: polprevodniška keramika na osnovi ZnO (varistorji, termoelektriki)

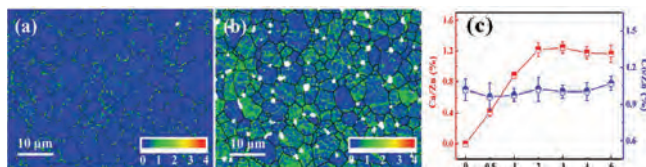
Polprevodni oksidni keramični materiali so stabilni v oksidativni atmosferi pri visokih temperaturah. Ker imajo tudi velik potencial za izboljšanje njihovih termoelektričnih lastnosti, so aktualni za uporabo v termoelektričnih tehnologijah pridobivanja električne energije iz odpadne toplote pri temperaturah nad 650 °C. Pri večini oksidnih termoelektričnih materialov je za izboljšanje termoelektričnih lastnosti treba bistveno povečati njihovo električno prevodnost (σ), ki je posledica prenizke koncentracije nosilcev naboja, in hkrati ohraniti visok Seebeckov koeficient (S), kar je zaradi povezanosti med obema parametroma velik izziv. Hkrati je treba znižati njihovo visoko termično prevodnost (κ), ki je večinoma posledica tako enostavne kristalne strukture kot tudi enostavne kemijske sestave iz večinoma lahkih elementov. Vse to velja tudi za polprevodni ZnO, ki je zaradi visokega Seebeckovega koeficienta (S) $\sim 400 \mu\text{V/K}$ izredno zanimiv kot termoelektrični material tipa n. Njegove prednosti so tudi nizka cena, okoljska nevtralnost, biološka kompatibilnost in velika dojemljivost za dopiranje, s katerim lahko poljubno oblikujemo njegove fizikalne lastnosti glede na specifične zahteve različnih aplikacij. Cilj naših raziskav je razumevanje vpliva donorskih dopantov (M^{3+}) na koncentracijo nosilcev naboja in njihovo mobilnost ter strukturnih in mikrostrukturnih elementov na transport nosilcev naboja in fononov. Tako proučujemo vpliv mejnih površin, kot so meje med zrnji in posebne inverzne meje (IBs) v zrnih na prenos naboja in toplote.

V fokusu raziskav je vloga multiplih IBs, ki jih povzročijo dopanti, kot sta In^{3+} in Ga^{3+} , in ki delujejo kot energijski filter, kjer se poti fononov in elektronov razcepijo.

Elektroni vzdolž planarnega defekta, katerega širina je omejena na eno atomarno plast, v drugih dveh dimenzijah pa je praktično neskončen, preidejo v način balističnega transporta (σ_p). Hkrati 2D strukturna in kemijska anizotropija povzroči sipanje fononov, ki prečno prehajajo planarni defekt, kar znižuje termično prevodnost keramike ZnO. Raziskave potekajo v sodelovanju z National Institute for Materials Science (NIMS, Tsukuba, Japonska) z laboratorijem CRISMAT (Caen, Francija). Z Inštitutom za multidisciplinarne raziskave, Univerza v Beogradu (Beograd, Srbija) pa smo sodelovali pri raziskavah vpliva postopka sinteze in dopiranja na mikrostrukturne, mehanske in termoelektrične lastnosti keramike NaCo_2O_4 tipa p.

Elektrostatske Schottkijeve bariere na mejah med zrnji kritično vplivajo na električno prevodnost termoelektrične ZnO keramike, v primeru varistorke ZnO keramike za prenapetostne zaščite pa so ključne za njeno tokovno-napetostno (I-U) nelinearnost. V sodelovanju s Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Science – SICCAS proučujemo vpliv izbranih dopantov in procesnih parametrov (temperatura in atmosfere sintranja) na

formiranje elektrostatskih Schottkijevih barrier na mejah med zrnji in na električne/termoelektrične karakteristike ZnO keramike. V okviru teh raziskav smo odkrili novo vrsto varistorke keramike na osnovi ZnO, ki v primerjavi z do zdaj poznanimi ne vsebuje hlapnih (Bi_2O_3), dragih (Pr_6O_{11}) in toksičnih (V_2O_5) dopantov, njena prednost pa je tudi preprosta in bistveno cenejša kemijska sestava. Pri tej novi varistorški keramiki ZnO- Cr_2O_3 nastanek elektrostatskih Schottkijevih barrier povzroči dodatek Cr_2O_3 , dodatek majhnih količin oksidov Ca, Co in Sb pa I-U nelinearnost še izboljša. Potem ko smo pojasnili vlogo Cr_2O_3 pri formiranju elektrostatskih Schottkijevih barrier in mehanizem njihovega nastanka, smo se osredotočili na vpliv posameznih dopantov na rast zrn, razvoj mikrostrukture in I-U karakteristike. Ugotovili smo, da v mejah trdne topnosti v ZnO zaradi deformacije kristalne strukture CaO močno pospeši difuzijske procese in s tem rast zrn, kar omogoča kontrolo prebojne napetosti. Hkrati dopiranje



Slika 13: Prikaz lokalnega neujemanja na osnovi elektronske difrakcije povratno sipanih elektronov (EBSD) v varistorški keramiki ZnO- Cr_2O_3 z dodatkom CaO (a) 0 mol.% in (b) 3 mol.%, ki kaže na višjo stopnjo deformacije kristalne strukture v vzorcu z dodatkom Ca (več neujemanja od 1° do 2°, ki ga prikazujejo zelena področja) kot v vzorcu brez Ca. (c) Stopnja trdne topnosti Ca in Co (kot atomsko razmerje Ca:Zn in Co:Zn) v ZnO, izmerjena z analizo EDS posameznih zrn varistorke keramike ZnO- Cr_2O_3 z različnimi dodatki CaO (x = 0, 0,5, 1, 2, 3, 4 in 6 mol.%).

s CaO pozitivno vpliva na višino elektrostatskih Schottkijevih barier, tako da se poveča koeficient nelinearnosti α , zniža pa se tok puščanja IL.

S podjetjem Bourns smo sodelovali pri razvoju večplastnih varistorjev (MLV) z izboljšano temperaturno stabilnostjo. Proučevali smo vpliv elementov v sledovih in pojasnili negativen vpliv in kritično količino Fe na električne in energijske karakteristike različnih tipov MLV ter pozitiven vpliv Al na njihovo izboljšanje. S Fakulteto za strojništvo Univerze v Ljubljani in podjetjem Raycap smo sodelovali pri študiju karakteristik površine varistorske keramike in postopkih njene obdelave za optimizacijo procesov finalizacije varistorjev in njihovih lastnosti. S podjetjem Raycap smo sodelovali tudi pri spremljanju procesov v postopku izdelave varistorjev za njihovo optimizacijo.

Polprevodniki

Nastanek inverzijskih mej (IB) z različnimi dopanti v ZnO je bil proučen v okviru izračunov teorije gostotnih funkcij (DFT) v sodelovanju s skupino za atomistično modeliranje Centra za materiale v Leobnu (MCL), Avstrija. Sodelujoča raziskovalca razvijata nov teoretični pristop za izračun termodinamske stabilnosti kemijsko induciranih domenskih sten z različnimi kemijskimi sestavami. Spontana tvorba IB sta do zdaj napovedala za Sb-, In- in Fe-dopiran ZnO, medtem ko poteka obsežna presejalna študija celotnega periodičnega sistema elementov.

Mineralogija

Sodelovanje z Oddelkom za raziskave litosfere dunajske univerze v okviru bilateralnega FWF-ARRS projekta N1-0115 (GInA): *Mineralni vključki v granatih od makroskopskega do atomskega merila - odpiranje petrogenetskega arhiva* se je nadaljevalo pri študijah kristalografske orientacije. Poleg tega smo proučevali nadomeščanje centralnih vključkov apatita z granatom s sodobnimi metodami preseвне elektronske mikroskopije. Januarja 2022 se je začel nov bilateralni NKFIH-ARRS projekt N1-0230: *Aragonit: Struktura in nastanek* v sodelovanju s panonsko univerzo v Vesprému na Madžarskem. Projekt se dotika enega najpomembnejših vprašanj v geologiji - stabilnost aragonita pri atmosferskih pogojih. V preteklem letu so se raziskovalci osredotočili na nepojasnen Hiragi-Makovicky uklonski pogoj in njegovo povezavo z dvojčenjem aragonita. Univerza v Novosibirsku pri projektu sodeluje kot zunanji partner.

Analitska elektronska mikroskopija

Za mikrostrukturno karakterizacijo materialov uporabljamo vrstično elektronsko mikroskopijo (SEM), preseвної elektronsko mikroskopijo (TEM), svetlobno optično mikroskopijo (LOM) in tipalno mikroskopijo na atomsko silo (AFM). Med SEM-tehnikami uporabljamo FEGSEM visoke ločljivosti, kvalitativno in kvantitativno elektronsko mikroanalizo (EPMA: EDXS, WDXS) in elektronsko difrakcijo povratno sipanih elektronov (EBSD). Med tehnikami TEM uporabljamo visokoločljivostno vrstično preseвної elektronsko mikroskopijo (STEM, HAADF-STEM) in spektroskopijo na izgubo energije elektronov (EELS) za določevanje strukture in kemijske sestave materialov na atomarni ravni.

V zadnjem času so naše raziskave usmerjene tudi v področje *in situ* LC-TEM za opazovanje dinamičnih procesov med elektrokemičnimi procesi nanašanja kovin iz tekočih medijev.

Konzorcij ESTEEM (Enabling Science and Technology through European Electron Microscopy), katerega člani smo, je nadaljeval svoje dejavnosti na področju karakterizacije materialov z različnimi vrhunskimi tehnikami preseвної elektronske mikroskopije.

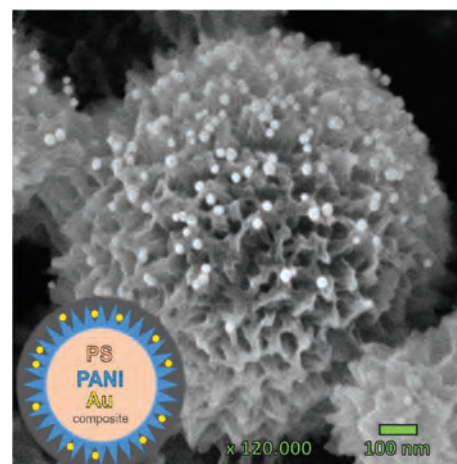
Raziskovalna skupina Odseka za nanostrukturne materiale je nadalje z delom svojega raziskovalnega in razvojnega programa močno povezana z delovanjem Centra za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM) v okviru nacionalnega Centra za elektronsko mikroskopijo in analizo površin (CEMAP).

V okviru mednarodnega sodelovanja na področju raziskav kompleksnih zlitin, IRP PAC2, smo proučevali strukturo novega ultratankega oksida (UTO), tako imenovan dvodimenzionalni perovskit. Rezultati so bili objavljeni v reviji *Physical Chemistry Chemical Physics* (<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/cp/d1cp05296a>).

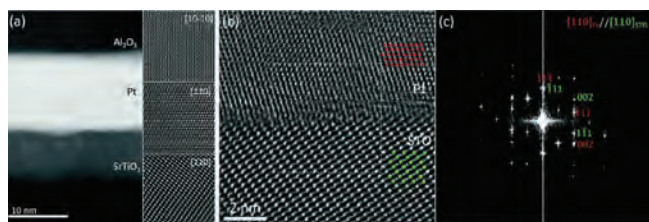
Dvodimenzionalni oksidni dodekagonalni kvazikristali in podobni kompleksni aproksimantni so bili prvotno odkriti v ultratanke plasteh na osnovi BaTiO₃ ali SrTiO₃ perovskitov, epitaksialno raščeni na (111) površino Pt monokristala.

V okviru teh raziskav smo kot metodo sinteze uporabili t. i. tankoslojni pristop (all thin-film approach), pri katerem smo monokristalni substrat nadomestili z 10 nm debelim vmesnim slojem Pt, ki je bil epitaksialno nanešen na Al₂O₃(0001) podlago. Končna, vrhnja, ultra tanka plast SrTiO₃ je bila nanašena s pomočjo metode pulznega laserskega nanašanja.

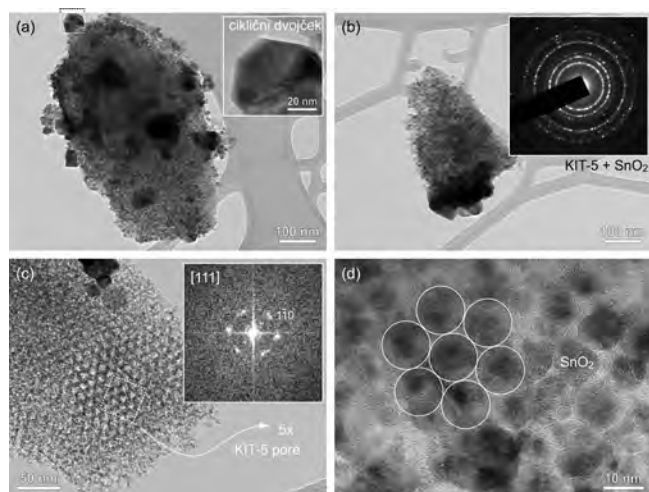
Proces nanašanja in kristalografske odnose znotraj celotne heteroplasti smo ovrednotili s pomočjo tehnik presevnega elektronskega mikroskopa, predvsem elektronske difrakcije



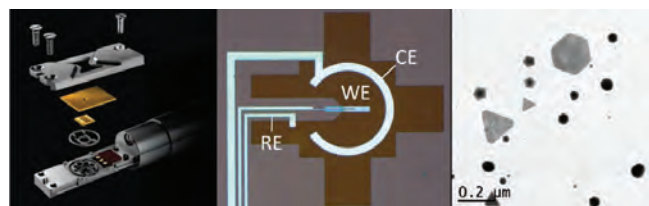
Slika 14: Visokoločljivostni FEGSEM-posnetek nanohibridnega kompozita PS/PANI/Au, sestavljenega iz sferičnega jedra iz polistirena, prekrita s plastjo polianilina in okrašena z razpršenimi 20-nm zlatimi nanodelci; vstavek prikazuje shematski model te nanohibridne strukture PS/PANI/Au.



Slika 15: (a) HAADF-STEM posnetek, ki prikazuje hetero strukturo tankega filma na substratu, tj. Al_2O_3 substrat, ~ 12 nm Pt vmesnega sloja in ~ 10 nm SrTiO_3 . V projekciji smo opazovali dvodimenzionalne oksidne kvazikristalne plasti na osnovi SrTiO_3 . Atomske ločljivosti HAADF-STEM posnetki posameznih plasti so prikazani na desni strani slike (a) v njihovih ustreznih conskih oseh $[210]_{\text{Al}_2\text{O}_3}$, $[110]_{\text{Pt}}$ oziroma $[110]_{\text{SrTiO}_3}$. (b) Medfazna meja Pt/ SrTiO_3 s pripadajočimi strukturnimi modeli. (c) FFT-vzorec, zajet z označenega območja v sliki (b).



Slika 16: Mikrostrukturalna študija hitro odzivnih senzorjev vlažnosti na osnovi mezostrukturiranega SnO_2 , sintetiziranega z infiltracijo v KIT-5 silikatno rešetko. (a) KIT-5 z vidno mezokristalno poroznostjo, nadomeščeno s SnO_2 v notranjosti, in velikimi cikličnimi dvojčki kasiterita na površini. (b) FFT KIT-5 silikata po infiltraciji kaže značilne difrakcijske obročje, ki ustrezajo fazi SnO_2 . (c) Nezapolnjen del KIT-5 mezostrukture v $[111]$ projekciji kaže na kubično ureditev por. (d) Urejanje SnO_2 nanodelcev po KIT-5 templatu.



Slika 17: (a) Zgradba TEM-nosilca s tekočinsko celico, (b) EC-čip z elektrodnim sistemom – RE, CE in WE, (c) Au nanodelci, nanešeni na delovno elektrodo EC-čipa.

(slika 15). V članku smo poročali o odkritju dveh novih kompleksnih UTO faz, kot posledica kemijske redukcije perovskitnih filmov v procesu visokotemperaturnega žarjenja v pogojih ultravisokega vakuumu. Opredelili smo ju kot kvadratne aproksimante z ogromno osnovno celico (44.4 \AA) in kompleksno heksagonalno fazo.

V sodelovanju z Institutom za multidisciplinarna istraživanja v Beogradu smo raziskovali samourejanje in mikrostrukturo hitro odzivnih senzorjev vlažnosti na osnovi SnO_2 . Materiale na osnovi infiltracije SnO_2 v mezostrukturirano silikatno rešetko KIT-5 so sintetizirali kolegi iz Srbije, na Odseku za nanostrukturirane materiale pa smo opravili TEM-preiskave formiranja mezostrukture s kontrolirano velikostjo por. Pokazali smo, da po infiltraciji SnO_2 popolnoma nadomesti in replicira kubično rešetko KIT-5, na površini delcev pa se tvorijo večji idiomorfni ciklični dvojčki SnO_2 . Mezostruktura SnO_2 je stabilna in se pri termični obdelavi ne poruši (slika 16). Priprava senzorjev SnO_2 po tem postopku omogoča izdelavo urejenih senzorskih mezostruktur z veliko specifično površino, kar omogoča hitro odzivnost in regeneracijo polprevodniškega elementa SMOX.

Članek z naslovom *KIT-5 assisted synthesis of mesoporous SnO_2 for high-performance humidity sensors with a swift response/recovery speed* je bil objavljen v reviji *Molecules* (<https://www.mdpi.com/1420-3049/28/4/1754>).

In-situ preiskave v tekočinski celici presevnega elektronskega mikroskopa (LTEM): nedavni razvoj nosilcev za tekočinske celice v TEM omogoča *in situ* neposredno opazovanje nukleacijskih procesov, to je rasti in raztapljanja v kombinaciji s hkratnim opazovanjem tako morfologije kot strukturnih in kemičnih sprememb nanodelcev v realnem času in z nanometrsko ločljivostjo. Združevanje koncepta tekočinske celice v TEM z mikroelektrodami, natisnjenimi na čipu, omogoča študij dinamičnih pojavov med elektrokemijskimi reakcijami z visoko prostorsko in časovno ločljivostjo z implementacijo t. i. *in situ* elektrokemijske tekočinske presevnice elektronske mikroskopije (*in situ* EC-LTEM). Eden od najbolj proučevanih kemijskih procesov v EC-LTEM je povezan s študijami nukleacije, rasti in procesov raztapljanja nanodelcev in nanostruktur. Slednje je tudi predmet skupnega bilateralnega projekta SLO-FWO, kjer uporabljamo EC-LTEM za proučevanje dinamike elektrokemijskega nanašanja in raztapljanja kovinskih nanodelcev, kot so Au, Ag, Pt in Pd. Slika 17 prikazuje strukturo nosilca (a) v razstavljenem pogledu, (b) EC-čip, ki vsebuje trielektrodni sistem; referenčno elektrodo (RE), delovno elektrodo (WE) in protielektrodo (CE), in (c) elektrokemijski nanos Au nanodelcev na delovni elektrodi.

Izobraževanje in promocija znanosti

Sodelavci odseka smo že deseto leto sodelovali pri dejavnostih promocije znanosti v sklopu projekta Znanost na cesti (ZnC). Organizirali smo 15 poljudnoznanstvenih predavanj v živo in direktno prek spleta. Na spletni strani projekta ZnC smo objavili 7 blogov raziskovalk in raziskovalcev ter en fotografski nagradni natečaj na temo Lepota biomedicine. Na ponovno

povabilo organizacij EIT Raw materials in JA Slovenija (Zavod za spodbujanje podjetnosti mladih) smo sodelovali pri organizaciji in izvedbi Inovacijskega kampa 2022. Na njem je sodelovalo 150 dijakov s 17 gimnazij in srednjih šol iz vse Slovenije.

Dejavnosti Strateško-razvojnega inovacijskega partnerstva Tovarne prihodnosti (SRIP ToP), vertikalne verige vrednosti Novi materiali

Vertikalne verige vrednosti Novi materiali so od leta 2022 vključene v novo fokusno področje Napredne zelene tehnologije, ki med drugim zajema področje senzorike in magnetnih materialov. V letu 2022 so bile dejavnosti vezane na pripravo dokumenta za novo fokusno področje, sestanke s preostalimi SRIP-i ter sestavo ekspertne skupine skupaj s fokusnim področjem Sodobne proizvodne tehnologije za materiale.

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Mednarodna delavnica o trajnostni sanaciji strupenih spojin (SusRemTOC): International workshop on sustainable remediation of toxic organic compounds, Goriška brda, 5.-6. maj 2022
2. Letni sestanek v okviru mednarodnega laboratorija LIA PACS2: Push-Pull AlloyS and Complex Compounds (PACS2): from bulk properties to surface functions, Ljubljana in Goriška brda, 20.-21. september 2022
3. Mednarodna delavnica in projektni sestanek ReCement: Re-generating (raw) materials and end-of-life products for re-use in Cement/Concrete, Ljubljana in Dobrovo v Brdih, 21.-24. november 2022
4. Projektni sestanek skupine za razvoj 4D mikroskopskih tehnik: 4D STEM Meeting, Ljubljana, 9. december 2022

Patent

1. Matic Korent, Marko Soderžnik, Urška Ročnik, Karla Kosmač, Zoran Samardžija, Boris Saje, Spomenka Kobe, Postopek za izboljšanje magnetnih lastnosti prahov MQP-B+Nd-Fe-B z majhnim deležem intergranularne faze in postopek izdelave polimerno-vezanih magnetov iz teh magnetnih prahov, SI26141 (A), Urad RS za intelektualno lastnino, 29. 7. 2022

Nagrade in priznanja

1. **prof. dr. Miran Čeh** je prejemnik nagrade Spiridion Brusina za sodelovanje s hrvaškimi znanstveniki na področju prirodoslovja in promoviranja hrvaške znanosti v svetu. Podeljuje jo Hrvaško prirodoslovno društvo iz Zagreba, Hrvaška.
2. **prof. dr. Jean-Marie Dubois** je prejemnik mednarodne znanstvene nagrade Stoddart (imenovane po siru Frazerju Stoddartu, Nobelovem nagrajencu za kemijo) za življenjske dosežke na področju znanosti o materialih. Nagrado podeljuje Flogen Star Outreach (neprofitna organizacija) na kongresu SIPS 2022 v Phuketu na Tajskem.
3. **prof. dr. Saša Novak Krmpotič** je prejemnica častnega letnega naziva Komunikatorica znanosti 2022 na področju pomena komuniciranja znanstvenikov javnosti, ki jo podeljuje Slovenska znanstvena fundacija.
4. **prof. dr. Aleksander Rečnik** je prejemnik častnega priznanja za dolgoletno sodelovanje in pomoč pri doktorskem programu na Univerzi Pannonia v Veszprému. Nagrado podeljuje Senat Univerze Pannonia, Veszprém na Madžarskem.
5. **dr. Sorour Semsari Parapari** je prejemnica 2. najboljše ustne predstavitve na mednarodni konferenci ELMINA z naslovom: Heterogeno Electrochemical Dissolution of Gold Nanoparticles Observed via In-situ Liquid TEM, ki jo podeljuje Srbska akademija znanosti in umetnosti in Tehnološko-metalurška fakulteta Univerze v Beogradu, Srbija.
6. **dr. Sorour Semsari Parapari** je prejemnica štipendije Evropskega združenja za mikroskopijo na konferenci 16 MCM (Multinational Microscopy Congress) v Brnu na Češkem, ki jo podeljuje Evropsko združenje za mikroskopijo.
7. **dr. Vesna Ribić** je prejemnica nagrade za najboljši članek z naslovom: New inversion boundary structure in Sb-doped ZnO pre dicta d by DFTcalculations and confirmed by experimental HRTEM (objavljen v reviji *Acta Materialia*), ki jo podeljuje Znanstveni svet Instituta za multidisciplinarne raziskave v Beogradu, Srbija.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Mikrovalovni heksaferiti
Antistat GmbH
dr. Petra Jenuš
2. COST CA17140 - Nano2Clinic; Nanomedicina raka - od laboratorijskih raziskav do klinične uporabe in COST akcija druga CA17140 izobraževalna šola (Institute of Oncology Research (IOR), Bellinzona, Švica), 13. 03. 2023 - 14. 03. 2023
COST Association AISBL
doc. dr. Nina Kostevšek
3. H2020 - ESTEEM3; Razvoj znanosti in tehnologije v povezavi z evropsko elektronsko mikroskopijo
European Commission
prof. dr. Miran Čeh
4. H2020 - SUSMAGPRO; Trajnostna obnova, predelava in ponovna uporaba magnetov redkih zemelj v krožnem gospodarstvu
European Commission
prof. dr. Spomenka Kobe
5. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Spomenka Kobe
6. H2020 - ORACLE; Napredne sintetske poti in katalizatorji za sintezo amonjaka kot alternativnega obnovljivega goriva
European Commission
prof. dr. Andraž Kocjan
7. H2020 - PASSENGER; Pilotna akcija za zagotovitev nove generacije učinkovitih trajnostnih magnetov brez redkih zemelj v Evropi
European Commission
prof. dr. Kristina Žužek
8. H2020 - OCARINA; Novi načini recikliranja in ponovnega procesiranja trajnih magnetov
European Commission
prof. dr. Kristina Žužek
9. Nanostrukturirani materiali na osnovi kovinskih oksidov za aplikacije v fotokatalitičnih procesih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Matejka Podlogar

10. INSPIRES - Inteligentno in trajnostno procesiranje inovativnih magnetov redkih zemelj
EIT RawMaterials e.V.
prof. dr. Spomenka Kobe
11. OE - EUROfusion; WP18: MAT_OE-FU, IREMEV-MAT-1_OE-FU, IREMEV-MAT-2_OE-FU, IREMEV-MAT-3_OE-FU
European Commission
dr. Petra Jenuš
12. OE - EUROfusion; WP21: PRD-1,2_OE-FU
European Commission
dr. Aljaž Iveković
13. RECO2MAG; Trajni magneti Nd-Fe-B, zasnovani preko inženiringa mej med zrni
EIT RawMaterials e.V.
prof. dr. Kristina Žužek
14. OE - EUROfusion; WP24: TRED_OE-FU, EDU_OE-FU
European Commission
prof. dr. Saša Novak Krmpotič
15. OE - REESilience; Vzdržne in trajnostne dobavne verige surovin kritičnih elementov redkih zemelj za e-mobilnost in ekosisteme obnovljive energije ter za strateške sektorje
European Commission
prof. dr. Kristina Žužek
16. OE - GYROMAGS; Zelene poti recikliranja brusnega blata magnetov na osnovi sistema Sm-Co
European Commission
prof. dr. Kristina Žužek
17. OE - HEO4CAT; Razvoj novih visokoentropijskih oksidnih katalizatorjev z anodno oksidacijo visokoentropijskih zlitin
European Commission
Belisa Alcantara Marinho, PhD., Portugalska
14. Napovedovanje nukleacijskih procesov elektrokemijske tvorbe faz s kombinacijo in situ elektronske mikroskopije in večstopenjskim modeliranjem
prof. dr. Sašo Šturm
15. Ploskovne napake v naravnih in sintetiziranih perovskitnih oksidih: nanogeokemijski indikatorji in funkcionalne medpovršine
prof. dr. Aleksander Rečnik
16. Razvoj visoko učinkovitih senzorjev za zaznavanje obstojnih in mobilnih kemikalij v okolju (SENSE-PMC)
doc. dr. Kristina Žagar Soderžnik
17. Aragonit: struktura in nastanek
prof. dr. Aleksander Rečnik
18. Funkcionalno gradientni materiali z medsebojno prepleteno strukturo kovin, ki se ne mešajo
dr. Aljaž Iveković
19. Jedrsko sevanje kot katalizator kemijskih procesov
prof. dr. Sašo Šturm
20. 4D STEM energijsko učinkovitih materialov do kvantne ravnini
prof. dr. Sašo Šturm
21. Razvoj večkomponentnih trajnih magnetov kompleksnih oblik z uporabo napredne tehnologije 3D tiskanja
prof. dr. Spomenka Kobe
22. Razgradnja tekstilne mikroplastike iz odpadnih vod v gospodinjstvu
dr. Matejka Podlogar
23. Novi pretočni fotoelektrokatalitski reaktorji za razgradnjo farmacevtikov v odpadnih vodah
prof. dr. Miran Čeh
24. Razvoj tehnike hitrega radiacijskega sintranja za izdelavo naprednih večkomponentnih trajnih magnetov tipa Nd-Fe-B brez izmeta in z zmanjšano vsebnostjo kritičnih surovin
dr. Tomaž Tomše
25. Prenosni, visoko občutljivi in specifični nanostrukturirani biosenzorji za hitro detekcijo virusov
dr. Špela Trafela
26. RECEMENT: Ponovna proizvodnja (surovin) in izrabljenih izdelkov za ponovno uporabo v cementu / betonu
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Sašo Šturm
27. AddMag - Izdelava trajnih magnetov z dodajalno tehnologijo
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
doc. dr. Matej Andrej Komelj
28. Karakterizacija površin in strukture obdelanih keramičnih materialov
Univerza v Ljubljani
prof. dr. Slavko Bernik
29. Zunanje servisne usluge
prof. dr. Andraž Kocjan

PROGRAMI

1. Nanostrukturni materiali
prof. dr. Sašo Šturm
2. Keramični in komplementarni materiali za napredne inženirske in biomedicinske aplikacije
prof. dr. Andraž Kocjan
3. Fuzijske tehnologije
prof. dr. Saša Novak Krmpotič

PROJEKTI

1. Izdelava novega reaktorskega koncepta za mikrokinetične študije ter njegova uporaba za selektivno oksidativno dehidrogenacijo alkanov in spajanje metana
dr. Luka Suhadolnik
2. Selektivna ekstrakcija molekul z visoko vrednostjo za sektor specialnih kemikalij iz ostankov predelave lesa
dr. Petra Jenuš
3. Geobiokemijski cikel molibdena v kamninah in sedimentih
prof. dr. Sašo Šturm
4. Napredni 3D celični modeli: Premostitev vrzeli med in vitro in in vivo poskusnimi sistemi (hep3DGenTox)
prof. dr. Saša Novak Krmpotič
5. Poobsevalni karies pri pacientih z rakom glave in vratu: vzroki in preprečevanje
prof. dr. Andraž Kocjan
6. Razgradnja plastike s poliektremotolerantnimi glivami
dr. Matejka Podlogar
7. Modulacija polifenolnega profila v sadju s trajnostnimi fizikalnimi poobiralnimi postopki
dr. Anže Abram
8. Predklinične in klinične raziskave cirkonijeve oksidne keramike izdelane s tehnologijami aditivnega oblikovanja
prof. dr. Andraž Kocjan
9. Razvoj novih večfunkcionalnih nanocimov na osnovi kovinskih oksidov in njihova toksikološka karakterizacija (NaNoZymSafe)
dr. Petra Jenuš
10. Temeljno razumevanje reakcije tvorbe vodika za novo generacijo elektrokatalizatorjev na osnovi niklja v alkalni in kloralkalni elektrolizi
prof. dr. Sašo Šturm
11. Vključki v granatih od makroskopskega do atomarnega nivoja: Odpiranje petrogenetskega arhiva
prof. dr. Aleksander Rečnik
12. Visoko zmogljivi nanostrukturirani senzorji akrilamida
doc. dr. Kristina Žagar Soderžnik
13. Oblikovanje funkcionalnosti feroelektrikov brez svinca in inženiringom domenskih sten
doc. dr. Matej Andrej Komelj

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. L2-1830 Sofinanciranje L-projekta: Razgradnja tekstilne mikroplastike iz odpadnih vod v gospodinjstvu
Gorenje gospodinjjski aparati, d.d.
dr. Matejka Podlogar
2. L2-1829 Sofinanciranje L-projekta: Razvoj večkomponentnih trajnih magnetov kompleksnih oblik z uporabo napredne tehnologije 3D tiskanja
Kolektor Group, d. o. o.
prof. dr. Spomenka Kobe
3. L2-2614 Sofinanciranje L-projekta: Novi pretočni fotoelektrokatalitski reaktorji za razgradnjo farmacevtikov v odpadnih vodah
ARHEL projektiranje in inženiring, d. o. o.
prof. dr. Miran Čeh
4. Sodelovanje pri izvedbi meritev - Izvedba meritev VSM, XRD, TEM in CoNiP
RLS Merilna Tehnika, d. o. o.
prof. dr. Sašo Šturm
5. Razvoj in optimizacija varistorske keramike ter volumskih in večplastnih (MLV) varistorjev
Bourns, d. o. o., Žužemberk
prof. dr. Slavko Bernik
6. Materialna karakterizacija biofarmaceutskih produktov in primarne ovojnine
Lek, d. d.
prof. dr. Sašo Šturm
7. Spremljanje procesa izdelave varistorske keramike in varistorjev
Raycap, d. o. o.
prof. dr. Slavko Bernik
8. Izdelava prototipa keramične šobe
Trimco, d. o. o.
prof. dr. Andraž Kocjan

OBISKI

1. prof. dr. Andreja Gajović, Institut Rudjer Bošković, Zagreb, Hrvaska, 8.–11. februar 2022
2. Lucie Pejchalova, Brno University of Technology, Brno, Češka, 21. marec–19. junij 2022
3. Daria Jardas in izr. prof. dr. Aleš Omerzu, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, Hrvaska, 8. april 2022
4. Alexandra Maegli, Olivier Pujol in Alain Semoroz, Rolex, Plan-les Quartes, Švica, 12. april 2022
5. Justine Boutbien in dr. Vincent Fournie, Institut Jean Lamour – Universitet de Lorraine, Nancy, Francija, 18.–23. april 2022
6. prof. dr. Peter Fantke, Technical University of Denmark (DTU), Kopenhagen, Danska, 5.–8. maj 2022
7. dr. Goran Branković in Jelena Vukašinović, Institut za multidisciplinarna istraživanja (IMS), Beograd, Srbija, 6.–15. maj 2022
8. Ece Günay, Sabancı University, Istanbul, Turčija, 17. maj–10. julij 2022
9. Martina Kocijan, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvaska, 22.–27. maj 2022
10. George Alameel in Tomaž Bojko, Bourns, d. o. o., Žužemberk, Slovenija, 31. maj 2022
11. prof. dr. Hasan Göcmez, Kültahya Dumlupınar University, Küthaya, Turčija, 2. junij 2022
12. Juan Anat Gomez Belenguer, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Španija, 9. junij–5. avgust 2022
13. Zoran Goljuf in Tomaž Petan, Trimco, d. o. o., Trebnje, Slovenija, 22. junij 2022
14. prof. dr. Nina Bednarek, Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana, Slovenija in Oregon State University, Corvallis, Združene države Amerike, 30. junij 2022
15. Anna Katharina Hofer in Tobias Prötsch, Lehrstuhl für Struktur und Funktionskeramik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija, 4.–7. julij 2022
16. prof. dr. Andreja Gajović, Institut Rudjer Bošković, Zagreb, Hrvaska, 1.–4. september 2022
17. prof. dr. Marian Janák, Geological Institute, Bratislava, Slovaška in prof. dr. Mirijam Vrabec, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija, 16. september 2022
18. dr. Pascal Boulet, dr. Vincent Fournie in dr. Julian Ledieu, Institut Jean Lamour – Universitet de Lorraine, Nancy, Francija, 19.–21. september 2022
19. dr. Nadezda Radmilović, University of Belgrade, VINČA Institute for Nuclear Science, Beograd, Srbija in prof. dr. Vuk Radmilović, University of Belgrade, Faculty of Technology and Metallurgy, Beograd, Srbija, 20. oktober 2022
20. izr. prof. dr. Aleš Omerzu, Sveučilište u Rijeci, Reka, Hrvaska, 6.–13. november 2022
21. Tobias Prötsch, Lehrstuhl für Struktur und Funktionskeramik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija, 8.–11. november 2022
22. Anna Katharina Hofer, Lehrstuhl für Struktur und Funktionskeramik, Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija, 21.–23. november 2022
23. dr. Pavel Gavryushkin, Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS, Novosibirsk, Rusija, 22.–25. november 2022
24. dr. Matjaž Rozman, Bourns, d. o. o., Žužemberk, Slovenija, 24. november–7. december 2022
25. dr. Cristian Fábrega Gallego, University of Barcelona, Department of Electronic and Biomedical Engineering, Barcelona, Španija, 5.–9. december 2022
26. prof. dr. Carlo Burkhardt, Hochschule Pforzheim – Hochschule für Angewandte Wissenschaften mit den Fakultäten für Gestaltung, für Technik und für Wirtschaft und Recht, Pforzheim, Nemčija, 8.–11. december 2022
27. Fabian Burkhardt, University of Birmingham, School of Metallurgy and Materials, Birmingham, Združeno kraljestvo, 16. december 2022
28. Martina Kocijan, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb, Hrvaska, 17.–23. december 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Boris Saje, Kolektor Group, d. o. o., Idrija: Industrial development of magnetic components, 27. januar 2022 (virtualno)
2. dr. Petra Jenuš, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Microstructure and mechanical properties of W-based composites aged at temperatures 1000 °C, 17. februar 2022 (virtualno)
3. dr. Aljaž Iveković, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Development and characterization of highly filled filaments for fused filament fabrication of ceramics, 3. marec 2022 (virtualno)
4. dr. Benjamin Podmiljšak in Ipeknaz Özden, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Additive manufacturing at K7, 10. marec 2022 (virtualno)
5. Monika Kušter, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Composite materials for improving gear drive performance and low sticking surfaces, 31. marec 2022 (virtualno)
6. dr. Vesna Ribič, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Structural analysis of basal-plane inversion boundaries in Sn⁴⁺ and Sb⁵⁺ doped zinc oxide, 21. april 2022 (virtualno)
7. doc. dr. Matej Andrej Komelj, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: The finite-element method in physics and material science, 27. oktober 2022
8. dr. Sina Khoshima, Odsek za nanostrukturne materiale, Institut "Jožef Stefan", Ljubljana: Green recycling route for Sm-Co permanent magnet swarf, 24. november 2022
9. dr. Cristian Fábrega Gallego, University of Barcelona, Department of Electronic and Biomedical Engineering, Barcelona, Španija: On colorimetric gas sensors for environmental and safety applications, 7. december 2022
10. Fabian Burkhardt, University of Birmingham, School of Metallurgy and Materials, Birmingham, Združeno kraljestvo: The hydrogen ductilisation process (HyDP), 16. december 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Belisa Alcantara Marinho, udeležba na Conference on High Entropy Alloy Electrocatalysis, Kopenhagen, Danska, 17.–20. maj 2022 (1)
2. Belisa Alcantara Marinho, Miran Čeh, Anja Korent, Matejka Podlogar, Sašo Šturm, Špela Trafela, Kristina Žagar Soderžnik, Kristina Žužek, udeležba na International workshop on sustainable remediation of toxic organic compounds (SusRemTOC), Goriška brda, 5.–6. maj 2022 (8)
3. Belisa Alcantara Marinho, Miran Čeh, Živa Marinko, delovni sestanek na Fakulteti za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana, 22. april 2022 (3)
4. Belisa Alcantara Marinho, Matej Andrej Komelj, Monika Kušter, Matejka Podlogar, Sorour Semsari Parapari, Vinko Sršan, Sašo Šturm, udeležba na sestanku v okviru mednarodnega laboratorija LIA PACS2: Push-Pull AlloyS and Complex Compounds (PACS2): from bulk properties to surface functions, Nancy, Francija, 5.–7. december 2022 (7)
5. Belisa Alcantara Marinho, Barbara Ljubec Božiček, udeležba na konferenci Solar Chemistry and Photocatalysis: Environmental Applications (SPEA), Torino, Italija, 6.–10. junij 2022 (2)
6. Belisa Alcantara Marinho, Barbara Ljubec Božiček, udeležba na Slovenian-Bavarian Summer School, Ljubljana, 18.–21. september 2022 (2)
7. Belisa Alcantara Marinho, Barbara Ljubec Božiček, Živa Marinko, delovni sestanek v Aquaviva, d. o. o., Radomlje, 31. maj 2022 (3)
8. Slavko Bernik, delovni sestanek v Raycap, d. o. o., Ljubljana, 21. januar 2022 (1)
9. Slavko Bernik, delovni sestanek v Bourns, d. o. o., Ljubljana, 15. februar 2022 (1)
10. Slavko Bernik, sestanek partnerjev na projektu v podjetju Raycap, d. o. o., Ljubljana, 30. marec 2022 (1)
11. Slavko Bernik, sestanek na projektu s Fakulteto za strojništvo v podjetju Raycap, d. o. o., Ljubljana, 6. maj 2022 (1)
12. Slavko Bernik, delovni sestanek v Raycap, d. o. o., Ljubljana, 30. september 2022 (1)
13. Slavko Bernik, delovni sestanek v Raycap, d. o. o., Ljubljana, 19. oktober 2022 (1)
14. Slavko Bernik, delovni sestanek v Raycap, d. o. o., Ljubljana, 27. oktober 2022 (1)
15. Slavko Bernik, delovni sestanek v Raycap, d. o. o., Ljubljana, 9. december 2022 (1)
16. Slavko Bernik, delovni sestanek v Raycap, d. o. o., Ljubljana, 20. december 2022 (1)
17. Slavko Bernik, Matejka Podlogar, vabljeni predavanje na 6th Conference of the Serbian Society for Ceramic, Beograd, Srbija, 27.–30. junij 2022 (2)
18. Slavko Bernik, Anja Korent, Matejka Podlogar, Špela Trafela, Anubhav Vishwakarma, Kristina Žagar Soderžnik, udeležba na 57th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials with the Workshop on Energy Harvesting: Materials and Application (MIDEM 2022), Maribor, 14.–16. september 2022 (6)
19. Miran Čeh, udeležba na 6th International Conference on New Photocatalytic and Advanced Oxidation Technologies for the Treatment of Water, Air, Soil and Surfaces (PAOT-7), Ljubljana, 4.–7. april 2022 (1)
20. Miran Čeh, Monika Kušter, Matejka Podlogar, Sašo Šturm, Špela Trafela, Kristina Žagar Soderžnik, udeležba na 4. Slovenskem posvetovanju mikroskopistov, Ankaran, 12.–13. maj 2022 (6)
21. Miran Čeh, Zoran Samardžija, Sorour Semsari Parapari, Sašo Šturm, Kristina Žagar Soderžnik, udeležba na 16th Multinational Congress on Microscopy (16 MCM), Brno, Češka, 4.–9. september 2022 (5)
22. Giulia Della Pelle, udeležba na 22nd IEEE International Conference on Nanotechnology (IEEE-NANO), Palma de Mallorca, Španija, 4.–8. julij 2022 (1)
23. Giulia Della Pelle, Aljaž Iveković, Diana Knyzhnykova, Spomenka Kobe, Andraž Kocjan, Abhilash Krishnamurthy, Saša Novak Krmpotič, Ipeknaz Özden Moser, Aleksander Učakar, Anubhav Vishwakarma, udeležba na 15th Jozef Stefan International Postgraduate School Student's Conference (IPSSC), Kamnik, 1.–3. junij 2022 (10)
24. Jean-Marie Dubois, udeležba na International Conference on Materials Science (3d-ICOMAS), Verona, Italija, 26.–28. oktober 2022 (1)
25. Aljaž Iveković, delovni sestanek v podjetju Akrapovič, d. d., Ivančna Gorica, 23. maj 2022 (1)
26. Aljaž Iveković, udeležba na sejmju Formnext 2022, Frankfurt, Nemčija, 15.–18. november 2022 (1)
27. Aljaž Iveković, Petra Jenuš, delovni sestanek EUROfusion, Garching, Nemčija, 23.–24. junij 2022 (2)
28. Aljaž Iveković, Petra Jenuš, delovni sestanek EUROfusion, Garching, Nemčija, 29. november–1. december 2022 (2)
29. Aljaž Iveković, Petra Jenuš, Diana Knyzhnykova, Saša Novak Krmpotič, udeležba na 31st International Conference Nuclear Energy for New Europe (NENE 2022), Portorož, 12.–15. september 2022 (4)
30. Aljaž Iveković, Petra Jenuš, Diana Knyzhnykova, udeležba na 32nd Symposium on Fusion Technology (SOFT), Dubrovnik, Hrvaska, 18.–23. september 2022 (3)
31. Aljaž Iveković, Petra Jenuš, Andraž Kocjan, Ipeknaz Özden Moser, Aleksander Učakar, Ceramics in Europe 2022, Krakow, Poljska, 10.–14. julij 2022 (5)
32. Aljaž Iveković, Andraž Kocjan, delovni sestanek v Trimco, d. o. o., Trebnje, 25. marec 2022 (2)
33. Petra Jenuš, delovni sestanek v sklopu EUROfusion, IJS – Reaktor, Dol pri Ljubljani, 9. maj 2022 (1)
34. Petra Jenuš, delavnica na OŠ Benedikt, Benedikt, 7. oktober 2022 (1)
35. Petra Jenuš, udeležba na 4. Junior Achievemnt inovacijski kamp, Ljubljana, 27. oktober 2022 (1)

36. Petra Jenuš, Aleksander Učakar, Anubhav Vishwakarma, udeležba na 23rd International Conference on Advances in Materials & Processing Technologies (AMPT 2022), Portorož, 10.–14. oktober 2022 (3)
37. Sina Khoshshima, delovni sestanek v Magneti Ljubljana, d. d., Ljubljana, 30. marec 2022 (1)
38. Spomenka Kobe, udeležba na konferenci SecREEs (Secure European Critical Rare Earth Elements), Bruselj, Belgija, 14.–16. november 2022 (1)
39. Spomenka Kobe, Benjamin Podmiljšak, delovni obisk v okviru projekta SUSMAGPRO (Sustainable Recovery, Reprocessing and Reuse of Rare Earth Magnets in a European Circular Economy) Roadshow, Leiden, Nizozemska, 6.–10. junij 2022 (2)
40. Spomenka Kobe, Benjamin Podmiljšak, delovni obisk v okviru projekta INSPIRES (Intelligent and Sustainable Processing of Innovative Rare-Earth magnets), Montanuniversität Leoben, Leoben, Avstrija, 16. september 2022 (2)
41. Spomenka Kobe, Benjamin Podmiljšak, Tomaž Tomše, Sašo Šturm, Kristina Žužek, delovni sestanek v okviru projekta INSPIRES (Intelligent and Sustainable Processing of Innovative Rare-Earth magnets), University of Pforzheim, Pforzheim, Nemčija, 21.–23. junij 2022 (5)
42. Spomenka Kobe, Benjamin Podmiljšak, Tomaž Tomše, Kristina Žužek, udeležba na REIA 2022 (Rare Earth Industry Association) Annual Conference, Hanau, Nemčija, 5.–6. oktober 2022 (4)
43. Andraž Kocjan, udeležba na keramičnem združenju ECerS (European Ceramic Society) v EMPA (Swiss Federal Laboratory for Materials Science and Technology), Dübendorf, Švica, 5.–6. april 2022 (1)
44. Andraž Kocjan, udeležba na 1st Material Science Colloquium, Lech am Arlberg, Avstrija, 19.–22. april 2022 (1)
45. Andraž Kocjan, udeležba na ECerS (European Ceramic Society) Young Ceramics Network, Tampere, Finska, 23.–25. maj 2022 (1)
46. Andraž Kocjan, delovni obisk na Central European Institut of Technology (CEIT), Brno, Češka, 12.–14. september 2022 (1)
47. Andraž Kocjan, udeležba na 32nd Symposium (Bioceramics) and Annual Meeting of the International Society for Ceramics in Medicine (ISCM), Benetke, Italija, 20.–23. september 2022 (1)
48. Andraž Kocjan, udeležba na konferenci AM Ceramics 2022, Dresden, Nemčija, 12.–14. oktober 2022 (1)
49. Matej Andrej Komelj, Monika Kušter, Matejka Podlogar, Sorour Semsari Parapari, Vinko Sršan, Sašo Šturm, udeležba na sestanku v okviru mednarodnega laboratorija LIA PACS2: Push-Pull AlloyS and Complex Compounds (PACS2): from bulk properties to surface functions, Nancy, Francija, 6.–10. junij 2022 (6)
50. Anja Korent, Monika Kušter, Abhilash Krishnamurthy, Benjamin Podmiljšak, Tomaž Tomše, Kristina Žagar Soderžnik, udeležba na Slovenskih kemijskih dnevih 2022, (SKD 2022) Portorož, 21.–23. september 2022 (6)
51. Monika Kušter, delovni obisk na Univerzi Nova Gorica, Ajdovščina, 5. avgust 2022 (1)
52. Monika Kušter, 28th Croatian-Slovenian Crystallographic Meeting, Poreč, 7.–11. september 2022 (1)
53. Monika Kušter, udeležba na 17th European Powder Diffraction Conference (EPDIC 17), Šibenik, Hrvaška, 31. maj–3. junij 2022 (1)
54. Barbara Ljubec Božiček, udeležba na delavnici HPLC&UPLC, Ljubljana, 15. november 2022 (1)
55. Barbara Ljubec Božiček, udeležba na 5th International Conference on Applied Surface Science (ICASS), Palma de Mallorca, Španija, 24.–29. aprila 2022 (1)
56. Živa Marinko, Sašo Šturm, delovni obisk v Kvader MT, d. o. o., Horjul, 11. maj 2022 (2)
57. Živa Marinko, Sašo Šturm, delovni obisk v Iskra Pio, d. o. o., Šentjernej, 16. maj 2022 (2)
58. Živa Marinko, Sašo Šturm, delovni obisk v Zarja Elektronika, d. o. o., Kamnik, 20. junij 2022 (2)
59. Živa Marinko, udeležba na 28th Symposium on Photochemistry Photo IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry), Amsterdam, Nizozemska, 17.–22. julij 2022 (1)
60. Saša Novak Krmptič, udeležba na Forumu IRT 2022 (Industrijski Forum Inovacij, Razvoja in Tehnologij), Portorož, 6.–7. junij 2022 (1)
61. Ipeknaz Özden Moser, delovni obisk v podjetju Culmium, d. o. o., Kranj, 14. oktober 2022 (1)
62. Ipeknaz Özden Moser, udeležba na forumu Young Ceramists Additive Manufacturing (yCAM 2022), Barcelona, Španija, 9.–11. november 2022 (1)
63. Benjamin Podmiljšak, delovni obisk na University of Technology v okviru projekta AddMag (Additive Manufacturing of Permanent Magnet Materials), Gradec, Avstrija, 7. junij 2022 (1)
64. Benjamin Podmiljšak, Tomaž Tomše, udeležba na Raw Materials Summit, Berlin, Nemčija, 23.–25. maj 2022 (2)
65. Aleksander Rečnik, Vesna Ribič, delovni obisk na University of Pannonia, Veszprém, Madžarska, 3.–7. oktober 2022 (2)
66. Sorour Semsari Parapari, delovni obisk na Université Libre de Bruxelles, Belgija, 6.–13. marec 2022 (1)
67. Sorour Semsari Parapari, udeležba na Combined Prochips in-situ Academy 2022, Berlin, Nemčija 3.–5. maj 2022 (1)
68. Sorour Semsari Parapari, udeležba na poletni šoli Quantitative Electron Microscopy 2022, Port Barcarès, Francija, 8.–20. maj 2022 (1)
69. Sorour Semsari Parapari, udeležba na delavnici Electron diffraction for solving engineering problems v okviru projekta ESTEEM3 (Enabling Science and Technology through European Electron Microscopy), Trondheim, Norveška, 21.–23. junij 2022 (1)
70. Sorour Semsari Parapari, delovni obisk na University Sabanci, Istanbul, Turčija, 3.–10. oktober 2022 (1)
71. Sorour Semsari Parapari, Vinko Sršan, Sašo Šturm, udeležba na Conference on Electron Microscopy of Nanostructures (ELMINA 2022), Beograd, Srbija, 22.–26. avgust 2022 (3)
72. Sorour Semsari Parapari, Sašo Šturm, udeležba na projektne sestanku ReCement (Re-generating raw materials and end-of-life products for re-use in Cement/Concrete), Dobrovo v Brdih, 21.–24. november 2022 (2)
73. Vinko Sršan, udeležba na European School on Magnetism (ESM 2022), Saarbrücken, Nemčija, 11.–23. september 2022 (1)
74. Sašo Šturm, delovni obisk na IJS – Reaktor, Dol pri Ljubljani, 29. marec 2022 (1)
75. Sašo Šturm, delovni obisk v ITR-LAB, d. o. o., Ljubljana, 3. maj 2022 (1)
76. Sašo Šturm, udeležba na 4th Croatian Microscopy Congress, Poreč, Hrvaška, 18.–20. maj 2022 (1)
77. Sašo Šturm, udeležba na EMS (European Microscopy Society) Board Meeting, Bologna, Italija, 31. maj–1. junij 2022 (1)
78. Sašo Šturm, udeležba na Strateških dnevih IJS, Kranjska Gora, 8.–9. november 2022 (1)
79. Tomaž Tomše, udeležba na projektne sestanku REEsilience (Resilient and sustainable critical raw materials REE supply chains for the e-mobility and renewable energy ecosystems and strategic sectors), Pforzheim, Nemčija, 5.–7. julij 2022 (1)
80. Špela Trafela, udeležba na 8th International Conference on Sensors and Electronic Instrumentation Advances (SEIA 2022), Krf, Grčija, 21.–23. september 2022 (1)
81. Špela Trafela, udeležba na IEEE S (Institute of Electrical and Electronics Engineers) Sensors Conference 2022, Dallas, Teksas, Združene države Amerike, 30. oktober–2. november 2022 (1)
82. Špela Trafela, Kristina Žagar Soderžnik, udeležba na 9th International Symposium on Sensor Science, Varšava, Poljska, 20.–22. junij 2022 (2)
83. Špela Trafela, Kristina Žagar Soderžnik, udeležba na Sensors Conference 2022, Atene, Grčija, 26.–28. oktober 2022 (2)
84. Anubhav Vishwakarma, udeležba na 7th International Conference on Advanced Production and Industrial Engineering (ICAPEI 2022), Delhi, Indija, 11.–12. junij 2022 (1)
85. Jelena Vujančević, udeležba na 23rd Conference on Material Science (YUCOMAT 2022), Herceg Novi, Crna gora, 29. avgust–2. september 2022 (1)
86. Jelena Vujančević, udeležba na Advanced Ceramics and Applications X: New Frontiers in Multifunctional Material Science and Processing, Beograd, Srbija, 26.–27. september 2022 (1)
87. Kristina Žagar Soderžnik, udeležba na 22nd European Meeting on Environmental Chemistry (EMEC 22), Ljubljana, 5.–8. december 2022 (1)
88. Kristina Žužek, udeležba na International Summer School on Sustainable Materials for Renewable Energy Applications (SURE 2022), Barcelona, Španija, 11.–15. julij 2022 (1)
89. Kristina Žužek, delovni obisk v okviru projekta PASSENGER (Pilot Action for Securing a Sustainable European Next Generation of Efficient RE-free Magnets) in udeležba na dogodku EIT Expert Forum, Berlin, Nemčija, 27. junij–1. julij 2022 (1)
90. Kristina Žužek, udeležba na 5th ESEIA (European Sustainable Energy Innovation Alliance) International Conference: Towards Climate Neutral Energy Communities, Nikozija, Ciper, 2.–3. november 2022 (1)
91. Kristina Žužek, delovni obisk v okviru projekta PASSENGER (Pilot Action for Securing a Sustainable European Next Generation of Efficient RE-free Magnets), Atene, Grčija, 28. november–2. december 2022 (1)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Matejka Podlogar, obisk v sklopu bilateralnega projekta BI/HR-20-21-003 v Sveučilištu u Rijeci, Reka, Hrvaška, 21.–24. avgust 2022
2. Anže Abram, podoktorsko izobraževanje na: University of the Ryukyus, Okinawa, Japonska, 1. april–21. december 2022 (delo v laboratoriju James-a Raimera MISE)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Slavko Bernik, znanstveni svetnik
2. prof. dr. Miran Čeh, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
3. prof. dr. Jean Marie Dubois, znanstveni svetnik
4. dr. Aljaž Iveković
5. dr. Petra Jenuš
6. prof. dr. Spomenka Kobe, znanstvena svetnica
7. prof. dr. Andraž Kocjan
8. doc. dr. Matej Andrej Komelj
9. prof. dr. Saša Novak Krmptič, znanstvena svetnica

10. dr. Matejka Podlogar
11. dr. Benjamin Podmiljšak
12. prof. dr. Aleksander Rečnik, znanstveni svetnik
13. dr. Zoran Samardžija
14. **prof. dr. Sašo Šturm, vodja odseka**
15. doc. dr. Kristina Žagar Soderžnik
16. prof. dr. Kristina Žužek
- Podoktorski sodelavci**
17. dr. Anže Abram
18. Belisa Alcantara Marinho, PhD., Portugalska
19. dr. Maja Antanasova*
20. dr. Nataša Drnovšek*
21. Sina Khoshshima, PhD., Turčija

22. dr. Matic Korent, odšel 1. 3. 2022
23. dr. Nina Kostevšek
24. Amit Mishra, PhD., Indija
25. Vesna Ribič, PhD., Srbija
26. Sorour Semsari Parapari, PhD.
27. dr. Luka Suhadolnik, odšel 12. 4. 2022
28. dr. Tomaž Tomše
29. dr. Špela Trafela
30. Jelena Vujančević, PhD., Srbija

Mlajši raziskovalci

31. Giulia Della Pelle, Msc.
32. Diana Knyzhnykova, Msc., Ukrajina
33. Anja Korent, mag. nan., odšla 1. 10. 2022
34. Abhilash Krishnamurthy, Msc., Nemčija
35. Monika Kušter, mag. inž. metal. in mater.
36. Barbara Ljubec Božiček, mag. inž. kem. teh.
37. dr. Živa Marinko
38. Ipek Naz Özden, Msc., Turčija
39. Mihaela Berbernik, mag. kem.
40. Layrton Jose Souza Da Silva, Msc., Brazilija
41. Vinko Sršan, Msc., Hrvaška
42. Aleksander Učakar, mag. inž. metal. in mater.
43. Anubhav Vishwakarma, Msc., Indija

Strokovni sodelavci

44. Sanja Fidler, univ. dipl. kom.
45. Nik Gračanin, dipl. inž. geol. (UN)
46. Klara Laura Konda, mag. kem.
47. Kaja Križman, mag. ind. farm.
48. Tina Radošević, dipl. inž. geol. (UN)
49. dr. Boris Saje*
50. Kseniia Vyshnevska, Msc., Ukrajina

Tehniški in administrativni sodelavci

51. Sabina Cintauer, mag. manag.
52. Darko Eterović
53. Tamara Matevc, univ. dipl. lit. komp. in fil.
54. Tomislav Pustotnik, upokojitev 4. 7. 2022
55. Marija Šebjan Pušenjak, dipl. ekon. (VS)

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aarhus University, Aarhus, Danska
2. Akrapovič, d. d., Ivančna Gorica
3. Arhel, d. o. o., Ljubljana
4. AquafilSLO, d. o. o., Ljubljana
5. Aqua Viva, d. o. o., Radomlje
6. Bourns, d. o. o., Žužemberk
7. CEITEC Brno University of Technology, Brno, Češka
8. Centre d'Elaboration de Matériaux et d'Etudes Structurales, CEMES-CNRS, Toulouse, Francija
9. Chalmers University of Technology, Chalmers Göteborg, Švedska
10. CSIC, Institute for Ceramic and Glass, Institute of Material Science, and the Rocasolano Physical Chemistry Institute, Madrid, Španija
11. Culmum, d. o. o., Kranj
12. Danmarks Tekniske Universitet – DTU, Kongens Lyngby, Denmark
13. Domel, d. o. o., Železniki
14. European Institute of Innovation and Technology, EIT RawMaterials, Berlin, Nemčija
15. Ernst Ruska-Centre for Microscopy and Spectroscopy, Jülich, Nemčija
16. Eskisehir Technical University, Campus 26555, Tepebaşı, Eskisehir, Turčija
17. Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich, Nemčija
18. Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme IKTS, Dresden, Nemčija
19. General Numerics Research Lab e.V., Berlin, Nemčija
20. Genuine Technologies, d. o. o., Ljubljana
21. Gorenje, gospodinjiski aparati, d. d., Velenje
22. Hungarian Academy of Sciences, Institute for Technical Physics and Materials Science, Centre for Energy Research, Budimpešta, Madžarska
23. Instituto de Ciencia de Materiales de Madrid (ICMM), Madrid, Španija
24. Institut Jean Lamour – Université de Lorraine, Nancy, Francija
25. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
26. Inštitut za kovinske materiale in tehnologije – IMT, Ljubljana
27. Inštitut za multidisciplinarnе studije, Beograd, Srbija
28. Inštitut za vode RS, Ljubljana
29. International Center for Theoretical Physics – ICTP, Trst, Italija
30. Iskra Pio, d. o. o., Ljubljana
31. ITR-Lab, d. o. o., Ljubljana
32. Keko Oprema, d. o. o., Žužemberk
33. Kekon, d. o. o., Žužemberk
34. Kemijski inštitut, Ljubljana
35. King Abdullah University of Science and Technology, Thuwal, Savdska Arabija
36. Kolektor, d. o. o., Idrija
37. Kvader MT, d. o. o., Horjul
38. Laboratoire CRISMAT/ENSICAEN, Caen, Francija
39. Lithoz GmbH, Dunaj, Avstrija
40. Loughborough University, Loughborough, Združeno kraljestvo
41. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana
42. Magneti, d. d., Ljubljana, Ljubljana
43. MagSpin Transparent Ceramics, Eskisehir, Turčija
44. Materials Center Leoben Forschungs GmbH, Leoben, Avstrija
45. Max Planck Institute for Plasma Physics, Garching, Nemčija
46. Max-Planck-Institut für Eisenforschung GmbH, Düsseldorf, Nemčija
47. Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart, Nemčija
48. Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Struktur und Funktionskeramik, Leoben, Avstrija
49. Mustafa Kemal University, Arts & Science Faculty, Physics Department, Hatay, Turčija
50. National Institute for Materials Physics – NIMP, Bukarešta, Romunija
51. National Institute for Materials Science NIMS, Research Center for Magnetic and Spintronic Materials, Tsukuba, Japonska
52. Novartis farmacevtska proizvodnja, d. o. o., Ljubljana
53. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norveška
54. Onkološki inštitut, Oddelek za eksperimentalno onkologijo, Ljubljana
55. Osnovna šola Benedikt, Benedikt
56. PharmaHemp, d. o. o., Ljubljana
57. Polytechnic University of Bucharest, Bukarešta, Romunija
58. Queen's University Belfast, School of Pharmacy, Belfast, Združeno kraljestvo
59. Raycap, d. o. o., Komenda
60. RLS Merilna tehnika, d. o. o., Komenda
61. Rolex SA, Plan-les-Ouates, Švica
62. Rudnik svinca in cinka Mežica v zapiranju, d. o. o., Mežica
63. Sabanci Üniversitesi, Istanbul, Turčija
64. Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Šanghaj, Kitajska
65. Soboljev inštitut za geologijo in mineralogijo, Sibirskaja veja ruske akademije znanosti, Novosibirsk, Rusija
66. Surovina, d. o. o., Maribor
67. Sveučilište u Rijeci, Rijeka, Hrvaška
68. Sveučilište u Zagrebu, Centar za istraživanje i prijenos znanja u biotehnologiji, Zagreb, Hrvaška
69. Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, Hrvaška
70. Technische Universität Graz, Zentrum für Elektronenmikroskopie, Gradec, Avstrija
71. Treibacher Industrie, Althofen, Avstrija
72. Trimo, d. o. o., Trebnje
73. Universidad de Cadiz, Facultad de Ciencias, Puerto Real, Cadiz, Španija
74. Universidad Politecnica de Madrid, Madrid, Španija
75. Università di Bologna, Dipartimento di Chimica Industriale Toso Montanari, Bologna, Italija
76. Universität Wien, Department of Lithospheric Research, Dunaj, Avstrija
77. Université Paris Sud, Laboratoire de Physique des solides, Orsay, Francija
78. Universiteit Antwerpen, Antwerpen, Belgija
79. University of Cambridge, Department of Materials Science and Metallurgy, Cambridge, Združeno kraljestvo
80. University of Laval, Québec, Kanada
81. University of Oxford, Department of Materials, Oxford, Združeno kraljestvo
82. University of Pannonia, Veszprem, Madžarska
83. University of Pforzheim, Pforzheim, Nemčija
84. University of Ryukyus, Okinawa, Japonska
85. University of Science and Technology – AGH-UST, Interfaculty Laboratory for Electron Microscopy, Krakow, Poljska
86. University of Stockholm, Department of Materials and Environmental Chemistry, Stockholm, Švedska
87. University of Technology, Department of Engineering Sciences and Mathematics, Luleå, Švedska
88. University of Zagreb, Department of Chemistry, Faculty of Science, Zagreb, Hrvaška
89. University of Zaragoza (UNIZAR), Zaragoza, Španija
90. Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Srbija
91. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana
92. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
93. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Katedra za farmacevtsko tehnologijo, Lj.
94. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana
95. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana
96. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana
97. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Ljubljana
98. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Inštitut za biologijo celice, Ljubljana
99. Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta, Ljubljana
100. Univerza v Ljubljani, Zdravstvena Fakulteta, Ljubljana
101. Univerza v Novi Gorici, Laboratorij za raziskave materialov, Nova Gorica
102. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Ljubljana
103. Ustna Medicina, d. o. o., Ljubljana
104. Zarja Elektronika, d. o. o., Kamnik
105. Zavod za gradbeništvo, Ljubljana
106. Zeos, d. o. o., Ljubljana
107. Weiler Abrasives, d. o. o., Maribor
108. Wrocław University of Science and Technology, Faculty of Electronics, Photonics and Microsystems, Wrocław, Poljska

Glavna dejavnost Odseka za sintezo materialov je sinteza različnih naprednih, predvsem oksidnih magnetnih materialov. V ospredju so nanostrukturirani materiali, kot so magnetne tekočine, funkcionalizirani nanodelci za uporabo v biomedicini, večnamenski nanokompoziti, katalizatorji in fluorescentni materiali.

Velik del raziskav na Odseku za sintezo materialov je posvečen uravnavanju lastnosti površin nanodelcev. Uravnavanje površinskih lastnosti je namreč ključno tako za uporabo nanodelcev kot za pripravo njihovih koloidnih suspenzij in za njihovo spajanje v kompozitne materiale. Površinske lastnosti nanodelcev spreminjamo z njihovim opláčenjem z anorganskimi prevlekami in/ali z vezavo različnih funkcionalizacijskih molekul na njihovo površino. Plast molekul, vezana na površino nanodelcev, se med uporabo ne sme desorbirati ali izmenjati z drugimi molekulami, prisotnimi v mediju. Kljub visoki stabilnosti kovalentnih vezi se za funkcionalizacijo površin pogosto izkorišča koordinacijska interakcija med površino kovinskega oksida in organskimi molekulami. To je zaradi ionske narave kristalov kovinskega oksida, v katerih so ioni elektrostatsko povezani s tako imenovano ionsko vezjo, medtem ko so atomi v organskih molekulah vezani s kovalentno vezjo. Glavna težava koordinativne vezi je njena odvisnost od lastnosti sistema. Kljub temu je mogoče doseči zelo močno koordinacijsko vez med površinskimi kovinskimi ioni in nekaterimi organskimi deli (npr. karboksilati, kateholi, fosfonati). Naši rezultati so pokazali, da se je s prevleko superparamagnetnih nanodelcev maghemita z nekaterimi kateholi povečala nasičena magnetizacija nanodelcev. To je bilo nasprotno od pričakovanega zmanjšanja zaradi nemagnetne obloge. Prejšnje študije so predlagale dve možni razlagi: (1) redukcijo površinske plasti v magnetit z večjo nasičeno magnetizacijo, kot jo ima maghemit, ali (2) izboljšanje magnetne urejenosti s kateholnimi kelati na površini. Naši poskusi niso potrdili nobene od predlaganih razlag, ampak so pokazali, da je povečanje nasičene magnetizacije posledica ločevanja nanodelcev po velikosti med procesom funkcionalizacije. V nasprotju s predhodnim smo izmerili nepričakovano veliko zmanjšanje nasičene magnetizacije nanoploščic barijevega heksaferita, potem ko smo jih prekrili s fosfonskimi kisljinami. Med vsemi proučevanimi fosfonatnimi ligandi (mono-, bis-, di- in tetrafosfonati) so tak učinek pokazali di- in tetrafosfonatni ligandi. Da bi razjasnili takšno nepričakovano vedenje, smo izvedli podrobne spektroskopske študije v sodelovanju s prof. Iztokom Arčonom (Univerza v Novi Gorici) ter teoretične izračune v sodelovanju z dr. Laylom Martinom Samosom, dr. Maticem Poberžnikom in Gabriele Herrero (CNR, Trst).

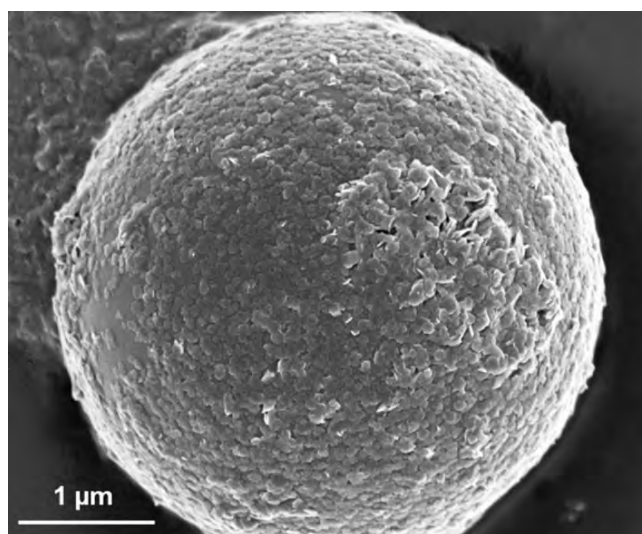
Kontrola površinskih lastnosti omogoča pripravo koloidnih suspenzij nanodelcev. V ospredju naših raziskav so suspenzije permanentno magnetnih nanoploščic barijevega heksaferita (v sodelovanju z Odsekom za kompleksne snovi). Pri zadostni koncentraciji nanoploščic izkazujejo take suspenzije spontano magnetno ureditev (so feromagnetne, v nasprotju z že dolgo poznanimi superparamagnetnimi tekočinami) in torej predstavljajo tekoče magnete. Osredotočili smo se na razumevanje koloidnih interakcij v suspenzijah heksaferitnih nanoploščic. Določili smo pogoje za nastanek feromagnetnih tekočin v izotropnih topilih in območje stabilnosti feromagnetnih tekočin. Na podlagi zgornjih rezultatov smo razvili tudi prve tekoče magnete pri sobni temperaturi.

Na podlagi našega predznanja o heksaferitnih nanoploščicah in feromagnetnih tekočinah smo razvili novo raziskovalno smer. Naš cilj je nadgraditi magnetno anizotropijo in anizotropijo oblike teh posebnih materialov z uvedbo dodatne funkcionalnosti samo na eni bazalni površini nanoploščic (t. i. Janusove nanoploščice). Nacionalni projekt ARRS J2-2495, pri katerem sodelujemo s Fakulteto za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani, je usmerjen v razvoj hibridizacijske tehnologije za izdelavo magnetno-električnih Janusovih nanoploščic. Osnova je nanos nanoploščic barijevega heksaferita na trdni podlagi. Enojni sloj nanoploščic omogoča njihovo hibridizacijo z električno polarnimi ligandi samo na eni od obeh bazalnih površin (slika 1). Glavni poudarki v letu 2022 so bili optimizacija funkcionalizacije nanoploščic z aminoskupinami, funkcionalizacija steklene podlage in razvoj metode za pripravo Janusovih nanoploščic na podlagi emulzije Pickering. Velik napredek smo dosegli z



Vodja:

prof. dr. Darko Makovec



Slika 1: Plast nanoploščic barijevega heksaferita na kroglici iz amorfnega silicijevega oksida.

Razjasnitev interakcij med nanoploščicami v feromagnetni tekočini je omogočila razvoj prvih tekočih magnetov pri sobni temperaturi in miniaturnih brezstičnih senzorjev magnetnega polja.

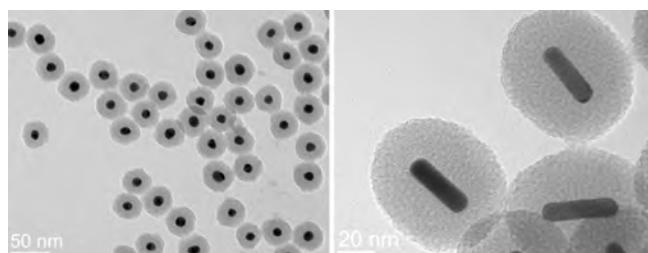
Proučevali smo koordinacijsko interakcijo kompleksirajočih ligandov z nanoploščicami barijevega heksaferita. Naš cilj je bil določiti pogoje za pripravo stabilnih magnetno-električnih hibridov. Eksperimentalne študije potekajo vzporedno s teoretičnimi izračuni osnovnih interakcijskih potencialov. Poleg tega smo pripravili in ovrednotili feromagnetne tekočine z močnim magnetno-optičnim odzivom. V letu 2022 smo s sodelavci z Univerze v Mariboru razvili miniaturni senzor, ki zaznava jakost in smer magnetnega polja.

Velik del naših raziskav ostaja posvečen sintezi nanomaterialov za uporabo v biomedicini. V letu 2022 smo nadaljevali raziskave dostavnih sistemov zdravil na podlagi magnetnih nanodelcev v sodelovanju s skupino s Fakultete za farmacijo Univerze v Ljubljani (prof. Petra Kocbek). Razvili smo votle magnetne nanostrukture, ki vsebujejo praznine za vgradnjo zdravil, medtem ko preostanek magnetnih nanodelcev ohranja primerno magnetno odzivnost dostavnega sistema. Poleg tega smo razvili tudi metodo elektrostatskega sukanja za pripravo suhega produkta z visoko vsebnostjo magnetnih nanodelcev, ki jih lahko po hrabi v suhem stanju spet dispergiramo.

V letu 2022 smo začeli z raziskavami, kjer smo poskušali razumeti mehanizme celičnega privzema nanodelcev z različno hrapavostjo površine. Pripravili smo različne vrste hrapavih površin, medtem ko sta velikost in sestava jedrnih nanodelcev ostala nespremenjena. To sodelovanje je zelo interdisciplinarno in je zato potekalo v sodelovanju s skupino prof. Petre Kocbek s Fakultete za farmacijo Univerze v Ljubljani. V okviru tega projekta smo razvili skupke nanodelcev, obložene z mezoporozno plastjo silicijevega dioksida z različnimi morfologijami por.

V nacionalnem projektu ARRS J2-3040 sodelujemo z Odsekom za molekularne in biomedicinske znanosti IJS (doc. dr. Toni Petan), Biotehniško fakulteto Univerze (prof. dr. Nataša Poklar Ulrih) ter Inštitutom za celično biologijo (prof. dr. Mateja Erdani Kreft) Univerze v Ljubljani pri razvoju magnetno odzivnih nanostruktur (t. i. nanonosilcev), ki posnemajo endogene lipidne delce. Nanonosilci bodo omogočili dostavo velike količine nanodelcev in lipofilnih zdravil v celice. Sintetizirali jih bomo z urejanjem hidrofobiziranih nanodelcev in različnih lipofilnih molekul v skupke v emulziji, kjer bomo kot surfaktante uporabili fosfolipide in proteine (apolipoprotein ali albumin). Namen je dostaviti velike količine: (i.) magnetnih heksaferitnih nanoploščic za uničevanja rakavih celic z vzbujanjem z magnetnim poljem nizkih frekvenc (magnetno-mehansko vzbujanje), (ii.) različnih nanodelcev, ki vsebujejo Fe (heksaferitnih nanoploščic in magnetitnih nanodelcev), v kombinaciji s polinenasičenimi maščobnimi kislinami za sprožitev programirane celične smrti s ferroptozo in (iii.) fluorescentnih fluoridnih nanodelcev. Fluoridni nanodelci bodo v nanonosilcih zaščiteni pred raztapljanjem v bioloških tekočinah med dostavo, v celici se bodo delno raztopili, strupeni produkti raztapljanja pa bodo povzročili celično smrt. Nanoploščice v nanonosilcih bomo uporabili tudi za sprožitev sproščanja tovora z njihovim magnetno-mehanskim vzbujanjem. V letu 2022 smo se osredotočili predvsem na razvoj metode za urejanje nanonosilcev. V osnovnem postopku nanodelce (heksaferitne nanoploščice in izotropne maghemitne nanodelce) najprej hidrofobiziramo z maščobno kislino in jih dispergiramo v nepolarnem topilu. Priprava koncentriranih suspenzij je posebej zahtevna v primeru heksaferitnih nanoploščic, saj se močno aglomerirajo zaradi magnetnih interakcij. Na tem področju nam je uspel preboj z razvojem nove metode, ki omogoča pripravo zelo koncentriranih stabilnih suspenzij permanentno magnetnih nanoploščic. Hidrofobne suspenzije nato uporabimo za urejanje nanodelcev z lipofilnimi molekulami; gliceril trioleatom, lecitinom in različnimi fluororji, v nanonosilce v emulziji. V tej začetni stopnji uporabljamo Tween 80 in Triton X100 kot poceni biokompatibilna surfaktanta, pozneje pa jih bomo zamenjali s fosfolipidi. Sintetizirani nanonosilci vsebujejo magnetne nanodelce, dispergirane v lipidni kapljici s hidrodinamsko velikostjo okoli 200 nm.

V preteklem letu smo nadaljevali raziskave v sodelovanju z raziskovalci s Fakultete za elektrotehniko Univerze v Ljubljani (skupina prof. Damijana Miklavčiča) v okviru nacionalnega projekta, kjer proučujemo selektivno elektroporacijo z uporabo nanodelcev zlata. Prav tako smo tudi razvili metode za oblogo amorfne silicijevega oksida na nanodelcih zlata z razmeroma debelimi prevlekami. Priprava oblog na površni nanodelcev zlata se je izkazala za zelo zahtevno, saj je površina zlatih nanodelcev dokaj inertna in zato nezdružljiva s silicijevim oksidom. Razvili smo metodo oblaganja s silicijevim oksidom, ki omogoča pripravo razmeroma debelih oblog, kjer njihova debelina presega 20 nm (slika 2). V okviru nadaljnjih raziskav želimo razviti nove poti za zmanjšanje debeline obloge iz silicijevega oksida do približno 2 nm.



Slika 2: Zlati nanodelci, prevlečeni z debelo oblogo iz amorfne silicijevega oksida: (levo) okrogli nanodelci in (desno) podolgovati nanodelci.

Sodelovanje smo nadaljevali tudi z raziskovalci Oddelka za kemijske in farmacevtske vede Univerze v Trstu, Italija (prof. Silvia Marchesan). Uspešno smo sintetizirali niz novih hibridnih nanomaterialov iz samourejenih di- in tripeptidov. Hierarhični supramolekularni materiali omogočajo časovno in prostorsko nadzorovano ter selektivno kemično ločevanje različnih zvrsti. Ugotovili smo, da na nanostrukturo gela vpliva prisotnost molekularnih kletk, kar predstavlja zanimivo uporabo materiala za časovno kontrolo difuzije in posledično privzema majhnih molekul. Naša prihodnja prizadevanja bomo osredinili na razširitev te kemične platforme na druge biološko sprejemljive materiale, kjer lahko izkoristimo časovno nadzorovano sproščanje molekularnih vključkov. Ne nazadnje, v preteklem letu smo nadaljevali plodno sodelovanje z Univerzo v Trstu tudi pri razvoju magnetnih nanostruktur, konjugiranih s kratkimi peptidi in različnimi fibrilarnimi peptidnimi nanostrukturami.

V preteklem letu smo začeli novo sodelovanje z raziskovalci iz Laboratorija za splošno biokemijo in fizikalno farmacijo Univerze v Gentu v Belgiji (prof. Kevin Braekmans). Uspešno smo razvili večje superparamagnetne skupke nanodelcev s povprečno velikostjo 400 nm, ki so primerni za generiranje plinskih nanomehurčkov. Nanomehurčke lahko sprožimo s svetlobo. Tak sistem je zanimiv za znotrajcelično dostavo funkcionalnih makromolekul. V okviru projekta smo pripravili kompozitne nanodelce, tako imenovane nanobombe, ki so zgrajene iz svetlobno odzivnih jedrnih nanodelcev velikosti 400 nm (npr. nanodelcev železovega oksida), na katere so pritrjeni manjši nanodelci polistirena, t. i. nanoprojektile, velikosti 100–200 nm. V okviru raziskave želimo razviti postopke za čim bolj homogeno pokrivanje jedrnih delcev s polimernimi nanoprojektile.

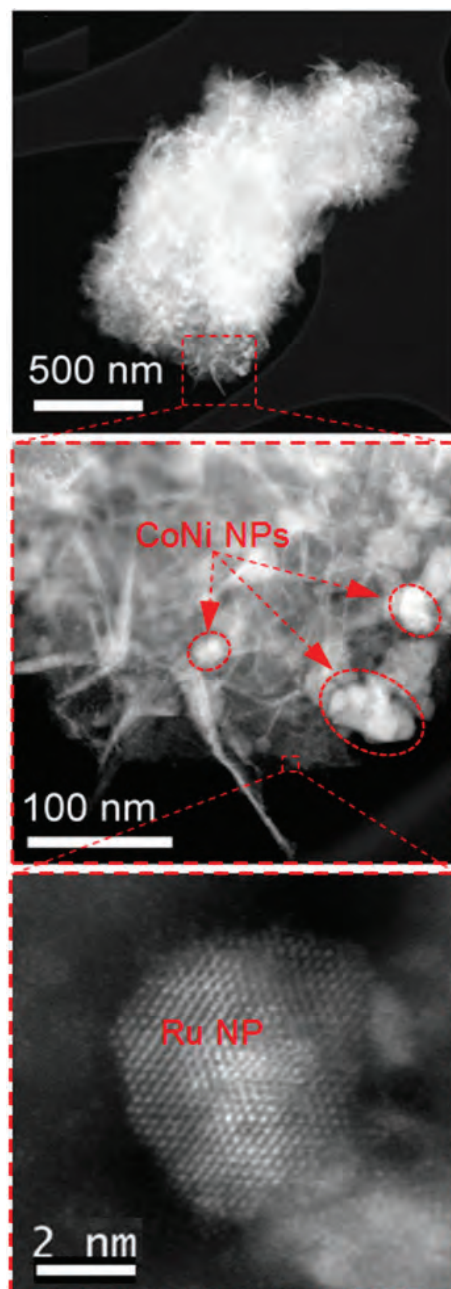
Nadaljevali smo tudi raziskave fluoescenčnih optičnih materialov. Fluorescentne nanodelce z emisijo s pretvorbo navzgor (UCNP) je mogoče uporabiti v različnih optičnih elementih, njihovo uporabo pa so predlagali tudi za biološke označevalce v slikovnih diagnostičnih tehnikah v medicini. Po našem prejšnjem odkritju znatnega raztapljanja UCNP na osnovi fluorida (na primer fluoridi redkih zemelj, dopirani z lantanoidi) smo se osredotočili na preprečevanje ali vsaj zmanjšanje njihovega raztapljanja. Proučevali smo učinkovitost nekaterih fosfonatnih prevlek za preprečevanje raztapljanja UCNP. Pokazali smo, da so fosfonatna struktura in pogoji sinteze prevlek zelo pomembni pri definiciji gostote fosfonatnih prevlek. Študije raztapljanja so bile narejene v sodelovanju z Odsekom za anorgansko kemijo in tehnologijo (dr. Maja Ponikvar-Svet) in Češko akademijo znanosti (dr. Uliana Kostiv). Vse študije so bile podprte z optično karakterizacijo v sodelovanju z Odsekom za kompleksne snovi (prof. Boris Majaron) in s študijami celične viabilnosti, opravljenimi na Medicinski fakulteti Univerze v Ljubljani (dr. Lovro Žiberna).

Nadaljevali smo raziskave uporabe magnetnega segrevanja v katalizi. Kataliza z magnetnim segrevanjem (imenovana tudi indukcijsko segrevanje) temelji na selektivnem magnetnem segrevanju površine katalizatorja v visokofrekvenčnem (običajno 200–600 kHz) magnetnem polju. Katalitične nanodelce naneseemo na katalizatorski nosilec, ki vsebuje magnetne nanodelce. Ko je takšen magnetni katalizator izpostavljen izmeničnemu magnetnemu polju, se selektivno segreje zaradi magnetnih izgub magnetnih nanodelcev. Glavni prednosti take elektrificirane tehnologije sta njena potencialna energetska učinkovitost in zelo velika prilagodljivost, saj magnetno segrevanje omogoča zelo hitro segrevanje (in ohlajanje) katalizatorja (skoraj takojšnje v primerjavi s konvencionalnimi postopki). Ta nova metodologija ogrevanja rešuje splošne težave industrije, kjer je za zagon pri običajnih postopkih ogrevanja običajno potrebnih več dni, da se reaktor varno pripelje do obratovanja.

V ospredju naših raziskav je sinteza magnetnih katalizatorjev. Za sintezo magnetnih katalizatorskih nosilcev na podlagi nanostrukturiranega ogljika smo magnetne nanodelce železovega oksida prevlekli z ogljikovim materialom z uporabo hidrotermalne karbonizacije ogljikovih hidratov, ki ji je sledila termična obdelava. Postopek sinteze nanostrukturiranega magnetnega aluminijevega oksida smo razvili v sodelovanju z Odsekom za nanostrukturirane materiale (prof. Andraž Kocjan) in temelji na nanašanju AlOOH na superparamagnetne nanodelce železovega oksida s hidrolizo AlN v koloidni suspenziji, ki ji sledi termična obdelava.

V sodelovanju z Odsekom za katalizo in reakcijsko inženirstvo Kemijskega inštituta (dr. Blaž Likozar in dr. Miha Grilc) smo proučevali katalitično hidroobdelavo levulinske kisline s pomočjo magnetnih nanoskupkov, prevlečenih z ogljikom in s katalitskimi nanodelci Ru na površini. Poglobljena analiza in modeliranje procesov hidrogeniranja in deoksigenacije sta pokazala, da se površina katalizatorja hitro segreje na $137\text{ }^\circ\text{C}$, medtem ko večji del medija ostane na precej nižji temperaturi $85\text{ }^\circ\text{C}$. Takšno toplotno neravnovesje je povečalo hitrost pretvorbe izopropil levulinata (ki nastane s konkurenčno reakcijo) v γ -valerolakton in s tem povečalo izkoristek.

Sintetizirali smo zlate nanodelce različnih morfologij in jih obložili s plastjo silicijevega oksida za uporabo v elektroporaciji.



Slika 3: Slike HAADF STEM Ru katalizatorja na podlagi iz aluminijevega oksida, ki ima v svoji notranjosti razpršene nanodelce CoNi.

Sinteza magnetnih katalizatorjev za proizvodnjo amonijaka.

Zelo dejavni smo bili tudi pri projektu Oracle (H2020), katerega cilj je razviti elektrificirano proizvodnjo amonijaka, ki se bo uporabljal kot gorivo. Pri tem sodelujemo z več evropskimi institucijami, ki se osredotočajo na razvoj katalizatorjev in njihovo integracijo v reaktorske enote. Razvili smo metodo za pripravo nanodelcev $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$, ki temelji na soobarjanju v vodnem mediju in atmosferski redukciji. Takšne nanodelce smo uspešno vgradili v matrico aluminijevega oksida z našo metodo, ki temelji na hidrolizi AlN (slika 3). V središču raziskav je bil vpliv pogojev redukcije prekursorja za $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$, kot so temperatura, temperaturni režim segrevanja in pretok vodilka na velikost nanodelcev $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$. Velikost ima namreč velik vpliv na njihovo sposobnost segrevanja. Razvili smo postopek, ki omogoča sintezo večgramskih količin nanodelcev $\text{Co}_x\text{Ni}_{1-x}$, razpršenih v matrici iz aluminijevega oksida. Takšni kompozitni delci so se učinkovito segrevali pri pogojih, primernih za sintezo amonijaka že v izmeničnem magnetnem polju majhne jakosti.

V preteklem letu smo okrepili raziskovalno sodelovanje z Oddelkom za zelene tehnologije Univerze Južne Danske (prof. Shuang Ma Andersen in prof. Raghunandan Sharma). Sodelovali smo pri razvoju metode za recikliranje Pt iz izrabljenih gorivnih celic (gorivne celice z membrano s protonsko izmenjavo). Postopek recikliranja temelji na raztapljanju Pt iz elektrod gorivnih celic v razredčeni HCl. Reciklirani material smo uporabili za sintezo platine na ogljiku (Pt/C) z uporabo poliolfnega postopka. Elektrokemijske lastnosti recikliranih elektrokatalizatorjev Pt/C so bile enakovredne komercialnemu materialu. Prispevali smo tudi k pomembni študiji, v kateri smo revidirali metodo za določanje elektrokemijske površine (ECSA) elektrokatalizatorjev Pt/C. Metoda temelji na adsorpciji/desorpciji vodika. Naša študija je pokazala pomembnost upoštevanja ustrezne korekcije izhodiščne vrednosti zaradi oksidacije ogljika nosilca Pt. Korekcija je pomembna pri študijah trajnosti katalizatorja s pospešenim stresnim testom (AST).

Nadaljevali smo tudi raziskave, posvečene materialom s pozitivnim temperaturnim koeficientom upornosti (PTKU). V ospredju so bili kompozitni materiali, ki vsebujejo mešanico prevodne faze (kovina) in neprevodne faze (keramika BaTiO_3). Dimenzijske spremembe pri fazni transformaciji v neprevodni fazi privedejo do prekinitive povezav v prevodni fazi in s tem do PTK-anomalije.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Gyergyek, Sašo, Grilc, Miha, Likozar, Blaž, Makovec, Darko, Electro-hydrogenation of biomass-derived levulinic acid to γ -valerolactone via the magnetic heating of a Ru nanocatalyst, *Green chemistry*, 2022, 24, 7, 2788-2794, doi: 10.1039/D2GC00102K
2. Makovec, Darko, Kosi Križaj, Nina, Meden, Anton, Dražič, Goran, Uršič Nemevšek, Hana, Kostanjšek, Rok, Šala, Martin, Gyergyek, Sašo, Ferroelectric bismuth-titanate nanoplatelets and nanowires with a new crystal structure, *Nanoscale*, 2022, 14, 9, 3537-3544, doi: 10.1039/d2nr00307d
3. Hribar, Patricija, Gregorin, Žiga, Sebastián Ugarteche, Nerea, Osterman, Natan, Lisjak, Darja, Mertelj, Alenka, Isotropic to nematic transition in alcohol ferrofluids of barium hexaferrite nanoplatelets, *Journal of molecular liquids*, 2022, 348, 118038-1-118038-9

Nagrade in priznanja

1. Sebastjan Nemeč: Dekanova nagrada za objavo prispevka z naslovom *A versatile interfacial coassembly method for fabrication of tunable silica shells with radially aligned dual mesopores on diverse magnetic core nanoparticles* v znanstveni reviji *ACS Applied Materials & Interfaces* z visokim faktorjem vpliva. Nagrada je bila podeljena 30. 11. 2022 v sklopu Raziskovalnega dne na Fakulteti za farmacijo, Univerza v Ljubljani.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Maghon - Izvedljivostna študija priprave satovja za magnetno segrevanje
Ceram Austria GmbH
doc. dr. Sašo Gyergyek
2. Mikrovalovni heksaferiti
Antistat GmbH
prof. dr. Darja Lisjak
3. COST CA18132; Funkcionalni gliko-nanomateriali za razvoj diagnostike in ciljne terapije
COST Association AISBL
doc. dr. Slavko Kralj

4. H2020 - BeMAGIC; Magnetoelektriki po 2020: Izobraževalni program o energetsko učinkovitih magnetoelektričnih nanomaterialih za sodobne tehnologije informatike in varovanja zdravja
European Commission
prof. dr. Darja Lisjak
5. H2020 - ORACLE; Napredne sintetske poti in katalizatorji za sintezo amonijaka kot alternativnega obnovljivega goriva
European Commission
doc. dr. Sašo Gyergyek
6. H2020 - PASSENGER; Pilotna akcija za zagotovitev nove generacije učinkovitih trajnostnih magnetov brez redkih zemelj v Evropi
European Commission
prof. dr. Darko Makovec

7. H2020 - MAGNELIQ; Magneto-električna tekočina - Boljše zaznavanje
European Commission
prof. dr. Darja Lisjak
8. Raziskave nanodelcev feromagnetnega železovega oksida z vrtnčasto magnetno strukturo za uporabo v hipertermiji
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Darko Makovec

PROGRAM

1. Sodobni magnetni in večnamenski materiali
prof. dr. Darko Makovec

PROJEKTI

1. Baktericidna nanorezila: preizkus bimodalnega mehanokemijskega odstranjevanja trdovratnih biofilmov
doc. dr. Slavko Kralj

2. Selektivna elektroporacija s porazdeljenimi nanoelektrodami
doc. dr. Slavko Kralj
3. Razvoj visokoobčutljive elektrokemijske metode na osnovi magnetnih polimernih nanokompozitov za določanje spojin antibiotikov v sledovih v okoljskih sistemih
doc. dr. Sašo Gyergyek
4. Tekoči magneti: temeljne raziskave feromagnetnega urejanja v tekočinah
prof. dr. Darja Lisjak
5. Tehnologija površinsko selektivne hibridizacije za magneto-električne hibride
prof. dr. Darja Lisjak
6. Magneto odzivne površine za manipulacijo svetlobe in tekočin
prof. dr. Darko Makovec
7. „S posnemanjem endogenih lipidnih delcev do magneto-odzivnih nanostruktur za izboljšano dostavo zdravil in nanodelcev“
prof. dr. Darko Makovec
8. Izkoriščanje magneto-mehanskega učinka pri zdravljenju nevrodegenerativnih boleznih
doc. dr. Slavko Kralj
9. Selektivno mehansko odstranjevanje bakterijskih biofilmov s konjugiranimi magnetnimi nanodelci
doc. dr. Slavko Kralj
10. Razne storitve
prof. dr. Darko Makovec

OBISKI

1. Nina Popov, Inštitut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška, 17. 11. 2022
2. Mario Schweiger, Ceram Austria GmbH, Schamberg, Avstrija, 16. 12. 2022
3. Roland Nilica, Ceram Austria GmbH, Schamberg, Avstrija, 16. 12. 2022
4. Georg Kogler, Ceram Austria GmbH, Schamberg, Avstrija, 16. 12. 2022
5. Fauland Gernot, Ceram Austria GmbH, Schamberg, Avstrija, 16. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Maja Caf: Zlati nanodelci, odsečni seminar K8, 24. 11. 2022
2. doc. dr. Sašo Gyergyek: Ru magnetni katalizatorji za hidrogenacijo hidroksimetil furfurala, odsečni seminar K8, 13. 1. 2022
3. doc. dr. Sašo Gyergyek: Predstavitve rezultatov projekta ORACLE za obdobje 2021–2022, seminar za sodelavce projekta ORACLE (odsek K8 in K7), 11. 8. 2022
4. Sebastjan Nemeč: Nanoverige in njihovi nanomehanski učinki (znanstveno ozadje in prvi eksperimenti), odsečni seminar K8, 10. 3. 2022
5. dr. Nina Popov: Vplivi kovinskih kationov na nastanek, strukturo in lastnosti nanodelcev hematita, odsečni seminar K8, 17. 11. 2022
6. dr. Anja Sedminek: Hidrotermalna rasti CoNi spinelnih nanodelcev (začetni eksperimenti in rezultati), odsečni seminar K8, 6. 2. 2022
7. Luka Skubic: Večskalno modeliranje, odsečni seminar K8, 20. 1. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Stanislav Čampelj, Ali Tufani, projektni sestanek 899285-MAGNELIQ-H2020-FETOPEN: A Magneto-Electric Liquid – to Sense Better, Univerza v Mariboru, FERI, Maribor, 16. 2. 2022
2. Stanislav Čampelj, NanoSpain Conference 2022, Madrid, Španija, 17.–20. 5. 2022 (1)
3. Stanislav Čampelj, Slavko Kralj, Darja Lisjak, Sebastjan Nemeč, Luka Skubic, Slovenski kemijski dnevi 2022, Portorož, 21.–23. 9. 2022 (3)
4. Stanislav Čampelj, Darja Lisjak, projektni sestanek 899285-MAGNELIQ-H2020-FETOPEN: A Magneto-Electric Liquid – to Sense Better, Univerza v Mariboru, FERI, Maribor 29.–30. 9. 2022

5. Sašo Gyergyek, 5th International Caparica Symposium on Nanoparticles/Nanomaterials and Applications 2022, Costa de Caparica, Portugalska, 24.–27. 1. 2022 (1)
6. Sašo Gyergyek, Luka Skubic, Aarhus Power-to-X Symposium 2022, Aarhus, Danska, 1.–3. 6. 2022 (2)
7. Sašo Gyergyek, projektni sestanek Maghon, izvedljivostna študija priprave satovja za magneto segrevanje, CERAM Austria GmbH, Frauental an der Laßnitz, Avstrija, 16. 9. 2022
8. Sašo Gyergyek, Luka Skubic, projektni sestanek 101022738-ORACLE-H2020 Novel routes and catalysis for synthesis of ammonia as alternative renewable fuel, Osaka, Japonska, 26.–30. 11. 2022
9. Slavko Kralj, Sebastjan Nemeč, Žiga Ponikvar, Anja Sedminek, Luka Skubic, 9th BBBB International Conference on Pharmaceutical Sciences: Pharma sciences of tomorrow, Ljubljana, 15.–17. 9. 2022 (4)
10. Nina Križaj, 14. študentska konferenca mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana/14th Jožef Stefan International Postgraduate School Students' Conference, Kamnik, 1.–3. 5. 2022 (1)
11. Nina Križaj, Darko Makovec, 4. Slovensko posvetovanje mikroskopistov / 4th Slovene Microscopy Symposium, Ankarana, 12.–13. 5. 2022 (1)
12. Darja Lisjak, 11th International Colloids Conference, Lizbona, Portugalska, 12.–15. 6. 2022 (1)
13. Darja Lisjak, Darko Makovec 3d-ICOMAS Conference, 3-day International Conference on Materials Science, Verona, Italija, 26.–28. 10. 2022 (2)
14. Darko Makovec, 21st International Metallurgy and Materials Congress (IMMC 2022), Istanbul, Turčija, 6.–8. 10. 2022 (1)
15. Sebastjan Nemeč, 13th International Conference on the Scientific and Clinical Applications of Magnetic Carriers, London, Velika Britanija, 14.–17. 6. 2022 (1)
16. Jelena Papan Djaniš, The 6th International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices AND the 5th International Workshop of Persistent and Photostimulable Phosphors (IWPPP-5), Beograd, Srbija, 29. 8.–2. 9. 2022 (1)
17. Jelena Papan Djaniš, 36th European Colloid & Interface Society Conference, Chania, Kreta, Grčija, 4.–9. 9. 2022 (1)
18. Anja Sedminek, Webinar, 3D PRINTING MEET 2022, (virtualno), 7.–8. 11. 2022 (1)
19. Anja Sedminek, Luka Skubic, 2022 AIChE Annual Meeting, Phoenix, Arizona, ZDA, 13.–18. 11. 2022 (2)
20. Ali Tufani, projektni sestanek 899285-MAGNELIQ-H2020-FETOPEN: A Magneto-Electric Liquid – to Sense Better, Inštitut za fiziko, Češka akademija znanosti, Praga, Češka

SODELAVCI

Raziskovalci

1. doc. dr. Sašo Gyergyek
2. doc. dr. Slavko Kralj
3. prof. dr. Darja Lisjak, znanstveni svetnik
4. **prof. dr. Darko Makovec, znanstveni svetnik - vodja odseka**
5. dr. Igor Zajc, strokovni sekretar odseka

Podoktorski sodelavci

6. dr. Stanislav Čampelj
7. *Jelena Papan Djaniš, PhD., Srbija, odšla 1. 11. 2022*
8. dr. Janvit Teržan*
9. Ali Tufani, PhD., Turčija

Mlajši raziskovalci

10. Maja Caf, mag. inž. kem. inž.

11. Katja Drobež, mag. inž. kem. inž.
12. Nina Križaj Kosi, mag. kem.
13. Sebastjan Nemeč, mag. farm.
14. Žiga Ponikvar, mag. kem.
15. Anja Sedminek, mag. kem.
16. Luka Skubic, mag. inž. kem. inž.

Strokovni sodelavci

17. Tina Černič, mag. nan.

Tehniški in administrativni sodelavci

18. Bernarda Anželak, univ. dipl. inž. kem. inž.
19. Tamara Matevc, univ. dipl. lit. komp. in fil.

Opomba

- * delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aarhus Universitiet, Aarhus, Danska
2. Budapest University of Technology and Economics, Budimpešta, Madžarska
3. Bundesanstalt für Materialforschung und prüfung (BAM), Berlin, Nemčija
4. C2cat Bv, Amstelveen, Nizozemska
5. Casale SA, Lugano, Švica
6. CNR, Istituto Officina dei Materiali, Trst, Italija
7. CNRS-IPBS, Toulouse, Francija
8. Češka akademija znanosti, Češka republika
9. Department of Chemistry and Biochemistry, University of Bern, Švica
10. Department of Physics, Central University of Punjab, Bathinda, Indija
11. Dutch Institute for Fundamental Energy Research, Eindhoven, Nizozemska
12. École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Švica
13. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Zürich, Švica
14. CERAM Austria GmbH, Frauental, Avstrija
15. IMDEA Nanoscience, Madrid, Španija
16. INDUSTRIE ILPEA spa, Malgesso, Italija
17. InoVine, d. o. o., Ljubljana
18. Institut Catala de Nanociencia i Nanotecnologia, Barcelona, Španija
19. Institute of Nuclear Sciences Vinča, Beograd, Srbija
20. Institute of Physics ASCR, Praga, Češka
21. Instituto de Cerámica y Vidrio, CSIC, Madrid, Španija
22. Kemijski inštitut, Ljubljana
23. Medical University of Graz, Gradec, Avstrija
24. Missouri University of Science and Technology, Rolla, ZDA
25. Murata Manufacturing Co. Oddelek za razvoj materialov, Kyoto, Japonska
26. Nanos Scientifcae, Ljubljana
27. National institute of advanced industrial science and technology, Osaka, Japonska
28. Osaka research institute of industrial science and technology, Osaka, Japonska
29. Prensilia, SRL, Italija
30. STELEM, d. o. o., Žužemberk
31. Technische Universitaet Dresden, Nemčija
32. Tehnična Univerza Chalmers, Švedska
33. Universidad Autònoma de Barcelona, Barcelona, Španija
34. Universidad Autònoma de Madrid, Madrid, Španija
35. Università di Trieste, Trst, Italija
36. Université de Strasbourg, Institut de Physique et Chimie des Matériaux de Strasbourg, Strasbourg, Francija
37. University of Cyprus, Nikozija, Ciper
38. University of Hull, Hull, Velika Britanija
39. University of Southern Denmark, Odense, Danska
40. University of Sydney, Key Centre for Polymers and Colloids, Sydney, Avstralija
41. University of Turku, Turku, Finska
42. University of Twente, Enschede, Nizozemska
43. University Paris, Nanomaterials group in the CSPBAT Laboratory, Pariz, Francija
44. Univerza v Ljubljani, Biotehnična fakulteta, Ljubljana
45. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
46. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo, Ljubljana
47. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana
48. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Ljubljana
49. Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Ljubljana
50. Univerza v Maribor Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor
51. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Maribor
52. Univerza v Novi Gorici
53. VITO NV, Mol, Belgija
54. VTT Chemical Research Centre of Finland Espoo & Tampere, Tampere, Finska

ODSEK ZA RAZISKAVE SODOBNIH MATERIALOV

K-9

Na Odseku za raziskave sodobnih materialov razvijamo nove materiale z namenom proučevanja soodvisnosti njihovih strukturnih, mikrostrukturnih in funkcionalnih lastnosti. Pri tem uporabljamo različne napredne tehnologije, ki omogočajo nadzor sinteze na atomski in mikrostrukturni ravni. Tako lahko pripravljamo vnaprej načrtovane strukturirane 3D-materiale, tanke plasti in nanodelce z izbrano kristalno strukturo, kemijsko sestavo in mikrostrukturom. Med našimi pomembnejšimi cilji sta priprava in analiza novih funkcionalnih oksidnih materialov za elektronske aplikacije in pretvorbo energije, novih biokompatibilnih materialov z izboljšanimi antibakterijskimi in piezoelektričnimi lastnostmi ter toplotnoizolacijski materiali z izboljšanimi lastnostmi in trajnostnim vidikom.

Novi funkcionalni oksidi

Fotokatalitske raziskave so eden najhitreje rastočih znanstvenih področij. Kljub razvoju in vrednotenju številnih novih fotokatalizatorjev, kar je pomembno vplivalo na boljše razumevanje pojavnosti, je še vedno potreben precejšen napredek pri povečanju njihove učinkovitosti do vrednosti, ki bi omogočile, da bi postali fotokatalitski procesi ekonomsko upravičeni za praktično uporabo (npr. za proizvodnjo H_2 s fotokatalitsko cepitvijo vode). Pri načrtovanju novih učinkovitejših fotokatalizatorjev je pomembno izkoristiti znanje in inovativno kombinirati več pristopov, ki lahko prispevajo k izboljšanju fotokatalitske učinkovitosti.

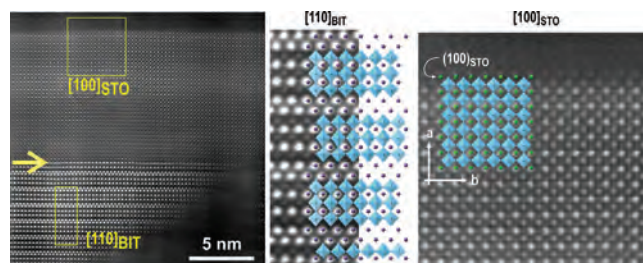
Pri svojem raziskovalnem delu poskušamo skupaj s sodelujočimi partnerji prispevati k napredku na področju fotokatalitske cepitve vode za nastanek H_2 . Glavni poudarek je na fotokatalizatorjih na osnovi grafitnega ogljikovega nitrida ($g-C_3N_4$) s kobaltovim boridom (CoB) kot sokatalizatorjem in na perovskitih, natančneje na dvodimenzionalnih ploščicah $SrTiO_3$ in epitaksialnih heterostrukturiranih nanoploščicah $SrTiO_3/Bi_4Ti_3O_{12}$, ter delcih $SrTiO_3$ z delno substitucijo Ti^{4+} z Al^{3+} . Pokazali smo, da z optimalnim dodatkom kobaltovega borida lahko dosežemo 60-kratno povečanje fotokatalitske učinkovitosti za nastanek H_2 v primerjavi s čistim $g-C_3N_4$. Za pripravo nanoploščic $SrTiO_3$ in heterostrukturiranih nanoploščic $SrTiO_3/Bi_4Ti_3O_{12}$ smo razvili novo metodo hidrotermalne topokemijske pretvorbe. Natančno smo raziskali mehanizem te reakcije in pristope za kontroliranje sestave ($SrTiO_3:Bi_4Ti_3O_{12}$), količine ujetega Bi v $SrTiO_3$, površinske hrapavosti in posledično specifične površine, kar vse pomembno vpliva na funkcionalne lastnosti omenjenih nanoploščic. Fotokatalitske raziskave so pokazale, da $SrTiO_3/Bi_4Ti_3O_{12}$ nanoploščice brez kakršnih koli sokatalizatorjev na osnovi plemenitih kovin izkazujejo pod vplivom simulirane sončne svetlobe (AM 1,5 G) več kot 35-krat večjo fotokatalitsko učinkovitost za nastanek H_2 ($2950 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) v primerjavi s komercialnim nanoprahom $SrTiO_3$ ($81 \mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$). Razlog za izboljšanje lahko pripišemo 2D-morfologiji, urejenemu epitaksialnemu stiku $SrTiO_3/Bi_4Ti_3O_{12}$ (slika 1) in ugodnemu prenosu naboja po načelu direktne Z-scheme ter tudi učinku površinske plazmonske resonance vključkov Bi⁰, nastalih z *in situ* redukcijo ujetih Bi³⁺ ionov. Razumevanje te hidrotermalne topokemijske pretvorbe je širšega pomena, saj zagotavlja smernice za načrtovanje drugih epitaksialnih heterostruktur, anizotropnih nanostruktur ali nanostruktur z vnaprej določenimi izpostavljenimi ploskvami, ki jih drugače ni mogoče pripraviti.

Drugo ločeno področje raziskav je bilo namenjeno pripravi fotokatalizatorjev $SrTiO_3$ z zamenjavo 2 at. % Ti^{4+} z Al^{3+} v različnih staljenih solih (NaCl, KCl, $SrCl_2$). Poleg vpliva na fotokatalitske lastnosti nas je še zanimalo, kakšen je vpliv kombinacije soli, Al in temperature (900–1000 °C) na morfologijo delcev in vključevanje Al. Ugotovili smo, da v nasprotju z dokaj pravilno morfologijo kock čistega $SrTiO_3$ s prevladujočo (100) izpostavljeno ploskvijo, so za $SrTiO_3$ delce z Al značilne bolj nedoločene morfologije delcev s slabše definiranimi izpostavljenimi ploskvami, prav tako je prisotno tudi več dislokacij in planarnih defektov. Vse to zagotovo vpliva na hitrost rekombinacije fotogeneriranih nabojev in s tem na fotokatalitske lastnosti, ampak verjetno pri tem vpliv Al prevladuje nad drugimi učinki. Potrdili smo, da najboljše lastnosti izkazuje $SrTiO_3$ z 2 at% Al, ki je nastal v staljeni soli KCl pri 1000 °C (AQY = 15,7 % pri 365 nm), kar izpostavlja sintezni postopek v staljeni soli KCl cenejšo alternativo mnogo bolj raziskani metodi priprave $SrTiO_3$ z Al v staljeni soli $SrCl_2$. Glede na teoretične izračune, ki so jih opravili projektni sodelavci



Vodja:

prof. dr. Matjaž Spreitzer



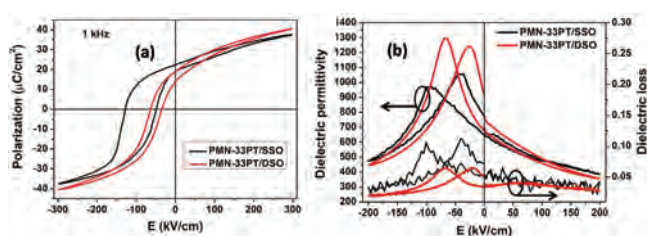
Slika 1: TEM-slika visoke ločljivosti (HR) heterostrukturiranih nanoploščic $SrTiO_3/Bi_4Ti_3O_{12}$ (ploščice v preseku, stanišane do elektronske prosojnosti). Levo: HR-slika, ki prikazuje (100) rast $SrTiO_3$ na $Bi_4Ti_3O_{12}$, rumena puščica označuje stik $SrTiO_3/Bi_4Ti_3O_{12}$. Povečani HR-sliki označenih območij $SrTiO_3$ blizu površine in $Bi_4Ti_3O_{12}$ v notranjosti sta prikazani na desni strani skupaj s strukturnimi modeli. $BIT \rightarrow Bi_4Ti_3O_{12}$, $STO \rightarrow SrTiO_3$. (Z.-J. Gong, J. C. S. Wu, N. Daneu, M. Maček Kržmanc, * Wen-Yueh Yu*, et al., *J. Catal.* 416 (2022) 222–232).

z Inštituta za fiziko trdnega stanja Univerze v Latviji, vključitev Al^{3+} namesto Ti^{4+} vodi do fotostimuliranega ujetja mobilnih vrzeli na lokalnih ravneh energije blizu vrha valenčnega pasu, kar verjetno preprečuje rekombinacijo elektron-vrzel in tako spodbuja nastanek H_2 .

Na našem odseku je več raziskovalnih projektov usmerjenih v krojenje lastnosti tankih plasti na osnovi funkcionalnih oksidov z nadzorom rasti kompleksnih relaksorskih feroelektričnih tankih plasti. V tem okviru smo nadaljevali raziskave tankih plasti na osnovi trdne raztopine relaksorskega feroelektrika $(1-x)\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - x\text{PbTiO}_3$ (PMN–PT). V naši raziskavi, objavljeni v reviji *Journal of Materials Chemistry C* (doi:10.1039/D2TC04070K), smo pokazali, da prenos materiala s tarče za pulzno lasersko nanašanje (PLD) ni popolnoma stehiometričen. Največja odstopanja so bila ugotovljena pri koncentraciji Mg in Pb. Pokazali smo, da je mogoče prilagoditi stehiometrijo filmov z uporabo po meri izdelanih keramičnih tarč, pri čemer smo poudarili njihovo prednost pred monokristalnimi tarčami pri sintezi kompleksnih kovinskih oksidov s PLD. Funkcionalni odziv je rezultat kompleksnih interakcij med kristalno strukturo, mikrostrukturo in kemijsko sestavo plasti. Vzorec z največjimi odstopanji od nominalne stehiometrije je pokazal najvišji longitudinalni piezoelektrični koeficient.

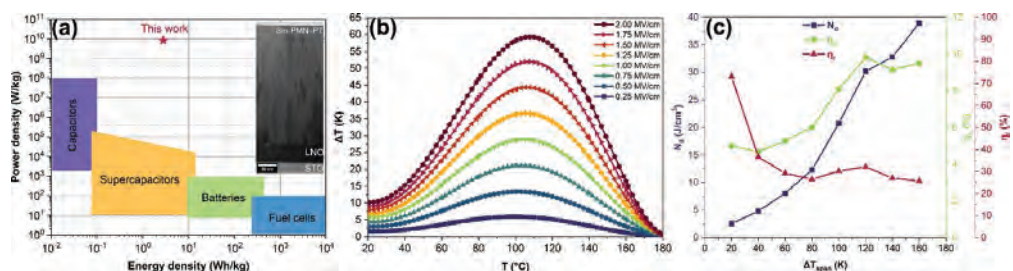
Nadaljevali smo tudi raziskave epitaksialnih napetosti v tankih plasteh PMN-33PT z uporabo substratov iz različnih skandnatov redkih zemelj. Dobili smo tanke plasti PMN-33PT z izjemno visoko kristaliničnostjo (rocking curve FWHM $< 0,05^\circ$) na substratih ScSmO_3 (SSO) in DyScO_3 (DSO), s SrRuO_3 (SRO) pufrsko plastjo. Na substratu SSO, ki ponuja manjše neujemanje, film kaže povečano tetragonalnost v primerjavi z volumenskim materialom, medtem ko na substratu DSO z večjim neujemanjem osnovnih celic film kaže zmanjšano tetragonalnost.

Popolnoma napet film prikazuje tipične feroelektrične histerezne zanke P - E , medtem ko sproščen vzorec izkazuje relaksorsko obnašanje (slika 2a). Vzorci kažejo velika negativna notranja polja, ki jih povzroča poravnava defektnih dipolov s polarizacijo in jih je možno uravnati z epitaksialno napetostjo (slika 2b). To omogoča stabilizacijo robustnega polarizacijskega stanja in nizke dielektričnosti. Te značilnosti skupaj z izboljšanim $d_{33,\text{eff}}$ so ključni dejavniki za načrtovanje mikroelektromehanskih naprav z izboljšanim delovanjem. Več podrobnosti je na voljo v znanstvenem članku, objavljenem v *Applied Physics Letters* (doi:10.1063/5.0115777).



Slika 2: (a) Polarizacijske histerezne zanke in (b) dielektrična konstanta in izgube kot funkcija enosmerne napetosti v heterostrukturah PMN–33PT/SRO na substratih DSO in SSO. Vzorci imajo negativno notranje električno polje, kar je koristno za pridobivanje energije.

Relaksorske feroelektrične tanke plasti se lahko uporabijo tudi za aplikacije shranjevanja, pretvorbe in pridobivanja energije, večinoma na podlagi inherentnih medsebojnih odnosov med električnimi, mehanskimi in toplotnimi lastnostmi materialov v tankih plasteh. S tehniko PLD smo pripravili tanke plasti $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3 - 30\text{PbTiO}_3$ (PMN–30PT) na SrTiO_3 (STO), z uporabo LaNiO_3 (LNO) kot spodnje elektrode. Na podlagi izmerjenih histereznih zank polarizacije v odvisnosti od električnega polja (P - E) smo opazili tanke histerezne zanke z visoko maksimalno polarizacijo. Pri električnem polju $3,2 \text{ MV/cm}$ smo izmerili visoko gostoto energije 82 J/cm^3 (kar ustreza $2,8 \text{ Wh/kg}$), visoko energetske učinkovitost 78% pri $3,2 \text{ MV/cm}$ električnega polja, odlično odpornost proti utrujanju ($> 10^9$ ciklov) in visoko toplotno stabilnost od -40 do $200 \text{ }^\circ\text{C}$. Poleg tega lahko zasnovani kondenzator sprosti veliko gostoto moči $67,7 \text{ MW/cm}^3$ ($8,4 \cdot 10^9 \text{ W/kg}$) v $0,9 \mu\text{s}$, kar daleč presega najodobnejše močnostne kondenzatorje ($10^7 - 10^8 \text{ W/kg}$) (slika 3a). Za okolju prijazno hlajenje v trdnem stanju (prek elektrokaličnega učinka) in zbiranje odpadne toplote (prek piroelektričnega učinka) je tanka plast pokazala izjemne elektrokalične in piroelektrične lastnosti za pridobivanje energije, saj sta sprememba adiabatne temperature in gostota piroelektrične energije dosegli visoke vrednosti 60 K in 39 J/cm^3 pri 2 MV/cm (slika 3b, c). Ti rezultati kažejo, da bi se lahko zasnovana tanka plast uporabljala v aplikacijah za shranjevanje energije in pridobivanje odpadne toplote.



Slika 3: (a) Ragonejev graf, (b) toplotni razvoj spremembe adiabatne temperature (ΔT) pri različnih električnih poljih in (c) gostota piroelektrične energije (N_d), odvisna od temperaturnega razpona (ΔT_{span}) z uporabo Olsenovega cikla, učinkovitost (η_p) in relativna učinkovitost (η_r) glede na Carnotov izkoristek tankih plasti Sm-PMN–30PT.

Naše raziskave so segale tudi na področje fotoelektrokemične cepitve vode (PEC), natančneje na integracijo zaščitnega sloja perovskitnega kovinskega oksida s polprevodniškim substratom z uporabo PLD-tehnike za aplikacije PEC. Epitaksialna plast nanoploščic reduciranega grafnovega oksida, vezana z van der Waalsovimi silami na substrat silicija, je znatno izboljšala kristaliničnost nadaljnjo nanešene zaščitne plasti SrTiO₃ (STO). Obnašanje PEC heterostrukturne fotokatode STO/rGO/Si je pokazalo izjemno izboljšanje začetnega potenciala in gostote nasičenega toka v primerjavi s primerom, ko je bil STO neposredno pripravljen na Si brez rGO, kar je povzročilo relativno slabo kristaliničnost in s tem manjšo zmožnost prenosa električnega naboja in zmogljivost PEC. Tudi preizkus dolgoročne stabilnosti je potrdil učinkovitost zaščitne zmogljivosti STO na silicijevem substratu, ki sicer zlahka korodira, ko je izpostavljen okolju, v katerem se opravljajo fotoelektrokemične meritve (PEC).

Proučevali smo tudi tanke plasti STO na germaniju, pripravljene s PLD, za namene integracije oksidnih plasti na polprevodniku. Epitaksialna rast STO na germaniju je podobna rasti STO na Si, z razliko, da ima STO na germaniju večjo osnovno celico kot na siliciju. Uporaba STO na germaniju bi bila možna v proizvodnji tranzistorjev in podobnih elektronskih komponent in v fotoelektrokemičnih aplikacijah.

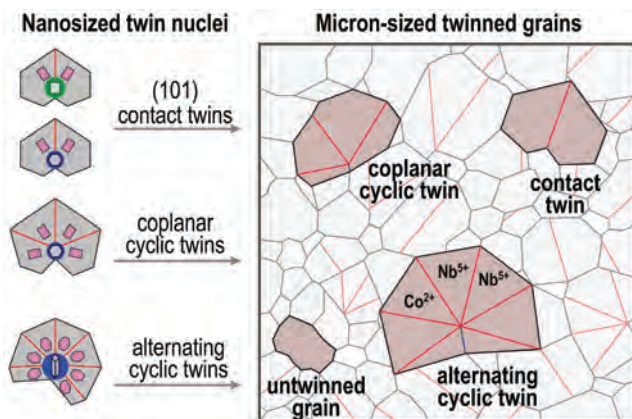
Na področju novega tipa litij-ionskih baterij smo nadaljevali raziskave elektrolita na osnovi Li_{0,33}La_{0,56}TiO₃ (LLTO) keramike, pripravljene po konvencionalnem postopku s sintranjem vhodnih prahov. Ugotovili smo, da v sestavah, pri katerih je začetno razmerje La:Ti > 0,6, v perovskitnih LLTO zrnih nukleirajo ploskovni defekti tipa Ruddlesden-Popper (RP), ki vsebujejo strukturne elemente Li₂La₂Ti₃O₁₀ faze. Nastanek ploskovnih defektov povzroči pretirano rast nekaterih LLTO zrn in nastanek bimodalne mikrostrukture, sestavljene iz velikih LLTO zrn s podolgovato obliko v matriki manjših zrn (slika 4a). Vsa zrna vsebujejo lamele (slika 4b) s pretežno neperiodično modularno strukturo, ki jo sestavljajo perovskitne sekvence različnih debelin, ki jih ločujejo z Li bogati RP-defekti (slika 4c). Medtem ko pri nižjih temperaturah ti defekti vplivajo na pretirano rast LLTO zrn, pri višjih temperaturah rekristalizirajo v perovskitno fazo, pri čemer nastane keramična mikrostruktura z LLTO zrni velikosti do 100 mikronov in več (slika 4d). S tem pristopom nam je uspelo zmanjšati volumski delež mej med zrni in pripraviti LLTO keramiko z visoko ionsko prevodnostjo reda velikosti 10⁻⁴ S/cm. Rezultati so objavljeni v reviji *Journal of the European Ceramic Society* (doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2022.11.004).

Z metodo pulznega laserskega nanašanja (PLD) smo pripravili epitaksialne tanke plasti LiNi_{0,33}Mn_{0,33}Co_{0,33}O₂ (NMC) in Li₄Ti₅O₁₂ (LTO), ki služita kot katoda in anoda za uporabo v mikrobateriji s trdnim elektrolitom. Izbira NMC kot katodnega materiala je bila utemeljena z njegovo vsesplošno prisotnostjo v najsodobnejših komercialnih litij-ionskih baterijskih sistemih in visoko specifično kapaciteto, medtem ko je bil spinelni LTO izbran kot anoda predvsem zaradi njegove visoke elektrokemijske stabilnosti in majhne volumske spremembe med procesom litijacije/delitijacije. Tanke plasti smo nanесли na Nb-dopirane SrTiO₃ (STO) prevodne monokristalne substrate, pri čemer smo proučevali vplive orientacij substrata in spremembe parametrov nanašanja na kakovost pripravljenih tankih plasti z uporabo različnih strukturnih in elektrokemijskih karakterizacijskih metod. Na STO substrate so bile prav tako nanesene Ba- in Sr-dopirane Li_{3x}La_{2/3x}TiO₃ (LLTO) tanke plasti trdnega elektrolita, za katere so bile optimalne stehiometrije, določene iz meritev prevodnosti na sintranih peletih. Naneseni tanki filmi LLTO so izkazovali podobne lastnosti kot keramični material v peletih. Po optimizaciji posameznih komponent bodo vse plasti epitaksialno nanesene ena na drugo, s čimer bomo izdelali LTO | LLTO | NMC tankoplastno mikrobaterijo s trdnim elektrolitom. Priprava tako sestavljene mikrobaterije bo zahtevala dodatno navzkrižno optimizacijo parametrov nanašanja, saj se optimalni parametri nanašanja za posamezne materiale med seboj močno razlikujejo.

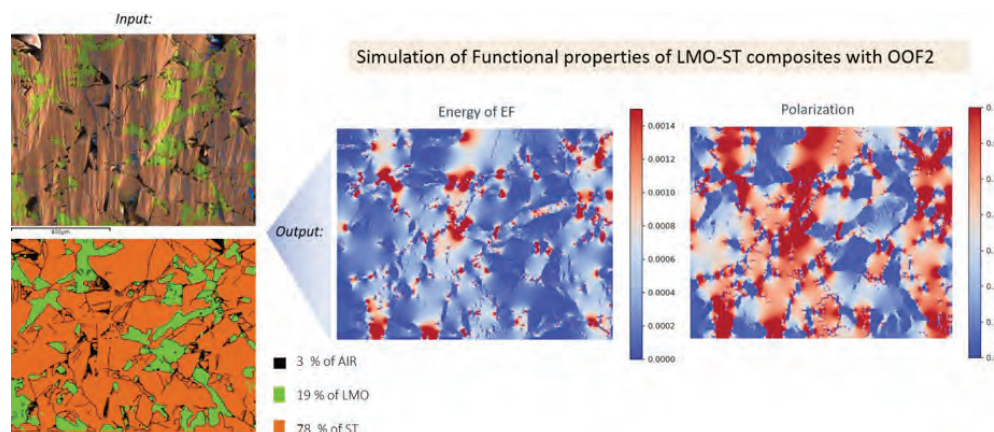
V okviru temeljnega raziskovalnega projekta J1-9177 smo raziskali mehanizem nastanka kontaktnih, koplanarnih cikličnih in alternirajočih cikličnih kasiteritnih dvojčkov med sintranjem SnO₂ z majhnimi dodatki CoO in Nb₂O₅ (slika 5). Pokazali smo, da je nastanek dvojčkov dvostopenjski proces, ki se začne z epitaksialno rastjo SnO₂ po CoNb₂O₆



Slika 4: (a) Jedkana mikrostruktura vzorca, sintranege pri 1250 °C, z bimodalno porazdelitvijo velikosti zrn. (b) HAADF-STEM slika lamele, posneta pri večji povečavi vzdolž osi [100] LLTO. (c) Lamela z neperiodično modularno strukturo s strukturnimi elementi faze Li₂La₂Ti₃O₁₀. (d) Jedkana mikrostruktura vzorca, sintranege pri 1350 °C, z opazno večjimi zrni LLTO (manjša povečava slike).



Slika 5: Nukleusi nanometrskih velikosti za nastanek različnih tipov kasiteritnih dvojčkov po sintranju na visoki temperaturi rekristalizirajo v mikronska zrna SnO₂



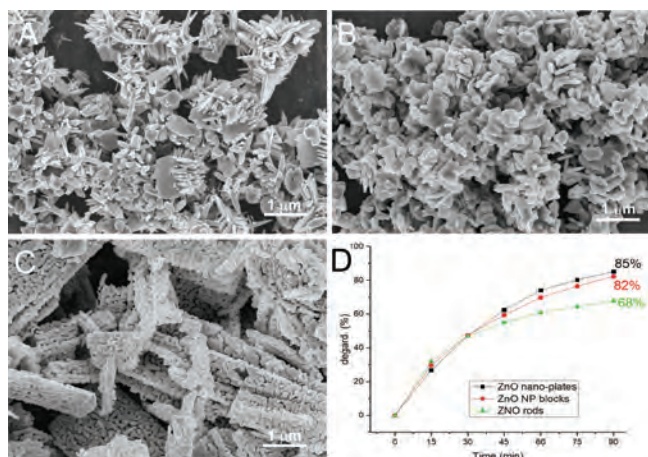
Slika 6: Simulacija dielektričnih lastnosti (energija električnega polja in polarizacija) LMO-ST kompozitov z uporabo programa OOF2.

s strukturo kolumbitnega tipa in $\text{Co}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$, s strukturo korundnega tipa (nukleacijska faza; $<1300\text{ }^\circ\text{C}$) in se nadaljuje s hitro rastjo (101) dvojnih mej (rastna faza; $>1300\text{ }^\circ\text{C}$). Medtem ko orientirana rast kasiterita po zrnih CoNb_2O_6 povzroči le nastanek kontaktnih dvojčkov, pa zrna $\text{Co}_4\text{Nb}_2\text{O}_9$ predstavljajo primerna mesta za nukleacijo kontaktnih in cikličnih dvojčkov. Nukleacijski stopnji sledi hitro zgoščevanje in rast SnO_2 zrn pri temperaturah nad $1300\text{ }^\circ\text{C}$, pri čemer se nukleusi razvijejo v velika zdvojenjena zrna kot posledica hitre rasti nizkoenergijskih (101) dvojnih mej. Zgoščevanje je posledica difuzijskih procesov v trdnem zaradi nastanka točkovnih defektov v zrnih SnO_2 . Nb^{5+} in Co^{2+} ioni iz jeder (kali) dvojčkov difundirajo v SnO_2 in se v kasiterit vgradijo v obliki trdne raztopine. Zaradi difuzijskih procesov med rekristalizacijo nukleacijska jedra za dvojčke niso več prisotna v obliki kristaliničnih faz, ampak le kot lokalne obogatitve s Co in Nb znotraj zrn cikličnih dvojčkov ter vzdolž dvojnih mej. Rezultati so objavljeni v reviji *Acta Crystallographica* (doi: 10.1107/S2052520622006758).

Na področju raziskav faznih ravnotežij v ternarnih oksidnih sistemih, kjer se tvorijo nove spojine oziroma trdne raztopine z izraženimi električnimi lastnostmi, smo v sistemu $\text{La}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-Nb}_2\text{O}_5$ skupaj s sodelavci s Fakultete za kemijo in kemijsko tehnologijo Univerze v Ljubljani določili kristalno strukturo trdne raztopine $\text{La}_{3-x}\text{Ti}_{5-3x}\text{Nb}_{10-2x}\text{O}_{39,5-12,5x}$. Strukturo smo določali z nevtronsko in visokoločljivostno praškovo sinhotronsko rentgensko difrakcijo. V istem sistemu smo s sistematično pripravo in analizo vzorcev vzdolž veznice $\text{LaTiNbO}_6\text{-La}_4\text{Ti}_9\text{O}_{24}$ določili obseg in kristalno strukturo trdne raztopine. V ternarnem sistemu $\text{La}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ smo določili temperaturno obstojnost spojin $\text{La}_{4,67}\text{Ta}_{2,22}\text{O}_{62}$ in $\text{LaTa}_5\text{O}_{14}$. Na področju raziskav hladnega sintranja izbranih glinenih mineralov smo s preliminarnimi poskusi ugotovili, da lahko te glinene minerale sintramo pri temperaturah pod $300\text{ }^\circ\text{C}$ pri izbranih pogojih.

Naše raziskave na področju materialov za pasivne elektronske komponente vključujejo tudi proučevanje zgoščevanja keramičnih kompozitov pri sobni temperaturi na podlagi velikega deleža polnila SrTiO_3 in veziva. Študirali smo funkcionalnost in lastnosti različnih veziv, kot so Li_2MoO_4 , Na_2SiO_3 , Na_2MoO_4 , Na_2WO_4 in MgSO_4 . Kompozite smo pripravljali po metodi zgoščevanja pri sobni temperaturi (RTF, Room Temperature Fabrication),

ki temelji na uporabi keramičnega prašnatnega materiala, ki se zgoščuje pri sobni temperaturi in predstavlja alternativo dolgotrajnemu in energijsko potratnemu visokotemperaturnemu sintranju keramike. Ta metoda izkazuje obetaven aplikativni potencial za izdelavo elektronskih elementov s poudarjenimi dielektričnimi lastnostmi. Raziskovali smo vpliv posameznih fizikalnih parametrov na proces zgoščevanja, naravo kontakta med delci keramike SrTiO_3 in vezivom ter mikrostrukturo, dielektrične ter mehanske lastnosti v odvisnosti od različne sestave. Dobljeni eksperimentalni rezultati kažejo, da se tovrstni kompoziti odlikujejo z dielektrično konstanto med 65 in 145 ter z dielektričnimi izgubami od 0,002 do 0,05 v radiofrekvenčnem območju 1MHz. Z metodo RTF smo dosegli med 20 in 50 % vrednosti dielektrične konstante konvencionalno sintrane ST keramike. V nadaljevanju smo določali vpliv poroznosti ter spreminjanja sestave na dielektrične in mehanske lastnosti. Eksperimentalno dobljene vrednosti smo primerjali z modelnimi vrednostmi, ki smo jih pridobili z uporabo Lichteneckerjevega mešalnega pravila, in simulacijami OOF2 (slika 6). Da bi zmanjšali rezidualno poroznost, smo pripravljene pelete impregnirali s Ti-izopropoksidom, kar je še dodatno povečalo dielektrično konstanto kompozitov tudi do 50 %.



Slika 7: SEM-slike morfologije ZnO: (a) palice, (b) ploščice in (c) bloki iz nanodelcev. (d) Degradacija metil modrega barvila za različne morfologije ZnO.

ZnO nanodelci (NPs) so večnamenski materiali z edinstvenimi fizikalnimi in kemijskimi lastnostmi, kot so visoka kemična stabilnost, visok elektrochemični sklopitveni koeficient, visoka fotostabilnost, možnost dopiranja in druge. Obvladljiva sinteza nanostruktur ZnO z različnimi morfologijami in velikostmi je pritegnila veliko pozornosti s stališča osnovnih raziskav in realizacije naprednih naprav. Stabilnost ZnO NP je odvisna od vrste uporabljenih funkcionalnih stabilizatorjev površine med njegovo sintezo. Poleg tega lahko funkcionalni stabilizatorji površine delujejo tudi kot sredstva za usmerjanje strukture in imajo zato pomembno vlogo pri tvorbi različnih nanostruktur ZnO. V naši raziskavi ZnO NP smo proučevali vpliv funkcionalnega stabilizatorja površine za usmerjanje strukture fruktoze, ki je okolju varna in trajnostnega izvora. Dobili smo različne morfologije palic, plošč in blokov iz nanodelcev (slika 7a, b, c). Raziskava njihovih fotokatalitskih lastnosti je pri ploščah in blokih iz nanodelcev pokazala zelo visoko sposobnost razgradnje metil modrega barvila pod vplivom UV-svetlobe v vodni raztopini nad 80 % v 90 minutah, medtem ko so se palice v istem času razgradile le 68 % (slika 7d).

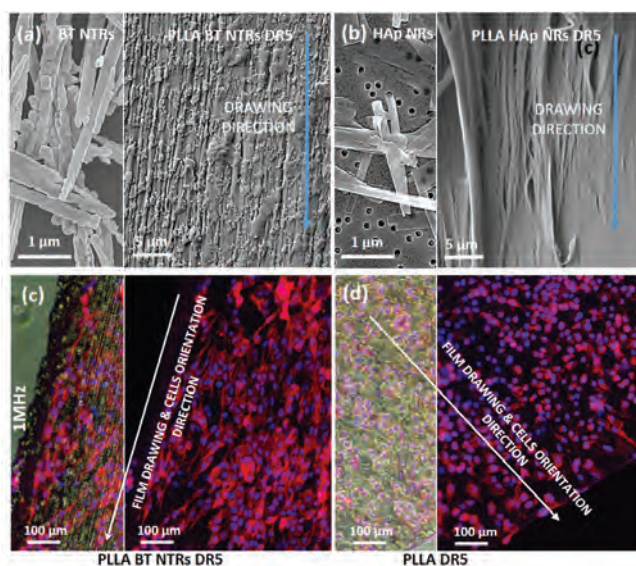
Antibakterijski in piezoelektrični biokompatibilni materiali

Na področju biomaterialov je bilo naše delo usmerjeno v oblikovanje novih pristopov pri celjenju in regeneraciji tkiv. Razvijali smo organske piezoelektrične biomateriale in nove protimikrobne tehnologije. Pri projektu *Elektrostimulatorji z vizualno detekcijo mehanske deformacije in napetosti: inovativni piezoelektrični biomateriale za elektro-stimulirano celično rast* v okviru bilateralnega sodelovanja s švicarskim partnerjem iz Inštituta za robotiko in inteligentne sisteme (ETH) oblikujemo nove piezoelektrične biomateriale na osnovi poli(l-laktida) (PLLA). Med študijo smo opazili, da modificiranje PLLA z majhno količino (1 mas. %) kristalnih delcev polnila, za katere je značilna visoka morfološka anizotropija, deluje kot sredstvo za nukleacijo med talilno kristalizacijo polimera, ki spodbuja tvorbo visoko kristaliničnih in usmerjenih struktur PLLA. Najučinkovitejša polnila so nanoteksturirane palice barijevega titanata (BT NTR) (slika 8a) ali apatitne nanopalice (HAP NR) (slika 8b). Polnila inducirajo povečanje piezoelektričnosti PLLA, kar dokazuje povečanje napetosti na površini filmov med deformacijo s pomočjo ultrazvoka. V primeru stimulacije celic (keratinocitov iz človeške kože) s pomočjo ultrazvoka smo opazili, da filmi PLLA, modificirani s polnili z visoko morfološko anizotropijo (BT NTR in HAP NR), spodbujajo tvorbo citoskeleta (brez ultrazvočne stimulacije ali z nižjo morfološko anizotropijo delcev podoben učinek ni bil zaznan). Razlike so zlasti opažene pri neposredni primerjavi ne vlečenih (DR1) filmov, ki niso bili piezoelektrični, z njihovimi vlečenimi (DR5) piezoelektričnimi pari. Celice, neposredno adherirane na površini filmov PLLA, so bile usmerjene v določeno smer, ki se ujema s smerjo dipolov PLLA v primeru, ko je bila njihova piezoelektričnost povečana s polnili z visoko morfološko anizotropijo (slika 8c). Enaka vrsta orientacije ni bila izrazita za celice na površini nemedificiranih filmov PLLA (slika 8d).

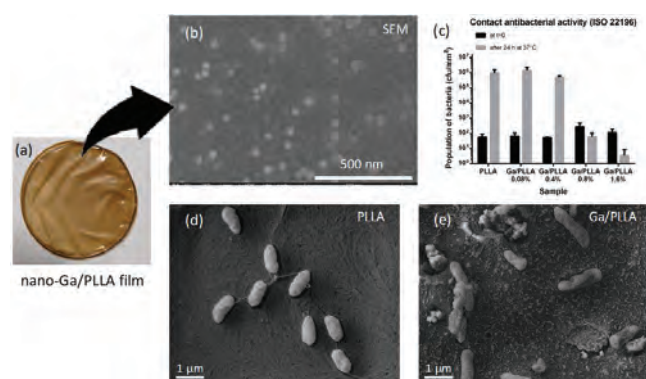
Nadaljevali smo razvoj kompozitov PLLA z Ga nanodelci (NP), da smo dobili bolj gladke homogene filme/folije, ki so bile enakomerno obarvane zaradi površinske plasmonske rezonance Ga NP (slika 9a, b). Odkrili smo, da je 0,8 masnih % Ga v kompozitu popolnoma zaviralo rast bakterij *P. aeruginosa* na kompozitnem materialu, medtem ko je dvakrat večja vsebnost Ga že izkazala baktericidni učinek (slika 9c), ki je povzročil hude poškodbe integritete bakterij (slika 9d, e). Dodajanje Ga je tudi povečalo Youngov modulus in hidrofobnost materiala, vendar so se nanodelci pod fiziološkimi pogoji na površini izpostavili in iz kompozitnega materiala sprostili že v enem dnevu.

Toplotnoizolacijski materiali

Velik del celotne porabljene energije v EU se porabi za ogrevanje in ohlajanje stavb. Njihova energetska učinkovitost je tako bistvenega pomena za smotrno in trajnostno uporabo energije. Z razvojem toplotnoizolacijskih materialov postajajo stavbe energetske vse bolj učinkovite, medtem ko vse večji del energetskega vložka predstavljajo materiali, uporabljeni za njihovo gradnjo. Izboljšanje različnih aspektov trajnosti teh materialov, kot sta možnost



Slika 8: (a, b) Poli(l-laktidni) (PLLA) filmi, modificirani s polnili: SEM-morfologija delcev polnila nanoteksturiranih palic barijevega titanata (BT NTR) in nanopalice apatita (HAP) ter njihovih s polnilom modificiranih filmov PLLA. (c) Orientacija aktinskih filamentov na površini s polnilom modificiranih in (d) nemedificiranih filmov PLLA.



Slika 9: (a) Nanogalij/PLLA kompoziti. Izgled filma/folije takega kompozita z značilno barvo zaradi površinske plasmonske rezonance Ga nanodelcev. (b) Povečana podrobna morfologija, opažena pod SEM. (c) Rast bakterij *P. aeruginosa* na kompozitnih filmih z različno vsebnostjo Ga ter njihova morfologija po 24 urah na (d) PLLA in (e) nanogalij-PLLA filmu.

recikliranja in vezana energija, je pomemben del raziskav. Penjeno steklo je gradbeni toplotnoizolacijski material, ki ga lahko karakteriziramo kot izdelek z visoko dodano vrednostjo, pri čemer je glavna surovina odpadno steklo. Šibka točka priprave penjenega stekla je visoka vezana energija, povezana z uporabo energetskega koraka taljenja odpadnega stekla.

V naši raziskavi smo nadaljevali v smeri razvoja postopka brez koraka taljenja. Z direktno uporabo odpadnega stekla, brez prilagajanja njegove kemične sestave, postane postopek penjenja kompleksnejši, med drugim tudi zaradi oteženega nadzora nad kristalizacijo stekla, ki občutno poveča delež odprte poroznosti v produktu in s tem zmanjša izolacijsko sposobnost materiala.

Zato smo nadaljevali raziskavo, katere primarni namen je obvladovati neželjeno kristalizacijo med penjenjem odpadnega stekla. Osredotočili smo se na proces v zračni atmosferi, ki je bolj trajnosten v primerjavi s procesi, ki se izvajajo v umetno ustvarjenih pogojih. Pokazali smo, da uporaba talilnih dodatkov (fluksov) B_2O_3 in boraksa uspešno upočasnjuje kristalizacijo embalažnega stekla med postopkom penjenja v temperaturnem območju 800–860 °C. Znižanje vsebnosti B_2O_3 na 2 ut.% vodi do penjenega stekla z gostoto pod 200 kg m⁻³, vendar pa se poveča vsebnost kristalinične faze in s tem tudi delež odprte poroznosti. Dodatek fosfatov dodatno zniža gostoto (pod 150 kg m⁻³) in izboljša homogenost porozne strukture. Z omenjeno prilagoditvijo dodatkov nam je uspelo pripraviti vzorce z gostotami 140–168 kg m⁻³ in toplotno prevodnostjo 57–66 mW (m K)⁻¹. Nadaljnja raziskava je pokazala, da dodatek vodnega stekla sicer omogoča prenos procesa v zračno atmosfero in vodi do zmanjšane deleža kristalinične faze. Tako pripravljene vzorce imajo nizko gostoto (130 kg m⁻³) in toplotno prevodnost (53 mW (m K)⁻¹).

Uporaba hidriranih silikatov (vodno steklo) se je pokazala za zanimivo pri prenosu procesa penjenja v zračno atmosfero. Iz tega razloga smo del raziskav posvetili tudi hidrotermalni obdelavi odpadnega stekla, ki se ga lahko nato direktno uporabi za penjenje v zračni atmosferi, brez potrebe po dodajanju vodnega stekla. Na različnih vrstah odpadnega stekla smo prikazali njihovo samostojno sposobnost penjenja po tem, ko so bila tretirana pod hidrotermalnimi pogoji. Analiza FTIR je pokazala prisotnost karbonatov po obdelavi odpadnega stekla in analize plinov v porah pen so pokazale velik delež ogljikovega dioksida, zaradi česar sklepamo, da mehanizem penjenja poteka podobno kot v primeru uporabe vodnega stekla prek reakcije z ogljikovim dioksidom iz atmosfere. V nadaljevanju smo pokazali, da tako obdelano odpadno steklo omogoča penjenje v zračni atmosferi tudi v primeru uporabe penilnih dodatkov, ki vsebujejo ogljik. Izhlapljanje vode med segrevanjem izpodriva zračno atmosfero znotraj vzorca in upočasnjuje prezgodnjo oksidacijo ogljikovih penilnih sredstev. Znanje, pridobljeno iz opisanih raziskav, bo pripomoglo k razumevanju procesa penjenja, s poudarkom na trajnostnem razvoju, ki je ena od osrednjih tem zelenega prehoda.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Vukomanović, Marija, Gazvoda, Lea, Aničić, Nemanja, Rubert, Marina, Suvorov, Danilo, Müller, Ralph, & Hofmann, Sandra, Multi-doped apatite: strontium, magnesium, gallium and zinc ions synergistically affect osteogenic stimulation in human mesenchymal cells important for bone tissue engineering, *Biomaterials Advances*, 2022, 140, 213051-1-213051-11, doi:10.1016/j.bioadv.2022.213051
2. Hanani, Zouhair, Mezzane, Daoud, Amjoud, M'barek, Lahcini, Mohammed, Spreitzer, Matjaž, Vengust, Damjan, Jamali, Arash, El Marssi, Mimoun, Kutnjak, Zdravko, & Gouné, Mohamed, The paradigm of the filler's dielectric permittivity and aspect ratio in high-K polymer nanocomposites for energy storage applications, *Journal of Materials Chemistry C*, 2022, 10, 30, 10823–10831, doi:10.1039/d2tc00251e
3. Chen, Binbin, Gauquelin, Nicolas, Strkalj, Nives, Huang, Sizhao, Halisdemir, Ufuk, Nguyen, Minh Duc, Jannis, Daen, Sarott, Martin F., Eltes, Felix, Abel, Stefan, Spreitzer, Matjaž, Fiebig, Manfred, Trassin, Morgan, Fompeyrine, Jean, Verbeeck, Johan, Huijben, Mark, Rijnders, Guus, & Koster, Gertjan, Signatures of enhanced out-of-plane polarization in asymmetric BaTiO₃ superlattices integrated on silicon, *Nature Communications*, 2022, 13, 1, 265-1-265-268, doi:10.1038/s41467-021-27898-x
4. Trstenjak, Urška, Daneu, Nina, Rafalovskiy, Iegor, Belhadi, Jamal, Vengust, Damjan, Hlinka, Jiri, & Spreitzer, Matjaž, Polarization in pseudocubic epitaxial relaxed PMN-PT thin films, *Applied Physics Letters*, 2022, 120, 4, 042901, doi:10.1063/5.0067531
5. Gazvoda, Lea, Perišić, Milica, Spreitzer, Matjaž, & Vukomanović, Marija, Antimicrobial activity of piezoelectric polymer: piezoelectricity as the reason for damaging bacterial membrane, *Biomaterials Science*, 2022, 10, 17, 4933–4948, doi:10.1039/d2bm00644h

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Soorganizacija MPŠ študentske konference, Kamnik, 1. 6.–3. 6. 2022
2. Delavnica v okviru projekta ATHENA: *Enakost spolov pri kariernem napredovanju in zaposlovanju*, Ljubljana, 11. 11. 2022

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Razvoj in karakterizacija vlaken mineralne volne in vezivnih sistemov Knauf Insulation S.P.R.L.
prof. dr. Matjaž Spreitzer
2. Noveon - IJS; Raziskovanje spojin NdDyCoCuFe na osnovi redkih zemelj Noveon Magnetics Inc.
prof. dr. Matjaž Spreitzer
3. COST CA17140; Nanozdravila proti raku - od laboratorijskih raziskav do klinične uporabe (NANO2CL)
COST Association AISBL
doc. ddr. Marija Vukomanović
4. COST CA20116; OPERA - Evropska mreža za inovativno in napredno epitaksijsko
COST Association AISBL
prof. dr. Matjaž Spreitzer
5. H2020 - AMULET; Napredni materiali in proizvodnja za LightwEight
European Commission
dr. Jakob König
6. OE - INDUSAC; Z industrijskimi izzivi in človeškimi viri gnani ko-kreacijski mehanizmi sodelovanja med industrijo in raziskovalno sfero
European Commission
prof. dr. Matjaž Spreitzer
7. EDA - AMALIA; Izdelava lahkih kovinskih materialov na osnovi auksetičnih struktur za osebno zaščito vojaka z dodajalnimi metodami
European Defence Agency (EDA)
prof. dr. Matjaž Spreitzer

PROGRAMA

1. Sodobni magnetni in večnamenski materiali
prof. dr. Mihael Drogenik
2. Sodobni anorganski materiali in nanotehnologije
prof. dr. Matjaž Spreitzer

PROJEKTI

1. Večnivojsko modeliranje fotokatalitske CO₂ redukcije z računalniško intenzivnimi simulacijami (multiPHOCOS)
dr. Marjeta Maček Kržmanc
2. Modelni sistemi medfaznih površin za izboljšanje elektrokemijskih lastnosti z nikljem bogatih NMC spojin v litij ionskih akumulatorjih
prof. dr. Matjaž Spreitzer
3. Podledeniški karbonatni sedimenti - nov vir za preučevanje obstoja ledenikov v glaciokraškem okolju
prof. dr. Srečo Davor Škapin

4. Vključki in granatih od makroskopskega do atomarnega nivoja: Odpiranje petrogenetskega arhiva
prof. dr. Nina Daneu
5. Načrtovanje napetosti in domenskih struktur v epitaksialnih tankih plasteh relaksorskih feroelektrikov
prof. dr. Matjaž Spreitzer
6. Elektrostimulatorji z vizualno detekcijo mehanske deformacije in napetosti: inovativni piezoelektrični biomateriali za elektro-stimulirano celično rast
doc. ddr. Marija Vukomanović
7. Načrtovanje tankih plasti relaksorskih feroelektrikov za piezoelektrične aplikacije in shranjevanje energije
prof. dr. Matjaž Spreitzer
8. Fotoelektrokemijski razvoj vodika iz epitaksialnih heterostruktur silicij-oksidi
prof. dr. Matjaž Spreitzer
9. Polprevodniško-dielektrične heterostrukture za foto-elektro-kemijski razvoj vodika
prof. dr. Matjaž Spreitzer
10. Ploskovne napake v naravnih in sintetiziranih perovskitnih oksidih: nanogeokemijski indikatorji in funkcionalne medpovršine
prof. dr. Nina Daneu
11. Sintranje glinenih materialov s stiskanjem pri hidrotermalnih pogojih
prof. dr. Srečo Davor Škapin
12. Inovativni postopki obdelave površin za napredne lastnosti medicinskega jekla
doc. ddr. Marija Vukomanović
13. Inovativna obdelava površin zobnih nadomestkov s plinsko plazmo
doc. ddr. Marija Vukomanović
14. Antimikrobne površine na podlagi kontakta na zahtevo: strategija za nadzor okužb prijazna ljudem in okolju
doc. ddr. Marija Vukomanović
15. PLASMA SEED TREATMENT: Inovativna eko plazemska obdelava semen (za setev ter za prehrano ljudi in živali)
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
doc. ddr. Marija Vukomanović
16. Kontrola kristalizacije v steklastih materialih za toplotno izolacijo
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
dr. Sonja Smiljanić
17. ANTISOLVO - Pridobivanje koristnih elementov iz odsuženih Nd-Fe-B magnetov z obarjanjem z uporabo antilopil"
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Srečo Davor Škapin
18. XRD analize
prof. dr. Matjaž Spreitzer

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

1. Strukturne karakterizacije proteinov v trdnih farmacevtskih oblikah
Lek, d. d.
prof. dr. Matjaž Spreitzer

OBISKI

1. dr. Jamal Belhadi in dr. Manal Benyoussef, Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Université de Picardie Jules Verne, Amiens, Francija, 19. 12. 2021–21. 1. 2022
2. prof. dr. Gertjan Koster, University of Twente, Enschede, Nizozemska, 7.–13. 5. 2022
3. prof. Eugene Kotomin in dr. Leonid Rusevich, Institute of Solid State Physics, University of Latvia, Riga, Latvija, 17.–20. 5. 2022
4. dr. Federico Baiutti, Catalonia Institute for Energy Research, Barcelona, Španija, 30. 5.–12. 6. 2022
5. dr. Jamal Belhadi, Laboratoire de Physique de la Matière Condensée, Université de Picardie Jules Verne, Amiens, Francija, 3.–21. 7. 2022
6. izr. prof. dr. Mladenka Malenica, dr. med. Vera Tomas in mag. lab. diagn. Hrvoje Križan, Medicinska fakulteta na Reki, Reka, Hrvaška, 5. 9.–9. 9. 2022 in 12. 9.–16. 9. 2022
7. prof. dr. Heli Jantunen, University of Oulu, Oulu, Finska, 24. 9.–1. 10. 2022
8. prof. dr. Gertjan Koster, University of Twente, Enschede, Nizozemska, 23.–28. 10. 2022
9. dr. Matej Baláž in dr. Martin Stahorsky, Institut za geotehniko, Slovaška akademija znanosti in umetnosti, Košice, Slovaška, 20.–26. 11. 2022

Gostujoči raziskovalci

1. dr. Suraj Gupta, School of Engineering, University of Liverpool, Velika Britanija, 21. 6. 2021–20. 6. 2023
2. dr. Zouhir Hanani, Cadi Ayyad University, Marakeš, Maroko, 21. 12. 2021–30. 6. 2023
3. dr. Hsin-Chia Ho, National Taiwan University, Taipei City, Tajvan, 7. 6. 2021–6. 6. 2023
4. dr. Sonja Smiljanić, Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, Srbija, 1. 6. 2019–30. 6. 2023

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Matej Baláž, dr. Martin Stahorsky: Mechanochemistry as an efficient tool for the synthesis of bicompatible nanomaterials, 21. 11. 2022
2. Petruša Borštnar: Polytypic defects and exaggerated grain growth in nonstoichiometric Li_{0.33}La_{0.66}TiO₃, 25. 4. 2022
3. Petruša Borštnar: Rietveld Refinement, 7. 11. 2022
4. Lucija Bučar: Electrical characterization of MOS capacitor with high-k dielectrics, 10. 6. 2022
5. Vesna Butinar: Email Tactics for Smarter Team Communication, 28. 3. 2022
6. Alja Čontala: Directing the Reaction Mechanism of Topochemical Conversion of Bi₂Ti₂O₇ Nanoplatelets to SrTiO₃ by Supersaturation, 21. 3. 2022
7. izr. prof. dr. Nina Daneu: Results obtained on research project dedicated to Twinning in rutile, 10. 1. 2022
8. David Fabijan: *Wiki what???*, 30. 5. 2022
9. dr. Suraj Gupta: Novel nanomaterials for electrocatalytic water splitting: A case of metal borides, 31. 1. 2022
10. dr. Hsin - Chia Ho: SrTiO₃ protected Si photocathode mediated by reduced graphene oxide for hydrogen evolution reaction (HER), 24. 1. 2022
11. dr. Hsin - Chia Ho: SrTiO₃ protected silicon via van der Waals epitaxy for solar hydrogen evolution, 5. 12. 2022
12. Uroš Hribar: How can water affect the sintering of my powder? 13. 6. 2022
13. Blaž Jaklič: Cathode materials for thin film solid-state batteries, 20. 5. 2022
14. dr. Jakob König: Mineral wool composite with improved insulation properties, 5. 9. 2022
15. dr. Špela Kunej: Anti-solting super hydrophobic coating with improved durability for solar panels, 17. 10. 2022
16. dr. Mario Kurtjak: Solving the Corona Crisis: the impact of the Materials Science & Technology, 14. 2. 2022

17. Nina Kuzmić: SOL-GEL based binders and coatings, 4. 4. 2022
18. Nina Kuzmić: From microstructure to functional properties with OOF, 24. 10. 2022
19. dr. Marjeta Maček Kržmanc: SrTiO₃ Catalysts Prepared by Topochemical Conversion of Bi₂Ti₃O₁₃, Nanoplatelets: Surface Characterizations and Interactions with Isopropanol, 3. 10. 2022
20. izr. prof. dr. Matjaž Spreitzer: Reflection high-energy electron diffraction, 19. 9. 2022
21. Damjan Vengust: Onto energy levels in solids and some band banding for increasingly more important energy circularity, 28. 2. 2022
22. doc. ddr. Marija Vukomanović: Piezoelectric poly-l-lactide composites: interactions with cells, 11. 4. 2022
23. Jan Žuntar: Anodes in thin-film microbatteries: Principles and characterization, 25. 3. 2022
24. Jan Žuntar: Characterization of a lithium lanthanum titanate (LLTO) solid electrolyte using impedance spectroscopy, 23. 5. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Petruša Borštnar: 16th Multinational Congress on Microscopy, Brno, Češka, 4.-9. 9. 2022 (1)
2. Petruša Borštnar, Nina Daneu: 4. slovensko posvetovanje mikroskopistov, Ankaran, 13.-14. 5. 2022 (2)

3. Petruša Borštnar, Alja Čontala, Blaž Jaklič, Nina Kuzmić, Jan Žuntar: 14. Študentska znanstvena konferenca MPS IJS, Kamnik, 1.-3. 6. 2022 (8)
4. Petruša Borštnar: Workshop on Rietveld refinement, Twente, Nizozemska, 9.-14. 10. 2022
5. Alja Čontala: Slovenski kemijski dnevi (SKD 2022), Portorož, 21.-23. 9. 2022 (1)
6. Suraj Gupta, Hsin - Chia Ho: 23rd International Conference on Photochemical Conversion and Storage Energy (IPS-23), Lausanne, Švica, 2. 8.-5. 8. 2022 (2)
7. Zouhair Hanani, Matjaž Spreitzer: 57th International Conference on Microelectronics, Devices and Materials (MIDEM 2022), Maribor, 14.-16. 9. 2022 (2)
8. Hsin - Chia Ho: 23rd International Conference on Photochemical Conversion and Storage Energy (IPS-23), Lausanne, Švica, 31. 7.-7. 8. 2022 (1)
9. Uroš Hribar, Jakob König: 26th International Congress on Glass (ICG 2022), Berlin, Nemčija, 3. 7.-8. 7. 2022 (2)
10. Uroš Hribar: Young Researcher's Workshop on Machine Learning for Materials 2022, Trst, Italija, 9.-13. 5. 2022 (2)
11. Matjaž Spreitzer: 15th International Ceramics Congress (CIMTEC 2022), Perugia, Italija, 20.-25. 6. 2022 (1)
12. Matjaž Spreitzer: Ceramics in Europe 2022, Krakow, Poljska, 10. 7.-14. 7. 2022 (1)
13. Matjaž Spreitzer: Materials Science & Technology Conference & Exhibition (MS&T 22), Pittsburgh, ZDA, 11.-12. 10. 2022 (1)
14. Danilo Suvorov: Pan American Ceramics Congress and Ferroelectrics Meeting of Americas (PACC-FMAS 2022), Panama City, Panama, 24.-28. 7. 2022 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Nina Daneu
2. Suraj Gupta, PhD., Indija
3. Heli Maarit Jantunen, PhD., Finska, znanstveni svetnik
4. dr. Jakob König
5. dr. Gertjan Koster, znanstveni svetnik
6. dr. Špela Kunej
7. dr. Marjeta Maček Kržmanc
8. **prof. dr. Matjaž Spreitzer, vodja odseka**
9. prof. dr. Srečo Davor Škapin, znanstveni svetnik
10. dr. Marija Vukomanović

Podoktorski sodelavci

11. *Roxana-Mihaela Apetrei, PhD., odšla 7. 1. 2022*
12. Zouhair Hanani, PhD., Maroko
13. Hsin-Chia Ho, PhD. Kitajska
14. dr. Mario Kurtjak
15. *dr. Tjaša Parkefj Potočnik, odšla 14. 3. 2022*
16. Sonja Smiljanić, PhD., Srbija
17. dr. Urška Trstenjak

Mlajši raziskovalci

18. Petruša Borštnar, mag. inž. geol.
19. Alja Čontala, mag. kem.
20. Lea Gazvoda, mag. inž. kem. inž.
21. Uroš Hribar, mag. inž. kem. inž.
22. Blaž Jaklič, mag. inž. kem. inž.
23. Nina Kuzmić, mag. inž. kem. inž.
24. Jan Žuntar, mag. inž. kem. inž.

Strokovni sodelavci

25. Lucija Bučar, dipl. inž. fiz. (VS)
26. Vesna Butinar, mag. posl. ved
27. David Fabijan, dipl. inž. fiz.
28. Tina Radošević, dipl. inž. geol. (UN)
29. Damjan Vengust, mag. nan.

Tehniški in administrativni sodelavci

30. Silvo Zupančič

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Association for the Development of Industrial Aerodynamics, Coimbra, Portugalska
2. Boise State University, Boise, ZDA
3. CellMat Technologies S.L., Valladolid, Španija
4. Centro de Investigaciones en Solidos, Buenos Aires, Brazilija
5. Chalmers University of Technology, Gothenburg, Švedska
6. COSYLAB, Laboratorij za kontrolne sisteme, d. d., Ljubljana
7. EPCOS TDK OHG, Deutschlandsberg, Avstrija
8. ENEL, Ingegneria e Ricerca, Rim, Italija
9. Gamma Meccanica, Bibiano, Italija
10. Gorenje, d. d., Velenje
11. Heraklith, Ferndorf, Avstrija
12. Intelectro Iasi S.R.L., Iasi, Romunija
13. Institut Rudjer Bošković, Zagreb, Hrvaška
14. Institute of Technical Sciences of the Serbian Academy of Sciences and Arts, Beograd, Srbija
15. Institute of Solid State Physics, University of Latvia, Riga, Latvija
16. Kemijski inštitut, Ljubljana
17. Knauf Insulation, d. o. o., Industrija termičnih izolacij, Škofja Loka
18. Korea Institute of Science and Technology-KIST, Seul, Koreja
19. Korea Institute of Materials Science, KIMS, Changwong, Koreja
20. National Institute of Standards and Technology – NIST, Ceramics Division, Gaithersburg, Maryland, ZDA
21. National Taiwan University, Taipei City, Tajvan
22. National Institute of Materials Physics, Bucharest, Romunija
23. Paroc, Pargas, Finska
24. Rudarsko - Geološko - Naftni fakultet, Zagreb, Hrvaška
25. Sao Paulo State University, Araraquara, Brazilija
26. South China University of Technology, Kitajska
27. Stanford University, Palo Alto, ZDA
28. Steklarna Rogaška, d. d., Rogaška Slatina
29. Stiftelsen SINTEF, Trondheim, Norveška
30. TAB Tovarna akumulatorskih baterij, d. d., Mežica
31. Technical University Iasi, Iasi, Romunija
32. Tokyo Institute of Science, Tokio, Japonska
33. Trimco, d. d., Trebnje
34. University of Twente, Enschede, Nizozemska
35. Université de Liège, Liège, Belgija
36. Université de Limoges, Limoges, Francija
37. University of Manchester, Institute of Science and Technology – UMIST, Manchester, Velika Britanija
38. Materials Science Centre, Manchester, Velika Britanija
39. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, Ljubljana
40. Urban Mining Company, Wilmington, ZDA
41. V. I. Vernadskii Institute of General and Inorganic Chemistry NAS of Ukraine, Kijev, Ukrajina
42. Zhejiang University, Hangzhou, Kitajska

ODSEK ZA BIOKEMIJO, MOLEKULARNO IN STRUKTURNO BIOLOGIJO

B-1

Raziskave odseka B-1 se večinoma osredotočajo na proučevanje fizioloških funkcij proteaz in njihovih naravnih inhibitorjev proteinov tako v fizioloških kot tudi v patoloških razmerah. To vključuje poglobljeno raziskovanje mehanizmov, ki nadzorujejo aktivnost proteaz, skupaj z analizo strukturnih in funkcionalnih lastnosti proteaz, njihovih inhibitorjev in drugih izbranih encimov. Čeprav smo napredovali pri razumevanju molekularnih mehanizmov aktivnosti in nadzora proteaz, je velik del tega področja še neraziskan. Tako bodo potrebne še obsežne raziskave, še posebej pri iskanju dodatnih fizioloških substratov in razjasnitvi signalnih poti pod njihovim nadzorom.



Vodja:
prof. dr. Boris Turk

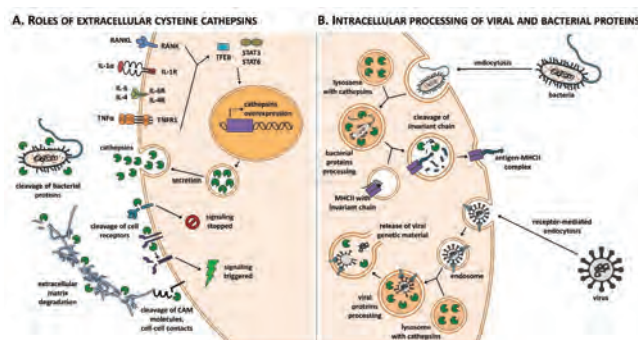
V zadnjem desetletju so se raziskave na področju proteaz povečale predvsem zaradi hitrega razvoja inovativnih tehnologij, kot sta kvantitativna proteomika in slikanje *in vivo*. Ti napredki so olajšali odkrivanje fizioloških substratov, kar je temeljito spremenilo naše razumevanje proteaz. Zdj jih vidimo ne le kot encime za razgradnjo proteinov, temveč tudi kot pomembne signalne molekule. Njihova katalitska dejavnost je skrbno regulirana, predvsem prek mehanizmov, kot so aktivacija zimogenov in inhibicija z endogenimi proteinskimi inhibitorji. Motnje v regulaciji proteaz lahko vodijo v širok spekter bolezni, ki segajo od avtoimunskih, srčno-žilnih, nevroloških in nevrodegenerativnih motenj do raka. Posledično so proteaze pomembne tarče za terapijo.

V naših raziskavah inhibicije cisteinskih katepsinov pri zdravljenju raka se je katepsin X izkazal kot potencialni kandidat zaradi svoje vpletenosti v ključne korake napredovanja raka. V sodelovanju s prof. Jankom Kosom smo razvili selektiven reverzibilni inhibitor, imenovan Z9, usmerjen proti katepsinu X. Naši rezultati kažejo, da Z9 pomembno zavira napredovanje tumorjev tako *in vitro* kot tudi *in vivo* na različnih mišjih modelih raka dojke. Katepsin X nadomesti izgubo aktivnosti katepsina B, kar prispeva k napredovanju raka. Hkratna inhibicija obeh katepsinov B in X kaže sinergijski učinek, ki ovira procese napredovanja tumorja. Študija nakazuje, da bi lahko Z9, uporabljen v kombinaciji z drugimi inhibitorji peptidaz, predstavljal inovativno strategijo za premagovanje odpornosti na terapijo z inhibitorji peptidaz (Mitrović in sod., 2022).

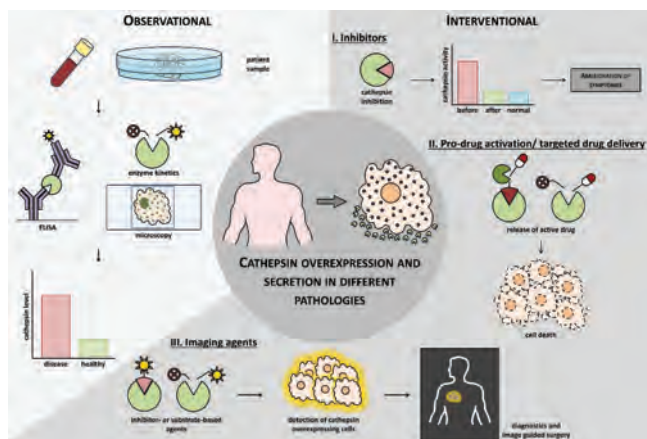
Raziskovalci našega oddelka so nadaljevali z delom o večfunkcijski vlogi papainu podobne proteaze SARS-CoV-2 (PLpro). Poleg njene cisteinske proteazne aktivnosti, ki je ključna za cepitev virusnih polipeptidov, ima PLpro pomembno vlogo pri izogibanju imunskemu odzivu gostitelja z odstranjevanjem ubikvitina in ISG15 s proteinov gostiteljske celice. Odkrili so tri fenolne spojine iz knjižnice naravnih spojin, ki se vežejo na PLpro in motijo ključne interakcije z ISG15. Te spojine so pokazale jasno inhibicijo PLpro pri testih aktivnosti odstranjevanja ISG15. Dve od njih sta pokazali protivirusno aktivnost na celični liniji Vero, ena pa je kazala inhibicijo celične patogeneze pri netoksičnih koncentracijah. Glede na naraščanje mutacij PLpro pri novih sevih SARS-CoV-2 bi te naravne spojine lahko potencialno okrepile protivirusni imunski odziv gostitelja, ki je pogosto oslavljen pri okužbah s covidom-19 (Srinivasan in sod., 2022).

Renko in sodelavci so odkrili novo družino glivičnih inhibitorjev proteaz, imenovanih cocaprini, ki so prisotni v gobah *Coprinopsis cinerea*. Cocaprini učinkovito zavirajo tako cisteinske kot aspartatne proteaze. Identificirali so dva gena, odgovorna za proizvodnjo cocaprinov, ki imata vsak svoje vzorce izražanja v različnih glivnih tkivih. Cocaprini so majhni proteini (15 kDa), ki tvorijo dimere in imajo izoelektrično točko pri nizkem pH. Tridimenzionalna struktura cocaprina 1 spominja na glivne lektine z domeno β -trefoil. Ti inhibitorji ciljajo specifične proteaze, kar kaže na njihovo potencialno vlogo pri regulaciji proteolitičnih aktivnosti ali kot obrambni mehanizem proti glivnim antagonistom. To odkritje kaže na vsestransko funkcionalnost glivičnih proteinov z zvitjem β -trefoil (Renko *et al.*, 2022).

Mikhaylov in sodelavci so z uporabo magnetnih spinelnih nanodelcev iz kobaltovega ferita (MCFS) razvili vsestranski sistem za dostavo zdravil z možnostjo slikanja z magnetno resonanco (MRI) za diagnostiko in zdravljenje raka. Nanodelci MCFS so pokazali izjemne kontrastne lastnosti za MRI in so jih uporabili za razvoj ciljanega sistema za dostavo učinkovin, ki omogoča sočasno slikanje z MR pri zdravljenju raka. V poskusih *in vivo* na mišjem modelu raka dojke so potrdili tako njihovo terapevtsko učinkovitost v sistemski kemoterapiji kot tudi edinstvene lastnosti



Slika 1: Vloga cisteinskih katepsinov pri patoloških procesih. Cisteinski katepsini v zunajceličnem prostoru sodelujejo pri razgradnji zunajceličnega matriksa in cepitvi membranskih receptorjev, adhezijskih molekul in bakterijskih proteinov. Znotraj celice imajo cisteinski katepsini pomembno vlogo pri procesiranju in prezentaciji bakterijskih in virusnih proteinov.



Slika 2: Primeri kliničnih preizkušanj na osnovi cisteinskih katapsinov. Najbolj pogosto klinična preizkušanja temeljijo na direktnem tarčenju cisteinskih katapsinov ali na aktivaciji diagnostičnih ali terapevtskih učinkovin s cisteinskimi katapsini. Redkeje se aktivnost ali prisotnost cisteinskih katapsinov uporablja za spremljanje poteka bolezni ali za razvoj in validacijo biomarkerjev.

dvojnega kontrasta pri MRI. Ta študija postavlja temelje za nov večmodalni sestavljen sistem dostave zdravil za učinkovito antitumorsko terapijo v kombinaciji z neinvazivnim slikanjem z MR (Mikhaylov in sod., 2022).

V drugi študiji smo naslovili potrebo po učinkoviti oceni toksičnosti nanomaterialov za biomedicinsko uporabo. Tradicionalne metode temeljijo na laboratorijskih poskusih, vendar pristopi *in silico*, ki uporabljajo računalniško modeliranje in podatkovno znanost, pridobivajo na priljubljenosti. Predlagali smo novo metodo *in silico*, imenovano CIN2D, ki uporablja analizo proste energije in simulacije molekularne dinamike za hitro ocenjevanje citotoksičnosti dvodimenzionalnih nanomaterialov. Ta pristop je bil uspešno uporabljen na petih pogosto uporabljenih nanolistih, kar potrjuje njegovo napovedno sposobnost pri ocenjevanju nanotoksičnosti (Tsukanov in sod., 2022).

V sodelovanju z doc. Režen smo se osredotočili na vlogo cirkularnih RNA (circRNA) pri hepatocelularnem karcinomu (HCC). Analiza transkriptoma in študije obogatitve so razkrile povečano izražanje circRNA hsa_circ_0062682 in potencialne tarčne molekule (Razpotnik in sod., 2022).

Prof. Žerovnik je napisala pregledni članek, ki raziskuje vlogo mutacij človeškega stefina B (cistatin B) pri progresivni mioklonični epilepsiji tipa 1 (EPM1), ki je nevrodegenerativna bolezen. Kot najpogostejše mutacije našteje dodekamerne ponovitve, drugačnosmiselne in premestitvene mutacije. Stefin B ima predvsem vlogo inhibitorja cisteinskih katapsinov, vendar je pomemben tudi pri zaščiti pred oksidativnim stresom, uravnavanju vnetja in kontroli transkripcije. Poleg tega ima tudi vlogo pri sinaptični fiziologiji in vezikularnem transportu. Pregledni članek nakazuje, da bi lahko imel stefin B šaperonu podobno vlogo pri regulaciji proteostaze. Avtorica razpravlja o interakcijskih partnerjih stefina B in drugih genskih mutacijah, ki prispevajo k pogojem, podobnim EPM1, in izpostavlja skupne poti (Žerovnik, 2022).

Biasizzo s sodelavci v preglednem članku poudarja pomen cisteinskih katapsinov pri boleznih, povezanih z vnetjem, ter opisuje njihov klinični potencial. Napake v njihovi regulaciji lahko sprožijo prehod iz normalnih fizioloških procesov v patološka stanja. Prekomerno izražanje in izločanje teh proteaz sta tesno povezana z razvojem bolezni, zaradi česar so privlačne farmacevtske tarče. Poleg njihove negativne vloge pri boleznih so cisteinski katapsini ključni pri vzdrževanju homeostaze in odzivanju na dražljaje. Pregledni članek naslavlja izzive pri prenašanju raziskovalnih ugotovitev v klinične aplikacije ter proučuje klinični potencial tarčenja cisteinskih katapsinov za zdravljenje in diagnozo bolezni (Biasizzo in sod., 2022).

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Mikhaylov, G., Mikac, U., Butinar, M., Turk, V., Turk, B., Psakhie, S., & Vasiljeva, O., Theranostic applications of an ultra-sensitive T_1 and T_2 magnetic resonance contrast agent based on Cobalt ferrite spinel nanoparticles, *Cancers*, 2022, 14, 16, 4026-1-4026-14, doi:10.3390/cancers14164026
2. Mitrović, A., Završnik, J., Mikhaylov, G., Knez, D., Pečar Fonovič, U., Matjan-Štefin, P., Butinar, M., Gobec, S., Turk, B., & Kos, J., Evaluation of novel cathepsin-X inhibitors in vitro and in vivo and their ability to improve cathepsin-B-directed antitumor therapy, *Cellular and molecular life sciences*, 2022, 79, 1, 34, <https://link.springer.com/article/10.1007/s00018-021-04117-w>
3. Razpotnik, R., Vidmar, R., Fonovič, M., Rozman, D., & Režen, T., Circular RNA hsa_circ_0062682 binds to YBX1 and promotes oncogenesis in hepatocellular carcinoma, *Cancers*, 2022, 14, 18, 4524, <https://www.mdpi.com/2072-6694/14/18/4524>
4. Renko, M., Zupan, T., Plaza, D. F., Schmieder, S. S., Perišić, M., Kos, J., Turk, D., Künzler, M., & Sabotič, J., Cocaprins, β -trefoil fold inhibitors of cysteine and aspartic proteases from *Coprinopsis cinerea*, *International journal of molecular sciences*, 2022, 23, 9, 4916-1-4916-15, doi:10.3390/ijms23094916
5. Srinivasan, V., & Turk, D., Antiviral activity of natural phenolic compounds in complex at an allosteric site of SARS-CoV-2 papain-like protease, *Communications biology*, 2022, 5, 1, 805-1-805-812, doi:10.1038/s42003-022-03737-7
6. Biasizzo, M., Javoršek, U., Vidak, E., Zarič, M., & Turk, B., Cysteine cathepsins: a long and winding road towards clinics, *Molecular aspects of medicine*, 2022, 88, 101150-1-101150-24, doi:10.1016/j.mam.2022.101150
7. Cioca, A.-A., Langerholc, T., & Tušar, L., Implementation of food matrix effects into chemical food contaminant risk assessment, *EFSA journal*, 2022, 20, S2, e200905, <https://dk.um.si/IzpisGradiva.php?id=85894>

- Tsukanov, A. A., Turk, B., Vasiljeva, O., & Psakhie, S., Computational indicator approach for assessment of nanotoxicity of two-dimensional nanomaterials, *Nanomaterials*, 2022, 12, 4, 650-1-650-19, doi:10.3390/nano12040650
- Žerovnik, E., Human stefin B: from its structure, folding, and aggregation to its function in health and disease, *Frontiers in molecular neuroscience*, 2022, 15, 1009976, doi:10.3389/fnmol.2022.1009976

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

- FEBS-ICGEB Workshop 2022 – Proteolysis: at the interface between health and disease, Bled, 17.–21. 9. 2022, organizatorji
- 39th Winter School on proteinases and their inhibitors, Tiers, Italija, 16.–18. 2. 2022 (hibridno), soorganizatorji

MEDNARODNA PROJEKTA

- EFSA - EU-FORA; Matriks živil kot parameter ocenjevanja tveganj kemičnih prehranskih onesnaževal; European Food Safety Authority – EFSA doc. dr. Livija Tušar
- COST CA20117; Sprememba molekularnih profilov mieloidnih celic v biomarkerje za vnetja in raka (Mye-InfoBank) COST Association AISBL prof. dr. Nataša Kopitar - Jerala

PROGRAMA

- Strukturna biologija prof. dr. Dušan Turk
- Proteoliza in njena regulacija pri zdravju in boleznih prof. ddr. Boris Turk

PROJEKTI

- Strukturni vpogled v mehanizem tvorbe površine bakterije *Clostridium difficile* prof. dr. Dušan Turk
- Katepsina B in X v tumorskih matičnih celicah raka dojke – molekulske tarče in pomen za protitumorno terapijo prof. dr. Marko Fonovič
- Aptamere in hidrodinamska kavitacija, dostopno orodje za analizo organskih ostankov v arheološki keramiki prof. dr. Marko Fonovič

- Vloga cisteinskih katepsinov pri aktivaciji komplementa pri raku prof. ddr. Boris Turk
- Kako Gram-pozitivni patogeni preprečijo delovanje E-kadherina prof. ddr. Boris Turk
- Neinvazivna diagnostika pri raku na osnovi katepsinov prof. ddr. Boris Turk
- Človeški katepsin F: nenavadna cisteinska proteaza udeležena v nevrodegeneraciji prof. dr. Veronika Stoka
- Identifikacija aktivoma raka za razvoj nove generacije konjugatov proteiteles z zdravili prof. ddr. Boris Turk
- Sistemska določitev fizioloških vlog legumaina prof. dr. Marko Fonovič
- Konferenca FEBS-ICGEB Proteolysis: At the Interface between Health and Disease; Bled, Slovenija, od 17. 09. 2022 do 21. 09. 2022 IUBMB - International Union of Biochemistry and Molecular Biology prof. ddr. Boris Turk
- PLASMA SEED TREATMENT: Inovativna eko plazemska obdelava semen (za setev ter za prehrano ljudi in živali) Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport prof. ddr. Boris Turk

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

- Sodelovanje na področju kvantifikacija celičnih proteinov s proteomsko LC-MS/MS analizo Lek, d. d. prof. dr. Marko Fonovič

OBISKI

- Gian Pietro Pietri, Center for Proteomics, Medical Faculty, University of Rijeka, Hrvaška, 23. 1.–23. 3. 2022
- dr. Katarina Trajković, Mediterranean Institute for Life Sciences (MedILS), Split, Hrvaška, 13.–24. 12. 2022
- dr. Ana-Marija Vučković, Mediterranean Institute for Life Sciences (MedILS), Split, Hrvaška, 13.–17. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

Na odseku imamo redne tedenske seminarje, na katerih raziskovalci poročajo o svojem delu.

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Monika Biasizzo, Klemen Dretnik, Ana Ercegovič Rot, Marija Grozdanič, Katarina Karničar, Matej Kolarič, Nataša Kopitar-Jerala, Andreja Kozak, Nataša Lindič, Jure Loboda, Georgy Mikhaylov, Maja Orehek, Tilen Sever, Tea Sinožič, Metka Stantič, Boris Turk, Dušan Turk, Livija Tušar, Aleksandra Usenik, Eva Vidak, Robert Vidmar, Miki Zarič, Eva Žerovnik, FEBS-ICGEB Workshop 2022 – Proteolysis: at the interface between health and disease, Bled, 17.–21. 9. 2022 (17)
- Ana Ercegovič Rot, Andreja Kozak, Georgy Mikhaylov, Tea Sinožič, Strokovno srečanje: Novosti na področju radioterapije in radiobiologije: od raziskav do klinike, Ljubljana, 3. 6. 2022 (1)
- Marija Grozdanič, Andreja Kozak, Tilen Sever, Boris Turk, Miki Zarič, IUBMB-FEBS-PABMB 2022 Congress, Lizbona, Portugalska, 9.–17. 7. 2022 (4)
- Katarina Karničar, Ana Kump, Nataša Lindič, 4th Inter-Academy Scientific Symposium on Emerging Zoonoses – Continuous Challenge, Ljubljana, 6.–7. 10. 2022
- Matej Kolarič, Tilen Sever, MaxQuant Summer School 2022, Barcelona, Španija, 4.–10. 9. 2022 (2)
- Nataša Kopitar-Jerala, COST Action: CA20117 – Converting molecular profiles of myeloid cells into biomarkers for inflammation and cancer, Granada, Španija, 28. 9.–1. 10. 2022
- Nataša Lindič, The Microbial Glycobiology Conference, Lizbona, Portugalska, 12.–17. 6. 2022
- Jure Loboda, Boris Turk, Dušan Turk, Livija Tušar, 2022 Proteolytic Enzymes and Their Inhibitors, Lucca, Italija, 5.–10. 6. 2022 (2)
- Jure Loboda, Tea Sinožič, Give structural biology to young people, Ljubljana, 28. 9. 2022 (2)
- Matej Novak, XVI School on Synchrotron Radiation Gilberto Vlais: Fundamentals, Methods and Applications, Muggia, Italija, 19.–30. 9. 2022
- Tea Sinožič, Symposium on Inflammation and Proteinopathy in ALS/FTD Spectrum Disorder, Reka, Hrvaška, 30. 6.–3. 7. 2022 (1)
- Tea Sinožič, Veronika Stoka, Extracellular vesicles: From fundamental research to clinical application, Ljubljana, 20. 6. 2022
- Tea Sinožič, BIOMolekularec, Ljubljana, 29. 9. 2022 (1)
- Boris Turk, EMBO Fellowship Committee Meeting, Varšava, Poljska, 9.–10. 6. 2022
- Boris Turk, ECDO Meeting, Bonn, Nemčija, 27.–29. 9. 2022

16. Boris Turk, Robert Vidmar, Open Academia Day in TRD Bx&CGT, Mengeš, 15. 9. 2022
17. Boris Turk, EMBC Meeting, Rim, Italija, 20.-22. 11. 2022
18. Dušan Turk, Summer School Live on Earth and Beyond, Ven Osland, Švedska, 29. 5.-2. 6. 2022
19. Dušan Turk, Delovni obisk in sodelovanje na UCSF, San Francisco, ZDA, 15.-29. 11. 2022
20. Miki Zarič, Seahorse XF Meritve celičnega metabolizma v realnem času, Ljubljana, 30. 11. 2022
21. Eva Žerovnik, AFM-in-SEM: Future of complex and in-situ correlative analyses: webinar, 16. 2. 2022 (virtualno)
22. Eva Žerovnik, Panel discussion: Bioimaging and analysis, 24. 5. 2022 (virtualno)
23. Eva Žerovnik, Dneva biofizike 2022, Celje, 30.-31. 5. 2022 (1)
24. Eva Žerovnik, Cystatins 2022, Gdansk, Poljska, 15.-19. 6. 2022 (1)
25. Eva Žerovnik, FEBS Open Bio Webinar: The structures of SARS-CoV-2 proteins, 3. 11. 2022 (virtualno)
26. Eva Žerovnik, 16th Christmas Biophysics Workshop (XBW), Brdo, 12.-13. 12. 2022 (1)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Nežka Kavčič: International Centre for Generic Engineering and Biotechnology (IGEB), Trst, Italija, od 1. 1.-31. 10. 2022 (podoktorsko izpopolnjevanje)
2. Nataša Lindič: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 18. 3. 2022 (meritve)
3. Nataša Lindič: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 4. 8. 2022 (meritve)
4. Nataša Lindič: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 5. 12. 2022 (meritve)
5. Jure Loboda: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 26. 10. 2022 (meritve)
6. Matej Novak: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 1. 6. 2022 (meritve)
7. Matej Novak: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 15. 12. 2022 (meritve)
8. Matej Novak: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 21. 12. 2022 (meritve)
9. Dušan Turk: Elettra-Synchrotron Light Laboratory, Trst, Italija, 16. 3. 2022 (meritve)
10. Dušan Turk: Research Centre of the Helmholtz Association, Hamburg, Nemčija, 10.-29. 5. 2022 (meritve)
11. Dušan Turk: Research Centre of the Helmholtz Association, Hamburg, Nemčija, 12. 9.-10. 10. 2022 (meritve)
12. Dušan Turk: Research Centre of the Helmholtz Association, Hamburg, Nemčija, 6.-17. 12. 2022 (meritve)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Iztok Dolenc
2. prof. dr. Marko Fonovič
3. prof. dr. Nataša Kopitar - Jerala
4. prof. dr. Jure Pražnikar*
5. prof. dr. Veronika Stoka
6. dr. Andrej Šali, znanstveni svetnik
7. **prof. ddr. Boris Turk, znanstveni svetnik - vodja odseka**
8. prof. dr. Dušan Turk, znanstveni svetnik - vodja centra
9. doc. dr. Livija Tušar
10. prof. dr. Olga Vasiljeva
11. prof. dr. Eva Žerovnik, znanstveni svetnik

Podoktorski sodelavci

12. dr. Monika Biasizzo
13. dr. Katarina Karničar
14. *dr. Nežka Kavčič, odšla 1. 11. 2022*
15. dr. Andreja Kozak
16. dr. Nataša Lindič
17. dr. Georgy Mikhaylov
18. dr. Metka Stantič
19. dr. Aleksandra Usenik
20. dr. Robert Vidmar

Mlajši raziskovalci

21. Klemen Dretnik, mag. biotehnol.
22. Ana Ercegovič Rot, mag. lab. biomed.
23. Marija Grozdanič, master fizik. kemije, R Srbija
24. Sara Ivanovski, mag. biokem.
25. *Urban Javoršek, mag. biokem., odšel 1. 6. 2022*
26. Matej Kolarič, mag. biokem.
27. Ana Kump, dipl. farmacevt, R. Makedonija
28. Ernestina Lavrih, mag. biokem.
29. Jure Loboda, mag. farm.
30. Petra Matjan Štefin, dr. vet. med.
31. Matej Novak, mag. farm.
32. Andreja Novak, MSc, Nizozemska
33. Tilen Sever, mag. mol. funkc. biol.
34. Tea Sinožič, Msc., Hrvaška
35. Mojca Trstenjak Prebenda, univ. dipl. kem.
36. Eva Vidak, mag. biokem.

37. Miki Zarič, mag. mol. funkc. biol.
38. *Viktor Zupančič, mag. mikrobiol., odšel 1. 4. 2022*

Strokovni sodelavci

39. Marinka Horvat, univ. dipl. biotech.
40. Maja Orehek, univ. dipl. etn. in antr. kult.
41. *Tjaša Peternel, mag. biotehnol., 1. 9. 2022 razporeditev v odsek B3*
42. Andreja Sekirnik, univ. dipl. kem.
43. Ivica Štefe, univ. dipl. kem.

Tehniški in administrativni sodelavci

44. Dejan Pelko
45. Polonca Pirš
46. Vahida Suljić

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Albert-Ludwigs-Universität, Institut für Molekulare Medizin und Zellforschung, Freiburg, Nemčija
2. Sanford Burnham Prebys Medical Discovery Institute, La Jolla, Kalifornija, ZDA
3. Centro de Investigación Principe Felipe, Valencia, Španija
4. Commissariat à l'Énergie Atomique, Gif Yvette, Francija
5. Deutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg, Nemčija
6. European Molecular Biology Laboratory (EMBL), Heidelberg, Nemčija
7. Freie Universität Berlin, Nemčija
8. Ghent University, Department for Molecular Biomedical Research, Gent, Belgija
9. Instituto de Investigaciones Biológicas, Universidad Nacional de General San Martín, Argentina
10. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
11. International University of Bremen, Bremen, Nemčija
12. Karl-Franzens Universität, Gradec, Avstrija
13. Keio University, Tokyo, Japonska
14. King's College, London, Velika Britanija
15. Kyushu University, Graduate School of Dental Science, Fukuoka, Japonska
16. Lek farmacevtska družba, d. d., Ljubljana, Slovenija
17. Liaoning Cancer Hospital & Institute, Kitajsko
18. University of Zurich, Zürich, Švica
19. Universitat Autònoma de Barcelona, Cerdanyola del Valles, Španija
20. University of Lund, Lund, Švedska

Raziskovalni program Odseka za molekularne in biomedicinske znanosti je usmerjen predvsem v temeljne raziskave na področju proteinske biokemije, molekularne in celične biologije ter genetike. Osnovni namen naših raziskav je pridobivanje novih spoznanj na področju človeške in živalske patofiziologije v korist izboljšanja zdravja ljudi in živali.

Toksinologija

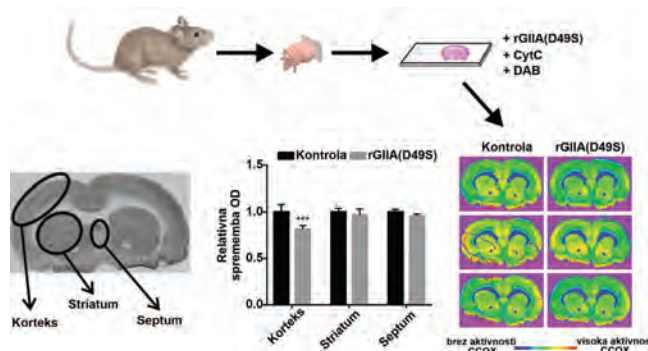
Ena od naših tradicionalnih raziskovalnih tem na področju toksikologije je proučevanje molekularnih mehanizmov toksičnega delovanja sekretornih fosfolipaz A₂ (sPLA₂), ki so v živalskih strupih. Še posebej smo osredotočeni na tiste, ki so presinaptično nevrotoksične (β-nevrotoksini). Znanje, ki ga pridobimo s proučevanjem toksičnih sPLA₂, nam pomaga bolje razumeti patofiziološko vlogo ortolognih sesalskih sPLA₂, na primer njihov prispevek pri razvoju nevrodegenerativnih bolezni, kot je Alzheimerjeva (AD).

Pri študiji za dokazovanje koncepta (proof-of-concept) smo potrdili, da podganja sPLA₂ skupine IIA (GIIA) deluje na podganje mitohondrije v živčnih celicah na enak način kot β-nevrotoksična GIIA iz kačjega strupa. Pri tem poskusu je podganja GIIA dejansko inhibirala aktivnost encima citokrom c-oksidge (CCOX) tudi *ex vivo*, tj. v rezinah podganjih možganov (slika 1), kar dodatno podpira domnevno vpletenost povečane količine zunajcelično prisotne sesalske GIIA v nevrodegenerativne procese, npr. tudi pri AD, na podoben način kot pride do zastrupitve motoričnega nevrona z β-nevrotoksično GIIA iz kačjega strupa (A. Ivanušec *et al.*, *Int. J. Mol. Sci.* 23 (2022), 12368). Spremljali smo znotrajcelično razmeščanje derivatov rekombinantnega amoditoksina (Atx), podganje GIIA in njenih encimsko neaktivnih oblik (D49S) v celicah PC12 s pomočjo transmisijske elektronske in fluorescenčne konfokalne mikroskopije ter ugotovili, da sPLA₂-molekule za vstopanje v živčno celico in razmeščanje v njej, vključno z vstopanjem v mitohondrij, ne potrebujejo encimske aktivnosti (A. Ivanušec *et al.*, *Toxins* 14 (2022), 375). Z uporabo ¹²⁵I-GIIA smo določili afiniteto vezave GIIA na mitohondrijski protein z navidezno molekularno maso 20 kDa (R20). Glede na to, da GIIA, tako kot Atx, inhibira aktivnost CCOX, predvidevamo, da je R20 podenota IV CCOX (CCOX-IV). Ker tega nismo mogli potrditi s pomočjo anti-CCOX-IV protiteles, smo se za identifikacijo R20 lotili njegove izolacije iz prašičjih mitohondrijev z uporabo GIIA-afinitetne kromatografije. Pri tem smo optimizirali različne pogoje za izolacijo receptorja. Natančen opis delovanja GIIA na CCOX je ključen za uporabo naših izsledkov v medicini, tako za zdravljenje AD kot tudi za zgodnjo diagnozo te hude nevrodegenerativne bolezni. Ugotovljeno je namreč bilo, da se GIIA pri AD povišano izraža in postane toksična za mitohondrije, kar je podobno delovanju modrasovega Atx v zastrupljenih živčnih končičih.

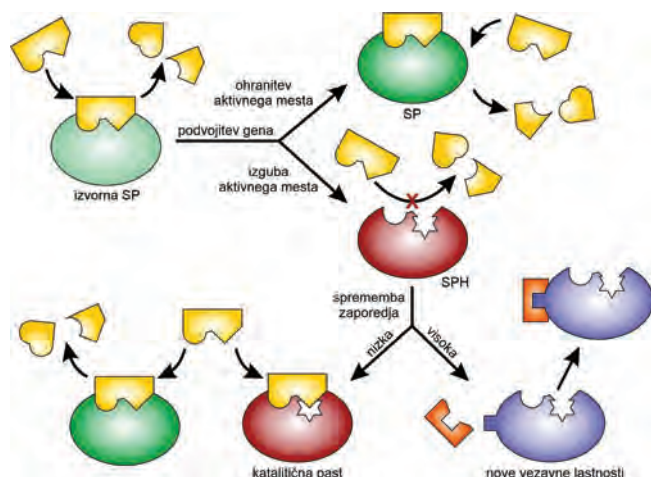
Pokazali so, da se nekatere sPLA₂ specifično vežejo na nikotinske acetilholinske receptorje (nAChR). Vežava ACh ali drugih agonistov, npr. nikotina in njegovih derivatov, na nAChR-je je povezana z nenadzorovano celično delitvijo, preprečitvijo apoptoze in indukcijo angiogeneze, kar posledično podpira rast in metastaziranje tumorjev. Po drugi strani imajo antagonisti nAChR-jev ravno nasprotno učinke na celice, kar kaže na njihovo potencialno vrednost pri zdravljenju raka. Med naravnimi antagonisti nAChR, ki jih najdemo v različnih strupih, so tudi sPLA₂ kačjega strupa, za katere so potrdili, da zavirajo ionske tokove, ki jih izzove ACh. Zaradi tega smo raziskali protirakav vpliv niza človeških sPLA₂ in njihovih točkovnih encimsko neaktivnih mutant, da bi ocenili njihov terapevtski potencial v primeru pljučnega raka. V sodelovanju s farmakologi z Univerze v Leuvnu v Belgiji smo določali učinek teh proteinov na α7- in mišični tip nAChR. Najbolj zanimiv je bil rezultat, da se GV(H48Q) absolutno selektivno veže na α7-nAChR. Encimsko neaktivno mutanto GV(H48Q) smo nato testirali, da bi ovrednotili njene učinke na sposobnost preživetja, citotoksičnost, proliferacijo in apoptozo več različnih celičnih linij pljučnega raka in ene celične linije nerakastih pljučnih celic. Pokazali smo, da sta tako GV kot GV(H48Q) sposobni preprečiti z ACh izzvano proliferacijo in povečano preživetje celic. Vzporedno smo bili vključeni v podobno študijo antagonistov α7-nAChR, 3-alkilpirididjevih soli (APS). Članek, ki opisuje učinke APS7, bodisi prostega ali pakiranega v nanodelce želatine, na celice človeškega pljučnega



Vodja: **prof. dr. Igor Krizaj**



Slika 1: *Ex vivo* poskus na rezinah podganjega možganskega tkiva je pokazal manjšo, a značilno inhibicijo aktivnosti CCOX v možganski skorji v prisotnosti podganjega proteina GIIA. Trend zmanjšane aktivnosti CCOX smo zaznali tudi v striatumu in septumu. V tkivnih rezinah, izpostavljenim podganjemu proteinu GIIA ali ne, smo s histokemičnim obarvanjem določili aktivnost CCOX. Rezine smo slikali in na slikah analizirali relativno optično gostoto (OD), pripadajočo aktivnosti CCOX, v možganskih regijah, ki so nas zanimalo.



Slika 2: Razvoj novih bioloških funkcij pri serinskih psevdoproteazah. Podvojitvi predniškega gena za serinsko proteazo (SP) je sledila izguba katalitične aktivnosti v SP-homologih (SPH) zaradi mutacij v aktivnem mestu. Pridobitev novih funkcij (npr. nova vezavna površina) pri SPH je posledica specifičnega vzorca substitucij aminokislin. SPH-ji z manjšo razliko svojega aminokislinskega zaporedja od zaporedij encimsko aktivnih paralogov ne morejo več cepiti polipeptidnih verig, vendar se nekateri od njih še vedno lahko vežejo na te verige in delujejo kot katalitične pasti. SPH-ji z ohranjanjem svoje vezave na polipeptidne (proteinske) substrate vplivajo na delovanje sorodnih SP z zmanjšanjem razpoložljivosti substrata za procesiranje. Slika je povzeta iz članka N. Zupanič *et al.*, *FEBS J.* (2022), doi: 10.1111/febs.16355.



Slika 3: Kity Požek s Krkino nagrado in v družbi s svojo somentorico dr. Adriano Leonardi na podelitvi 52. Krkinih nagrad. Kity Požek je prejela Krkino nagrado za magistrsko delo o podrobni karakterizaciji proteina VaaMPIII-3, prvega znanega predstavnika metaloproteinaznih proteinov podrazreda P-IIIe. Za isto delo je prejela tudi Prešernovo nagrado Univerze v Ljubljani.

raka je skoraj že končan (V. Kononenko *et al.*, v pripravi). Na tem področju naših raziskav smo tudi pripravili dva pregledna članka, od katerih je bil prvi že objavljen (V. Kononenko *et al.*, *Acta Biol. Slov.* 65 (2022), 5–17), drugi pa je zelo blizu oddaje (T. Bele *et al.*, v pripravi).

S področja raziskav sPLA₂ smo še objavili pregled patofiziološkega delovanja molekul sPLA₂ kot posledice njihove vezave na proteinske receptorje, torej, ko te delujejo kot ligandi in ne kot encimi, ki je slabo raziskano področje vse večjega pomena (A. Ivanušec *et al.*, *Int. J. Biol. Sci.* 18 (2022), 873–888).

V letu 2022 smo nadaljevali študije proteinov iz kačjih strupov, ki vplivajo na proces koagulacije krvi – hemostazo. V okviru raziskovalnega projekta J1-2475, ki ga je financirala Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS), smo raziskovali edinstven antikoagulantni homolog serinske proteaze iz modrasovega (*Vipera a. ammodytes*, Vaa) strupa, VaaSPH-1, v smeri priprave popolnoma novih in varnih zdravil z antikoagulantnim delovanjem. Iskali smo najboljše možne pogoje za izražanje VaaSPH-1 kot tudi njegovega vezavnega proteina, faktorja koagulacije krvi VIIIa (FVIIIa), v sesalski celični liniji HEK293-F. Vzporedno smo načrtovali nizkomolekulske antagoniste faktorja IX (FIX), pri čemer smo našli obetavnega peptidnega kandidata za testiranje njegovega delovanja *in vitro*. Na to temo smo pripravili tudi vabljeni pregledni članek o serinskih psevdoproteazah (N. Zupanič *et al.*, *FEBS J.* (2022), doi: 10.1111/febs.16355), kjer smo razkrili in razpravljali o dokaj zastopani možnosti neencimskega delovanja teh SP-molekul (slika 2).

Po naši objavi podrobnega opisa delovanja serinske proteaze VaaSP-VX, ki pospešuje strjevanje krvi z aktiviranjem tako FV kot FX, smo iz modrasovega strupa izolirali še strukturno zelo podobno molekulo VaaSP-6. Ker je znano celotno cDNA-zaporedje VaaSP-6, bomo ta protein pripravili v rekombinantni obliki, da ga podrobneje karakteriziramo. Upamo, da bo rekombinantni VaaSP-6 pokazal podobno prokoagulantno aktivnost kot VaaSP-VX in bi lahko nadomestil dokaj nezanesljivi razredčeni strup Russellovega gada (dRVV), ki se zdaj uporablja v klinikah za določanje lupusnih antikoagulantov (test LA).

Zaključili in objavili smo obsežno genetsko, biokemijsko in fiziološko karakterizacijo proteina VaaMPIII-3 iz modrasovega strupa (K. Požek *et al.*, *Toxins* 14 (2022), 232). Z analizo njegove genske zgradbe smo nedvoumno pokazali na strukturno posebnost tega proteina in predlagali uvedbo novega podrazreda metaloproteinaz kačjih strupov, podrazreda P-IIIe. Kity Požek je za svojo magistrsko nalogo, posvečeno VaaMPIII-3 – prvemu do zdaj znanemu proteinu podrazreda P-IIIe, prejela tako Krkino (slika 3) kot Prešernovo študentsko nagrado Univerze v Ljubljani.

V okviru našega večjega mednarodnega projekta sekvenciranja in analize genoma Vaa s Tehnično univerzo na Danskem in Pekinškim inštitutom za genomiko smo ocenili velikost njegovega genoma na 1,61 Gb. Več kot 47 % genoma modrasa obsegajo transpozicijski elementi, predvideno število proteinskih genov pa je blizu 22.000.

S kolegi s Centra za klinično toksikologijo in farmakologijo Univerzitetnega kliničnega centra Ljubljana (UKCL) smo v okviru ARRS-ovega raziskovalnega projekta J3-2534 raziskovali zanimiv klinični učinek pri bolnikih po zastrupitvi z modrasovim strupom, in sicer globoko, prehodno in reverzibilno trombocitopenijo funkcionalnih trombocitov. Pri trombemboličnih boleznih, kot sta miokardni infarkt in ishemična možganska kap, imajo trombociti osrednjo vlogo. Obstoječa protitrombocitna zdravila imajo en skupni stranski učinek – zmanjšano število trombocitov, katerih delovanje je zavrtlo. Takšno stanje pomeni veliko tveganje celo za smrtno nevarno krvavitev (hemoragijo), zlasti v interventni kardiologiji in angiologiji, ki uporabljata antitrombotični pristop. Naše ugotovitve bi lahko odprle pot razvoju nove skupine protitrombotičnih učinkovin, ki bi zmanjšale tveganje za nevarne krvavitve v interventni kardiologiji in angiologiji ter povečale učinkovitost vazodilatacije in odstranitve strdka. Kot smo pokazali, lahko reverzibilno trombocitopenijo pri bolnikih, zastrupljenih z modrasovim strupom, povzročajo kačji proteini, podobni lektinom tipa C (imenovani

tudi snacleci, izg. snekleki). V preteklem letu smo izolirali več snaclecov iz modrasovega strupa in pokazali, da je zlasti snavec 3/2 močan induktor trombocitopenije, ker se veže na trombocitni receptor GPIb. V sodelovanju s partnerji z Veterinarske fakultete Univerze v Ljubljani (VF/UL) smo začeli z *in vivo* študijo na mišjem modelu arterijske tromboze, da bi ugotovili, kakšen je potencial snacleca 3/2 za preprečevanje nastajanja krvnih strdkov in arterijske okluzije po eksperimentalno povzročeni žilni poškodbi, ter ocenili, kakšna je možnost za njegovo medicinsko uporabo. Trenutno sta v pripravi dva članka na to temo (M. Dobaja-Borak *et al.*, v pripravi; M. Žužek *et al.*, v pripravi).

V okviru raziskovalne mreže s strokovnjaki z UKCL, Univerzitetne bolnišnice in Univerze v Splitu, Univerze v Zagrebu (UZ) ter iz naše skupine smo analizirali vzorce krvi bolnikov, ki so bili zastrupljeni z modrasovim strupom in so jih zdravili z različnimi protistrupi. Priprava publikacije še poteka (T. Kurtović *et al.*, v pripravi).

Lipidni metabolizem in signalizacija

Raziskave na področju lipidnega metabolizma in signalizacije so osredotočene na vlogo lipidnih kapljic pri vnetni signalizaciji, avtofagiji in feroptozi. Naše delo je bilo usmerjeno na naslednja temeljna vprašanja biologije lipidov: (1) Kakšna je vloga organela lipidne kapljice pri razmeščanju maščobnih kislin v celici in uravnavanju oksidacije membran?, (2) Kako avtofagija sodeluje z lipolizo pri razgradnji lipidnih kapljic med hranilnim stresom? in (3) Ali so lipidne kapljice potrebne za proizvodnjo lipidnih mediatorjev vnetja?

Celice skrbno nadzorujejo oksidacijo lipidov, da uravnatežijo zeleno oksidativno pretvorbo polinenasičenih maščobnih kislin v lipidne signalne molekule z neželenimi peroksidacijskimi reakcijami, ki vodijo do nepravilnega delovanja membrane, vnetja in morebitne celične smrti. Oksidirani lizofosfolipidi se pojavljajo kot novi molekularni vzorci, povezani s poškodbami, ki spodbujajo sterilno vnetje in prispevajo k patologiji kroničnih in s staranjem povezanih bolezni. V preglednem članku (T. Petan & M. Manček-Keber, *Free Radic. Biol. Med.* 188 (2022), 351–362) smo zbrali in kritično ovrednotili dosedanje znanje o njihovi biosintezi in sproščanju iz celic, celičnih procesih, ki poganjajo njihov nastanek, ter njihovi (pato)fiziološki vlogi. Poleg tega smo v članku razpravljali o potencialni uporabi inhibitorjev fosfolipaz in oksidativnih encimov pri preprečevanju nastanka oksidiranih lizofosfolipidov, kar bi lahko oživilo klinične raziskave z obstoječimi inhibitorji in spodbudilo razvoj novih strategij za zdravljenje vnetnih bolezni.

V letu 2022 smo zaključili naše eksperimentalno delo o vlogi lipidnih kapljic pri produkciji lipidnih signalnih molekul. Uspelo nam je pokazati, da lipidne kapljice poganjajo proizvodnjo mitogenih lipidnih mediatorjev v rakavih celicah ne le v celični kulturi, ampak tudi v ksenograftnih modelih tumorjev. Omenjeno delo je bilo pred kratkim poslano v objavo in je še v pregledu (E. Jarc Jovičič *et al.*, *bioRxiv* (2022), 2021.11.25.470010). V sodelovanju s sodelavci z Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani (BF/UL) smo proučevali možno vlogo lipidnih kapljic pri zaščiti endotelijskih celic pred nanodelci železovega oksida (N. Repar *et al.*, *Int. J. Mol. Sci.* 23 (2022), 6972). Ugotovili smo, da indukcija biogeneze lipidnih kapljic ni potrebna za samo sposobnost eksogenih mononenasičenih maščobnih kislin, kot je oleinska kislina, za zaščito pred stresom, ki ga povzročajo nanodelci. Sodelovali smo tudi pri študiji, usmerjeni v znotrajcelično razmeščanje herpes virusov (M. Mavri *et al.*, *Front. Endocrinol.* 13 (2022), 862940).

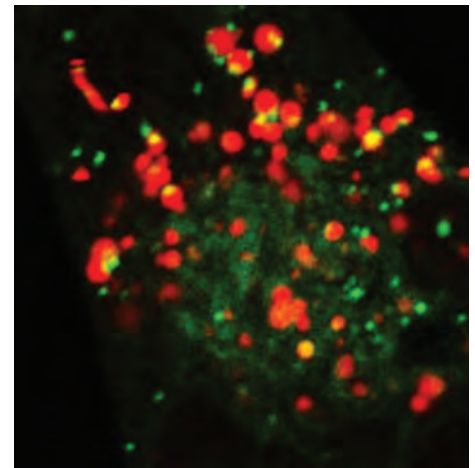
Svoje delo smo predstavili na več mednarodnih konferencah in delavnicah, med drugim na vabljenih predavanjih na 17th GERLI Lipidomics Meeting v Nici v Franciji in na Training School in Lipid Metabolism na Tehnični univerzi v Dresdnu v Nemčiji.

Visokozmogljivostna genetika in funkcijska genomika pri običajni kvasovki *Saccharomyces cerevisiae*

Običajna kvasovka *Saccharomyces cerevisiae* je dobro uveljavljen modelni organizem za temeljne raziskave in hkrati pomembna celična tovarna v biotehnologiji. V zadnjem času je postala tudi pomemben dejavnik v sintezni biologiji za sestavljanje fragmentov DNA *in yeasto* na osnovi homologne rekombinacije. Po našem predhodnem razvoju različnih tehnik za analizo poligenetskih lastnosti v kvasovki smo začeli v zadnjem času pripravljati molekularna orodja za hierarhično sestavljanje molekul DNA s kombiniranim *in vitro* in *in yeasto* pristopom.

V okviru ARRS-ovega projekta L4-3181, *Hierarhično sestavljanje DNA za napredno uporabo v proizvodnji biofarmaceutikov in celični terapiji*, smo razvili orodja za sestavljanje kombinacij genetskih elementov

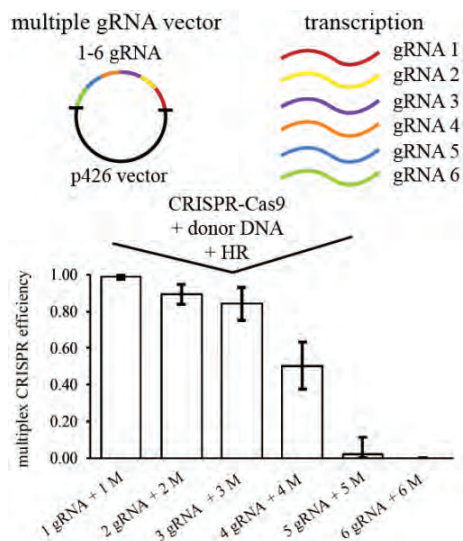
Živalski strupi so bogat vir novih učinkovin in molekularnih orodij za izboljšanje zdravja ljudi in živali.



Slika 4: Kolokalizacija lipidnih kapljic z avtofagosomi v stradajočih rakavih celicah. Celice so bile slikane *in vivo* s konfokalno mikroskopijo; lipidne kapljice so obarvane z barvilom BODIPY 493/503 (zeleno) in avtofagosomne strukture z označevalnim proteinom LC3, spojenim z rdečim fluorescenčnim proteinom (rdeče). Prekrivajoči se signali (rumeni) obeh organelov kažejo, da se lipidne kapljice razgradijo z avtofagijo. Slika je posnela naša doktorska študentka Spela Koren.

Usmerjanje lipidnih kapljic kot osrednjih upravljavcev metaboličnih procesov in delovanja membrane za nadzor celičnega življenja in smrti.

Genetika kvasovk, funkcionalna genomika in sintezna biologija za osnovne raziskave in biotehnologijo.



Slika 5: Multipleks CRISPR-Cas9 za do pet uspešnih sočasnih urejanj gena. Konstrukti za izražanje posameznih gRNA so bili sestavljeni kot BioBricks, nato je bila izvedena evalvacija enojnih in multipleksnih sistemov CRISPR-Cas9 gRNA (G. Žun *et al.*, *Yeast* (2023), doi: 10.1002/yea.3833).

plazmide in manjše genome. Omenjeni pristop je mogoče kombinirati tudi z mnogokratnimi sistemi CRISPR-Cas za nadaljnje urejanje gena. Objavili smo raziskovalni članek, v katerem opisujemo našo študijo za evalvacijo natančnega ciljanja več lokusov hkrati z uporabo mnogokratnega sistema CRISPR-Cas9 (G. Žun *et al.*, *Yeast* (2023), doi: 10.1002/yea.3833; sprejet v letu 2022). Ena od značilnosti te študije je sistem CRISPR-Cas9, ki omogoča hkratno urejanje do 5 genomskih lokusov (slika 5). Poleg mnogokratnega CRISPR-Cas9 smo v letu 2022 začeli razvijati metode za preurejanje epigenoma in za urejanje gena (genome editing), kjer sami izberemo specifične mehanizme popravljanja celične DNA. Naša znanja in izkušnje pri urejanju gena z metodami CRISPR-Cas9 so imela pomembno vlogo v raziskovalnem projektu pod vodstvom dr. Giannija Litija (CNRS, Francija), rezultati katerega so bili objavljeni v članku z naslovom Domestication reprogrammed the budding yeast life cycle v prestižni reviji *Nature Ecology & Evolution* (M. De Chiara *et al.*, *Nat. Ecol. Evol.* 6 (2022), 448–460).

Na področju biotehnoških raziskav smo pregledali več kot 1.400 sevov t. i. nekonvencionalnih kvasovk glede sposobnosti shranjevanja velike količine lipidov iz kratkoveržnih maščobnih kislin kot glavnega vira ogljika. Pri tem smo identificirali nekaj potencialno biotehnoško zanimivih sevov. To delo je bilo opravljeno v sodelovanju z našimi partnerji v projektu ERACoBioTech OLEOFERM (<https://oleoferm.eu/>).

Naravni habitati so najpomembnejši viri sevov kvasovk z biotehnoško zanimivimi lastnostmi in v okviru teh raziskav smo sodelovali v konzorciju avtorjev preglednega članka z naslovom Yeasts from temperate forests (S. Mozzachiodi *et al.*, *Yeast* 39 (2022), 4–24), pri katerem smo sodelovali v delu, ki opisuje izolacijo biotehnoško obetavnih sevov kvasovk.

Evolucijska genomika

Močeril ali proteus (*Proteus anguinus*) je jamska dvoživka z izjemnimi morfološki in fiziološkimi prilagoditvami na podzemno okolje, z regenerativno sposobnostjo, visoko odpornostjo na dolgotrajno stradanje in življenjsko dobo, ki lahko preseže 100 let. Pred nekaj leti je bil ustanovljen poseben mednarodni konzorcij Proteus Genome Research Consortium (<http://proteusgenome.com>) za reševanje izziva sekvenciranja gena proteusa in njegovih izbranih transkriptomov. V okviru ARRS-ovega projekta J1-2469, ki ga vodijo naši sodelavci na BF/UL, smo sodelovali z analizo genomskih in transkriptomskih podatkov. Prvi objavljeni članek na to temo podaja znanstveno in biomedicinsko utemeljitev za raziskovanje gena proteusa ter opisuje možne rezultate, izzive in metodološke pristope, potrebne za analizo in označevanje gena te edinstvene dvoživke (R. Kostanjšek *et al.*, *Ann. NY Acad. Sci.* 1507 (2022), 5–11). Sredi leta 2022 so na Pekinškem inštitutu za genomiko pripravili prvi osnutek sestave ogromnega gena proteusa, ki je s svojimi 34 Gb med največjimi genomi, kadarkoli sekvencioniranimi, več kot 10-krat večji od človeškega gena. Poleg analize njegovih transpozicijskih elementov (TE) sodelujemo pri raziskavah različnih jamskih prilagoditev, pri analizi kemosenzoričnega sistema te slepe živali, njenega repertoarja receptorjev, vezanih na G-protein (GPCR), kot tudi zaščitnih sistemov gena pred TE (geni *APOBEC*, *SCAN-ZNF* in *KRAB ZNF*). Z genomske podatke smo posodobili tudi nekatere naše prejšnje ugotovitve, pridobljene na podlagi transkriptomskih zaporedij (npr. o vohalnih receptorjih, vomeronazalnih receptorjih V1R in V2R ter receptorjih za okus).

Ob uporabi obsežnih proteomskih, transkriptomskih in genomskih podatkov za arheje, bakterije in evkarionte smo opravili tudi poglobljeno analizo papainske naddružine cisteinskih peptidaz. Iz nje izhajajoča objava, ki bo omogočila nove vpoglede v izvor, razvoj in razvrstitev omenjenih peptidnih encimov, je v pripravi (D. Kordiš & V. Turk, v pripravi).

Druga področja

V letu 2022 smo sodelovali tudi pri različnih projektih zunaj tematskega okvira našega odseka, podprtih s strani ARRS ali drugih financerjev. V nadaljevanju so navedeni le tisti projekti, pri katerih so objave že pripravljene.

V okviru ARRS-ovega projekta J1-2482 (nosilna ustanova: BF/UL) smo z masno spektroskopijo ugotavljali vpliv okoljsko pomembne nano- in mikroplastike na kopenske vretenčarje. Izvedli smo proteomsko analizo hemolimfe kopenskega raka *Porcellio scaber* in razkrili komponente njegove prirodne imunosti v izhodiščnih pogojih (A. Jemec Kokalj *et al.*, poslano v objavo).

Kot partnerji pri ARRS-ovem projektu J2-3040 na temo magnetno-nadzorovanih nanonosilcev, ki posnemajo delce endogenih lipidov za izboljšanje dostave zdravil/nanodelcev, smo sodelovali pri analizi učinkov barijheksaferitnih nanoploščic v nizkofrekvenčnem magnetnem polju na rakave celice (T. Goršak *et al.*, v pripravi).

Z več skupinami doma in v tujini smo sodelovali neformalno. Pri raziskovanju mehanizma nastanka in morfogeneze biomineralnih nanostruktur lupine školjke Noetova barčica (*Arca noae*) smo pomagali sodelavcem z Instituta Ruđer Bošković in z UZ. Izvedli smo strukturno identifikacijo beljakovinskih komponent lupine, ki so potencialno vključene v proces biomineralizacije (I. Sondi *et al.*, v pripravi).

Evolucijska, genomska in strukturno-funkcionalna analiza proteaz in njihovih homologov. Genomska in transkriptomska analiza jamskih prilagoditev, kemosenzoričnega sistema in ponavljajoče se DNA.

V raziskavi, ki so jo vodili sodelavci s Fakultete za elektrotehniko UL (FE/UL), smo s proteomskim pristopom analizirali sestavo proteinske korone nanodelcev, da bi pojasnili njihov toksični vpliv na človeški imunski sistem (M. Pavlin *et al.*, *Int. J. Mol. Sci.* 23 (2022), 6197).

Na povabilo odgovornega urednika revije *Acta Biologica Slovenica* je bil pripravljen pregledni članek o masni spektrometriji v raziskavah kačjih strupov (A. Leonardi, *Acta Biol. Slov.* 65 (2022), 5–25).

Kolegom z MF/UL smo priskočili na pomoč pri izvajanju konfokalno-mikroskopske analize pri funkcionalni validaciji nanotelesa α -FREM2 kot molekulskega orodja za specifično ciljanje na izvorne celice glioblastoma (N. Šamec *et al.*, poslano v objavo). Na istem področju smo skupaj s kolegi iz Nacionalnega inštituta za biologijo v Ljubljani pripravili obsežno analizo bioaktivnih peptidov iz strupov proti napredovanju glioma (B. Majc *et al.*, *Front. Oncol.* 12 (2022), 965882).

Najpomembnejše objave v preteklem letu

- De Chiara, M., Barré, B. P., Persson, K., Irizar, A., Vischioni, C., Khaiwal, S., Stenberg, S., Chioma Amadi, O., Žun, G., Doberšek, K., Taccioli, C., Schacherer, J., Petrovič, U., Warringer, J. and Liti, G., Domestication reprogrammed the budding yeast life cycle, *Nature Ecology & Evolution*, 2022, 6, 448–460
- Požek, K., Leonardi, A., Pungerčar, J., Rao, W., Gao, Z., Liu, S., Laustsen, A. H., Trampuš Bakija, A., Reberšek, K., Podgornik, H. and Križaj, I., Genomic confirmation of the P-IIIe subclass of snake venom metalloproteinases and characterization of its first member, a disintegrin-like/cysteine-rich protein, *Toxins*, 2022, 14, 4, 232
- Ivanušec, A., Šribar, J., Leonardi, A., Zorović, M., Živin, M. and Križaj, I., Rat group IIA secreted phospholipase A₂ binds to cytochrome c oxidase and inhibits its activity: A possible episode in the development of Alzheimer's disease, *International Journal of Molecular Sciences*, 2022, 23, 20, 2022
- Zupanič, N., Počič, J., Leonardi, A., Šribar, J., Kordiš, D. and Križaj, I., Serine pseudoproteases in physiology and disease, *FEBS Journal*, 2022, doi: 10.1111/febs.16355
- Kostanjšek, R., Diderichsen, B., Recknagel, H., Gunde-Cimerman, N., Gostinčar, C., Fan, G., Kordiš, D., Trontelj, P., Jiang, H., Bolund L. and Luo, Y., Toward the massive genome of *Proteus anguinus*, illuminating longevity, regeneration, convergent evolution and metabolic disorders, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2022, 1507, 1, 5–11
- Petan T. and Manček-Keber M., Half is enough: Oxidized lysophospholipids as novel bioactive molecules, *Free Radical Biology and Medicine*, 2022, 188, 351–362

Nagrade in priznanja

- Špela Koren, Krkina posebna pohvala, Novo mesto, Krka, d. d., magistrska naloga z naslovom *Povezave med lipidnimi kapljicami in autofagijo v rakavih celicah, izpostavljenih stresu*
- Kity Požek: Krkina nagrada, Novo mesto, Krka, d. d., magistrska naloga z naslovom *Izolacija in karakterizacija proteina VaaMPIII-3 iz modrasovega strupa*
- Kity Požek: Prešernova nagrada študentkam in študentom Univerze v Ljubljani, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, magistrska naloga z naslovom *Izolacija in karakterizacija proteina VaaMPIII-3 iz modrasovega strupa*

MEDNARODNA PROJEKTA

- COST CA19144 - EUVEN; Evropska mreža za raziskavo strupov
COST Association AISBL; prof. dr. Igor Križaj
- COST CA19105 - LipidNET - Panevropska mreža za lipidomiko in epilipidomiko
COST Association AISBL; prof. dr. Toni Petan

PROGRAM

- Toksini in biomembrane
prof. dr. Igor Križaj

PROJEKTI

- Proteinski kompleksi iz glivnega rodu *Pleurotus* kot novi biopesticidi za zatiranje koloradskega in koruznega hrošča
prof. dr. Igor Križaj
- Uporaba malega proteina bakteriofaga v boju proti razvoju odpornosti proti antibiotikom pri bakteriji *Staphylococcus aureus*
prof. dr. Igor Križaj

- Genomski in transkriptomski vpogled v edinstveno biologijo človeške ribice (*Proteus anguinus*)
prof. dr. Dušan Kordiš
- Vpliv okoljsko relevantne nano- in mikro-plastike na kopenske nevretenčarje
prof. dr. Igor Križaj
- Vnetni proces pri intersticijskem cistitisu in ovrednotenje delovanja agonistov kanabinoidnih receptorjev sečnega mehurja – od celic do pacienta
prof. dr. Igor Križaj
- Reverzibilnost prehodne trombocitopenije izzvane s komponento kačjega strupa ponuja varno antitrombotično preventivo v interventni angiologiji in kardiologiji
prof. dr. Igor Križaj
- Vpliv bakteriofaga na razvoj in larvicidno aktivnost bakterije *Bacillus thuringiensis* s parazitizmu podobno modulacijo
prof. dr. Igor Križaj
- Prilagoditve vinskih kvasovk na podnebne spremembe
prof. dr. Uroš Petrovič
- Tarčno ciljanje metabolizma lipidnih kapljic za učinkovito zmanjševanje odpornosti rakavih celic na stres
prof. dr. Toni Petan
- Razvoj inovativnega zdravila za venosno tromboembolijo na osnovi unikatnega antikoagulantna iz kačjega strupa
prof. dr. Igor Križaj
- S posnemanjem endogenih lipidnih delcev do magnetno-odzivnih nanostruktur za izboljšano dostavo zdravil in nanodelcev
prof. dr. Igor Križaj

12. Razvoj kontrole kvalitete in tehnologije za medicinskih stroškovcev med prof. dr. Igor Križaj
13. Hierarhično sestavljanje DNA za napredno uporabo v proizvodnji biofarmaceutikov in celični terapiji prof. dr. Uroš Petrovič
14. Lipidne kapljice kot viri vnetnih lipidnih mediatorjev pri raku dr. Eva Jarc Jovičič
15. Medsebojni vpliv lipolize in lipofagije pri regulaciji ferroptoze pri raku Mauro Danielli, PhD.

16. OLEOFERM - Trajnostna proizvodnja oleokemikalij z oljno fermentacijo karboksilatov Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport prof. dr. Uroš Petrovič

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

1. Sofinanciranje L-projekta: Hierarhično sestavljanje DNA za napredno uporabo v proizvodnji biofarmaceutikov in celični terapiji Jafra, d. o. o.; prof. dr. Uroš Petrovič

OBISKI

1. prof. dr. Charles Boone, Univerza v Torontu, Kanada, 25. 9.-2. 10. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Anja Pavlin, Biotehniška fakulteta, UL: Small bacteriophage protein determines hierarchy over co-residential jumbo phage and influences its host biology, 20. 1. 2022
2. Maja Hostnik, Biotehniška fakulteta, UL: A method for targeting a specified segment of DNA to a bacterial microcompartment, 20. 1. 2022
3. Špela Koren: Autophagy is involved in lipid droplet breakdown in serum-starved breast cancer cells, 17. 2. 2022
4. Ana Kump: Lipid droplets modulate ferroptosis sensitivity in cancer cells, 17. 2. 2022
5. dr. Veno Kononenko, Biotehniška fakulteta, UL: Testing nAChR antagonists and nanodelivery systems for the development of a novel lung cancer treatment strategy, 17. 3. 2022
6. Tadeja Bele: Effects of selected α 7-nicotinic acetylcholine receptor antagonists on lung cancer cells, 17. 3. 2022
7. Larisa Lara Popošek, Biotehniška fakulteta, UL: The quest for new lipid-binding proteins and biotechnological applications, 21. 4. 2022
8. Adrijan Ivanušec: Interaction between secreted phospholipases A₂ and mitochondria, 21. 4. 2022
9. Mia Žganjar: Wild yeast selection and identification for microbial oils production from short-chain fatty acids (SCFAs), 19. 5. 2022
10. Jerneja Nimac: Protein interactions of human MATR3, 16. 6. 2022
11. Ana Maklin, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo, UL: The influence of Sig-1R on aggregation of TDP-43 in neurodegeneration, 16. 6. 2022
12. Klavdija Fortuna, Biotehniška fakulteta, UL: Bioinsecticidal potential of aegerolysin proteins from mushrooms of the genus *pleurotus* and their mutants, 16. 6. 2022

13. Gašper Žun: Highlights of CRISPR-Cas9 in yeast *Saccharomyces cerevisiae*, 22. 9. 2022
14. Leja Perne: Lipid droplets and the regulation of ferroptosis in cancer cells, 20. 10. 2022
15. Anja Pavlin, Biotehniška fakulteta, UL: Gp1: A novel repressor of the temperate phage GIL01 lytic cycle, 20. 10. 2022
16. Katja Doberšek, Tina Zavodnik, Gašper Žun, dr. Mauro Danielli: SARS-CoV-2 ORF8 protein's human protein interactors and covid-19 pathology, 17. 11. 2022
17. Kity Požek: Serine protease VaaSP-6 from the nose-horned viper venom and its effect on blood coagulation, 15. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Mauro Danielli, Toni Petan, Leja Perne: Lipid metabolism summer school 2022, Dresden, Nemčija, 9. 5.-13. 5. 2022 (3)
2. Špela Koren: 17th Symposium Centre for Functional Genomics and Bio-Chips, Ljubljana, Slovenija, 6. 6. 2022
3. Špela Koren, Toni Petan: EpiLipidNet COST sestanek in konferenca, Aveiro, Portugalska, 21. 9.-23. 9. 2022 (2)
4. Igor Križaj, 9th International Toxinology Meeting - Venoms and Toxins 2022, Oxford, Združeno kraljestvo, 23. 8.-25. 8. 2022 (virtualno) (1)
5. Igor Križaj, 21st World Congress of the International Society on Toxinology, Abu Dhabi, Združeni Arabski Emirati, 15. 10.-22. 10. 2022 (1)
6. Toni Petan: GERLI 17th Lipidomics meeting, Nica, Francija, 6. 11.-9. 11. 2022 (1)
7. Uroš Petrovič, 15th Yeast Lipid Conference, Gothenburg, Švedska, 1. 6.-3. 6. 2022 (1)
8. Leja Perne, redna letna skupščina Slovenskega fiziološkega društva (SFD) s seminarji SFD, Ljubljana, 9. 6. 2022
9. Kity Požek: Mini simpozij: Podarimo strukturno biologijo mladim, Ljubljana, 28. 9. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Dušan Kordiš
2. **prof. dr. Igor Križaj, znanstveni svetnik - vodja odseka**
3. doc. dr. Adrijana Leonardri
4. prof. dr. Toni Petan
5. prof. dr. Uroš Petrovič*
6. prof. dr. Jože Pungercar
7. dr. Jernej Šribar

Podoktorski sodelavci

8. Mauro Danielli, PhD.
9. dr. Eva Jarc Jovičič
10. dr. Nina Mikec

Mlajši raziskovalci

11. Tadeja Bele, MSc, R. Avstrija
12. Adrijan Ivanušec, mag. mol. funkc. biol.
13. Špela Koren, mag. biokem.
14. Kity Požek, mag. biokem.
15. Mia Žganjar, mag. biokem.
16. Gašper Žun, mag. biokem.

Strokovni sodelavci

17. Katja Doberšek, mag. biokem.
18. Leja Perne, mag. mol. funkc. biol.

Tehniški in administrativni sodelavci

19. Igor Koprivec
20. Vahida Suljić
21. mag. Maja Šimaga

Opomba

- * delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Banat University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Faculty of Veterinary Medicine, Temisvar, Romunija

2. Biomedicine Institute of Valencia, Valencia, Španija
3. Commissariat à l'Energie Atomique-Saclay, Saclay, Francija
4. The Centre National de la Recherche Scientifique, Gif-sur-Yvette, Francija
5. Federation of European Biochemical Societies (FEBS)
6. Institute für Molekulare Biowissenschaften, Karl-Franzens-Universität, Graz, Avstrija
7. Institute for Wine Biotechnology Faculty of AgriSciences, Stellenbosch University, Južna Afrika
8. Institut Pasteur, Pariz, Francija
9. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška
10. Kemijski inštitut, Ljubljana
11. Klinična bolnica Split, Hrvaška
12. Lek, d. d., Ljubljana
13. National University of Singapore, Singapur
14. Sofia University St. Kliment Ohridski, Sofija, Bolgarija
15. University of California, San Francisco, Združene države Amerike
16. University of Frankfurt, Frankfurt, Nemčija
17. University of Leuven, Leuven, Belgija
18. University of Milan, Institute of Endocrinology, Milano, Italija
19. University of Strathclyde, Glasgow, Škotska, Velika Britanija
20. University of Toronto, Terrence Donnelly Centre for Cellular and Biomolecular Research, Toronto, Kanada
21. University of Utrecht, Utrecht, Nizozemska
22. University of Virginia School of Medicine, Charlottesville, Virginia, Združene države Amerike
23. Univerza v Beogradu, Institut za molekularno genetiko i genetičko inženjerstvo, Srbija
24. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
25. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
26. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
27. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko
28. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta
29. Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta
30. Univerza v Mostaru, Medicinska fakulteta, Mostar, Bosna in Hercegovina
31. Univerza v Tuzli, Fakulteta za farmacijo, Tuzla, Bosna in Hercegovina
32. Univerza v Zagrebu, Centar za istraživanje i prijenos znanja u biotehnologiji, Zagreb, Hrvaška
33. Univerza v Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, Hrvaška
34. Univerzitetni klinični center, Pediatrična klinika, Ljubljana

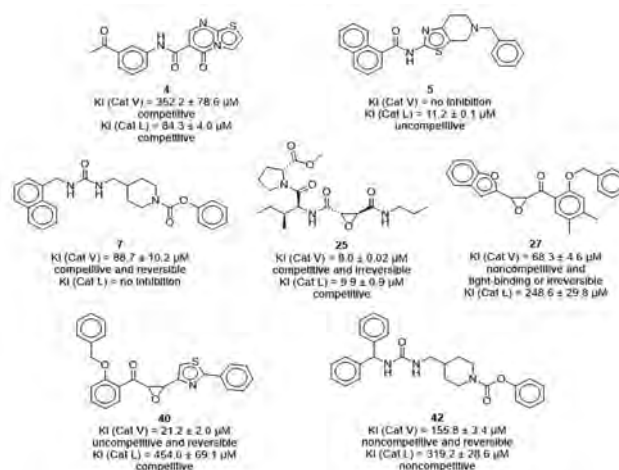
Na Odseku za biotehnologijo z uporabo modernih biotehnoloških metod proučujemo molekule živalskega, rastlinskega, glivnega in mikrobiološkega izvora. Želimo jih uporabiti v diagnostične in terapevtske namene v humani in veterinarski medicini, za zaščito rastlin, pripravo kakovostne in varne hrane ter za varovanje okolja, hkrati pa prispevati k izboljšanju zdravja ljudi in okolja, v katerem živimo. Naše raziskovalno delo je še posebej usmerjeno v proučevanje procesov pri napredovanju raka in imunskem odzivu, neurodegenerativnih procesov, mehanizmov delovanja gliv ter v iskanje novih biotehnoloških pristopov in produktov.



Vodja:
prof. dr. Boris Rogelj

Regulacija protitumorskega imunskega sistema

V letu 2022 smo nadaljevali raziskave na področju vloge peptidaz in njihovih inhibitorjev pri regulaciji protitumorskega imunskega sistema. Pri tem smo se osredotočili na delovanje peptidaznega inhibitorja cistatina F. Ta je pomemben modulator celične citotoksičnosti naravnih celic ubijalk (NK) in citotoksičnih limfocitov T (CTL). Ugotovili smo, da v tumorskem mikrookolju različne celice izražajo in izločajo neaktiven dimerni cistatin F, ki se nato lahko prevzame v citotoksične celice, se v njih aktivira in zmanjša citotoksično delovanje. Rezultate smo objavili v reviji *Biomedicines*. S sodelavci na UCLA, Los Angeles smo uporabili humanizirani mišji model BLT za testiranje delovanja cistatina F na supervzbujene NK celice, pri čemer smo z uporabo proteomskih metod testirali izražanje cistatina F v tumorskih in imunskih celicah. Supervzbujene NK celice smo uporabili tudi v sekvenčni terapiji v kombinaciji z inhibitorji imunskih kontrolnih točk (protitelesa proti PD-1) in cisplatinom ter dokazali večjo učinkovitost kombinacije kot posamezne terapije. Rezultate smo objavili v reviji *Frontiers in immunology*. Ker je cistatin F pomemben mediator protitumorskega imunskega odgovora in s tem pomembna tarča za izboljšanje imunoterapije raka, smo pripravili inhibitorje katepsina V, peptidaze, ki aktivira cistatin F iz neaktivne dimerne oblike v aktivno monomerno obliko. Za spojino 7 smo dokazali, da učinkovito zavre delovanje katepsina V in močno poveča citotoksičnost NK celic ter s tem njihovo protitumorsko delovanje (članek v *Computational and Structural Biotechnology Journal*). Protitumorski učinek smo določali tudi inhibitorjem katepsinov X in B, ki sta udeležena pri tumorski migraciji, invaziji in metastaziranju. *In vitro* in na *in vivo* mišjih modelih smo potrdili njuno sinergistično delovanje in pokazali, da je za učinkovito preprečevanje napredovanja malignih bolezni potrebna hkratna uporaba specifičnih inhibitorjev obeh peptidaz. Rezultate smo objavili v članku v reviji *Cellular and molecular life sciences*. Pri katepsinu X smo določili tudi njegovo povezanost z delovanjem gama enolaze in dokazali, da katepsin X regulira njeno preživetveno funkcijo pri pacientih s kolorektalnim rakom. Rezultate smo objavili v članku v reviji *Journal of biotechnology and biomedicine*.



Slika 1: Novi inhibitorji katepsina V, ki povečajo citotoksičnost NK celic in s tem njihovo protitumorsko delovanje.

Endogeni in eksogeni inhibitorji lizosomskih cisteinskih peptidaz so ključni regulatorji protitumorskega imunskega odziva.

Raziskave, povezane s covidom-19

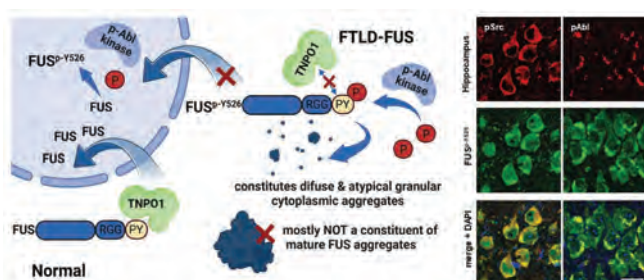
Dokončali smo tudi raziskave na področju vloge cisteinskih peptidaz pri replikaciji SARS-CoV-2 virusa. Pri tem smo ugotovili, da so iz našega nabora inhibitorjev učinkoviti predvsem specifični inhibitorji katepsina B, med drugim antibiotik nitroksolin. Dokazali smo, da različne variante SARS-CoV-2 uporabljajo različne načine vnosa virusa v gostiteljske celice, pri sevu omikron prevladuje vnos z endocitozo, pri kateri imajo ključno vlogo gostiteljske lizosomske cisteinske peptidaze. Še posebej pomemben pri tem vnosu se je izkazal katepsin B, njegovi inhibitorji pa bi lahko bili ključni pri zaviranju vnosa in virusne proliferacije. Rezultati, ki smo jih dobili v sodelovanju s kolegi na ICGEB v Trstu, so v tisku, vložili smo tudi dve mednarodni patentni prijavi. S sodelavci Univerze v Debrecenu smo testirali derivate teicoplanina z dualno protimikrobno in protivirusno vlogo ter jim določili učinek proti virusu SARS-CoV 2. Rezultate smo objavili v reviji *Scientific reports*.

Molekularne osnove neurodegeneracije

S staranjem prebivalstva in pomanjkanjem učinkovite terapije postajajo neurodegenerativne bolezni eden od vodilnih vzrokov smrti po vsem svetu. Na tem področju je naš glavni poudarek na izbranih genih in proteinih (TDP-43, FUS, C9orf72, SFPQ, MATR3 ...), povezanih z amiotrofično lateralno sklerozo (ALS), frontotemporalno demenco (FTD) in Alzheimerjevo boleznijo (AD). Večina teh genov je na nek način povezana z biogenezo, predelavo, transportom in razgradnjo RNA. Proučujemo jedrni transport, odziv celice na stres in makromolekularne interakcije, ki vodijo do napačne lokalizacije in agregacije teh proteinov.

V preteklem letu smo nadaljevali študij proteinskih interaktorjev FUS, ki so potencialno odgovorni za njegovo toksičnost v citoplazmi in smo jih že leta 2021 identificirali z metodo bližnjega označevanja BioID2. Za funkcionalno ovrednotenje njihove vloge pri agregaciji FUS ali FUSdNLS (brez NLS) v celicah smo zato ustvarili stabilne linije Flp-In HEK293 in Flp-In SH-SY5Y celic, ki izražajo fluorescentno označene proteine: mScarlet-FUS (NeonGreen-FUS) in mScarlet-FUSdNLS (NeonGreen-FUSdNLS) ali samo mScarlet (NeonGreen). Z bioinformatičnimi analizami so bili predhodno identificirani interaktorji NUDT21 (Nudix hidrolaza 21, podenota cepitvenega faktorja), RBMX (protein z RNA vezavnim motivom X) in STAU2 (protein Staufen 2, ki veže dvoverižno RNA), od katerih nam je le za slednjega uspelo dokazati popolno izločitev iz jedra in privzem v agregate v citoplazmi s FUSdNLS, kar nakazuje, da FUS mutacije in posttranslacijske modifikacije v regiji dNLS motijo proces transporta mRNA, pri katerem sodeluje STAU2, v celicah in nevronih. Motnje v tem procesu lahko upočasnijo pravilno prevajanje proteinov na distalnih mestih (sinapse), kar verjetno prispeva k poteku neurodegeneracije. V okviru študije posttranslacijske modifikacije FUS NLS, fosforilacije njegovega C-terminalnega tirozina (FUS^{p-Y526}), ki potrjeno tudi z naše strani prispeva k citoplazemski lokalizaciji FUS, smo proučevali učinek FUS^{p-Y526} na tvorbo citoplazemskih agregatov v različnih nediferenciranih

(HEK293T) in diferenciranih (SH-SY5Y in NCS34) celičnih linijah, ki so izražale konstitutivno aktivne kinaze družine Src. Za Abl in Src kinazo je bila solokalizacija s FUS^{p-Y526} v nadaljevanju potrjena *in vivo* v mišjih možganih, kjer smo zaznali od tipa kinaze odvisen vzorec citoplazemske lokalizacije FUS^{p-Y526}. Za določitev sprememb v interaktomu proteina TDP-43 med tvorbo in razpadom stresnih granul smo ovrednotili štiri celične linije Flp-In HEK293, ki imajo v genom vključen zapis za različne oblike proteina TDP-43 v fuziji z askorbat peroksidazo (APEX2). Lokalizacijo fuzijskih proteinov z APEX in lokalizacijo interakcijskih partnerjev (SFPQ, NONO, ATXN2L in PUM1) smo določili z imunocitokemijsko analizo. Poleg tega smo pripravili jedrno in citoplazemsko frakcijo ter določili razlike med razporeditvijo interakcijskih proteinov PUM1, ATXN2L, MAML, SFPQ in NONO v obeh frakcijah v prisotnosti dNLS-TDP43 oziroma wtTDP-43. V naši študiji, objavljeni v reviji *Brain*, smo se osredotočili na polipeptide, ki nastajajo pri prevajanju mutiranega števila G4C2 ponovitev v genu C9orf72 in se kopičijo v celicah kot agregati, za katere je znano, da vodijo v odmiranje celic pri neurodegenerativnih obolenjih. Letos smo nadaljevali raziskovanje mutacije C9orf72 in vpliva ponovitev C4G2 na delovanje



Slika 2: Aktivne kinaze iz družine Src (pSrc in pAbl) fosforilirajo C-terminalni tirozin FUS (FUS^{p-Y526}) in solokalizirajo s fosforiliranim FUS v citoplazmi nevronov hipokampusa v mišjih možganih, potrjeno z imunohistokemijskim barvanjem (desno).

Dipeptidna ponovitev polyGA iz mutacije C9orf72 ovira pot autofagije.

fenilalanin-tRNA sintetaze (FARS). Pokazali smo, da pride do zmanjšanja ravni, napolnjene tRN^{phe} v prisotnosti ponovitev, in zmanjšanja ravni izražanja fenilalanin bogatih proteinov v limfoblastih s C9orf72 mutacijo v primerjavi s kontrolami. Razvili smo protokol za click-kemijo s pomočjo mutiranega proteina FARSA, s katerim smo pokazali, da pride do globalnega zmanjšanja izražanja proteinov s fenilalaninom. Dodatno smo pokazali, da zmanjšano izražanje proteina FARSA s pomočjo utišanja pripelje do zmanjšanja izražanja fenilalanin bogatih proteinov v celicah HEK293. Zdaj se osredotočamo na opazovanje tega učinka v motoričnih nevronih, diferenciranih iz IPS celic, diferenciranih mišjih NSC-34 celicah in vzorcih možganov pacientov s to mutacijo.

Nadaljevali smo pripravo novih konstruktov za izražanje in izolacijo proteinov, ki sestavljajo paraspekle (SFPQ, NONO, FUS, TDP-43, HNRNPH1, RBM14, PABPC1, SMARCA4, DAZAP1, HNRNPK). Za proteine SFPQ, FUS, NONO in TDP-43 smo naredili začetne poskuse izolacije proteinov, ki kažejo uspešno izražanje v bakterijah *E. coli*. Protein HNRNPH1 smo uspešno izrazili in izolirali iz bakterij v zadostni količini, da smo ga lahko uporabili za poskuse. Z uporabo termoforeze smo pokazali, da se protein veže na enoverižne DNA ponovitve G4C2, ki so značilne pri C9orf72 ALS/FTD, in dodatno razvije vijačnico.

Sindrom Prader Willi in RNA biologija

V sklopu projekta smo dodatno optimizirali protokol za COMRADES, ki ga uporabljamo za pridobivanje podatkov o interaktorjih SNORD116. Ker s prejšnjim protokolom nismo mogli dobiti primerne količine željene RNA za nadaljnje raziskave, smo se odločili za novo metodo, kako obogatiti RNA SNORD116 in interaktorje. V protokol smo dodali vmesno stopnjo, kjer bomo z DNA začetnimi oligonukleotidi povlekli RNA iz lizata SHSY5Y celic in obogatitev

opazovali s qPCR. Protokol smo v prejšnjem letu optimizirali in ga bomo uporabili za pridobitev zadostne količine vzorca za analizo z masno spektrometrijo.

Probiotiki

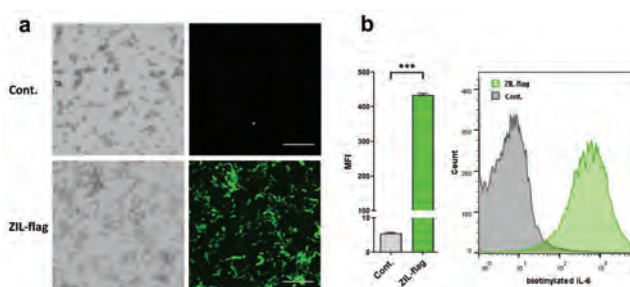
Motena proizvodnja citokinov ima pomembno vlogo pri patogenezi vnetnih črevesnih bolezni in raku, nevtralizacija citokinov pa predstavlja pomembno strategijo zdravljenja. Naš pristop k temu cilju vključuje varne mlečnokislinske bakterije kot gostiteljske organizme za dostavo vezalcev citokinov na površino sluznice. Z inženiringom bakterije *Lactococcus lactis* smo na površini prikazali anti-IL-6 affibody (ZIL). *L. lactis* z ZIL je iz raztopine v odvisnosti od koncentracije odstranil do 99 % rekombinantnega človeškega IL-6 in se ni vezal na druge pro-vnetne citokine, kar dokazuje, da je zelo specifičen. Odstranjevanje je bilo enako učinkovito pri različnih koncentracijah IL-6 (150–1200 pg/ml), za katere je bilo ugotovljeno, da so klinično pomembne pri bolnikih s kronično vneto črevesno boleznijo. Sposobnost spremenjenih bakterij, da odstranijo IL-6 iz supernatanta celičnih kultur, je bila ocenjena z uporabo imunostimuliranih človeških monocitnih celičnih linij (THP-1 in U-937), diferenciranih v makrofagom podobne celice. V naslednjem koraku smo nadgradili bakterije z dvojno funkcionalnostjo, in sicer za selektivno dostavo citokin-vezavnih proteinov v tumorje z usmerjanjem na specifične receptorje na rakavih celicah. *L. lactis* smo spremenili tako, da je na svoji površini sočasno prikazoval proteinski vezalec tumorskih antigenov (affitin, ki veže EpCAM; affibody, ki veže HER2) in vezalec pro-vnetnih citokinov (evazin, ki veže IL-8; affibody, ki veže IL-6). Odstranjevanje IL-8 in IL-6 s spremenjenimi bakterijami smo potrdili z vzpostavitvijo modelov vnetnih celic s spodbujanjem izločanja citokinov v človeških celicah adenokarcinoma debelega črevesa (Caco-2; HT-29) in monocitom podobnih celicah (THP-1; U-937). Sposobnost spremenjenih bakterij za ciljanje tumorjev smo potrdili pri človeških celicah HEK293, transficiranih za prekomerno izražanje receptorjev EpCAM ali HER2. Ti rezultati potrjujejo koncept, da je mogoče bakterijo *L. lactis* učinkovito modificirati tako, da na površini hkrati prikazuje dva proteina in izkazuje fiziološko pomemben učinek.

Mlečnokislinske bakterije so pomembne tudi kot probiotiki pri zdravljenju vaginalnih okužb, vendar je njihova uporaba omejena zaradi pomanjkanja ustreznih dostavnih sistemov. Tri vaginalne laktobacile, tj. *Lactobacillus crispatus*, *Lactobacillus gasseri* in *Lactobacillus jensenii*, smo vgradili v nanovlakna za uporabo elektrostatskega sukanja. Za proizvodnjo nanovlakna je bil kot nosilni polimer uporabljen polietilen oksid (PEO), ki smo mu dodali alginat in saharozo zaradi njunega spodbujevalnega učinka na rast laktobacilov. Saharozna je izboljšala preživetje v polimernih raztopinah in ohranila viabilnost *L. crispatus* in *L. jensenii* takoj po elektrostatskem sukanju ter *L. gasseri* in *L. jensenii* med shranjevanjem. Trije laktobacili so v nanovlaknih ohranili delno viabilnost tudi po 56 dneh, kar kaže na to, da se kompozitna večfunkcijska nanovlakna lahko uporabijo kot potencialni trdni dostavni sistem za vaginalno aplikacijo probiotikov.

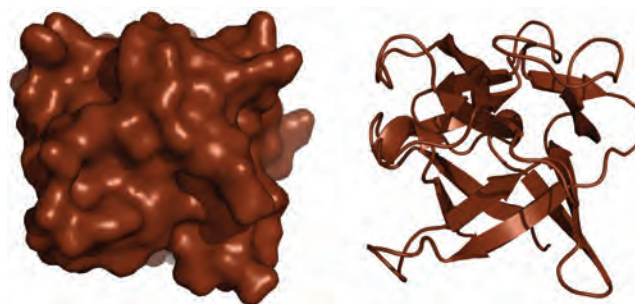
Glikobiologija

Na področju bioaktivnih proteinov iz gliv smo v letu 2022 nadaljevali z njihovo karakterizacijo in opisali zanimivo novo družino proteinov iz gobe *Coprinopsis cinerea*, ki smo jo poimenovali kokaprini. Gre za inhibitorje cisteinskih in aspartatnih peptidaz z betatrilistnim zvitjem. To je že četrta nova družina inhibitorjev peptidaz, ki smo jo opisali v naši raziskovalni skupini in je prisotna izključno pri glivah. Kokaprini so prvi opisani inhibitorji aspartatnih peptidaz s tem zvitjem pri glivah in so hkrati presenetili z novim načinom inhibicije cisteinskih peptidaz, ki se razlikuje od načina pri drugih družinah gobjih inhibitorjev cisteinskih peptidaz, klitocipinov in makrocipinov. Poleg tega smo z mutagenozo pokazali, da sta inhibitorna mesta za oba tipa peptidaz na različnih mestih proteina. Kokaprini potrjujejo izjemno plastičnost funkcionalizacije površine pri betatrilistnem zvitju. Nadalje smo v sodelovanju s tujimi raziskovalci opisali nove predstavnike mikocipinov pri modelni gobi *Laccaria bicolor* in pokazali, da je njihova vloga povezana z razvojem mikorize, saj izkazujejo močno povečanje izražanja med simbiozo in hkrati raznoliko lokalizacijo posameznih predstavnikov družine v različnih tkivih gobe v razvojnih fazah in med interakcijo z rastlino. Poleg tega smo pokazali, da so toksični za nematode in imajo

Spremenjene bakterije *L. lactis* so v odvisnosti od koncentracije iz raztopine odstranile do 99 % rekombinantnega človeškega citokina IL-6.



Slika 3: Funkcionalnost površinsko prikazanega IL-6 vezalca affibody ZIL. Konfokalna imunofluorescenčna mikroskopija (a) in pretočna citometrija (b) prikazujeta vezavo bakterij *L. lactis* s prikazanim ZIL-flag na človeški IL-6, konjugiran z biotinom. ZIL-flag: celice *L. lactis*, ki vsebujejo plazmid pSD-ZIL-flag. Cont: kontrolne celice *L. lactis*, ki vsebujejo prazen plazmid pNZ8148. ***: $P < 0,001$ (neparni t-test). Merilo: 20 μm . MFI: povprečna intenziteta fluorescence.



Slika 4: Tridimenzionalna struktura kokaprina, inhibitorja peptidaz iz gobe *Coprinopsis cinerea*

Glive so neizčrpen vir novih proteinov z zanimivimi lastnostmi.

odvračalni učinek za skakače, ki jedo hife. Mikocipini imajo torej obrambno funkcijo širšega pomena za prehranjevalno verigo v tleh.

Na področju glikobiologije in aplikacij bioaktivnih proteinov smo nadaljevali z raziskavami, usmerjenimi v molekularne mehanizme delovanja glivnih lektinov, in opisali mehanizem delovanja lektina CNL (*Clitocybe nebularis* lectin) na rakave celice. Toksičnost lektina CNL je omejena na levkemične limfocite T, kjer smo pokazali, da sproži atipično celično smrt, ki ne sledi poznanim potem programirane celične smrti in izkazuje značilnosti apoptoze in nekroptoze. Za učinek je pomembna specifična interakcija z glikoziliranimi receptorji na površini celice. Podoben učinek, ki pa ni bil omejen le na levkemične T limfocite, smo pokazali tudi za rastlinski lektin WFA (*Wisteria floribunda* lectin), ki ima podobno specifičnost za vezavo glikanov kot CNL. Nadaljevali smo tudi z analizo toksičnosti glivnih inhibitorjev peptidaz in lektinov na invazivne škodljivce v okviru projekta FunContraPest (Novi proteini gliv kot biopesticidi za zatiranje invazivnih tujerodnih kmetijskih škodljivcev), ki ga sofinancirata slovenska in madžarska raziskovalna agencija. V tem okviru smo organizirali tudi minisimpozij na temo Alternativnih strategij zaščite rastlin pred invazivnimi škodljivci.

Raziskovalni rezultati članov Odseka za biotehnologijo so bili v letu 2022 objavljeni v 24 člankih v revijah z dejavnikom vpliva. Objavili smo tudi šest preglednih člankov. Pridobili smo štiri nove projekte ARRS. V letu 2022 se je začel tudi nov medinstitutiški raziskovalni program, ki ga na odseku vodi dr. Sabotič. Prejeli smo naslednje nagrade in priznanja: Ana Mitrovič in prof. Janko Kos sta bila med prejemniki priznanj Slovenskega biokemijskega društva, dr. Tina Vida Plavec je prejela veliko Krkino nagrado za doktorsko disertacijo, naše publikacije Božič *et al.*, Mitrovič *et al.* in Breznik *et al.* pa so prejele priznanje odlični v znanosti 2022. Na odseku sta bili v letu 2022 zaključeni dve doktorski deli.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Božič, Janja, Motaln, Helena, Pucer Janež, Anja, Markič, Lara, Rogelj, Boris, *et al.*, Interactome screening of C9orf72 dipeptide repeats reveals VCP sequestration and functional impairment by polyGA, *Brain : journal of neurology*, 2022, 145, 2, 684-699, doi: 10.1093/brain/awab300
2. Mitrovič, Ana, Završnik, Janja, Mikhaylov, Georgy, Knez, Damijan, Pečar Fonović, Urša, Matjan-Štefin, Petra, Butinar, Miha, Gobec, Stanislav, Turk, Boris, Kos, Janko, Evaluation of novel cathepsin-X inhibitors *in vitro* and *in vivo* and their ability to improve cathepsin-B-directed antitumor therapy, *Cellular and molecular life sciences*, 2022, 79, 1, 34, doi: 10.1007/s00018-021-04117-w
3. Zahirovič, Abida, Berlec, Aleš, Targeting IL-6 by engineered *Lactococcus lactis* via surface-displayed antibody, *Microbial cell factories*, 2022, 21, 143-1-143-15, doi: 10.1186/s12934-022-01873-7
4. Mitrovič, Ana, Senjor, Emanuela, Jukič, Marko, Bolčina, Lara, Prunk, Mateja, Proj, Matic, Perišić, Milica, Gobec, Stanislav, Kos, Janko, New inhibitors of cathepsin V impair tumor cell proliferation and elastin degradation and increase immune cell cytotoxicity, *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 2022, 20, 4667-4687
5. Perišić, Milica, Žurga, Simon, Konjar, Špela, Prunk, Mateja, Kos, Janko, Sabotič, Jerica, The fungal *Clitocybe nebularis* lectin binds distinct cell surface glycoprotein receptors to induce cell death selectively in Jurkat cells, *The FASEB journal*, 2022, 36, 4, e22215-1-e22215-20, doi: 10.1096/fj.202101056RR

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Jerica Sabotič: Alternativne strategije zaščite rastlin pred invazivnimi škodljivci, minisimpozij, Ljubljana, 28. 9. 2022

Nagrade in priznanja

1. Aleš Berlec, Priznanje za delo v uredništvu revije *Acta Chimica Slovenica*, Slovensko kemijsko društvo
2. Ana Mitrovič, Lapanjetovo priznanje za vrhunske znanstvenoraziskovalne in strokovne dosežke na področju biokemijskih znanosti, Slovensko biokemijsko društvo
3. Ana Mitrovič, Odlični v znanosti 2022, Ljubljana, Slovenija, ARRS, za članek *Vrednotenje novih zaviralcev katepsina X in vitro ter in vivo ter njihove sposobnosti za izboljšanje protitumorne terapije, usmerjene proti katepsinu B*
4. Tina Vida Plavec, Glavna Krkina nagrada, Krka, d. d., Novo mesto, Slovenija, nagrada za doktorsko disertacijo z naslovom *Površinska predstavitev vezalcev tumorskih antigenov na bakterijah *Lactococcus lactis* NZ9000 in vrednotenje njihove vezave na izbrane človeške tumorske celične linije*

- Emanuela Senior, *Odlični v znanosti 2022*, Ljubljana, Slovenija, ARRS, za članek: Infiltrating natural killer cells bind, lyse and increase chemotherapy efficacy in glioblastoma stem-like tumorspheres.
- Spase Stojanov, Alessandro de Vita, Trst, Italija, Crossnano workshop, priznanje za visoko stopnjo znanstvene multidisciplinarnosti
- Abida Zahirović, nagrada za predstavitev znanstvenega prispevka, Pariz, Francija, Mednarodno združenje za mikrobioto, *Rekombinantne mlečnokislinske bakterije za zdravljenje kronične vnetne črevesne bolezni*

MEDNARODNI PROJEKTI

- COST CA18238; Ocean4Biotech - Evropska transdisciplinarna mreža za morsko biotehnologijo
COST Association AISBL
dr. Jerica Sabotič
- COST CA19123 - PHOENIX; Varovanje, stabilnost, rehabilitacija degradiranih okolij
COST Association AISBL
prof. dr. Aleš Berlec
- Navzkrižna uravnava proteinopatije in vnetja pri amiotrofični lateralni sklerozii
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Boris Rogelj
- Izboljšanje citotoksičnosti NK celic z modulacijo cistatina F
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Milica Perišić Nanut

PROGRAMA

- Farmaceutska biotehnologija: znanost za zdravje
prof. dr. Janko Kos
- Morska in mikroba biotehnologija
dr. Jerica Sabotič

PROJEKTI

- Baktericidna nanorezila: preizkus bimodalnega mehanokemijskega odstranjevanja trdovratnih biofilmov
dr. Jerica Sabotič
- Katepsina B in X v tumorskih matičnih celicah raka dojke - molekulske tarče in pomen za protitumorno terapijo
doc. dr. Ana Mitrović
- Med-bakterijska dinamika biofilma: vpliv na tvorbo in strukturo biofilma bakterij *Campylobacter* z namenom razvoja novih inovativnih strategij nadzora
dr. Jerica Sabotič
- Rekombinantni probiotiki kot bio-alternativni protimikrobni pristop proti bakteriji *Clostridioides difficile*
prof. dr. Aleš Berlec
- Molekularni mehanizmi specifičnosti pri uravnavanju izločanja in delovanja citokinov mišičnega izvora
prof. dr. Boris Rogelj
- Nanovlakna za sočasno dostavo koktajlov izbrane mikrobiote in protimikrobnih učinkovin za lokalno zdravljenje vaginalnih infekcij
prof. dr. Aleš Berlec

- Mikroplastika kot vektor mikrobnih kontaminacij, okužbe in odpornosti: primer bakterij *Campylobacter* v proizvodnji perutninskega mesa
dr. Jerica Sabotič
- Novo protimikrobne strategije preprečevanja tvorbe biofilma z uporabo lektinov, ki inhibirajo bakterijsko adhezijo
dr. Jerica Sabotič
- Izboljšanje imunoterapevtske vrednosti NK celic z modulacijo cistatina F
prof. dr. Janko Kos
- Napake v jedrnem transportu pri frontotemporalni demenci
prof. dr. Boris Rogelj
- Cistatin F kot mediator imunske supresije v mikrookolju glioblastoma
dr. Milica Perišić Nanut
- Novi proteini gliv kot biopesticidi za zatiranje invazivnih tujerodnih kmetijskih škodljivcev
dr. Jerica Sabotič
- Majhni proteinski blokatorji osi IL-23/IL-17 izločeni iz probiotičnih bakterij kot zaviralci vnetja prebavil
prof. dr. Aleš Berlec
- Ciljanje faznega ločevanja in agregacije proteinov v neurodegenerativnih proteinopatijah TDP-43
prof. dr. Boris Rogelj
- Nepravilnosti v translaciji, ki so podlaga za amiotrofično lateralno sklerozo in frontotemporalno demenco povezano z mutacijo v genu C9orf72
prof. dr. Boris Rogelj
- Antimikrobne površine na podlagi kontakta na zahtevo: strategija za nadzor okužb prijazna ljudem in okolju
dr. Milica Perišić Nanut
- Napovedovanje patogenosti in perzistence bakterij *Listeria monocytogenes* na osnovi značilnosti njihovih biofilmov in surfaktoma s pomočjo strojnega učenja
dr. Jerica Sabotič
- Selektivno mehansko odstranjevanje bakterijskih biofilmov s konjugiranimi magnetnimi nanodelci
prof. dr. Aleš Berlec
- Protibakterijske zlitine: razvoj z aditivno 3D tehnologijo, karakterizacija in klinična uporaba
doc. dr. Helena Motaln
- VUV in UV sevanje iz plazme - metoda za učinkovito dekontaminacijo Aflatoksinov
doc. dr. Helena Motaln
- Razvoj mlečnokislinskih bakterij za ciljno dostavo protitumorskih učinkovin
dr. Abida Zahirović
- PLASMA SEED TREATMENT: Inovativna eko plazemska obdelava semen (za setev ter za prehrano ljudi in živali)
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Boris Rogelj
- Cell4Chem: Inženirstvo mikrobnih skupnosti za pretvorbo lignoceluloze v srednje-verižne karboksilate
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Aleš Berlec

OBISKI

- dr. Stefan Toepfer in dr. Szabolcs Toth, Univerza MATE, Godollo, Madžarska, 23. 2. 2022
- prof. dr. Stéphanie Perret, Laboratory of Chemical Biology, CNRS-AMU, Marseille, Francija, 10. 5. 2022
- prof. dr. Hélène Gaussier, Mediterranean Institute of Oceanology, Marseille, Francija, 10. 5. 2022
- dr. Petr Maly, BIOCEV Research Center, Vestec, Republika Češka, 19. 8. 2022
- prof. dr. Milan Raška, Faculty of Medicine and Dentistry, Palacky University, Olomouc, Republika Češka, 19. 8. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- dr. Jerica Sabotič, SIMBA, A novel approach to distinguish between antimicrobial and anti-biofilm activities using growth curve analysis of *Salmonella*, 20. 1. 2022
- izr. prof. dr. Aleš Berlec: Temeljna načela odprte znanosti, odprti dostop in ravnanje z raziskovalnimi podatki, 28. 2. 2022
- dr. Abida Zahirović, Razvoj *Lactococcus lactis* s sposobnostjo vezave IL-6, 11. 4. 2022
- prof. dr. Hélène Gaussier, Mediterranean Institute of Oceanology, Marseille, Francija: Glutamate optimizes enzymatic activity under high hydrostatic pressure in *Desulfovibrio* species: effects on the ubiquitous thioredoxin system, 10. 5. 2022
- prof. dr. Stéphanie Perret: Laboratory of Chemical Biology, CNRS-AMU, Marseille, Francija: Selfish uptake versus extracellular arabinoside degradation in the primary degrader *Ruminococcus cellulosilyticus*, a new string to its bow, 10. 5. 2022
- dr. Tina Vida Plavec, Modificiranje *L. lactis* za izražanje proteinskih zaviralcev vnetne poti IL-23/IL-17 z uporabo sistema Bglbrick, 23. 5. 2022

- dr. Ana Mitrović, Novi inhibitorji katepsina V kot potencialne protitumorne učinkovine, 6. 6. 2022
- dr. Petr Maly, BIOCEV Research Center, Vestec, Republika Češka: Non-cognate ligands of broadly neutralizing antibody paratopes as potential vaccine components, 19. 8. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Aleš Berlec, PHOENIX COST action CA19123 Protection, Resilience, Rehabilitation of Damaged Environment 2022 Rome Meeting, Rim, Italija, 19. 1.–22. 1. 2022 (virtualno) (1)
- Aleš Berlec, Simpozij ob 47. skupščini SFD, Porotorož, 12. 5.–14. 5. 2022
- Aleš Berlec, Symposium on Synthetic and Systems Biology, Pariz, Francija, 12. 9.–14. 9. 2022 (1)
- Aleš Berlec, Petra Štravs, Cell4Chem 1st Mid-Term meeting, Marseille, Francija, 4. 10.–5. 10. 2022
- Aleš Berlec, Janko Kos, Ana Mitrović, Milica Perišić Nanut, Jerica Sabotič, Emanuela Senjor, Biochemistry Global Summit, 25th IUBMB Congress, 46th FEBS Congress and 15th PABMB Congress, Lizbona, Portugalska, 9. 7.–14. 7. 2022 (6)
- Urša Čerček, Helena Motaln, Jerneja Nimac, Boris Rogelj, Joint ICGEB – ALS Society of Canada Symposium on inflammation and proteinopathy in ALS/FTD spectrum disorder, Reka, Hrvaška, 30. 6.–3. 7. 2022 (4)
- Urša Čerček, Jerneja Nimac, 33. mednarodni simpozij o ALS/MND, 6. 12.–9. 12. 2022 (virtualno)
- Jerneja Nimac, Ana Mitrović, Jerica Sabotič, Tanja Zupan, BIOMolekularec.si Dan biomolekularnih znanosti, Ljubljana, 29. 9. 2022 (4)
- Jerneja Nimac, Boris Rogelj, The European Network for the Cure of ALS – ENCALs, Edinburgh, Škotska, 1. 6.–3. 6. 2022 (2)
- Ana Mitrović, Annual Congress of the European Association for Cancer Research: Translating Biology to Medicine, Sevilja, Španija, 20. 6.–23. 6. 2022 (1)
- Ana Mitrović, Bridging Immunity to Cancer: Models of Study and New Research Outcomes, 28. 11.–29. 11. 2022 (virtualno) (1)

- Ana Mitrović, Emanuela Senjor, EORTC PathoBiology Group Annual Meeting, Germans Trias i Pujol Research Institute (IGTP), Badalona, Španija, 24. 10.–25. 10. 2022 (2)
- Tina Vida Plavec, Spase Stojanov, Abida Zahirović, 9th BBBB International Conference on Pharmaceutical Sciences: Pharma sciences of tomorrow, Ljubljana, 15. 9.–17. 9. 2022 (3)
- Tina Vida Plavec, Small new world, joint meeting of ASEV & GSEV (Austrian Society for Extracellular Vesicles & German Society for Extracellular Vesicles), Salzburg, Avstrija, 28. 10.–29. 10. 2022 (1)
- Tina Vida Plavec, 32. simpozij ob podelitvi Krkinih nagrad, Krka, d. d., Novo mesto, Slovenija, 21. 10. 2022
- Jerica Sabotič, Proteolysis at the interface between health and disease : FEBS ICGEB 2022 Advanced Course, Bled 18. 9.–21. 9. 2022 (1)
- Jerica Sabotič, Biofilms and microbiomes: global impact on public and ecosystem health, 11. 10.–13. 10. 2022 (virtualno) (1)
- Jerica Sabotič, Society for Glycobiology 2022 Annual Meeting, 14. 11.–18. 11. 2022 (virtualno) (1)
- Emanuela Senjor, 34th EORTC-NCI-AACR Symposium on Molecular Targets and Cancer Therapeutics, Barcelona, Španija, 26. 10.–28. 10. 2022 (1)
- Emanuela Senjor, iTOC9 – 9th Immunotherapy of Cancer Conference, München, Nemčija, 22. 9.–24. 9. 2022 (1)
- Emanuela Senjor, Proteolysis at the interface between health and disease : FEBS ICGEB 2022 Advanced Course, Bled, Slovenija, 18. 9.–21. 9. 2022
- Spase Stojanov, Crossnano 2022, Crossborder Workshop in Nanoscience and Nanotechnology, Trst, Italija, 22. 2.–24. 2. 2022 (virtualno) (1)
- Tadeja Tumpelj, 17th High-Grade Serous Ovarian Cancer, CFGBC 2022 Symposium: hybrid Symposium Slovenia, 6. 6. 2022 (virtualno) (1)
- Abida Zahirović, Targeting microbiota, Pariz, Francija, 19. 10.–21. 10. 2022 (1)
- Tanja Zupan, IMTB : 6th International conference, Portorož, 5. 6.–8. 6. 2022 (1)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

- Jerica Sabotič: BioLab, Instituto Universitario de Bio-Organica Antonio González IUBO-AG, University of La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, Španija, 29. 3.–6. 7. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

- prof. dr. Aleš Berlec
- prof. dr. Janko Kos*, znanstveni svetnik
- doc. dr. Helena Motaln
- dr. Milica Perišić Nanut
- prof. dr. Boris Rogelj, vodja odseka**
- dr. Jerica Sabotič
- prof. dr. Borut Štrukelj*, znanstveni svetnik

Podoktorski sodelavci

- dr. *Maruša Bizjak, odšla 1. 9. 2022*
- dr. Nikolaja Janež
- doc. dr. Ana Mitrović
- dr. Tina Vida Plavec
- dr. Emanuela Senjor
- dr. Spase Stojanov
- dr. Abida Zahirović

Mlajši raziskovalci

- Urša Čerček, mag. ind. farm.
- Jerneja Nimac, mag. biokem.
- Petra Štravs, mag. biotechnol.

Strokovni sodelavci

- Manca Černila, mag. lab. biomed.
- Tjaša Peternel, mag. biotechnol.
- Nika Zaveršek, mag. biokem.
- Tanja Zupan, mag. biokem., odšla 22. 8. 2022*

Tehniški in administrativni sodelavci

- Vahida Suljić
- mag. Maja Šimaga
- Tadeja Tumpelj, mag. biotechnol.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

- Centre de Recherches sur les Macromolécules Végétales – CERMAV, Grenoble, Francija
- Centro para la Calidad de los Alimentos (INIA), Soria, Španija
- Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich, Švica
- Inha University, Južna Koreja
- International Centre for Genetic Engineering and Biotechnology – ICGEB, Trst, Italija
- Institute of Biotechnology of the Czech Academy of Science, BIOCEV Research Center, Vestec, Republika Češka
- King's College London, Institute of Psychiatry, Velika Britanija
- Kmetijski inštitut, Ljubljana
- Leiden University Medical Center, Center for Proteomics and Metabolomics, Leiden, Nizozemska
- Lek, d. d., Ljubljana
- Ludwig Maximilian University, München, Nemčija
- Medical School Duluth, Department of Physiology and Pharmacology, Duluth, Združene države Amerike
- Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana
- Szent Istvan University, Institute for Plant Protection, Godollo, Madžarska
- Swiss Federal Institute of Technology, Zürich, Švica
- Université de Lorraine, INRA, Francija
- Univerza v Beogradu, Fakulteta za biologijo, Beograd, Srbija
- Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
- Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
- Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
- Univerza v Mariboru, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede, Maribor
- Univerzitet u Tuzli, Farmaceutski fakultet, Tuzla, Bosna in Hercegovina
- Univerzitet u Tuzli, Medicinski fakultet, Tuzla, Bosna in Hercegovina
- University of Bristol, School of Biological Sciences, Bristol, Velika Britanija
- University of California, Los Angeles, Združene države Amerike
- University of California, Ludwig Cancer Research, San Diego, Združene države Amerike
- University of Kyev-Mohyla Academy, Kijev, Ukrajina
- University of London, Velika Britanija
- University of Natural Resources and Life Sciences (BOKU) Dunaj, Avstrija
- University of Padova, Padova, Italija
- University of Pittsburg, Združene države Amerike
- University of Trieste, Department of Life Sciences, Italija
- University of Salzburg, Department of Molecular Biology, Avstrija
- University of Zürich, Institute of Plant Biology, Zollikerst, Švica
- Zavod Biomedicinska razvojno inovativna skupina, Ljubljana

Odsek za znanosti o okolju raziskuje prepletanje fizikalnih, kemijskih in bioloških procesov, ki oblikujejo naše okolje, ter vpliv človeka in njegove dejavnosti na okolje. Naše raziskave so interdisciplinarne in multidisciplinarne in potekajo v več sklopih, kot so Analizna kemija okolja, Kroženje snovi in elementov v okolju, Mikrobna sistemska ekologija, Okolje, zdravje in hrana, Okoljske tehnologije, Ocena vplivov na okolje in ocena tveganja ter Nadzorne meritve v okolju. Sodelujemo pa tudi pri razvoju tehničnih rešitev za okoljske probleme in upravljanje okolja. V okviru odseka delujejo tudi ISO-FOOD – ERA katedra za kakovost, varnost in sledljivost živil z uporabo izotopskih tehnik, infrastrukturni Center za masno spektrometrijo in ELME – ekološki kemijski laboratorij z mobilno enoto.

Analizna kemija okolja in bioloških sistemov

Anorganska analiza in speciacija

Vloga kemijskih elementov v sledovih in njihov vpliv na okolje in žive organizme nista odvisna le od njihove celotne koncentracije, temveč tudi od kemičnih oblik, v katerih so prisotni. Zato so naše raziskave usmerjene v razvoj novih analitskih postopkov za določanje elementov in njihovih kemijskih zvrsti v okoljskih in bioloških vzorcih.

Na področju *speciacije elementov* v sledovih smo z obogatenimi stabilnimi izotopskimi sledilci $^{50}\text{Cr(VI)}$ in $^{53}\text{Cr(III)}$, ki smo jih dodali v vzorce vina in piva, ter s speciacijsko analizo na podlagi anionske izmenjevalne HPLC-ICP-MS spremljali obnašanje Cr(III) in Cr(VI). Rezultati so pokazali, da vino in pivo ne vsebujeta toksičnega Cr(VI). Dokazali smo tudi, da se je zaradi prisotnosti antioksidantov dodan $^{50}\text{Cr(VI)}$ reduciral v $^{50}\text{Cr(III)}$. Naša raziskava je ovrgla navedbe nekaterih raziskovalcev, ki so poročali, da vino in pivo vsebujeta strupen Cr(VI).

Razvili smo novo metodo za speciacijo bakra (Cu) v humanem serumu. Z uporabo združene tekočinske kromatografije (CLC) na monolitnih diskah s konvektivnim prenosom snovi (CIM) smo ločili Cu, vezan na ceruloplasmin (Cu-Cp); Cu, vezan na nizkomolekularne zvrsti (Cu-LMM) v serumu; in Cu, vezan na albumin (Cu-HSA). Ločene kemijske zvrsti Cu smo kvantificirali z metodo izotopskega redčenja (ID)-ICP-MS. Tehniko smo uspešno uporabili pri določanju Cu-Cp, Cu-HSA in Cu-LMM v človeškem serumu zdravih posameznikov, bolnikov s presajeno ledvico in bolnikov z rakom. Naše raziskave dajejo pomembno novo analizno orodje, ki ga je mogoče uporabiti za oceno presnovnih motenj Cu pri številnih boleznih.

Optimizirali smo analizni postopek za multielementno speciacijo kromata, molibdata in arzenata v lizimetroski vodi iz geotehničnih kompozitov, vgrajenih v terenske lizimetre. Glavne prednosti multielementne speciacijske analize pred običajno uporabljenimi speciacijskimi postopki posameznih elementov so hitrost in nižja cena analize.

Na področju biovizualizacije kovin smo nadaljevali optimizacijo parametrov za LA in kvantifikacijo ablranelega vzorca z ICP-MS v tumorskih sferoidih in rastlinskem tkivu, da bi dosegli visoko prostorsko ločljivost in nizke meje zaznave.

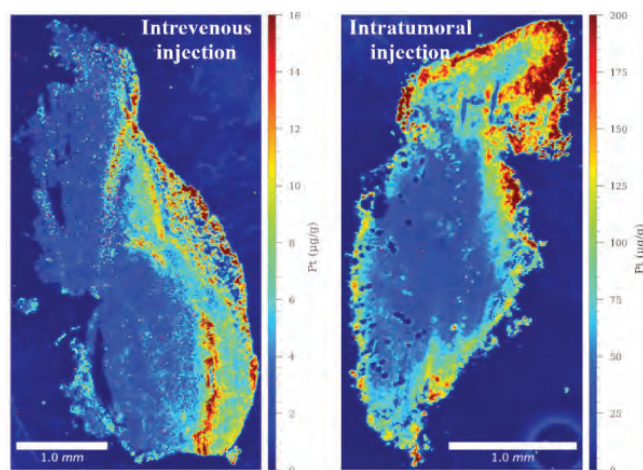
Z uporabo laserske ablacije z masno spektrometrijo z induktivno sklopljeno plazmo (LA-ICP-MS) smo pridobili slike visoke ločljivosti in občutljivosti, ki so omogočile farmako-kinetično spremljanje porazdelitev Pt v mišjih tumorjih in ovrednotenje optimizacije doze kemoterapevтика cisplatina pri različnih načinih njegove aplikacije (intravensko in intratumoralno) v terapiji raka. Delo je potekalo v sodelovanju z Onkološkim inštitutom v Ljubljani.

V letu 2022 smo začeli z raziskavami na področju arheologije in paleontologije. Za proučevanje zgodovinskih artefaktov smo optimizirali analizni metodi za določanje $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopskega razmerja v trdnih vzorcih (prečni in vzdolžni prerezi zob jamskega medveda) z uporabo laserske ablacije v povezavi z multikolektorskim ICP-MS in za določanje elementne sestave istih vzorcev z uporabo laserske ablacije v povezavi s QQQ-ICP-MS. V sodelovanju s Paleontološkim inštitutom Ivana Rakovca ZRC SAZU bomo



Vodja:

prof. dr. Milena Horvat



Slika 1: Kvantitativna porazdelitev Pt v tumorjih miši B16F10, 10 minut po zdravljenju s 4 µg cisplatina na telesno maso.

z optimiziranimi metodami proučevali življenje in okolje jamskih medvedov v Sloveniji. V sodelovanju s Stefan cel Mare University of Suceava, Romunija, smo začeli proučevati povezavo elementne analize in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopskega razmerja v vzorcih vode, zemlje in lesa z namenom njihove uporabe pri določanju porekla lesenih artefaktov. V okviru projekta Novi indikatorji klimatskih sprememb v stalagmitih v Sloveniji smo optimizirali analizni postopek za določanje $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ izotopskega razmerja in elementne sestave z uporabo laserske ablacije v povezavi z MC-ICP-MS in QQ-ICP-MS. Z njima bomo proučevali spremembe v rasti kapnikov zaradi podnebnih sprememb v Dovčji jami.

V okviru MSCA štipendije STROMASS razvijamo hitro metodo za določanje Sr-90 v vzorcih vode in mleka z ICP-MS. Začetni rezultati so obetavni in kažejo, da bi razvita metoda lahko precej skrajšala čas, potreben za analizo, in povečala število vzorcev, ki jih lahko v nekem času analiziramo. To je še posebej pomembno v primeru izrednih razmer.

Razvili smo metodo za predkoncentracijo Hg iz bioloških materialov (liste dreves) z majhno koncentracijo živega srebra za analizo stabilnih izotopov Hg, kar omogoča sledenje procesov pretvorb Hg in sledenje virov Hg v okolju.

Organska analiza

Sintetizirali smo molekularno vtisnjene polimere (MIP), ki so namenjeni ekstrakciji zdravilne učinkovine bupivakain iz vzorcev krvi. Medtem ko je pri večjih koncentracijah ta material pokazal obetavne rezultate, so se MIP za določanje manjših koncentracij bupivakaina izkazali kot neprimerni, razlog za to je permanentno odpuščanje globoko vezanega bupivakaina v koncentracijah v sledovih. To težavo smo rešili z modifikacijo sinteze MIP, in sicer smo zamenjali šablono bupivakain z analogoma, ki sta mu podobna po kemijski strukturi in vezavnih lastnostih.

Prav tako smo za lokalni anestetik bupivakain in sedativ dekdemetomidin razvili referenčno metodo za krvno plazmo, ki izkorišča nespecifične interakcije za adsorpcijo na trdni fazi. To metodo smo nato uporabili za farmakokinetične študije pri anesteziranih psih po enkratni intravenski ali perinevralni aplikaciji zdravil. Takšne študije so pomembne zaradi izboljšanja zdravljenja bolečine pri psih po ekstrakciji zoba.

Ester Heath: Zoisova nagrada za vrhunske dosežke pri uporabi organske analize na področju okolja, hrane in zdravja, 2022

Optimizirali in poenostavili ter ponovno validirali smo tudi analizno metodo za določanje bleomicina v vzorcih krvi in tumorjev. Vključili smo napredne ekstrakcijske materiale in prenos na sistem za ekstrakcijo na mikrotitrskih 96-mestnih ploščah pri nadtlatku. V okviru revalidacije smo proučevali stabilnost analita v različnih matriksih in vzpostavili primeren

nadzor kakovosti metode. Metoda je bila v nadaljevanju prilagojena tudi za določanje bleomicina pri koncentracijah v sledovih v *in vitro* sistemih.

Po opravljenem pregledu literature o analiznih metodah za določanje ostankov dovoljenih drog, npr. tobaka (nikotina) in alkohola (etanola), ter psihoaktivnih snovi, npr. antidepresivi, antipsihotiki, benzodiazepini in njihovi metaboliti v odpadnih vodah, smo izbrane metode prenesli v naš laboratorij ter jih validirali in uporabili za analizo odpadnih vod iz slovenskih čistilnih naprav različnih velikosti in konfiguracij.

Meroslovje

Meroslovje – znanost o merjenju je ključnega pomena za odsek, saj je večina raziskav povezanih z merjenjem oziroma uporabo rezultatov meritev. Zlasti pomembna pa je vloga odseka v okviru imenovanja za nosilca nacionalnega etalona za določanje elementov v sledovih v organskih in anorganskih materialih.

Meroslovje na področju tradicionalne analize stabilnih izotopov lahkih elementov zajema sodelovanje v medlaboratorijskih primerjavah na najvišji meroslovni ravni. Leta 2022 smo sodelovali pri vrednotenju rezultatov v dveh medlaboratorijskih primerjalnih shemah CCQM-P212: *Coherence of carbon isotope delta reference materials* in CCQM-204: *Pilot study on CO₂*. Pripravili smo tudi dokument o minimalnih zahtevah merjenja in ovrednotenja rezultatov stabilnih izotopov lahkih elementov, kot so vodik, ogljik, dušik, kisik in žveplo, ki je bil objavljen kot tehnično poročilo IUPAC. V okviru projekta STELLAR smo izvedli analize na pripravljenih sintetičnih izotopskih mešanica in določili razmerja vsebnosti izotopov $n(^{13}\text{C})/n(^{12}\text{C})$ na vzorcih z znanimi ali certificiranimi vrednostmi $d^{13}\text{C}$, da bi omogočili sledenje meritvam stabilnih izotopov, izraženih z delta vrednostmi do enot SI.

Odsek je dejavno vključen tudi v dve mreži, povezani z meroslovjem: v ESFRI Infrastrukturo za spodbujanje meroslovja v hrani in prehrani (METROFOOD-RI), kjer JSI deluje kot koordinator slovenskega vozlišča (METROFOOD-SI), in v novoustanovljeno Evropsko meroslovno mrežo za varnost in trajnost hrane (angl. European Metrology Network on Food Safety and Sustainability: EMN-FOOD).

V okviru projektov GMOS-Train in SI-Hg smo se osredotočili na meroslovje meritev atmosferskih Hg vrst. Ocenili smo obstoječe parametre speciacije atmosferskega Hg, vključno z vzorčenjem, predkoncentracijo in kalibracijo. Ustreznost postopkov vzorčenja in predkoncentracije (sorbenčni lovilci, sorbentne membrane, impinger raztopine in denuderji) je bila preizkušena glede njihove primernosti za sledljivo speciacijo atmosferskega Hg.

Izvedli smo tudi vrsto validacijskih poskusov za kalibracijske metode (bell-jar kalibratorji in standardni referenčni material NIST 3133), da bi primerjali in ocenili njihovo primernost za kalibracijo pri manjših koncentracijah

Hg v atmosferi. Poleg pogosto uporabljenih analitskih postopkov za določanje Hg (atomska fluorescenčna/absorbančna spektrometrija hladnih par) je naše delo vključevalo tudi uporabo specifičnega, selektivnega in zelo občutljivega radiosledilca ^{197}Hg , pridobljenega z obsevanjem ^{196}Hg v IJS-jevem jedrskem reaktorju Triga II, ki je omogočil poskuse na ravneh okoljskih koncentracij. Vrednotenje obstoječih kalibracijskih metod za plinasto oksidirano živo srebro (prepustne cevi) smo primerjali z zmogljivostjo našega na novo razvitega kalibracijskega sistema. Ta kalibracijski sistem temelji na netermični plazemski oksidaciji elementarnega živega srebra v oksidirane vrste Hg v prisotnosti specifičnih reakcijskih plinov. Ta pristop umerjanja smo potrdili z uporabo radiosledilnika ^{197}Hg in NIST SRM 3133, s čimer je postal prvi postopek umerjanja, ki ga je mogoče izslediti do SI enot, za okoljske koncentracije Hg^{II} vrst. Obstoj posameznih oksidiranih vrst Hg, proizvedenih z netermično plazmo, je bil potrjen s kvadrupolnim masnim spektrometrom.

V letu 2022 smo začeli izvajati dejavnosti v okviru EPM projekta MetroPOEM, ki ga koordinira Nacionalni fizikalni laboratorij (NLP). Naloge pri projektu zajemajo razvoj analitskih metod z natančno ovrednotenimi merilnimi negotovostmi na podlagi masne spektrometrije za določanje radionuklidov (U, Np, Am, Sr) in izotopskih razmerij Li, B, Cr, Cd, Ni, Sb, Pb in U.

V okviru dela nosilca nacionalnega etalona za določanje elementov v sledovih v organskih in anorganskih materialih smo sodelovali v medlaboratorijskih primerjalnih shemah SIM.QM-S12 in APMP.QM-P41 Elementi v sledovih v naravni vodi, APMP.QM-S19 in P40 Strupeni elementi v morskih sadežih, CCQM-K158 Elementi in anorganski arzen v riževi moki ter CCQM-K160 Elementi iz Pt skupine v avtomobilskem katalizatorju.

Nanomateriali in biosenzorji

V sodelovanju z Nacionalnim kemijskim inštitutom, Ljubljana, Slovenija, in The Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem, Izrael poročamo o odlaganju, testiranju in antioksidacijskih lastnostih ultra tankih (1–3 nm) mono-, di- in tri plasti hibridnih organsko-anorganskih poliedrskih oligomernih silseskvioksanov (POSS) na Inconelu 617. Predvidevamo, da bodo imeli takšni premazi pomemben potencial kot temeljni premaz za spektralno selektivne absorberske prevleke za tehnologijo hibridnih absorberjev koncentriranja sončne energije (CSP). Proizvodnja, sinteza, karakterizacija, povečevanje in lastnosti 2D-nanomaterialov so bili proučeni tudi v okviru različnih mednarodnih in nacionalnih projektov.

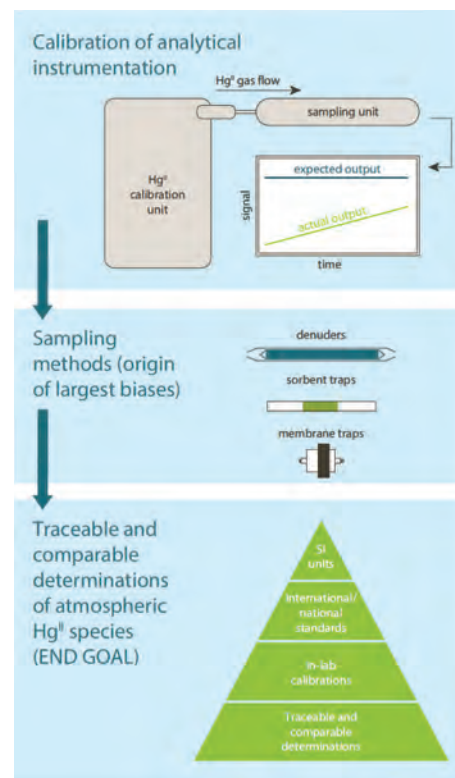
Ugotovitve so bile objavljene v reviji *Nanoselect*. Sodelovali smo tudi z oddelkom za elektronsko keramiko (K5), da bi razvili tanke in debele filme nanomaterialov z uporabo metod sitotiskanja na dveh različnih substratih (Al₂O₃ in LTCC) in jih uporabili kot biosenzorske platforme na podlagi pretvornikov za odkrivanje različnih ciljnih analitov. Pri delu na elektrokemičnih biosenzorjih za SARS-CoV-2 in raziskave raka smo sodelovali z Nacionalnim inštitutom za živalsko biotehnologijo (NIAB). V okviru tega dela smo pripravili peptide in biokonjugate za ciljanje rakavih celic in razvili strategije za imobilizacijo biomolekul na nanomaterialih.

V okviru projekta GMOS-Train smo začeli razvijati biosenzor za detekcijo Hg, ki temelji na specifičnih bakterijskih proteinih, da ga bomo lahko testirali v različnih vzorcih vode.

Biogeokemija in podnebne spremembe

V sodelovanju z Geološkim zavodom Slovenije smo raziskali molekularno in izotopsko sestavo zemeljskega plina na naftnem in plinskem polju Petišovci-Dolina. Molekularna sestava plina je dokaj homogena ne glede na globino – med približno 1100 in 3000 m globine plin vsebuje 85 ali več % b metana, okoli 11 % ogljikovodikov C₂-C₆ in do 4 % CO₂. Izotopska sestava ogljika v metanu kaže na termogeni način nastanka. Sodelovali smo tudi pri analizi žveplenege kraškega izvira Žepovnik. Z izotopsko analizo kisika, vodika, ogljika in žvepla v vodi smo ugotovili, da je vir vode padavinski, vir žvepla pa raztapljanje evaporitov v vodonosniku.

Začeli smo z novim raziskovalnim področjem analiz majhne mikroplastike in nanoplastike v naravnih sistemih. V povezavi s to tematiko smo v sodelovanju z drugimi mednarodnimi raziskovalnimi ustanovami objavili pregledni članek, v katerem smo predstavili trenutno stanje na področju uporabe metode frakcionacije v pretočnem sistemu z zaporedno vezanimi detektorji za analizo nanoplastike. Kritično smo obravnavali tudi prihodnje trende in potrebe, namenjene analizi nanoplastike v hrani. V okviru projekta UPTAKE smo začeli proučevati privzem in porazdelitev nanoplastike, označene s kovinami, v hidroponično gojenih rastlinah paradižnika. S pomočjo obogatenih stabilnih izotopov kadmija, svinca, cinka in kroma ter omenjenih elementov v prisotnosti nanoplastike smo prav tako sledili privzemu omenjenih onesažil v hidroponično gojenih rastlinah paradižnika.

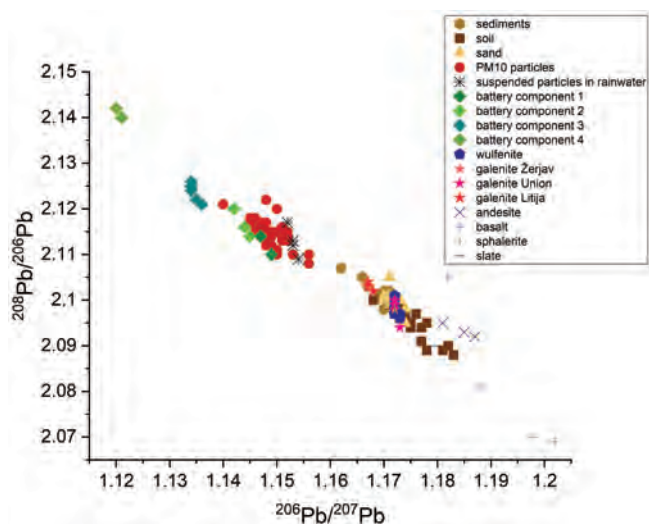


Slika 2: Izboljšanje meteorološko podprtih analiz za HgII v atmosferi

Taja Verovšek: Najboljša predstavitev (predavanje) med mladimi raziskovalci na 26th International symposium on Separation Sciences (Ljubljana, junij, 2022)

Na področju analiz nanodelcev smo z metodo spICP-MS spremljali prisotnost in izvor nanodelcev titanovega dioksida (TiO_2NDs) v reki Savi. Rezultati študije so pokazali, da so na prisotnost TiO_2NDs v rečni vodi močno vplivale urbane, kmetijske in/ali industrijske dejavnosti, hidrološke razmere in sestava rečnih sedimentov.

V okviru projekta Danube Hazard m3c, ki ga koordinira Tehnična univerza na Dunaju, smo nadaljevali z meritvami koncentracij izbranih elementov v vzorcih rečne vode, odpadnih voda, atmosferskih usedlin, zemlje, sedimentov in suspendirane snovi, zbranih na 20 vzorčnih mestih vzdolž porečja reke Donave. Rezultati so pokazali, da je rečna voda najbolj onesnažena v povodju romunske reke Vit s Zn in Cu zaradi rudarskih dejavnosti, kjer smo izmerili koncentracije, ki so presegale 2000 ng/mL. Onesnaženje rečnih vod z elementi v drugih proučevanih povodjih je bilo nizko do zmerno. V vzorcih rečne vode in sedimentov/zemlje smo identificirali in določili koncentracijo ter velikostno porazdelitev različnih vrst anorganskih nanodelcev. V ta namen smo optimizirali postopek ekstrakcije anorganskih nanodelcev iz sedimentov, ki mu je sledila njihova analiza s spICP-MS.



Slika 3: Izotopska sestava Pb v različnih vzorcih iz Mežiške doline in okolice

V sodelovanju z Inštitutom Rudjer Bošković smo proučevali prostorsko in časovno variabilnost ter vire raztopljenih elementov v sledovih v reki Savi v Sloveniji in na Hrvaškem.

V okviru projekta Netradicionalni izotopi kot identifikatorji avtogenih karbonatov, ki se je končal leta 2021, smo začeli razvoj in optimizacijo analiznega postopka za določanje Mo izotopov v sladkovodnem in morskem okolju. V letu 2022 smo razvito metodo za določanje $\delta^{97/95}\text{Mo}$ in $\delta^{98/95}\text{Mo}$ uporabili pri proučevanju oksidacijsko-redukcijskih procesov v sedimentih Brljanskega jezera na reki Krki na Hrvaškem. V sodelovanju z Oddelkom za geologijo na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani smo z uporabo $\delta^{97/95}\text{Mo}$ in $\delta^{98/95}\text{Mo}$ in izotopskih razmerij Pb proučevali nastanek ter primarne vire Pb in Mo v različnih mineralih in kamninah (slika 4X).

V sodelovanju s Premogovnikom Velenje d.o.i. smo raziskovali mehanizme razplinjanja in izvor plina, ujetega v lignitnih plasteh na aktivnih odkopnih čelih v velenjskem bazenu. Na podlagi izotopske sestave ogljika v CO_2 in metanu smo potrdili prevladujoč biogeni izvor obeh plinov, pri čemer pa so razmerja med biogenim in geogenim plinom odvisna od lokacije odkopnega čela.

Vodni krog

S konzorcijem COST projekta WATSON smo raziskovali kompleksen sistem površinske in podzemne vode aluvialnega vodonosnika ob Dravi pri Varaždinu na južnem robu Donavskega bazena. Na podlagi izotopskih analiz vode ter raztopljenega organskega in anorganskega ogljika ter fizikalno-kemijskih parametrov vode smo ugotovili, da podzemna voda deluje kot ponor in vir atmosferskega CO_2 , odvisno od letnega časa in pretoka. Recentna dinamika podzemne in površinske vode uravnava bilanco ogljika brez negativnih vplivov na kakovost vode. Raziskali smo tudi vsebnost in izotopsko sestavo nitrata v podzemni vodi in določili možne vire onesnaženja podzemne vode z nitrati.

Na področju urbane hidrologije smo raziskovali spreminjanje izotopske in kemične sestave vode v ljubljanskem vodovodnem sistemu. Ugotovili smo, da ima ne glede na majhno spremenljivost izotopske sestave vsako od 41 črpališč svoj značilni izotopski in kemijski odtis vode. S pomočjo izotopske sestave raztopljenega anorganskega ogljika v vodi lahko na odvzemnih mestih spremljamo mešanje podzemne in površinske vode v sistemu in ločimo globoke od plitvih črpališč ter razdaljo črpališča od korita Save.

Nadaljevali smo z mesečnim monitoringom, vzorčenjem in meritvami Hg ter različnih vodnih parametrov v rekah Idrijca in Soča. Vzorčenje poteka na šestih lokacijah v rekah, narejeno pa je bilo tudi pilotno vzorčenje v Tržaškem zalivu, ki bo predmet nadaljnjih raziskav. Reka Soča namreč še vedno, več kot 25 let po zaprtju idrijskega Hg rudnika, prinese v Tržaški zaliv znatne količine Hg, zvrst Hg pa je odvisna od lokacije, okoljskih pogojev in biogeokemijskih procesov, ki potekajo v rekah in v zalivu. Delo poteka v okviru projekta *Inovativne izotopske tehnike za identifikacijo virov in biogeokemijskega kroženja živega srebra na kontaminiranih območjih – IsoCont*.

Raziskave zraka

V okviru projekta ARRS *Izvor, transport in ponor obstojnih zračnih onesnaževal v okolju Slovenije* (STRAP) smo nadaljevali z raziskavo kakovosti zunanega zraka v Ljubljani, pri kateri uporabljamo radon kot indikator dinamike ozračja. Na podlagi večletnih kontinuiranih meritev koncentracije radona v zunanem zraku določamo razrede stabilnosti ozračja in višino plasti mešanja.

V okviru projekta smo z uporabo stabilnih izotopov ogljika določali izvor policikličnih aromatskih ogljikovodikov (PAH) kot obstojnih organskih onesnaževal. Raziskave so potekale na partikulatnih delcih na izbranih lokacijah v Sloveniji. Z analizo stabilnih izotopov (CSIA) smo lahko določili vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ v 14 PAHih; acenaften

(AcPhty), acenaften (AcPht), fluoren (Fl), fluoranten (FlAl), piren (Py), benzo(a)antracen (B(a)A), krizen (Cy), benzo(b)fluoranten (B(b)F), Benzo(j)fluoranten (B(j)F), Benzo(k)fluoranten (B(k)F), Benzo(a)piren (BaPy), Indeno(1,2,3,c,d)piren (IPy), Dibenzo(a,h)antracen (DB(a,h)At), Benzo(g,h,i)perilen (B(g,h,i)Pe). Vrednosti $\delta^{13}\text{C}$ v PAH-ih so se gibale od -62,4 ‰ do 18,3 ‰, kar kaže, da so glavni viri PAHov tekoča fosilna goriva, petrogeni izvori in izgorevanje biomase.

S projektom ARRS *Določanje hitrosti primarnih emisij in sekundarne produkcije ogljičnih aerosolov z visoko časovno resolucijo* pa smo vključeni v širšo raziskavo *Sarajevo Aerosol Experiment: Composition, Sources and Health Effects of Atmospheric Aerosol*. Na Federalnem hidrometeorološkem inštitutu BiH v Sarajevu kontinuirano merimo koncentracijo radona na dveh točkah z namenom, da bi pojasnili vpliv plasti mešanja ozračja na koncentracijo aerosola. V okviru projekta *SRNSFG Radon mapping and radon risk assessment in Georgia* smo raziskovali razširjenost radona v vodi in talnem zraku v Gruziji.

Pri raziskavah kakovosti notranjega zraka smo izbrali nekaj stavb različne kakovosti stavbnega ovoja, različne namembnosti (domovi starejših občanov, zasebne hiše, stanovanje v bloku) in na različnih območjih po Sloveniji. Lokacije smo izbrali glede na stopnjo tveganja za radon (nizka, zmerna in visoka), na podlagi radonskega zemljevida, ki smo ga izdelali leta 2018. V raziskavi smo v zraku poleg koncentracije radona (Rn) kontinuirano merili tudi koncentracijo ogljikovega dioksida (CO_2). V domovih starejših občanov so koncentracije Rn in CO_2 bolj odraz prezračevanja prostorov kot območja tveganja na radonskem zemljevidu ali gradbeno-tehničnih značilnosti stavb. V eni od zasebnih hiš na področju zmerne tveganja za radon in dobro zrakotesnostjo stavbnega ovoja sta bili koncentraciji Rn in CO_2 pozimi velikokrat nad njunima mejnima vrednostma. Simulacije z načrtovanimi stopnjami prezračevanja (DVR) so pokazale, da bi bilo potrebno od 1,4 do 1,8 izmenjave zraka na uro, kar težko dosežemo z naravnim prezračevanjem, zato smo predlagali vgradnjo prezračevalnega sistema. V manjšem stanovanju v bloku pa je simulacija prezračevanja pokazala, da lahko v hladni polovici leta vzdržujemo zadovoljivo majhno koncentracijo Rn in CO_2 z 0,5 izmenjave zraka na uro. Ker ponoči stanovanja niso prezračevali, je bila zjutraj koncentracija CO_2 običajno nad mejno vrednostjo. V času energetske krize se v stanovanjih na splošno vse bolj pogosto spoprijemamo s prevelikimi koncentracijami CO_2 . Pri raziskavah uporabljamo sodobno raziskovalno opremo, ki smo jo nabavili v okviru infrastrukturnega projekta RI-SI-EPOS.

Koloidna biologija

V okviru projekta SURFBIO (Twinning Funding Shema) smo s konzorcijem raziskovalnih partnerjev, od katerih IJS prenaša znanje, izvedli več dejavnosti usposabljanja kadrov za povečanje našega strokovnega znanja na področju površin materialov, bakterijskih združb in koloidne biologije. Skupaj s partnerji smo začeli graditi raziskovalno inovacijsko stičišče, sprva virtualno entiteto, ki nam bo pomagala pridobiti nova znanstvena sodelovanja in industrijske partnerje.

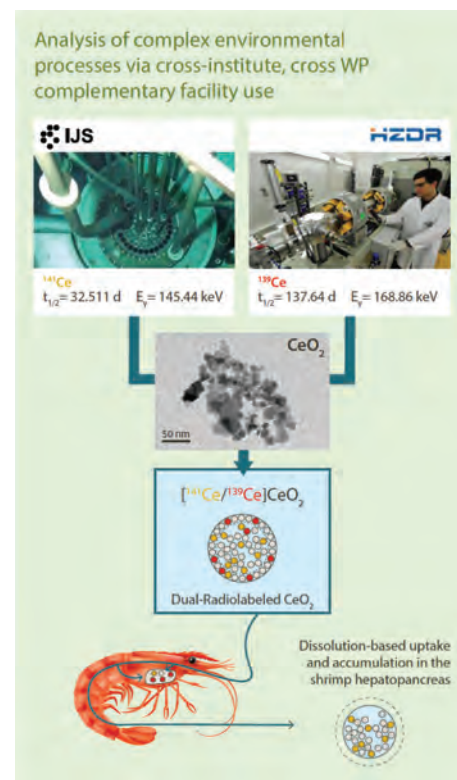
V okviru projekta GREENER smo uporabljali umetno zgrajene večcelične strukture, vezane na specifične vrste nosilcev, da biotransformiramo kemično kompleksne polimerne spojine, kot je lignin, v spojine z dodano vrednostjo. Inovacija je bila opisana v novo predloženi patentni prijavi.

Znotraj projekta BIOSYSMO bomo združili moči z našimi partnerji, da bi najprej modelirali različne presnovne poti, nato pa jih poskušali rekonstruirati z našim pristopom združevanja različnih bakterij, da bi oblikovali umetne konzorcije, ki bodo sposobni izvajati modelirane procese biotransformacije.

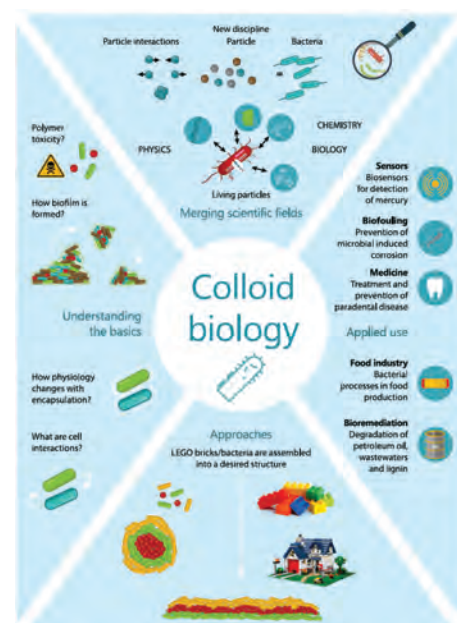
Naš pristop za gradnjo umetnih bakterijskih konzorcijev smo implementirali tudi v več drugih tekočih projektih, ki jih financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS. Pri mednarodnem projektu ARRS N1-0100 BE MERMAiD – *Biološko razpoložljiva metilacija živega srebra v Jadranskem morju* smo izvedli več poskusov, kjer smo pokazali, da se umetno izgrajeni celični agregati tvorijo v notranosti anaerobne niše, pomembne za metilacijo živega srebra.

Pri mednarodnem projektu CROSSING (sodelovalni raziskovalni projekt IJS in Helholz-Zentrum Dresden-Rosendorf – HZDR, Nemčija, financiran s strani HZDR) smo dodatno analizirali interakcije med bakterijami in nanodelci ter bakterijami in kovinskimi površinami, z različnimi fizikalnimi lastnostmi, pridobljenimi z nanotiskom in jedkanjem.

Za promocijo znanstvenega področja koloidne biologije smo v skladu z nacionalnimi projekti, ki potekajo, uspešno lansirali našo internetno stran: <https://biocolloid.ijs.si> in začeli posredovati znanstvene vsebine širši javnosti na družbenih omrežjih.



Slika 4: Analiza kompleksnih okoljskih procesov z uporabo komplementarne medinstitutske infrastrukture



Slika 5: The Colloid biology approach

Okolje in zdravje

Humani biomonitoring

V sodelovanju s Fakulteto za zdravstvene vede Univerze v Ljubljani smo proučevali sproščanje kovinskih ionov iz ortodontskih aparatov v *in vitro* in *in vivo* okoljih. Skupaj s Fakulteto za elektrotehniko Univerze v Ljubljani smo nadaljevali raziskave sproščanja kovin iz elektrod, ki se uporabljajo pri elektroporaciji in cisplatinom.

Da bi zagotovili kakovostne in primerljive podatke v okviru humanega biomonitoringa po Evropi, je Evropska pobuda za humani biomonitoring (HBM4EU) organizirala medlaboratorijske primerjalne raziskave (ICIs) za biomonitoring Cr v humanem serumu, krvi in urinu. Študija je potekala v štirih medlaboratorijskih primerjalnih raziskavah, ki se jih je udeležil tudi naš laboratorij. Rezultati študije kažejo, da je redno preverjanje usposobljenosti laboratorijev, ki sodelujejo v študijah humanega biomonitoringa, izredno pomembno in pripomore k zagotavljanju kakovosti in primerljivosti pridobljenih podatkov. Rezultati študije so pokazali, da naš laboratorij zagotavlja natančne meritve Cr v vseh analiziranih vzorcih.

Pri projektu HBM4EU smo ocenili tveganje za zdravje za anorganski arzen pri splošni evropski populaciji glede na obstoječe podatke notranje in zunanje izpostavljenosti v zadnjih dvajsetih letih. Zaradi majhne koncentracije arsena v pitni vodi v večini Evrope in majhnega vnosa arsena prek prehrane je izpostavljenost majhna, tako da je ob upoštevanju najnovejših študij o mehanizmu delovanja anorganskega arsena pri majhnih koncentracijah tveganje za splošno populacijo zelo majhno.

V povezavi s projektom MERFISH smo nadaljevali naše raziskovanje gensko-okoljskih interakcij s pomočjo splošnih linearnih stističnih modelov. S pomočjo baze podatkov humanega biomonitoringa iz PHIME projekta smo poskusili oceniti povezave med izbranimi individualnimi genskimi polimorfizmi (geni *ALAD*, *APOE*, *VDR*) in koncentracijami elementov v sledovih v vzorcih (popkovne) krvi pri zdravi populaciji italijanskih nosečnic ($n = 900$) z majhno okoljsko in/ali prehransko izpostavljenostjo potencialno strupenim neesencialnim kovinam. Identificirali smo statistično signifikantne povezave med materinimi polimorfizmi v genu *ALAD* oziroma *APOE* in koncentracijami posameznih kovin (Pb in/ali Hg); pomembno je, da smo pri posameznih povezavah zasledili vpliv spola zarodka na te povezave. S podobno študijo smo začeli proučevati populacijo zdravih slovenskih žensk in njihovih otrok, ki so bili predhodno vključeni v projekt CROME; tu smo proučevali povezave med genotipi APE in elementi v sledovih (kri, urin) ali biomarkerji redoks statusa in statusa antioksidativnega stresa.

Razvili in validirali smo netarčni protokol za spremljanje biomarkerjev izpostavljenosti v humanem urinu. Protokol vključuje pripravo vzorcev, inštrumentalno analizo in obdelavo podatkov. Uporabili smo ga za analizo izpostavljenosti skupine slovenskih otrok, pri čemer smo identificirali 76 biomarkerjev izpostavljenosti v urinu populacije slovenskih otrok, starih od 6 do 9 let. Med biomarkerji izpostavljenosti smo določili številne, ki spadajo med sestavine zdravil in izdelkov za osebno nego, mehčalce, pesticide ipd. Rezultati te raziskave prinašajo dragocene podatke o hkratni izpostavljenosti slovenskih otrok številnim kemikalijam in odpirajo nova vprašanja o morebitnih škodljivih učinkih teh zmesi na ranljivo populacijo otrok.

V okviru nacionalnega HBM programa smo nadaljevali vzorčenje otrok (6–9 let) in najstnikov (12–15 let) za oceno izpostavljenosti kemikalijam iz okolja. Vzorce, ki smo jih zbrali na območju Vrhnike, smo analizirali za elemente v sledovih, bisfenole, parabene in triklozan.

Prav tako smo nadaljevali nabor porodnic ter zbiranje bioloških vzorcev med nosečnostjo, pri porodu in po porodu žensk ter njihovih novorojencev z območja Celja v sodelovanju s Splošno bolnišnico Celje. Do konca leta 2022 smo nabor uspešno zaključili in v študijo vključili 235 nosečnic/porodnic.

V sodelovanju z Univerzitetnim kliničnim centrom (UKCL) v Ljubljani smo v ARRS projektu *Vpliv endokrinih motilcev (bisfenolov, parabenov, triklozana) in potencialno toksičnih in esencialnih kemičnih elementov na porod, neplodnost in raka jajčnika v Sloveniji* zadolženi za analizo naštetih kemikalij v zbranem biološkem materialu, zato smo sodelovali pri vzorčenju porodnic, kontrolne skupine in bolnic na UKCL, ki je potekalo v letu 2022.

Na podlagi podatkov prvega nacionalnega programa HBM smo objavili študijo vpliva genetskih dejavnikov na izpostavljenost ftalatom in DINCH pri odrasli populaciji, pri čemer smo raziskali polimorfizme posameznih nukleotidov v genih, ki kodirajo encime, odgovorne za presnovo ftalatov in DINCH, predvsem citokrom P450 encimi (CYP) in UDP-glukuronosiltransferaze (UGT) (slika 7). V tej študiji smo kot prvi pri ljudeh testirali in potrdili predhodno predlagan vpliv genetskih variacij na aktivnost encimov ter posledično presnovo ftalatov, predvsem DEHP-ja, kar pomembno vpliva na občutljivost posameznikov na škodljive učinke

Evropske nagrade javnega sektorja: Nagrado EPSA podeljuje Evropski inštitut za javno upravo (EIPA), ki spodbuja prizadevanja organizacij za spodbujanje inovativnega, digitalnega in zelenega javnega sektorja. Evropski projekt APPLAUSE – preoblikovanje invazivnih tujerodnih rastlin v uporabne izdelke in vhodne surovine za industrijo, je osvojil 3. mesto v kategoriji Zeleno Javni sektor (A. Lapanje in T. Rijavec). Magistrsko delo Helene Plešnik z naslovom *Določanje produktov razgradnje bakterijskega lignina s tekočinsko kromatografijo, spojeno z masno spektrometrijo, na katerem je delala kot del projekta Aplavz, je bilo izbrano za podelitev Krkine nagrade za raziskovalno delo na 51. Razpisu Krkinih nagrad za najboljše raziskovalne projekte.*

teh kemikalij. Študija je bila s strani ARRS uvrščena med izjemne dosežke Odlični v znanosti.

V sklopu evropskega projekta HBM4EU smo opravili oceno geografske variabilnosti izpostavljenosti kadmiju v Evropi, pri čemer smo raziskali razloge za razlike v izpostavljenosti med državami oziroma regijami, ki so povezani s prehranskim vnosom. S povezavo prostorskih in HBM podatkov smo pokazali, da uporaba organofosfornih gnojil v kmetijstvu pomembno prispeva k prehranskemu vnosu kadmija z žitaricami pri evropski odrasli populaciji, prav tako pa k izpostavljenosti prispeva kadmij iz prometa in industrije. Kot soavtorji smo prispevali še k mnogim objavam o oceni izpostavljenosti in tveganja, geografski variabilnosti in virih izpostavitve za ftalate, DINCH, zaviralce gorenja, glifosat ter piretoride, ki so rezultat harmonizirane študije Aligned studies v sklopu projekta HBM4EU in del katere je bila tudi slovenska študija otrok in najstnikov v Prekmurju. Na nacionalni ravni pa smo za prekmursko študijsko populacijo opravili oceno izpostavljenosti in virov izpostavitve za PFAS.

V letu 2022 se je evropski projekt humanega biomonitoringa HBM4EU zaključil, dejavnosti pa se nadaljujejo pri projektu PARC (Partnership for Assessment of Risk from Chemicals) (2022–29), kjer smo vključeni v pripravo materialov za izvedbo poenotenja študij na evropski ravni, načrtovanje analiz biomarkerjev izpostavljenosti in učinkov (tarčnih in netarčnih), podatkovno obdelavo (obstojećih in novih podatkovnih setov ter povezovanje z okoljskimi in zdravstvenimi podatki), vzpostavljanje FAIR principa pri upravljanju s podatki (sodelovanje z Odsekom za tehnologije znanja, E8), pregled napredne metodologije za oceno tveganja ter vzpostavljanje dolgoročnih laboratorijskih in podatkovnih kapacitet.

Oddelek je tudi aktivno vključen v EIRENE PPP, katerega namen je pripraviti konsolidirano evropsko raziskovalno infrastrukturo, ki omogoča razvoj naprednih tehnologij in dopolnilnih storitev pri karakterizaciji kompleksnih izpostavljenosti okolja in njihovega vpliva na evropsko prebivalstvo.

Epidemiologija odpadnih vod

Z epidemiologijo na podlagi odpadnih vod (WBE) pridobimo objektivne podatke o prostorsko-časovnih trendih uporabe dovoljenih in nedovoljenih drog. Letos smo že šestič sodelovali pri mednarodnem spremljanju uporabe prepovedanih drog v okviru mreže SCORE, katerega cilj je napredovati na področju WBE z mednarodnim sodelovanjem in izmenjavo znanj v korist zdravja ljudi in okolja. V projekt SCORE 2022 smo vključili sedem slovenskih čistilnih naprav/mestnih občin. Največje masne obremenitve večine proučevanih biomarkerjev, tj. benzoilekgonina (biomarker kokaina), MDMA (biomarker ekstazija) in metamfetamina, so bile ugotovljene v Ljubljani, amfetamina pa v Velenju. Najvišje vsebnosti biomarkerja THC (THC-COOH) so bile določene v Kopru, po njegovih vsebnostih pa mu tesno sledi Ljubljana.

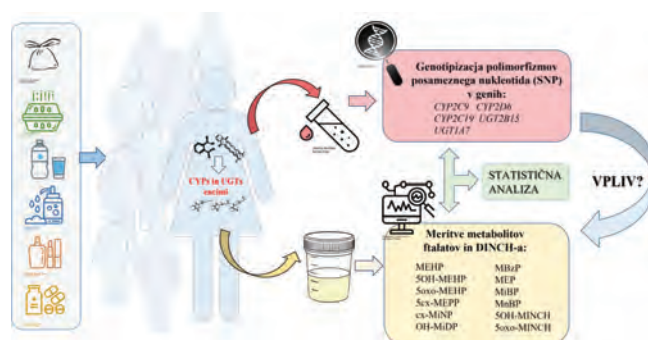
Poleg tega smo sodelovali v mednarodni študiji WBE, usmerjeni v ugotavljanje pojavnosti novih psihoaktivnih snovi (NPS). Vzorci neobdelane odpadne vode so bili pridobljeni v božično-novoletnem obdobju na čistilnih napravah štirih slovenskih območij: Ljubljana, Maribor, Novo mesto in Kranj. Določeni so bili trije NPS, in sicer 3-MMC, etilon in mitraginin. Rezultati so pokazali, da je pristop WBE uporaben tudi za spremljanje hitro spreminjajočih se profilov uporabe NPS.

Za dopolnitev rezultatov WBE lahko uporabimo enantiomerno profiliranje, s katerim pridobimo dodatne informacije o izvoru drog (dovoljena ali nedovoljena uporaba) in izboljšamo oceno WBE o izvoru drog, tj. razlikujemo med odvrženo neuporabljeno drogo in uporabljen drogo (metabolizem). V naši študiji smo z uporabo kiralne derivatizacije in GC-MS/MS določili izvor amfetaminov v odpadni vodi. Pokazali smo, da so izmerjene izjemne masne obremenitve MDMA (ekstazija) v Ljubljani posledica odvržene neuporabljene droge in ne uporabljene (zaužite) droge, ter da je na trgu prepovedanih drog v Sloveniji prisoten močnejši S-metamfetamin.

Druge študije

Za deset izbranih ostankov dovoljenih in nedovoljenih drog smo ocenili ekotoksičnost z uporabo programske opreme ECOSAR in testa zaviranja rasti alg (OECD št. 201, 2022). Za testirane spojine pri 72-urni in 240-urni izpostavitvi alg (*Chlamydomonas reinhardtii*) nismo opazili bistvene inhibicije rasti, čeprav so bili učinki na vodne rastline napovedani in silico.

Začeli smo projekt HE SECURE, kjer bomo razvijali nove radionuklide za proizvodnjo radiofarmakov za terapevtske namene. Naše delo bo



Slika 6: Shematska ponazoritev študije vpliva genetskih dejavnikov na izpostavljenost in biotransformacijo ftalatov in DINCH pri odrasli populaciji.

Johanna Robinson, mlada raziskovalka, je bila nagrajena za najboljšo predstavitev študije primera z naslovom *Ko tehnologija odpove: študija primera prezgodnjega orodja CS na Citizen Science with Application to Nuclear, Seismic and Air Quality Monitoring: APPLICATIONS in Air Quality Monitoring* Spletna delavnica, ki jo je od 15. do 19. marca 2021 organiziral Mednarodni center za teoretično fiziko Abdus Salam (ICTP).

osredotočeno na Tb-161, Au-198 in Ag-111, kjer bomo razvili protokole ločevanja in čiščenja, pripravo tarč in optimizirali protokole obsevanja.

Ljubiteljska znanost in drugi participativni pristopi pri spremljanju okoljskega zdravja

Uspešno smo zaključili H2020 projekt CiteS-Health (citieshealth.eu), ki je temeljil na načelih ljubiteljske znanosti (Citizen Science) in soustvarjanja, ter v ospredje raziskovanja postavili zdravstvena vprašanja, ki pestijo večino splošne javnosti. V okviru projekta je bila v Ljubljani izvedena pilotna študija, kjer so bili prebivalci vključeni v raziskovanje kakovosti bivalnega okolja (s poudarkom na hrupu) in življenjskih navad ter vpliva na (duševno) zdravje in počutje posameznikov.

Nadaljevali smo H2020 projekt URBANOME (urbanome.eu), ki se ukvarja s problematiko zdravja in kakovostjo bivanja v urbanih okoljih, in sicer s sistematičnim vključevanjem teh vidikov v urbane politike in dejavnosti občanov. V sodelovanju z različnimi deležniki smo zasnovali študijo, v kateri bomo s pomočjo prostovoljcev raziskovali izpostavljenost posameznikov urbanim stresorjem pri uporabi alternativnih kolesarskih poti.

Začeli smo H2020 projekt INQUIRE (inquire-he.eu), ki se bo ukvarjal s problematiko kakovosti notranjega zraka – opredelitvijo različnih kemičnih in bioloških dejavnikov, njihovih virov in strategij za spodbujanje bolj zdravih domov. V pilotno študijo v Sloveniji bodo vključena izbrana gospodinjstva kjer bodo potekale meritve različnih parametrov kakovosti zraka.

Raziskave na področju hrane – ERA Chair ISO-FOOD

Raziskave, povezane z uporabo stabilnih izotopov lahkih in težjih elementov, so vključevale:

(i) Vzpostavitev in posodabljanje podatkovne zbirke o stabilnih izotopih pristnih vzorcev izbranih živil (www.foodtrack.ijs.si), vključno z izbranim sadjem in zelenjavo (česen, jabolka in kaki), medom, svinjino in začimbami (paprika, cimet, žafran) v sodelovanju z Upravo Republike Slovenije za varno hrano, veterinarstvo in varstvo rastlin, Čebelarstvo Slovenije, projektom PROMEDLIFE, MSCA ITN FoodTraNet in ARRS projektom L7-4568.

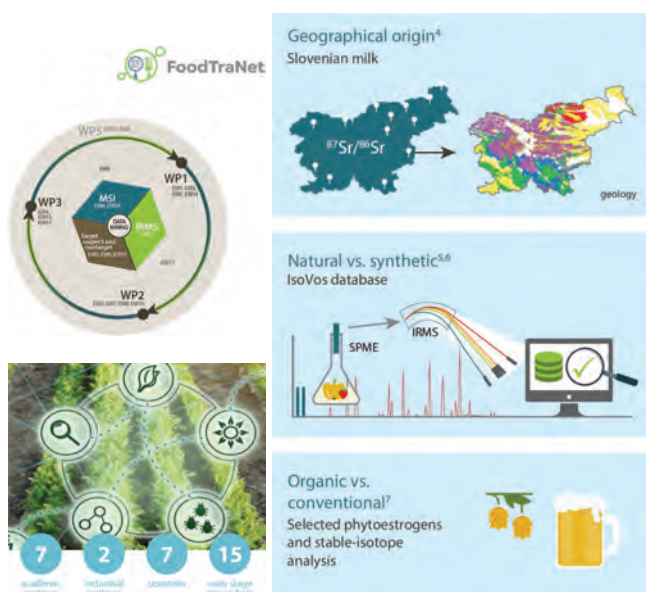
(ii) Nadgradnja podatkovne zbirke pristnih vzorcev z ustreznimi podatki, samodejno pridobljenimi iz znanstvene literature z uporabo tehnik obdelave naravnega jezika (ang. Natural Language Processing NLP), s poudarkom na mleku in mlečnih izdelkih ter žafranu. Metoda NLP je bila uporabljena tudi za pridobivanje podatkov o ribah in morskih sadežih kot izbranim živilu v okviru novega projekta Horizon Europe FishEUTrust, kjer delujemo kot koordinator. Za več informacij je na voljo uradna spletna stran: www.fisheustrust.eu. Pridobljeni podatki o preiskovanih živilskih proizvodih so vključeni tudi v e-komponento različnih EU projektov, kot sta METROFOOD-RI in FNS-Cloud.

(iii) Vrednotenje rezultatov z uporabo standardnih statističnih metod in umetne inteligence. Raziskava, izvedena na jagodah, dokazuje ustreznost in uporabnost kemometričnih pristopov raziskovalne analize, klasifikacije in modeliranja razredov pri preverjanju geografskega porekla. Modeli so bili razviti na rezultatih stabilnih izotopov lahkih elementov in elementne sestave. Pri preverjanju porekla komercialnih vzorcev z deklariranim slovenskim poreklom je bilo ugotovljeno, da je 39 % vzorcev potencialno napačno označenih. Nadalje je bila izvedena nadgradnja razpoložljivih metodologij in razvoj novih z vključitvijo razložitvega strojnega učenja. Ta pristop bo uporabljen za razvrščanje danega živila glede na poreklo in zagotavljanje razlage o izdelani napovedi.

Raziskali smo tudi kakovost in varnost novih alternativnih virov proteinov s poudarkom na algah in žuželkah. Ovrednotena sta bili prehranska kakovost in varnost izdelkov iz spiruline, v drugem delu raziskave pa je bila ocenjena pristnost izdelkov iz spiruline na slovenskem tržišču glede na označbo geografskega porekla. Zanimivo je, da je bila kljub relativno visoki vsebnosti železa dejanska biorazpoložljivost železa precej manjša, saj je bilo železo prisotno v obliki iona Fe^{3+} . Nadalje se je pokazalo tudi, da so čista prehranska dopolnila s spirulino dober vir esencialnih in neesencialnih aminokislin ter w-6, ne pa tudi w-3 polinenasičenih maščobnih kislin. V okviru projekta INPROFF je bila opravljena tudi raziskava gojenih žuželk za hrano in krmo. Rezultati so v obdelavi.

Stabilni izotopi in elementna sestava medu so bili nadgrajeni z drugimi metodami, kot so hlapne organske spojine (HOS). Sestava hlapnih organskih spojin se je izkazala za uspešno metodo pri razlikovanju vzorcev medu glede na vrsto medu in področje. Druga študija vključuje preiskavo

Pridobitev in koordinacija novega EU projekta FishEUTrust



Slika 7: Pridobitev MSCA ITN Foodtranet v povezavi z ERAChair IsoFood uspešno deluje na področju varne in zdrave hrane.

HOS v kraškem pršutu. Primerjava profilov HOS je pokazala možnost ločevanja pršutov glede na surovino, težki in lahki pršuti, ter vrsto mišice, pri čemer je bila skupna sposobnost ločevanja visoka, in sicer 95 %, 97 % in 98 %. Pri skladiščenju so bile največje razlike v sestavi hlapnih organskih spojin opazne med pršuti, skladiščenimi en in sedem mesecev pri enakih pogojih. Ta raziskava je bila izvedena v okviru projekta ARRS v sodelovanju z Jata Emona in Kras Sežana.

Hlapne organske spojine so bile uporabljene tudi za izvedbo umetniškega projekta *One tree ID* v sodelovanju z galerijo Kapelica. Rezultat raziskave je bil seznam hlapnih organskih spojin v listih, deblu in koreninah drevesa *Cercidiphyllum japonicum*. Na podlagi rezultatov je bil izdelan parfum kot ID izbranega drevesa, predstavljen na razstavi v galeriji Kapelica septembra 2022.

V sodelovanju s Čebelarstvo Slovenije smo v vzorcih slovenskega medu različnih vrst določili elementno in Sr izotopsko sestavo z namenom postavitve evidence parametrov, ki so pomembni za določanje geografskega porekla medu.

V okviru projekta Vloga lastnosti tal in okoljskih razmer v elementarni in izotopski sestavi oljk: osnova za geografsko sledljivost olja, ki ga je vodil Inštitut za jadranske kulture in melioracijo Krasa, smo razvili analizni postopek za določanje $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ v oljčnem olju z namenom določanje geografskega porekla olja.

Okoljske tehnologije

V okviru EU projekta LIFE HIDAQUA, ki ga koordinira Zavod za gradbeništvo Slovenije, smo merili elemente v industrijskih odpadnih in očiščenih vodah ter prispevali k razvoju naprave za remediacijo odpadne vode za njeno predvideno uporabo v panogah, ki zahtevajo veliko vode, kot je avtomobilska industrija.

V EU projektu LIFE IP RESTART, ki ga koordinira Ministrstvo za naravne vire in prostor, sodelujemo pri nalogah, povezanih z vplivi na okolje recikliranih nenevarnih gradbenih odpadkov in odpadkov, ki nastanejo pri rušenju stavb ter njihovi uporabi pri rekultivaciji degradiranih tal in pripravi rodovitnih zemljišč. Cilj je zmanjšati količino odpadkov ter zagotoviti čim večjo samooskrbo z materiali, večjo predelavo odpadkov in s tem zmanjšati ogljični odtis.

V sodelovanju z Odsekom za nanostrukturne materiale smo raziskovali elektrokemijske poti za okolju prijazno recikliranje trajnih magnetov na podlagi redkih zemelj (Sm-Co).

V sodelovanju z Biotehniško fakulteto v Ljubljani smo proučevali rast mikrobov v prisotnosti naraščajočih koncentracij Cr(VI) in sledili njegovi redukciji z obogateno mikrobovno združbo iz odpadne vode usnjarn in bakterijskimi sevi, izoliranimi iz obogatene mikrobne združbe. S spremljanjem rasti bakterij (optična gostota) in merjenjem Cr(VI) s spektrofotometrijo in HPLC-ICP-MS smo ugotovili, da so trije izolati *M. sciuri* in en izolat *P. aeruginosa* v 24 urah reducirali 50 % Cr(VI) z začetno koncentracijo 100 mg/L (pH 7,1). Obogatena mikrobovna združba se je bolje prilagodila na povečane koncentracije Cr(VI), vendar je potrebovala daljši čas (48 ur) za enako učinkovito redukcijo Cr(VI). Sposobnost obogatene mikrobne združbe in izoliranih bakterijskih sevov, da reducirajo Cr(VI), ponuja njihov potencial za hitro bioremediacijo odpadnih voda, onesnaženih s Cr(VI).

V okviru delovnega paketa CORI skupnega evropskega programa za ravnanje z radioaktivnimi odpadki EURAD H2020 smo nadaljevali raziskave interakcij cement-organske molekule-radionuklidi za varno odlaganje nizko- in sredneradioaktivnih odpadkov. Proučevali smo sorpcijo EDTA in NTA na cement. EDTA in NTA sta kompleksirni sredstvi, ki se uporabljata za dekontaminacijo površin v jedrski industriji. Med njihovim odlaganjem lahko spremenita mobilnost radionuklidov v pogojih odlaganja. Ugotovili smo, da je sorpcija NTA veliko močnejša od EDTA, in te sisteme še naprej preiskujemo.

Ocenili smo uspešnost odstranjevanja ostankov psihoaktivnih zdravil z različnimi tehnologijami čiščenja odpadnih vod, njihovo pojavnost v površinskih vodah, v katere se iztoki iz čistilnih naprav izlivajo, ter tveganje za okolje. Rezultati so pokazali, da je bila učinkovitost odstranjevanja primerljiva med postopki čiščenja na podlagi aktivnega blata in membranskimi bioreaktorji, medtem ko je tehnologija MBBR (Moving Biofilm Bed Reactor) odstranila kotinin, kokain in benzoilekgonin v manjši meri. V skladu s tem je bila v rečni vodi, ki prejema izpust iz čistilne naprave s tehnologijo MBBR, določena višja raven ostankov nikotina in kokaina. Ocena tveganja za okolje je pokazala, da ravni nikotina, metadona, 2-etiliden-1,5-dimetil-3,3-difenilpirolidina (EDDP), morfina in 3,4-metilendioksimetamfetamina (MDMA) pomenijo potencialno tveganje za vodne organizme.

V čistilni napravi s sekvenčnimi šaržnimi reaktorji smo proučevali kroženje 16 bisfenolov (BP) med čiščenjem odpadne vode ter določili masne tokove v odpadni vodi in blatu iz različnih stopenj čiščenja. BPA in BPS sta bila najbolj zastopana bisfenola v dotoku, iztoku in blatu, tj. 80–90 % vseh BP. Rezultati so pokazali, da se celotna koncentracija BP poveča med mehansko stopnjo čiščenja, z najvišjimi vrednostmi v iztoku iz primarnega usedalnika. V blatu so bile največje koncentracije v anaerobno stabiliziranem blatu, sledita primarno in sekundarno blato. Študija je pokazala, da znatne količine BP ostanejo v iztoku ČN (8 %) ter primarnem (10 %) in sekundarnem blatu (1 %), pri čemer se večina bisfenolov biološko razgradi (81 %) v sekvenčnih šaržnih reaktorjih. Na splošno je bila

Nagrada za najboljši poster z naslovom: *Tracing the geographical origin of fruits and vegetables*, predstavljen na konferenci RAFA 6.–9. 9. 2022 v Pragi.

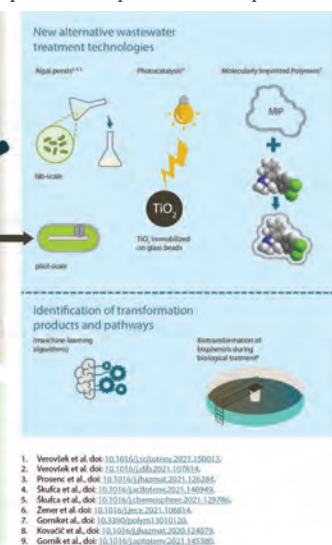
odstranitev bisfenolov 92-odstotna, najvišje dnevne emisije pa so bile 1,48 g dan⁻¹ in 4,63 g dan⁻¹ za BPA z iztokom in anaerobno stabiliziranim blatom. Glede na potencialno toksičnost bisfenolov bodo pridobljeni rezultati koristni pri ocenjevanju okoljskega tveganja pri vnovični uporabi odpadne vode in blata v kmetijstvu.

Za mnoge regije je pomanjkanje vode velika težava, kar podpira uporabo obdelane odpadne vode za namakanje, četudi moramo ob tem razumeti tveganja ob potencialnem vnosu škodljivih kemikalij v pridelke. V tej raziskavi smo proučevali vnos 14 onesnaževal, ki vzbujajo zaskrbljenost (Contaminant of Emerging Concern, CEC), in 27 potencialno toksičnih elementov (PTE) v paradižnikih, gojenih v medijih brez zemlje (hidroponično) in v zemlji (lizimetri), namakani s pitno in obdelano odpadno vodo z uporabo LC-MS/MS in ICP-MS. Ostanke bisfenola S, bisfenola F in naproksena smo določili v paradižniku, ki je bil namakan s pitno vodo in odpadno vodo pod obema pogojema, pri čemer je imel BPS največjo koncentracijo. Ravni vseh treh spojin so bile statistično pomembnejše pri hidroponično pridelanih paradižnikih kot v lizimetrih, elementna sestava pa kaže razlike med hidroponično in lizimetrično pridelanimi paradižniki ter paradižniki, namakanimi z odpadno in pitno vodo. Koncentracije prisotnih CEC in PTE

kažejo na majhno kronično prehransko izpostavljenost, rezultati te študije pa bodo v pomoč ocenjevalcem tveganja.

Proučevali pa smo tudi alternative običajnemu čiščenju odpadne vode, vključno z algami bioreaktorji in obdelavo s hladno plazmo na atmosferskem tlaku (Cold Atmospheric Pressure, CAP). V primeru obdelave odpadne vode z algi biomasa, to je alternativne obdelave, ki bi lahko prispevala h krožnemu gospodarstvu z valorizacijo predelane vode in biomase alg, smo raziskali usodo izbranih CEC v laboratorijskih bioreaktorjih in njihovo porazdelitev med vodno fazo in biomaso alg. Rezultati kažejo spodbudne rezultate glede odstranjevanja CEC, vendar so potrebne nadaljnje raziskave, da bi razumeli tveganja in zahteve varne ponovne uporabe odpadne vode in biomase. Nasprotno pa je naša študija s plazemsko tehnologijo pokazala, da lahko CAP odstrani BPA (> 98 %) in BPS (> 70 %) iz vode in odpadne vode, kjer je bila razgradnja odvisna od spojine, časa in moči uporabljene plazme, medtem ko sta imeli začetna koncentracija in matrika zanemarljiv učinek. V okviru te raziskave smo tudi identificirali produkte transformacije BPA in BPS. Zaradi relativno manjših energijskih potreb algnih bioreaktorjev in CAP plazemske tehnologije ter spodbudnih rezultatov načrtujemo nadaljnje raziskave na tem področju.

Nadaljevali smo delo v okviru nacionalnega projekta Stroškovno učinkovita separacija tritija iz vode z biološkimi sistemi – BIOTRISEP. Izvedli smo preliminarne poskuse za ločevanje tritija z uporabo cianobakterij, da bi pokazali preliminarni dokaz koncepta biološkega pristopa. V dveh drugih nacionalnih projektih smo zbirali in karakterizirali bakterijske izolate iz ustne votline in površine kože dojenčkov ter začeli karakterizirati njihovo protimikrobno delovanje. Začeli smo tudi s sekvenciranjem genomov izbranih bakterijskih izolatov.



Slika 8: Pojav, obdelava, odstranjevanje in transformacije onesnaževal, ki so na prioriteten seznamih (CEC).

Ester Heath, David Heath, Ana Kovačič, David Škufca (in partnerji Zdravstvene fakultete) ARRS Odlični v znanosti (Medicinske vede/Zdravstvene vede): novodobna organska onesnažila – kako jih lahko obvladamo z algami?

V sodelovanju s Kemijskim inštitutom smo pripravili sistem za čiščenje različnih organskih onesnaževal, ki se uporabljajo pri izdelavi papirja, ki je temeljil na sistemu za imobilizacijo bakterij, in demonstrirali t. i. proof-of-concept za tovrstni čistilni sistem.

Uspešno smo pridobili in začeli tudi dva nova raziskovalna projekta, ki ju financira Agencija za raziskovalno dejavnost RS ARRS. Pri teh projektih bomo pripravljali bakterijske katalitične agregate za biotransformacijo odpadkov oljnih tropin na eni strani in proizvajali nove vrste biognojil na drugi.

Upravljanje okolja, ocena vplivov na okolje in ocena tveganja

V letu 2021 smo nadaljevali delo pri projektu TransCPEarlyWarning, katerega cilj je izboljšati raven usklajenosti obstoječega zgodnjega opozarjanja civilne zaščite z namenom, da se poveča zmožnost napovedovanja, opozarjanja in odzivanja na nevarnosti ter izboljšata izmenjava informacij in usklajevanje z mehanizmom EU na področju civilne zaščite in upravljanja tveganj. Specifično se to nanaša na povečevanje enotnosti, homogenosti prek integracije obstoječih pristopov zgodnjega opozarjanja in s tem izboljšanje izmenjave informacij v okviru evropskega mehanizma civilne zaščite. Delo je obsegalo modeliranje za primere poplav in gozdnih požarov, ki naj bi se uporabila pri razvoju skupne platforme za zgodnje opozarjanje za pomoč pri harmonizaciji in izboljšanju odkrivanja nevarnosti ter s tem povezane zaščite in reševanja. Opravljeno je bilo zbiranje, urejanje in analiza podatkov z namenom ustvarjanja jasne slike o trenutnem stanju na področju civilne zaščite in sistemov zgodnjega opozarjanja med sodelujočimi državami.

Zaključili smo sodelovanje pri EU projektu HERA, katerega cilj je bil identificirati ključne usmeritve za prihodnje raziskave, strategije ter orodja za spoprijemanje s težavami na področju okolja, podnebja in zdravja, ki bo upošteval ugotovljene družbene potrebe, cilje povezanih sektorskih politik in pomanjkanje znanja na zadevnem področju. To bo doseženo z vzpostavitvijo učinkovite komunikacije med deležniki na nacionalni in evropski ravni – tj. z vključevanjem zainteresiranih, oblikovanjem dodatnih smernic za oceno vpliva na zdravje in oceno zdravstvenega tveganja, povečanim medsebojnim usklajevanjem in bogatenjem idej ter s prispevanjem k evropski politiki in praksi.

Nadzorne meritve v okolju

V sodelovanju z okoljsko agencijo Hrvaške vode smo nadaljevali meritve organokositrovih spojin in celokupnega živega srebra v morskimi in rečnih vodah.

Za podjetje Novartis smo opravili številne ekspertne analize vsebnosti mikroelementov v zdravilnih učinkovinah.

Nadaljevali smo redne meritve izotopske sestave padavin v Sloveniji v okviru Slovenske mreže SLONIP (Slovenian Network of Isotopes in Precipitation) in dopolnili bazo podatkov z najnovejšimi vrednostmi (<https://slonip.ijs.si/>).

Opravljen je bilo spremljanje naravnih radionuklidov na vplivnem območju nekdanjega rudnika urana na Žirovskem vrhu. Sodelovali smo tudi pri zunanjem nadzoru Nuklearne elektrarne Krško (NEK) z določanjem stroncija in tritija v vzorcih iz okolja ter tritija in ^{14}C v odplakah iz NEK. Z analizami stroncija in tritija smo sodelovali tudi pri spremljanju radioaktivnosti v pitni vodi v Sloveniji, pa tudi pri spremljanju življenjskega okolja v Sloveniji. Metode za določanje stroncija, tritija in ^{14}C za namene spremljanja so akreditirane s strani slovenskega akreditacijskega organa (SA LP-090).

Meritve Hg v padavinah za Agencijo RS za okolje smo izvajali tudi na meteorološki merilni postaji Iskrba, ki velja za neonesnaženo območje.

Izobraževanje

V okviru EU H2020 projekta A-CINCH in v sodelovanju s Centrom za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij IJS smo začeli pripravo izobraževalnih videoposnetkov s področja jedrske forenzike, kjer oblikujemo praktično usposabljanje za določanje razmerij uranovih izotopov z MC-ICP-MS za področje jedrske forenzike. Poleg tega smo v sodelovanju z drugimi projektnimi partnerji zasnovali virtualni laboratorij z različnimi vajami s področja radiokemije.

Septembra 2022 smo organizirali meroslovno usposabljanje za mlade raziskovalce projekta z namenom uporabljati osnovne meroslovne koncepte (sledljivost, kalibracija, primerljivost, merilna negotovost, širjenje negotovosti, diagram ribje kosti).

Infrastrukturni Center za masno spektrometrijo (CMS)

Center v okviru Odseka za znanosti o okolju sodeluje pri projektih, raziskavah in meritvah, ki jih izvajamo s štirinajstimi različnimi masnimi spektrometri. Dejavnost CMS se izvaja na tematskih področjih analize kemije, biokemije, farmacevtske in sintezne kemije, medicine, ohranjanja zdravja, kontrole hrane in varovanja okolja. Študije in analizi postopki v okviru raziskovalnih programov in projektov s področja onesnažil v okolju, nadzora in avtentičnosti hrane, vplivov različnih snovi in kemikalij na zdravje ljudi podrobneje obravnavajo speciacije kemijskih elementov, kvantitativno določitev velikostne porazdelitve nanodelcev, prostorsko porazdelitev elementov v sledovih pri določanju biološke dostopnosti esencialnih elementov, toksičnost elementov v prehranskih izdelkih, proučujejo geokemijske cikle, identificirajo in določajo strukturo bioloških molekul, zdravilnih učinkovin kemoterapevtikov v različnih bioloških materialih, organskih spojin, njihovih metabolitov in razgradnih produktov, kakovost in izvor živil na podlagi izotopskih meritev ter sledenje transporta in izvora onesnažil v vzorcih iz okolja. Izvajamo tudi nadzorne meritve okolja, ki prispevajo k zaščiti zdravja ljudi in varovanju zraka, površinskih vod in pitne vode.

Raziskave v CMS v povezavi z drugimi infrastrukturnimi spektroskopskimi centri znatno prispevajo k določanju kemijske sestave, strukture in lastnosti snovi ter materialov predvsem za kvalitativno in kvantitativno analizo makrokomponent in kemijskih elementov, mikrokomponent elementov ali organskih spojin v sledovih v kompleksno sestavljenih materialih in v raznovrstnih matricah: pitni, površinski ali odpadni vodi, odpadkih, živilih, zdravilih, tkivih, in bioloških tekočinah, v zraku, tleh, zemljinah, sedimentih ipd.

V CMS je bil v preteklem letu instaliran nov visokoločljivostni tandemski masni spektrometer Orbitrap, ki omogoča podrobno analizo škodljivih snovi v okolju, hrani in bioloških vzorcih. Novi masni spektrometer Orbitrap

ARRS nagrada odlični v znanosti za objavi:

- **Stajanko et al. Assessment of susceptibility to phthalate and DINCH exposure through CYP and UGT single nucleotide polymorphisms. *Environment International*. 2022, 59, 107046-1-107046-13. DOI: 10.1016/j.envint.2021.107046**
 - **Prosenc et al. Microalgae-based removal of contaminants of emerging concern: Mechanisms in *Chlorella vulgaris* and mixed algal-bacterial cultures, *Journal of Hazardous Materials*, 41, 2021, 126284, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126284>**
-

Exploris™ 240 pomeni bistven napredek v kemijski analizi organskih spojin. Novi Orbitrap, ki je sklopljen z visoko zmogljivim tekočinskim kromatografom, ima bistveno višjo masno ločljivost in analitsko občutljivost od 15 let starega visokoločljivostnega masnega spektrometra Q-TOF Premier, kar pomeni, da lahko stehta in tako določi molekulo maso spojine na štiri decimalna mesta natančno, molekulski ion tudi razcepi in analizira strukturne dele molekul. S tem instrumentom se bomo vključili v številne raziskovalne projekte doma in v tujini na področjih okolja in zdravja ter hrane, v razvoj medicinske diagnostike, novih zdravil, v klinične raziskave, netačne analize, bioremediacijo degradiranih področij ipd.

Infrastrukturni Center za meritve ionizirajočega sevanja (ICMIS)

Skupaj z Odsekom za fiziko nizkih in srednjih energij smo oblikovali Infrastrukturni center za meritve ionizirajočih sevanj, ki združuje infrastrukturne zmogljivosti obeh odsekov na področju meritev ionizirajočih sevanj in vključuje obsežen nabor raziskovalne opreme, posebnih prostorov in akreditiranih postopkov radiološke karakterizacije vzorcev iz okolja, industrijske predelave, proizvodnje gradbenih materialov, materialov iz kemijske in farmacevtske industrije ter materialov iz odlagališč in rudniške jalovine. Veliko infrastrukturno opremo sestavljajo spektrometrični sistemi za detekcijo žarkov gama, beta in alfa ter kompleksni sistemi za vzorčenje in pripravo vzorcev. ICMIS s svojimi zmogljivostmi deluje kot ključna nacionalna infrastruktura za detekcijo ionizirajočih sevanj v okolju in kot nacionalni standard za ionizirajoča sevanja v mednarodnem meroslovnem sistemu ter podpira številne javne raziskovalne organizacije, univerze in državne organe v Republiki Sloveniji. Najvišje merilne zmogljivosti ICMIS so vnesene v podatkovno zbirko ključnih primerjav (KCDB) Mednarodnega urada za uteži in mere (BIPM).

Ekološki laboratorij z mobilno enoto (ELME)

V okviru Odseka za znanosti o okolju deluje tudi *mobilni kemijski laboratorij* Ekološkega laboratorija z mobilno enoto (ELME), ki posreduje v sklopu enot Civilne zaščite in reševanja ob onesnaženjih okolja in ekoloških nesrečah z nevarnimi snovmi. Enota kemijskega mobilnega laboratorija ELME je v letu 2022 na terenu



Slika 9: Mobilni kemijski laboratorij Ekološkega laboratorija z mobilno enoto (ELME) v sistemu Civilne zaščite in reševanja posreduje ob onesnaženjih okolja in ekoloških nesrečah z nevarnimi snovmi.

posredovala osemnajstkrat zaradi onesnaženja vodotokov zaradi daljšega sušnega obdobja, nelegalnega odlaganja odpadkov in ogrožanja zdravja prebivalcev z nevarnimi snovmi, predvsem onesnaženja zraka ob požarih. Najbolj tragična nesreča, pri kateri je posredoval ekološki laboratorij, je bila eksplozija cisterne z epiklorhidrinom in požar v kemijski tovarni Melamin v Kočevju, v kateri je umrlo 6 ljudi. Poleg intervencij ob izrednih dogodkih so člani enote mobilnega kemijskega laboratorija ELME preverjali svojo usposobljenost na rednih vajah ELME, se dodatno izobraževali za delovanje ob nesrečah z nevarnimi snovmi na morju ter izpopolnjevali znanja in analitske postopke z mobilnim ekološkim laboratorijem. Lani smo dopolnili analitsko opremo mobilnega kemijskega laboratorija s spektrofotometrom Agilent Cary 60 za določanje kemikalij v vodah.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Gačnik, Jan, Živković, Igor, Ribeiro Guevara, Sergio, Kotnik, Jože, Berisha, Sabina, Nair, Sreekanth Vijayakumaran, Jurov, Andrea, Cvelbar, Uroš, Horvat, Milena, Calibration approach for gaseous oxidized mercury based on nonthermal plasma oxidation of elemental mercury, *Analytical chemistry*, 2022, 94, 23, 8234–8240, doi: 10.1021/acs.analchem.2c00260
2. Stajniko, Anja, Runkel, Agneta Annika, Kosjek, Tina, Snoj Tratnik, Janja, Mazej, Darja, Falnoga, Ingrid, Horvat, Milena, Assessment of susceptibility to phthalate and DINCH exposure through CYP and UGT single nucleotide polymorphisms, *Environment International*, 2022, 59, 107046-1-107046-13, DOI: 10.1016/j.envint.2021.107046
3. Snoj Tratnik, Janja, Kocman, David, Horvat, Milena, *et al.*, Cadmium exposure in adults across Europe : results from the HBM4EU Aligned Studies survey 2014–2020, *International journal of hygiene and environmental health*, 2022, 246, 114050-1-114050-14, DOI: 10.1016/j.ijheh.2022.114050
4. Tkalec, Žiga, Codling, Garry, Snoj Tratnik, Janja, Mazej, Darja, Klánová, Jana, Horvat, Milena, Kosjek, Tina, Suspect and non-targeted screening-based human biomonitoring identified 74 biomarkers of exposure in urine of Slovenian children, *Environmental pollution*, 2022, 313, 120091-1-120091-11, DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120091
5. Škufca, David, Prosenc, Franja, Griessler Bulc, Tjaša, Heath, Ester, Removal and fate of 18 bisphenols in lab-scale algal bioreactors, *Science of the total environment*, 2022, 804, 149878-1-149878-9, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149878

- Verovšek, Taja, Heath, David John, Heath, Ester, Enantiomeric profiling of amphetamines in wastewater using chiral derivatisation with gas chromatographic-tandem mass spectrometric detection, *Science of the total environment*, 2022, 835, 155594, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155594
- Kovačič, Ana, Modic, Martina, Hojnik, Nataša, Vehar, Anja, Kosjek, Tina, Heath, David John, Walsh, James L., Cvelbar, Uroš, Heath, Ester, Degradation of bisphenol A and S in wastewater during cold atmospheric pressure plasma treatment, *Science of the total environment*, 2022, 837, 155707, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155707
- Strojnik, Lidija, Potočnik, Doris, Jagodic Hudobivnik, Marta, Mazej, Darja, Japelj, Boštjan, Škrk, Nadja, Marolt, Suzana, Heath, David John, Ogrinc, Nives, Geographical identification of strawberries based on stable isotope ratio and multi-elemental analysis coupled with multivariate statistical analysis: a Slovenian case study, *Food chemistry*, 2022, 381, 132204, DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132204
- Masten, Jasmina, Jagodic Hudobivnik, Marta, Nečemer, Marijan, Vogel-Mikuš, Katarina, Arčon, Iztok, Ogrinc, Nives, Nutritional quality and safety of the spirulina dietary supplements sold on the Slovenian market, *Foods*, 2022, 11, 6, 849-1-849-20, DOI: 10.3390/foods11060849

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

- Organizacija strokovnega srečanja Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko *Raziskave s področja geodezije in geofizike – 2020*, 27. 1. 2022, Ljubljana (virtualno)
8. mednarodna delavnica uporabnikov metode k0, Rektorski center IJS, Ljubljana, 6.-10. 6. 2022
- 15th International Symposium on the Interaction between Sediments and Water (IASWS), Piran, 13.-15. 6. 2022
- Nacionalna delavnica projekta Danube Hazard m3C, Rektorski center IJS, Ljubljana, 21.-22. 6. 2022
- Uvodni sestanek projekta FishEUTrust, Rektorski center IJS, Ljubljana, 12.-13. 9. 2022
- Teden mikrobnih tehnologij, Rektorski center IJS, Ljubljana, 7.-11. 11. 2022

Patent

- Alenka Vesel, Nives Ogrinc, Metoda za funkcionalizacijo poliolefinov s sočasno kombinacijo dušikovih in kisikovih funkcionalnih skupin, SI26091 (A), Urad RS za intelektualno lastnino, 29. 4. 2022

Nagrade in priznanja

- prof. dr. Ester Heath: Zoisova nagrada za vrhunske dosežke, podelil Odbor Republike Slovenije za podelitev nagrad in priznanj za izjemne dosežke v znanstvenoraziskovalni in razvojni dejavnosti, Raba organske analize na področju okolja, hrane in zdravja, 2022
- prof. dr. Ester Heath, dr. David Heath, dr. Ana Kovačič in dr. David Škufca: Odlični v znanosti 2022 (področje medicine), ARRS, Novodobna organska onesnažila – kako jih lahko obvladamo z algami?, 2022
- dr. Anja Stajanko, dr. Agneta A. Runkel, dr. Tina Kosjek, dr. Janja S. Tratnik, dr. Darja Mazej, dr. Ingrid Falnoga, prof. dr. Milena Horvat, Odlični v znanosti 2022 (področje interdisciplinarnih raziskav), ARRS, Ocena dovzetnosti za izpostavljenost ftalatom in DINCH-u prek polimorfizmov posameznega nukleotida v genih, ki kodirajo CYP in UGT encime, 2022
- dr. Lidija Strojnik: Best poster award, Rfa 2022, 10th International Symposium in Food Analysis, Praga Tracing the geographical origin of fruits and vegetables: the Slovenian model, 2022
- Taja Verovšek: Best Oral Presentation by Young Reseracher, 26th International symposium on Separation Sciences, 2022

MEDNARODNI PROJEKTI

- | | |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> Podpora raziskovanim aktivnostim na področju okoljskih znanosti/organskih analiz Sherwin-Williams Company
prof. dr. Ester Heath 8. mednarodna delavnica uporabnikov metode k0-NAA; Ljubljana, Slovenija, 6. 6. 2022 - 10. 6. 2022
IAEA - International Atomic Energy Agency
prof. dr. Radojko Jačimović EMPIR - EDC-WFD; Metrologija pri nadzornih meritvah hormonskih motilcev v okviru Vodne Direktive
EURAMET e.V.
prof. dr. Ester Heath | <ol style="list-style-type: none"> LIFE18 ENV/SI; LIFE HIDAQUA
European Commission
prof. dr. Radmila Milačič EMPIR; STELLAR; Nadgradnja podnebnih ukrepov in regulative s pomočjo meritev stabilnih izotopov
EURAMET e.V.
prof. dr. Nives Ogrinc EMPIR; Si-Hg; Meroslovje za sledljive protokole za koncentracije elementarnega in oksidirane živega srebra
EURAMET e.V.
prof. dr. Milena Horvat EMPIR - Food-MetNet; Podpora Evropski meroslovni mreži za varnost hrane
EURAMET e.V.
prof. dr. Nives Ogrinc |
|---|--|

8. EMPIR - MetroCycleEU; Meroslovje za recikliranje ključnih tehnoloških elementov v podporo agenci evropskega krožnega gospodarstva
EURAMET e.V.
prof. dr. Radojko Jačimović
9. Uporaba izotopskih tehnik za ocenjevanje vodnih virov za oskrbo gospodinjstev v urbanih območjih; Karakterizacija vodnih virov za oskrbo gospodinjstev v Ljubljani s pomočmi multi-izotopskih tehnik
IAEA - International Atomic Energy Agency
dr. Polona Vreča
10. Preverjanje pristnosti visokokakovostnih slovenskih živilskih izdelkov z uporabo naprednih analitskih tehnik
IAEA - International Atomic Energy Agency
prof. dr. Nives Ogrinc
11. Variabilnost izotopov dežja za oceno vpliva klimatskih sprememb; Trendi spreminjanja izotopske sestave padavin v Sloveniji med klimatskimi spremembami
IAEA - International Atomic Energy Agency
prof. dr. Sonja Lojen
12. Regionalni projekt TC RER/7/014: Posodabljanje elementov nadzora radioaktivnosti okolja in ocene vplivov v regiji
IAEA - International Atomic Energy Agency
doc. dr. Marko Štok
13. Stokovno izpopolnjevanje za go. Kasiet Salymbekova, 2. 3. 2020 - 31. 12. 2020, ICTP/IAEA STEP program
ICTP - Centro Internazionale di Fisica Teorica
prof. dr. Milena Horvat
14. COST CA19120 - WATSON; Izotopi molekule vode v kritičnem območju: od napajanja podzemne vode do transpiracije rastlin
COST Association AISBL
dr. Polona Vreča
15. COST CA19123 - PHOENIX; Varovanje, stabilnost, rehabilitacija degradiranih okolij
COST Association AISBL
prof. dr. Aleš Lapanje
16. Stokovno izpopolnjevanje ge. Nurgul Nursapino, Kazahstan, ICTP/IAEA STEP program
ICTP - Centro Internazionale di Fisica Teorica
doc. dr. Marko Štok
17. H2020 - ERA-PLANET; Evropska mreža za opazovanje našega spreminjajočega planeta
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
18. H2020 - HBM4EU; Evropska iniciativa humanega biomonitoringa
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
19. H2020 - NEUROsome; Raziskovanje neurorazvojnega eksposoma
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
20. H2020 - Cities-Health; Državlanska znanost za urbano okolje in zdravje
European Commission
dr. David Kocman
21. H2020 - HERA; Raziskovalna agenda za okolje in zdravje
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
22. H2020 - GREENER; Integrirani sistemi za učinkovito remediacijo okolja
European Commission
prof. dr. Aleš Lapanje
23. H2020 - EURAD; Evropski skupni program za obvladovanje radioaktivnih odpadkov
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
24. H2020 - FNS-Cloud; Računalniški oblak in storitve za obdelavo podatkov iz področja ved o hrani, prehrani in varnosti
European Commission
prof. dr. Nives Ogrinc
25. H2020 - METROFOOD-PP; Projekt pripravljalne faze METROFOOD-RI
European Commission
prof. dr. Nives Ogrinc
26. H2020 - A-CINCH; Razširjeno sodelovanje pri izobraževanju in usposabljanju na področju jedrske in radiokemije
European Commission
doc. dr. Marko Štok
27. H2020 - TUNTWIN; Združenje za razvoj naprednih analitičnih strategij za krepitev zmogljivosti in inovacij za tunizijsko gospodarstvo: Aplikacija na tri ključne tunizijske industrijske sektorje
European Commission
prof. dr. Nives Ogrinc
28. H2020 - MERFISH; Proučevanje interakcij Hg in Se iz rib ter vpliva le-teh na zdravje človeka
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
29. H2020 - URBANOME; Urbani observatorij za multiparticipativno izboljšanje zdravja in dobrega počutja
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
30. H2020 - GMOS-Train; Globalni opazovalni sistem za živo srebro in interdisciplinarno usposabljanje v podporo konvenciji Minamata
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
31. H2020 - SurfBio; Inovacijsko središče za površinske in koloidno biološke raziskave
European Commission
prof. dr. Aleš Lapanje
32. H2020 - FoodTraNet; Mreža za napredno raziskovanje in usposabljanje na področju kakovosti, varnosti in zaščite hrane
European Commission
prof. dr. Nives Ogrinc
33. H2020 - STROMASS; Hitre metode za določanje Sr-90 z uporabo laserske ablacije ICPQQQ-MS
European Commission
doc. dr. Marko Štok
34. Fotokemična usoda in odstranjevanje ostankov zdravil, ki onesnažujejo pitno vodo
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Tina Kosjek
35. Netradicionalni izotopi kot novo orodje za vrednotenje kontinentalnih ponorov CO2
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Sonja Lojen
36. OrgPlant - Nov pristop določanja pristnosti ekološko pridelanih rastlinskih proizvodov z uporabo stabilnih izotopov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Nives Ogrinc
37. AlgFer - Mlečnokislinska fermentacija za obogatitev mikroalge biomase z nutrienti in bioaktivnimi spojinami
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Nives Ogrinc
38. Grafitni ogljikov nitridni nano-nosilec naložen z kurkuminom, za zelo močno sinergijsko zdravljenje raka
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Raghuraj Singh Chouhan
39. OE - PARC; Partnerstvo za oceno tveganj zaradi kemikalij
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
40. OE - AgroServ; Integrirane storitve, ki podpirajo trajnostni prehod k agroekologiji
European Commission
prof. dr. Nives Ogrinc
41. OE - INQUIRE; Prepoznavanje kemičnih in bioloških determinant, njihovih virov in strategij za promocijo bolj zdravih domov v evropskem prostoru
European Commission
dr. David Kocman
42. OE - SECURE; Krepitev evropske oskrbovalne verige z medicinskimi radionuklidi naslednje generacije
European Commission
doc. dr. Marko Štok
43. OE - BIOSYSMO; Bioremediacijski sistemi, ki izkoriščajo sinergije za izboljšano odstranjevanje mešanih onesnažil
European Commission
prof. dr. Aleš Lapanje
44. OE - PIANOFORTE; Partnerstvo za raziskave na področju varstva pred ionizirajočimi sevanji
European Commission
doc. dr. Marko Štok
45. OE - EIRENE PPP; Projekt pripravljalne faze ocenjevanja okoljske izpostavljenosti raziskovalne infrastrukture
European Commission
prof. dr. Milena Horvat
46. OE - FishEUTrust; Evropska integracija novih tehnologij in družbenoekonomskih rešitev za povečanje zaupanja potrošnikov in udeleževanje pri izdelkih morske hrane
European Commission
prof. dr. Nives Ogrinc
47. OE - BPEC-DW; Razvoj novih tehnologij, ki temeljijo na bio-foto-elektrokemičnemu odstranjevanju tritija iz deionizirane vode za separacijo tritija ter sočasno generiranje H2
European Commission
doc. dr. Marko Štok
48. LIFE+ - LIFE IP RESTART; Spodbujanje krožnega gospodarstva v Sloveniji s pomočjo predelave odpadkov v uporabne proizvode
European Commission
prof. dr. Radmila Milačič
49. PRIMA; PROMEDLIFE - Novi prehrabeni izdelki za promocijo mediteranskega življenjskega sloga in zdravega prehranjevanja
PRIMA Foundation - Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area
prof. dr. Nives Ogrinc
50. EMPIR; MetroPOEM - Metrologija za poenotenje meritev okoljskih onesnažil v Evropi
EURAMET e.V.
doc. dr. Tea Zuliani
51. Stokovno izpopolnjevanje petih IAEA študentov ge. Ayesha Ali Bakheet Salem Alshouq (EVT2105657-0010-ARE), g. Hamzeh El Jaaid (EVT2105657-0005-LEB), g. Salah Alnajadat (EVT2105657-0001-JOR), g. Hussam Khalily
IAEA - International Atomic Energy Agency
doc. dr. Marko Štok

52. Meritve in poročilo o CRM BCR-402 in ERM-BB185
European Commission
doc. dr. Tea Zuliani
53. Strokovno izpopolnjevanje IAEA študenta g. Serfor-Armah Yaw-a, Gana, IAEA TC projekt: GHA0017, koda študenta: EVT1703937, od 2. 12. 2018 do 18. 12. 2018
IAEA - International Atomic Energy Agency
prof. dr. Milena Horvat
54. Vpliv gnojenja z mineralnimi gnojili na nalaganje radionuklidov in težkih kovin v korenovkah in gomoljnicah
Al-Farabi Kazakh National University
doc. dr. Marko Štok
55. Znanstveni obisk in strokovno izpopolnjevanje za tri IAEA študente, g. Roberta Meigikosa dos Anjosa iz Brazilije, g. Carlosa Manuela Alonsa Hernandezza iz Kube in g. Saifa Uddina iz Kuvaite v okviru SV-INT7019-1704875
IAEA - International Atomic Energy Agency
prof. dr. Nives Ogrinc
56. Test stabilnosti CRM BCR-667 in BCR-670
European Commission
prof. dr. Radojko Jačimović
57. Meritve in poročilo o BCR-176R
European Commission
doc. dr. Tea Zuliani
58. Strokovno izpopolnjevanje ge. Veronike Tursunove, Kirgizistan, ICTP/IAEA STEP program, od 1. 9. 2022 do 30. 11. 2022
ICTP - Centro Internazionale di Fisica Teorica
doc. dr. Ingrid Falnova

PROGRAMI

1. Dizajn novih lastnosti (nano) materialov & aplikacije
dr. Doris Potočnik
2. Modeliranje in ocene posegov v okolju in energetiki
prof. dr. Borut Smodiš
3. Kroženje snovi v okolju, snovna bilanca in modeliranje okoljskih procesov ter ocena tveganja
prof. dr. Milena Horvat

PROJEKTI

1. Zapis okoljskih sprememb in človekovega vpliva v holocenskih sedimentih Tržaškega zaliva
prof. dr. Sonja Lojen
2. Nov inovativen pristop k zdravljenju pleničnega izpuščaja z uporabo plenice z vgrajenimi probiotičnimi bakterijami
prof. dr. Aleš Lapanje
3. Metodološki pristopi k analizam genomske pestrosti in ekološke plastičnosti gomoljk iz naravnih rastišč
prof. dr. Nives Ogrinc
4. Mlečnokislinska fermentacija kot način obogatitve mikroalge biomase z novimi nutrienti
prof. dr. Nives Ogrinc
5. Geobiokemijski cikel molibdena v kamninah in sedimentih
prof. dr. Sonja Lojen
6. Vpliv endokrinih motilcev (bisfenolov, parabenov, triklosana) in potencialno toksičnih in esencialnih kemičnih elementov na porod, neplodnost in raka jajčnika v Sloveniji
prof. dr. Milena Horvat
7. Spremljanje kliničnega in imunskega odgovora za izboljšanje zdravljenja spontanega perifernih tumorjev psov s kombinacijo elektrokemoterapije in genskega elektrotranspota IL-12
doc. dr. Tina Kosjek
8. Identifikacija genskih determinant kemične toksičnosti zelene alge *Chlamydomonas reinhardtii*
prof. dr. Milena Horvat
9. Kremacija ali inhumacija pri preteklih skupnostih? Multidisciplinarno vprašanje na evropski ravni
dr. Doris Potočnik
10. Izcedne talne vode kot neizkoriščen vir informacij o biotski raznovrstnosti tal
prof. dr. Nives Ogrinc
11. Podledeniški karbonatni sedimenti - nov vir za preučevanje obstoja ledenikov v glaciokraškem okolju
prof. dr. Sonja Lojen
12. Alge tehnologije za zelene produkte - ALGreen
prof. dr. Ester Heath
13. Hrasti za gozdove in gozdarstvo v prihodnosti: *Quercus robur* versus *Quercus petraea*
dr. Bor Krajnc
14. Klimatske spremembe in ektomikorizne glive - v kakšne razmere še lahko uspešno sadimo gomoljke
dr. Lidija Strojnik
15. Napredni tehnološki procesi za recikliranje odpadne keratinske biomase in razvoj novih funkcionalnih bio-produktov na osnovi keratina
prof. dr. Nives Ogrinc
16. MitoCan - Predklinični razvoj novih zaviralcev mitohondrijskih ionskih kanalov za zdravljenje raka
doc. dr. Tina Kosjek
17. BE MERMAID - Metilacija biorazpoložljivega živega srebra v Jadranskem morju
prof. dr. Milena Horvat
18. STRAP - Izvor, transport in ponor obstojnih zračnih onesneževal v okolju Slovenije
prof. dr. Nives Ogrinc
19. Novi pristopi za oceno uporabe psihoaktivnih zdravilnih učinkovin in prepovedanih drog z analizo odpadnih vod
prof. dr. Ester Heath
20. Novi indikatorji klimatskih sprememb v stalagmitih v Sloveniji
prof. dr. Sonja Lojen
21. Strokovno učinkovita separacija tritija iz vode z biološkimi sistemi - BIOTRISEPP
doc. dr. Marko Štok
22. Inovativne izotopske tehnike za identifikacijo virov in biogeokemijskega kroženja živega srebra na kontaminiranih območjih - IsoCont
prof. dr. Milena Horvat
23. Kakovost, varnost in pristočnost živil in krme na osnovi proteinov žuželk
dr. David John Heath
24. Nov pristop za gnojenje rastlin, ki temelji na mikrobnih biokatalitičnih agregatih
doc. dr. Tomaž Rijavec
25. Valorizacija odpada pri proizvodnji oljčnega olja z mikrobnimi večvrstnimi biokatalitičnimi agregati
prof. dr. Aleš Lapanje
26. Fotokatalitsko čiščenje vode - razvoj pritrjenih katalizatorjev in kompaktnih reaktorjskih sistemov
prof. dr. Ester Heath
27. CAEmissionMonitor - Dolocanje hitrosti primarnih emisij ogljikovih aerosolov in sekundarne produkcije organskih aerosolov
prof. dr. Janja Vaupotič
28. Avtentični produkti višje kakovosti in trajnostna prašičereja (A-SUS)
prof. dr. Nives Ogrinc
29. „Uptake.“: ponovna uporaba vode in blata iz čistilni naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev pripravljenih onesnažil v modelni rastlini paradiznika
prof. dr. Ester Heath
30. Ocena potencialnega vpliva sežiga in sosežiga odpadkov na zdravstvene posledice pri ljudeh: modelna študija na primeru cementarne Salonit Anhovo
prof. dr. Milena Horvat
31. EPOS-SI (EPOS-European Plate Observing System)
prof. dr. Janja Vaupotič
32. METROFOOD
prof. dr. Nives Ogrinc
33. PLASMA SEED TREATMENT: Inovativna eko plazemska obdelava semen (za setev ter za prehrano ljudi in živali)
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Nives Ogrinc
34. Circular 4.0: Digitalne tehnologije, kot omogočitelj spodbujanja prehoda h krožnemu gospodarstvu s strani MSP na območju Alp
Government Office of the Land of Salzburg
doc. dr. Davor Kantič
35. Danube Hazard m3c: Odpravljanje onesnaževanja z nevarnimi snovmi v porečju Donave z merjenjem, upravljanjem na osnovi modeliranja in krepitevjo zmogljivosti
Ministry of Finance
prof. dr. Radmila Milačić
36. SmartMOVE-Pametne rešitve za trajnostno mobilnost v Sloveniji
Ljubljanski urbanistični zavod
doc. dr. Davor Kantič
37. Sofinanciranje LIFE18 ENV/SI; LIFE HIDAQUA: Sonaravna uporaba vode v industrijskih panogah z veliko uporabo vode
Ministrstvo za okolje in prostor
prof. dr. Radmila Milačić
38. Ocena potencialnega vpliva sežiga in sosežiga odpadkov na zdravstvene posledice pri ljudeh: modelna študija na primeru cementarne Salonit Anhovo
Ministrstvo za zdravje
prof. dr. Milena Horvat
39. ELME - Ekološki laboratorij z mobilno enoto
Ministrstvo za obrambo
dr. Dušan Žigon
40. Izvajanje meritve živega srebra v zraku in padavinah za leti 2021 in 2022
Ministrstvo za okolje in prostor
prof. dr. Milena Horvat
41. Izvajanje analiz medu
Čebelarstva zveza Slovenije
prof. dr. Nives Ogrinc
42. Monitoring radioaktivnosti v življenjskem okolju v RS za leto 2022
Ministrstvo za okolje in prostor
doc. dr. Marko Štok

43. Izvedba monitoringa radioaktivnosti pitne vode za leto 2022
Ministrstvo za zdravje
doc. dr. Marko Štok
44. Izvajanje programa HBM 2018-2022 v letu 2022
Ministrstvo za zdravje Republike Slovenije
prof. dr. Milena Horvat
45. Izvajanje dejavnosti analiz uradnih vzorcev na vsebnost elementov in stabilnih izotopov za leto 2022
Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano
prof. dr. Nives Ogrinc
46. Servisne usluge; Določitev izotopske sestave ogljika v vzorcih sladkorja
prof. dr. Nives Ogrinc
47. Razne analize
prof. dr. Sonja Lojen
48. Manjše usluge v letu 2022
prof. dr. Milena Horvat
49. Analiza kovin TBT in DBT v sedimentih, školjkah in ribah
prof. dr. Janez Ščančar
50. CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
prof. dr. Aleš Lapanje
51. Monitoring okoljskega otisa v Gravieria Naxou PDO produktu za certificiranje avtentičnosti in geografskega porekla - izotopi stroncija in stabilni izotopi H, O, C, N
Agricultural Cooperatives Union
doc. dr. Tea Zuliani
52. Določanje porekla lesa s pomočjo dveh (kisik in stroncij) stabilnih izotopov
Stefan cel Mare University of Suceava
doc. dr. Tea Zuliani
53. Kartiranje radona in ocena tveganja za radon v Gruziji
Ivane Javakhishvili Tbilisi State University
prof. dr. Janja Vaupotič
54. 8. mednarodna delavnica uporabnikov metode k0-NAA; Ljubljana, Slovenija, 6. 6. 2022 - 10. 6. 2022
IAEA - International Atomic Energy Agency
prof. dr. Radojko Jačimović
55. Analize živega srebra za Latvijski državni inštitut za gozdove
Latvian State Forest Research Institute
prof. dr. Milena Horvat
56. Merjenje koncentracij TBT v ekstraktih morske vode in koncentracij Hg v vzorcih vode; Analize vode severnega, srednjega in južnega Jadrana
Institut „Ruder Bošković“
prof. dr. Janez Ščančar
57. Kakovostni in količinski monitoring podzemne vode na vplivnem območju zajezbe za HE Mokrice
IRGO Consulting, d. o. o.
dr. Tjaša Kanduč
58. Elementna analiza z uporabo masne spektrometrije za karakterizacijo bioloških zdravil
Lek, d. d.
prof. dr. Janez Ščančar
59. SKLOP1: Meritve plinastih efluentov - Specifične analize H-3 in C-14 v letih 2022, 2023, 2024 in 2025; SKLOP 2: Meritve Plinastih efluentov - Spektrometrija gama in analiza stroncija Sr-89/90 v letih 2022, 2023, 2024 in 2025
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marko Štok
60. Obratovalni monitoring radioaktivnosti v okolici NEK v povezavi s HE Brežice za leti 2022 in 2023
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Marko Štok
61. Sofinanciranje L7-4422“UPTAKE“ Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika““
Komunala Kranj, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath
62. Sofinanciranje L7-4422“UPTAKE“ Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika““
JP ČČN Domžale-Kamnik, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath
63. Sofinanciranje L7-4422“UPTAKE“ Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika““
Komunala, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath
64. Sofinanciranje L7-4422“UPTAKE“ Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika““
Občina Krško
prof. dr. Ester Heath
65. Sofinanciranje L7-4422“UPTAKE“ Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika““
Komunala Novo mesto, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath
66. Sofinanciranje L7-4422“UPTAKE“ Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika““
Komunalno podjetje Velenje, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath
67. Sofinanciranje L7-4422“UPTAKE“ Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritetenih onesnažil v modelni rastlini paradižnika““
KSD, d. o. o.
prof. dr. Ester Heath

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

OBISKI

1. dr. Božena Skoko, Institut za medicinska istraživanja, Zagreb, Hrvaška, 31. 1.–11. 2. 2022
2. Ayesha Al Shouq, FANR, Abu Dhabi, Združeni arabski emirati, 14. 2.–1. 4. 2022
3. Hamzeh El Jaed, LAEC, CNRS, Beirut, Libanon, 14. 2.–1. 4. 2022
4. Hanadi Al Shammari, Kuwait Institute for Scientific Research, Shuwaikh, Kuvajt, 14. 2.–1. 4. 2022
5. Nurgul Nursapina, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo Al-Farabi, Almaty, Kazahstan, 14. 2.–29. 4. 2022
6. Salah Alnajadat, EMRC, Aman, Jordanija, 14. 2.–1. 4. 2022
7. Cealan Henry, Ulster University, Belfast, Severna Irska, 28. 3.–1. 4. 2022
8. Sandra Curiel Alegria, Univerza v Burgosu, Burgos, Španija, 1. 4.–30. 6. 2022
9. Maria Beatriz Lapuente de Ojeda, Univerza v Burgosu, Burgos, Španija, 1. 4.–30. 6. 2022
10. Nayyer Rehman, WRG Europe, London, Velika Britanija, 5. 4.–28. 6. 2022
11. Sholpan Nazarkulova, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazahstan, 14.–23. 4. 2022
12. Tianui Ma, Vrije Universitet Brussel, Bruselj, Belgija, 21. 4.–21. 7. 2022
13. Vincent Perrot, Vrije Universitet Brussel, Bruselj, Belgija, 21. 4.–21. 7. 2022
14. So Fujiyoshi, Hiroshima University, Hirošima, Japonska, 14.–21. 5. 2022
15. Ons Kasraoui, INRAP, Ariana Medina, Tunizija, 29. 5.–12. 6. 2022
16. Ines Ben Amour, INRAP, Ariana Medina, Tunizija, 29. 5.–12. 6. 2022
17. Maria Angela Menezes, CDTN/CNEN, Belo Horizonte, Brazilija, 6. 6.–1. 7. 2022
18. Matteo Nigro, Univerza v Pisi, Pisa, Italija, 21. 6.–4. 10. 2022
19. Veronika Tursunova, Osh State University, Osh, Kirgizija, 1. 9.–14. 12. 2022
20. Bogdan Parakhonsky, Ghent University, Ghent, Belgija, 13.–23. 9. 2022
21. Kasiet Salyzbekova, Centre for Environmental Medicine and Human Ecology of the Scientific and Production Centre for Preventive Medicine of the Ministry of Health of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kirgizija, 15. 9.–14. 12. 2022
22. dr. Davide Vione, Univerza v Torinu, Torino, Italija, 21.–30. 9. 2022
23. Wided Ben Lazareg ep Chahdura, Institut National de Recherche et d'Analyse Physico-Chimique, Ariana, Tunizija, 25. 9.–9. 10. 2022
24. Samira Bejaoui ep Jelassi, Institut National de Recherche et d'Analyse Physico-Chimique, Ariana, Tunizija, 25. 9.–9. 10. 2022
25. Hayato Uwashitomi, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, Kagoshima, Japonska, 3.–9. 10. 2022
26. Hitoshi Kodamatani, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, Kagoshima, Japonska, 3.–9. 10. 2022
27. Taiju Wakimaru, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, Kagoshima, Japonska, 3.–9. 10. 2022
28. Takashi Tomiyasu, Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University, Kagoshima, Japonska, 3.–9. 10. 2022
29. Dominik Andelini, Institute of Agriculture and Tourism, Department of Agriculture and Nutrition, Poreč, Hrvaška, 14.–25. 11. 2022
30. Danko Cvitan, Institute of Agriculture and Tourism, Department of Agriculture and Nutrition, Poreč, Hrvaška, 14.–25. 11. 2022
31. Lucija Knežević, Dora Crmarić, Institut Ruder Bošković, Martinska, Hrvaška, 5.–9. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. So Fujiyoshi: Unseen neighbors in the built environment, 19. 5. 2022
2. dr. Maria Angela de Barros Correia Menezes, Claudia de Vilhena Schayer Sabino, dr. Radojko Jačimović: History, development and main achievements in twenty-seven years of the establishment of k0 Instrumental Neutron Activation Analysis based method at CDTN, Brazilija, 6. 6. 2022
3. Lyliya Hamidatou-Alghem, Slamene Hocine, Akhal Tarik, Djebli Kamel, Zouranen Boussaad: Neutron Activation Analysis Laboratory: Evaluation of three decades of experiment applying INAA, k0-NAA and RAA methods, 6. 6. 2022

4. R. Acharya and P. K. Pujari: A Journey of 25 Years of R&D Works on k₀-Based Conventional and Internal Monostandard NAA Using Research Reactors of India and Applications to Diverse Fields, 6. 6. 2022
5. Robert van Sluijs: The Westcott story: The analysis of non-1/v nuclides using the k₀-method, 6. 6. 2022
6. dr. Radojko Jačimović, F. De Corte, G. Kennedy, R. van Sluijs, P. Vermaercke: The 2020 recommended k₀ database, 6. 6. 2022
7. Peter Vermaercke, Attila Stopic: (Re)determination of Q₀ and k₀ factors for ¹²⁴Sb, ¹²²Sb and ^{122m}Sb, 6. 6. 2022
8. Ho Van Doanh, Pham Van Giap, Tran Quang Thien, Ho Manh Dung: Determination of k₀ and Q₀ factors for five short-lived radionuclides of interest in k₀-NAA, 6. 6. 2022
9. Vladimir Radulović, dr. Radojko Jačimović, dr. Andrej Trkov: Determination of the k₀ and Q₀ constants of ⁹⁴Zr for neutron activation analysis, 6. 6. 2022
10. Robert van Sluijs, M. Blaauw: Defining k₀-factors for threshold reactions, 6. 6. 2022
11. dr. Radojko Jačimović: Stability of an Al-0.1% Au alloy, 6. 6. 2022
12. Nuno Pessoa Barradas, A. Vieira, Menno Blaauw: Artificial neural networks for NAA: proof of concept on data analysed with k₀-IAEA, 7. 6. 2022
13. G. Kennedy: Coincidence summing: the neglected nemesis of k₀-NAA, 7. 6. 2022
14. S. K. Samanta, R. Acharya, P. K. Pujari: Standardization of k₀-based Conventional and Internal Monostandard NAA Methods using Apsara-U Research Reactor: Characterization of Irradiation Sites and Validation of Methods, 7. 6. 2022
15. Anže Pungercič, I. Lengar, T. Goričanec, G. Žerovnik, K. Ambrožič, Ž. Štancar, I. Švajger, V. Radulović, A. Trkov, L. Snoj: Experimental and computational characterisation of the neutron field in JSI TRIGA reactor, 7. 6. 2022
16. dr. Maria Ângela de Barros Correia Menezes, dr. Radojko Jačimović: Characterization of irradiation channels in the carousel of TRIGA Mark I IPR-R1 research reactor, Brazil, aiming at the application of k₀-standardization method of neutron activation analysis, 7. 6. 2022
17. Guesmia Ahmed, Slamene Hocine, Azli Tarik, Hamidatou-Alghem Lyliya: Characterization of neutron spectrum at NUR research reactor of CRND-ALGERIA for the k₀-based neutron activation analysis, 7. 6. 2022
18. Tukur Muhammad, Abdussamad Asuku, Iro Yusuf, Ibrahim Musa Umar: Evaluating the drift of f and α-values resulting from NIRR-1's HEU to LEU core conversion, 7. 6. 2022
19. Sebastjan Rupnik, prof. dr. Borut Smodiš: Improved short irradiations at JSI TRIGA reactor, 7. 6. 2022
20. Christian Stieghorst and Zsolt Révay: The NAA instrument at MLZ, 7. 6. 2022
21. Ildikó Harsányi, Zoltán Kis, András Horváth, László Szentmiklósi: Computer simulations to estimate the neutron-activation of irradiated samples, 7. 6. 2022
22. Lojze Gačnik, dr. Radojko Jačimović: Progress on NAA aided by Geant 4 particle simulation, 7. 6. 2022
23. Isaac Kwasi Baidoo, Wilfred Sedofia Massiasta, Bernard Osei, Henry Cecil Odoi, Edward Shitsi: k₀ standardization and implementation of k₀-IAEA software for Neutron Activation Analysis at the GHARR-1 NAA facility: Ten (10) years experience, 7. 6. 2022
24. V. Sharma, S. K. Samanta, H. K. Bagla, R. Acharya, P. K. Pujari: Utilization of relative and k₀-based NAA methods for quantification of trace elements in automobile windshield glass samples for forensic applications, 7. 6. 2022
25. Iliasse Aarab, Hamid Bounouira, El Mahjoub Chakir, Hamid Amsil, Abdessamad. Didi: Utilisation of k₀-standardisation method of neutron activation analysis for the determination of major and trace elements in medicinal plant of Senhaja Srair region (Morocco), 7. 6. 2022
26. Zsolt Révay: Spectroscopic data library for PGAA, 9. 6. 2022
27. László Szentmiklósi, Boglárka Maróti, Zoltán Kis: Prompt-gamma activation analysis of bulky and structured samples, 9. 6. 2022
28. Noémi Anna Buczkó, Boglárka Maróti, László Szentmiklósi: Characterization of electronic waste with neutron and X-ray based element analysis techniques, 9. 6. 2022
29. Boglárka Maróti, Zoltán Kis, László Szentmiklósi: Non-destructive analysis of structured samples, validation of the MCNP simulations on test objects, 9. 6. 2022
30. Katalin Gmélíng, Veronika Szilágyi, Ildikó Harsányi, László Szentmiklósi: The role of NAA in the assessment of activation properties of pebbles, used as raw materials in neutron- and gamma-shielding concrete, 9. 6. 2022
31. Robert van Sluijs: Kayzero for Windows, V3, software for NAA using the k₀-method, 9. 6. 2022
32. Giancarlo D'Agostino, Menno Blaauw, Ho Manh Dung, Marco di Luzio, dr. Radojko Jačimović, Mauro da Silva Dias, Renato Semmler, Marina Fallone Koskinas, Denise Simões Moreira, Ione Makiko Yamazaki, Franco Brancaccio, Lívia Fernandes Barros, Rafael Vanhoz Ribeiro and Thales Salvador Lima de Moraes: k₀-IPEN: a new software for Instrumental Neutron Activation Analysis, 9. 6. 2022
33. Marco Di Luzio, G. D'Agostino: Use of the k₀-INRIM 2.0 software in k₀-INAA, 9. 6. 2022
34. Ho Manh Dung, Tran Quang Thien, Ho Van Doanh, Tran Tuan Anh, Truong Truong Son, Phonesavanh Lathdavong: Development of a PC program for the k₀-based epithermal neutron activation analysis, 9. 6. 2022
35. Lojze Gačnik, dr. Radojko Jačimović: Expanded functionality of particle-simulation aided NAA, 9. 6. 2022
36. H. Bounouira, H. Chahidi, H. Amsil, A. Didi, I. Aarab: Combination of k₀-IAEA and k₀ for windows for the characterization of neutron flux parameters at Triga Mark II Research Reactor, Maroko, 9. 6. 2022
37. dr. Radojko Jačimović and Marijan Nečemer: Comparison of EDXRF and k₀-INAA methods used for multielement analysis of organic and inorganic materials, 9. 6. 2022
38. Minas Elfatih Ali Ahmed, Hamid Bounouira, Mohammed Adam Abbo, Hamid Amsil, Abdessamad Didi, Iliasse Aarab: Utilization of the k₀-IAEA program for the determination of Rare Earth Elements in Soil Samples from gold mining area in Sudan, 9. 6. 2022
39. Mohamed Soliman, Fatma S. Abdou, Abdullah M. Othman, Mohamed Shabib: Determination of Ca-substituting elements in skeleton of corals collected from Red Sea using k₀-NAA, 10. 6. 2022
40. Nurgul A. Nursapina, dr. Radojko Jačimović, I.V. Matveyeva, Sholpan N. Nazarkulova: Application of k₀-INAA for analysis of fertilizers, 10. 6. 2022
41. Ho Manh Dung, Tran Tuan Anh, Tran Quang Thien, Ho Van Doanh: Analysis of automobile window glass samples by the k₀-based Neutron Activation Analysis for forensic applications, 10. 6. 2022
42. Russel Rolphe Carol Moubakou Diahou, Hamid Bounouira, Guy Blanchard Dallou, Hamid Amsil, Abdessamad. Didi, Iliasse Aarab, Rajaâ Cherkaoui El Moursli, Clobite Bouka Biona Rodrigo R. Moura, Maria Ângela de B. C. Menezes: NAA study for major and trace-elements in soils and phosphate rocks of a prospective phosphate mining area in Hinda district, Kongo, 10. 6. 2022
43. Hamidatou-Alghem Lyliya, Slamene Hocine, Djebli Kamel: Performance Assessment Laboratory Applying k₀-Standardization At Es-Salam Research Reactor During 2021-2022, 10. 6. 2022
44. Toledo J. R., Krambrock K, Leal A. S., Menezes M. A. B. C., dr. Radojko Jačimović: Determination and characterization of impurities in MoS₂ by k₀ instrumental neutron activation analysis, 10. 6. 2022
45. Patricia Bedregal, M. Ubillús, C. Cáceres, R. Garay, R. Urdanivia, J. Rojas: Multielemental determination of PM₁₀ and PM_{2.5} to evaluate the level of contamination and its sources in an urban area, 10. 6. 2022
46. Melita Velikonja Martinčič in Mateja Poje: Monitoring nevarnih snovi: Površinske in podzemne vode, 21. 6. 2022
47. Marjetka Levstek: Monitoring nevarnih snovi: Odpadne vode, 21. 6. 2022
48. dr. David Kocman: Spremljanje kakovosti vode, popisovanje virov in poti onesnaževanja in modeliranje nevarnih snovi, 21. 6. 2022
49. prof. dr. Radmila Milačič: Tehnični vidiki vzorčenja in merjenja nevarnih snovi, 21. 6. 2022
50. prof. dr. Radmila Milačič in Janja Vidmar: Prispevek rezultatov izvedenih v okviru projekta DHm3c k popisu onesnaženja z nevarnimi snovmi, 21. 6. 2022
51. dr. Bogdan Parakhonsky: Geoinspired ceramic carriers: from design to medical applications, 21. 9. 2022
52. Zala Strojín: Establishing new value chains in the cities – example of the APPLAUSE project, 8. 11. 2022
53. dr. David Kocman: Participatory environmental monitoring and smart cities – room for microbial technologies, 8. 11. 2022
54. dr. Barbara Hubad: Manufacturing aspects of phage-based product development from early steps to production of clinical trial material, 8. 11. 2022
55. prof. dr. Gleb Sukhorukov: Remote controlled release microstructures, 8. 11. 2022
56. dr. Stefan Schymura: Ca-Caseinate-enhanced remineralisation of dental apatite, 8. 11. 2022
57. prof. dr. Andreas Stingl: SERS: pushing the limits of Raman detection, 8. 11. 2022
58. prof. dr. Ivica Dimkić: Microbial solutions for sustainable agriculture, 8. 11. 2022
59. prof. dr. Herwig Bachman: Microbe-matrix interaction: Exploiting microbial surface properties to alter functionality of starter cultures in food fermentation, 8. 11. 2022
60. prof. dr. K. Mattas: Biodiversity from our food dish to agro- fields: the BIOVALUE project, 8. 11. 2022
61. dr. David Virant: Acies Bio: Bio-based chemicals and materials, 8. 11. 2022
62. prof. dr. Nives Ogrinc: Active and intelligent food packaging, 8. 11. 2022
63. prof. dr. Rinke van Tatenhove-Pel: Group chat or personal message? The role of diffusion in microbial interactions, 8. 11. 2022
64. Alenka Zalaznik: Nature-based solutions – treatment wetlands for different types of wastewater, 8. 11. 2022
65. dr. Eduard Borràs: Electroactive microorganisms interacting with solid electrodes: providing solutions to environmental challenges, 8. 11. 2022
66. dr. Nada Verdel: Proof-of-concept for bioaugmentation of whitewater from wood-free papermills with adapted bacteria, 8. 11. 2022
67. dr. Lila Otero: BIOSYSMO project: Bioremediation systems exploiting synergies for improved removal of mixed pollutants, 8. 11. 2022
68. prof. dr. Anna Gorbushina: Fungi attached and desiccation-tolerant: material-weathering biofilms with relevance to the technosphere, 8. 11. 2022
69. dr. Carlos Rumbo: Ecotoxicology assessments in the DIAGONAL project: Nanoparticles toxicokinetics and toxicodynamics in biofilms, 8. 11. 2022
70. prof. dr. Santiago Aparicio: In silico study of nanomaterials interactions with cell membranes as a tool for determining toxicity pathways, 8. 11. 2022
71. prof. dr. Patricia Farias: VERDEQUANT: sustainable manufacturing of high performance nanomaterials and their applications, 8. 11. 2022
72. dr. Bogdan Parakhonskiy: Ceramic-based carriers as a biofilms interface: design and medical applications, 8. 11. 2022
73. dr. Tomaž Lutman: Intellectual Property Management and Fermentation Product Market, 8. 11. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJIH

1. Saeed Waqar Ali, udeležba na konferenci EGU2022, Dunaj, Avstrija, 22.–27. 5. 2022
2. Saeed Waqar Ali, Teodor-Daniel Andron, Jan Gačnik, Milena Horvat, David Kocman, Jože Kotnik, Sreekanth Vijayakumaran Nair, sestanek projekta GMOS-Train, Abisko, Švedska, 5.–13. 6. 2022

3. Saeed Waqar Ali, secondment v sklopu projekta GMOS-Train, 13. 6.–2. 7. 2022
4. Eirini Andreassidou, Katja Babič, David John Heath, Ester Heath, Nives Ogrinc, Doris Potočnik, Lidija Strojnik, Cathrine Terro, Anja Vehar, udeležba na FoodTraNet summer school, San Michele all'Adige, Italija, 21.–24. 6. 2022
5. Eirini Andreassidou, Ester Heath, Nives Ogrinc, Cathrine Terro, Anja Vehar, udeležba na konferenci IMSC 2022, Maastricht, Nizozemska, 25. 8.–2. 9. 2022
6. Teodor-Daniel Andron, secondment v sklopu projekta GMOS-Train, Orpington, Velika Britanija, 20. 4.–20. 5. 2022
7. Teodor-Daniel Andron, secondment v sklopu projekta GMOS-Train, Orpington, Velika Britanija, 25. 10.–23. 12. 2022
8. Katja Babič, Nives Ogrinc, Doris Potočnik, udeležba na delovnem sestanku projekta PROMEDLIFE, San Michele all'Adige, Italija, 19.–22. 4. 2022
9. Katja Babič, Dmitrii Deev, Ingrid Falnoga, Sonja Lojen, Nives Ogrinc, Doris Potočnik, Cathrine Terro, Anja Vehar, Janja Vidmar, udeležba na 15th International Symposium on the Interactions between Sediments and Water, Piran, Slovenija 12.–15. 6. 2022
10. Katja Babič, Nives Ogrinc, Lidija Strojnik, udeležba na konferenci RAFA 2022, Praga, Češka, 5.–10. 9. 2022
11. Dmitrii Deev, Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, Maja Zupan, izmenjava starejših raziskovalcev in doktorskih študentov na projektu SurfBio, Dresden in Leipzig, Nemčija, 18. 3.–9. 4. 2022
12. Dmitrii Deev, Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, Maja Zupan, udeležba na konferenci FEMS Microbiology 2022, Beograd, Srbija, 29. 6.–3. 7. 2022
13. Dmitrii Deev, Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, Maja Zupan, sestanek v okviru projekta SurfBio, Ghent, Belgija in Wageningen, Nizozemska, 13.–26. 11. 2022
14. Jure Ftičar, udeležba na konferenci *Engaging Citizen Science Conference 2022*, Aarhus, Danska, 24.–27. 4. 2022
15. Jan Gačnik, Milena Horvat, obisk v raziskovalnem laboratoriju na Univerzi Nevada, Reno, ZDA, 14.–23. 5. 2022
16. Jan Gačnik, Milena Horvat, udeležba na delovnem sestanku v okviru EURAMET EMPiR projekta SI-Hg, Teddington, Velika Britanija, 26.–28. 9. 2022
17. Tamara Gajšt, Marko Štok, udeležba na konferenci RadChem 2022, Marianske Lazne, Češka, 15.–20. 5. 2022
18. Tamara Gajšt, udeležba na EURADWASTE konferenci, Lyon, Francija, 30. 5.–4. 6. 2022
19. Tamara Gajšt, udeležba na Summer School *Transdisciplinary research for nuclear waste disposal: science meets society*, Bonn, Nemčija, 19.–29. 8. 2022
20. Tjaša Goltnik, Pia Leban, Majda Nikežić in Janja Vidmar, udeležba na strokovnem srečanju Slovenskega kemijskega društva *Slovenski kemijski dnevi*, Portorož, Slovenija, 21.–23. 9. 2022
21. David John Heath, Nives Ogrinc, udeležba na sestanku projekta INPROFF, Praga, Češka, 6.–8. 9. 2022
22. Ester Heath, Nives Ogrinc, udeležba na konferenci Metrologia in predavanje, Thessaloniki (Solun), Grčija, 28. 6.–13. 7. 2022
23. Milena Horvat, udeležba na sestanku projekta EIRENE, Dunaj, Avstrija, 3.–5. 5. 2022
24. Milena Horvat, *ERC-2022-SIG-Evaluations*, Bruselj, Belgija, 11.–17. 9. 2022
25. Milena Horvat, udeležba na projektnem sestanku PAR, Thessaloniki, Grčija, 12.–15. 10. 2022
26. Milena Horvat, Kick-off Meeting projekta EIRENE in ICRI konferenca, Brno, Češka, 17.–21. 10. 2022
27. Milena Horvat, udeležba na sestanku Global Mercury Partnership, Pariz, Francija, 9.–11. 11. 2022
28. Milena Horvat, udeležba na sestanku EOREA – European Ocean Research and Education Alliance, Bruselj, Belgija, 7.–9. 12. 2022
29. Radojko Jačimović, ekspertna misija z naslovom *Expert Mission on Training on the k₀-NAA Method for Neutron Activation Analysis*, Amman, Jordanija, 14.–27. 5. 2022
30. Radojko Jačimović, udeležba na delovnem sestanku v okviru projekta SECURE, Varšava, Poljska, 4.–6. 10. 2022
31. Radojko Jačimović, objavljeno predavanje na konferenci NAT2022 (6th International Conference on Nuclear Analytical Techniques), Daejeon, Južna Koreja, 3.–11. 12. 2022
32. Norbert Kavasi, udeležba na 6th *European Congress on Radiation Protection – IRPA2022*, Budimpešta, Madžarska, 30. 5.–3. 6. 2022
33. Norbert Kavasi, udeležba na VIII. *Terrestrial Radioisotopes in Environment International Conference on Environmental Protection*, Vonyarcvashegy, Madžarska, 3.–8. 10. 2022
34. David Kocman, udeležba na zaključnem sestanku H2020 projekta CitieS-Health, Rim, Italija, 13.–17. 6. 2022
35. David Kocman, udeležba na konferenci ESCA, Berlin, Nemčija, 4.–8. 10. 2022
36. David Kocman, udeležba na Urban Health Cluster, obisk ISGlobal in udeležba na konferenci Urban Transitions 2022, Valencia, Barcelona, Španija, 26. 10.–11. 11. 2022
37. David Kocman, udeležba na delavnici projekta Equal-Life in objavljeno predavanje, Milano, Italija, 15.–17. 11. 2022
38. David Kocman, udeležba na zaključnem sestanku IAEA projekta, Dunaj, Avstrija, 20.–25. 11. 2022
39. Davor Kontić, udeležba na delavnici PARC WP6, Bilthoven, Nizozemska, 14.–16. 9. 2022
40. Tina Kosjek, Helena Plešnik, Žiga Tkalec, udeležba na 18th *Annual Conference of the Metabolomics Society*, Valencia, Španija, 18.–23. 6. 2022
41. Tina Kosjek, Janja Snoj Tratnik, udeležba na sestanku delovnega sklopa WP4 projekta PARC, Berlin, Nemčija, 26.–28. 10. 2022
42. Tina Kosjek, udeležba na delegaciji slovenskih raziskovalcev, Bruselj, Belgija, 27.–29. 11. 2022
43. Jože Kotnik, meritve živega srebra v zraku in morskih vrelcih ob izbruhu vulkana Stromboli, Panarea, Italija, 29. 5.–2. 6. 2022
44. Ana Kovačič, analiza transformacijskih produktov TMBPF na LC-MS Orbitrapu, Thessaloniki, Grčija, 11.–15. 4. 2022
45. Bor Krajnc, udeležba na sestanku projekta STELLAR in udeležba na konferenci JESIUM 2022, Kuopio, Finska, 9.–15. 10. 2022
46. Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, udeležba na konferenci ASM Microbe 2022, Washington, ZDA, 8.–14. 6. 2022
47. Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, Maja Zupan, izmenjava starejših raziskovalcev in doktorskih študentov na projektu SurfBio, Burgos, Španija, 25. 9.–1. 10. 2022
48. Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, udeležba na konzorcijskem sestanku projekta CROSSING, Leipzig, Nemčija, 5.–7. 10. 2022
49. Sonja Lojen, Tea Zuliani, obisk v okviru bilateralnega projekta s Hrvaško, Šibenik, Hrvaška, 4.–8. 4. 2022
50. Sonja Lojen, EGU General Assembly, Dunaj, Avstrija, 23.–27. 5. 2022
51. Radmila Milačić, Janez Ščančar, udeležba na 4. sestanku partnerjev (PP meeting) na Interreg projektu Danube Hazard in SCOM sestanku, Zamárdi, Madžarska, 5.–7. 5. 2022
52. Rok Novak, udeležba na Indoor Air 2022 konferenci, Kuopio, Finska, 10.–25. 6. 2022
53. Rok Novak, udeležba na konferenci 18th *International Conference on Urban Health in letnem srečanju Urban Health Cluster*, Valencia, Španija, 23.–28. 10. 2022
54. Rok Novak, udeležba na konferenci Urban Transitions 2022, Sitges, Španija, 7.–13. 11. 2022
55. Nives Ogrinc, izvedba raziskav v okviru slovensko-francoskega sodelovanja, Lille, Francija, 27. 5.–3. 6. 2022
56. Nives Ogrinc, udeležba na delavnici ETP Food for Life Food Systems, Bruselj, Belgija, 3.–5. 10. 2022
57. Nives Ogrinc, udeležba na sestanku IAEA projekta, Dunaj, Avstrija, 30. 10.–5. 11. 2022
58. Nives Ogrinc, udeležba na Food-MetNet sestanku in ustanovitvenem sestanku EMN Food Safety and Sustainability, Tubitak, Gebze-Kocaeli, Turčija, 22.–26. 11. 2022
59. Neža Palir, udeležba na konferenci ICTEM 2022, Aachen, Nemčija, 5.–10. 6. 2022
60. Doris Potočnik, udeležba na sestanku konzorcija METROFOOD-RI in METROFOOD Final Conference, Bukarešta, Romunija, 17.–22. 5. 2022
61. Janja Snoj Tratnik, udeležba na sestanku delovnega sklopa WP7 projekta PARC, Brno, Češka, 5.–7. 10. 2022
62. Janja Snoj Tratnik, udeležba na 8. farmacevtskem kongresu, Beograd, Srbija, 13.–15. 10. 2022
63. Lidija Strojnik, objavljeno predavanje na IAEA, Dunaj, Avstrija, 24.–26. 9. 2022
64. Marko Štok, udeležba na sestanku EuChemS General Assembly/Professional Networks meetings 2022, Lizbona, Portugalska, 26.–28. 8. 2022
65. Marko Štok, objavljeno predavanje na konferenci Nuklearchemie 2022, Bergisch Gladbach, Nemčija, 4.–6. 10. 2022
66. Marko Štok, udeležba na projektnem sestanku H2020 projekta A-CINCH, Praga, Češka, 12.–14. 10. 2022
67. Janja Vaupotič, udeležba na konferenci VIII. *Terrestrial Radioisotopes in Environment International Conference on Environmental Protection*, Veszprém, Madžarska, 4.–7. 10. 2022 (virtualno)
68. Srekanth Vijayakumaran Nair, udeležba na secondmentu v sklopu GMOS-Train projekta, Toulouse, Francija, 15. 4.–29. 5. 2022
69. Tina Vrabec, usposabljanje na področju strategij komuniciranja in diseminacije znanstvenih rezultatov, secondment v sklopu projekta Merfish, Warrington, Velika Britanija, 8.–29. 11. 2022
70. Polona Vreča, znanstveni obisk v okviru IAEA TC RER7013 projekta, Zagreb, Hrvaška, 23.–30. 10. 2022
71. Polona Vreča, udeležba na zaključnem sestanku *3RCM on Isotope Techniques for the Evaluation of Water Sources for Domestic Supply in Urban Areas*, Dunaj, Avstrija, 21.–26. 11. 2022
72. Polona Vreča, Klara Žagar, udeležba na strokovnem srečanju Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko *Raziskave s področja geodezije in geofizike – 2021*, 27. 1. 2022, Ljubljana (virtualno)
73. Polona Vreča, tretji sestanek v okviru IAEA CRP projekta F31006 *Isotope Variability of Rain for Assessing Climate Change Impacts*, Dunaj, Avstrija, 14.–18. 11. 2022 (virtualno)
74. Polona Vreča, udeležba na delovnem sestanku *Management Committee meeting of COST Action WATSON*, 28.–29. 6. 2022, Bratislava, Slovaška (virtualno)
75. Tea Zuliani, udeležba na sestanku projekta MetroPoem, Braunschweig, Nemčija, 26.–29. 10. 2022
76. Klara Žagar, udeležba na konferenci EGU2022, Dunaj, Avstrija, 22.–27. 5. 2022
77. Klara Žagar, udeležba na delavnici *Training Course on Water Isotope Analysis by Laser Spectroscopy*, Dunaj, Avstrija, 29. 8.–2. 9. 2022
78. Igor Živković, udeležba na konferenci Goldschmidt 2022, Honolulu, Havaji, ZDA, 9.–18. 7. 2022

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Klara Žagar: International Atomic Energy Agency, Dunaj Avstrija, 1. 3.–31. 5. 2022 (Cost Action 19120 Watson Short Term Scientific Mission grant)
2. Klara Žagar: International Atomic Energy Agency, Dunaj, Avstrija, 14. 11.–9. 12. 2022 (IAEA TC RER7013 Fellowship)
3. Maria Laimou Geraniou: Univerza v Antwerpnu, Antwerpen, Belgija, 3.–16. 7. 2022 (razvijanje analize metode za določitev psihoaktivnih snovi v odpadnih vodah)
4. Dmitrii Deev, Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec, Maja Zupan: HZDR – Helmholtz Zentrum Dresden-Rosendorf, Dresden in Leipzig, Nemčija, 18. 3.–9. 4. 2022 (priprava večvrstnih bakterijski agregatov, ki reducirajo uran)

5. Dmitrii Deev, Aleš Lapanje, Tomaž Rijavec: Univerza v Gentu, Ghent, Belgija, 13.–26. 11. 2022 (razvoj metode RAMAN-SERS za zaznavanje reduciranih kovin v večvrstnih bakterijskih agregatih)

6. Bor Krajnc: International Atomic Energy Agency, Dunaj, Avstrija, 1. 1.–31. 12. 2022 (podoktorsko usposabljanje na področju metrologije stabilnih izotopov lahkih elementov)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. *prof. dr. Ljudmila Benedik, upokožitev 1. 10. 2022*
2. Raghuraj Singh Chouhan, Doctor of Biotechnology, University of Mysore
3. doc. dr. Ingrid Falnoga
4. dr. David John Heath
5. prof. dr. Ester Heath, znanstveni svetnik
6. **prof. dr. Milena Horvat, znanstveni svetnik - vodja odseka**
7. prof. dr. Radojko Jačimović
8. dr. Tjaša Kanduč
9. Norbert Kavasi, PhD. Madžarska
10. dr. David Kocman
11. doc. dr. Davor Kontić
12. doc. dr. Tina Kosjek
13. doc. dr. Jože Kotnik
14. prof. dr. Aleš Lapanje
15. prof. dr. Sonja Lojen, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
16. dr. Darja Mazej
17. prof. dr. Radmila Milačič, znanstveni svetnik - pomočnik vodje odseka
18. prof. dr. Nives Ogrinc, znanstveni svetnik - pomočnik vodje odseka
19. doc. dr. Tomaž Rijavec
20. prof. dr. Borut Smodiš, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
21. prof. dr. Janez Ščančar, znanstveni svetnik - vodja raziskovalne skupine
22. doc. dr. Zdenka Šlejkovec
23. doc. dr. Marko Štrok
24. prof. dr. Janja Vaupotič, znanstveni svetnik - vodja centra
25. dr. Janja Vidmar
26. dr. Polona Vreča
27. doc. dr. Tea Zuliani
28. dr. Dušan Žigon

Podoktorski sodelavci

29. Ermira Begu, PhD.
30. *dr. Jan Gačnik, začasna prekinitev 15. 11. 2022*
31. dr. Marta Jagodic Hudobivnik
32. *dr. Ana Kovačič, začasna prekinitev 1. 11. 2022*
33. dr. Bor Krajnc
34. dr. Katarina Marković
35. dr. Stefan Marković
36. dr. Doris Potočnik
37. dr. Leja Rovan
38. dr. Agneta Annika Runkel
39. Janja Snoj Tratnik, univ. dipl. biol.
40. *dr. Anja Stajniko, začasna prekinitev 1. 9. 2022*
41. dr. Lidija Strojnik
42. dr. Žiga Tkalec
43. dr. Igor Živković

Mlajši raziskovalci

44. Saeed Waqar Ali, MSc., Pakistan
45. Eirini Andreasidou, Msc., Grčija
46. Teodor-Daniel Andron, Msc., Romunija
47. Katja Babič, mag. inž. živ.
48. *Tine Bizjak, Msc., Finska, odšel 1. 4. 2022*
49. Dominik Božič, mag. ekotehnol.
50. Tjaša Goltnik, mag. kem.
51. Pia Leban, mag. san. inž.
52. Jasmina Masten Rutar, mag. inž. živ.
53. Rok Novak, mag. inž. teh. var. okolja
54. Neža Palir, mag. lab. biomed.
55. Brina Pavlovič, mag. inž. živ.
56. Žan Rekar, mag. farm.
57. Cathrine Terro, Msc., Italija
58. Anja Vehar, mag. inž. kem. inž.
59. Taja Verovšek, mag. kem.
60. Sreekanth Vijayakumaran Nair, Msc., Indija
61. Maja Zupan, mag. mikrobiol.
62. Klara Žagar, mag. inž. geol.

Strokovni sodelavci

63. Jure Ftičar, dipl. pol. (UN)
64. Polona Klemenčič, mag. ekotehnol.
65. Karolina Trentelj, dipl. ekon. (VS)
66. Vanja Usenik, Bolonjski študij II. stopnja
67. Tina Vrabec, dipl. trž. kom. (UN)

Tehniški in administrativni sodelavci

68. Barbara Svetek, inž. kem. tehnol.
69. Stojan Žigon

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Academia Sinica, Peking, Kitajska
2. Aerosol, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
3. AFNOR, Association Française de Normalisation, La Plaine Saint-Denis Cedex
4. Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), Ministrstvo za okolje in kmetijstvo
5. Agencija za radioaktivne odpadke (ARAO), Ljubljana
6. AGH University of Science and Technology, Krakov, Poljska
7. Agricultural Cooperatives Union of Naxos S.A., Grčija
8. Agroscope (Reckenholz), Zürich, Švica
9. Algen, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
10. Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakstan
11. Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Grčija
12. Atomic Energy Commission of Syria, Damascus, Sirija
13. Australian Nuclear Science and Technology Organisation (ANSTO), Environmental Research, Kirrawee DC, NSW, Avstralija
14. BAM, Federal Institute for Material Research and Testing, Berlin, Nemčija
15. Butan Plin, d. d., Ljubljana, Slovenija
16. CDTN/CNEN (Nuclear Technology Development Centre/Brazilian Commission for Nuclear Energy), Belo Horizonte, Brazilija
17. Centralna čistilna naprava Domžale, Kamnik
18. Centre national de l'énergie, des sciences et des techniques nucléaires (CNESTEN), Rabat, Maroko
19. Centro Atómico Bariloche, Argentina
20. Chalmers University, Gothenburg, Švedska
21. ChemCom, d. o. o., Trbovlje, Slovenija
22. CINKARNA, Metalurško-kemična industrija Celje, d. d., Celje, Slovenija
23. CNR Institute for Biomedical Technology, University of Padova, Italija
24. CSIC, Barcelona, Španija
25. DANA, d. o. o., Mirna, Slovenija
26. Delft University of Technology, Interfaculty Reactor Institute (IRI), Laboratory for Radiochemistry, Nizozemska
27. Department of Cell Biology and Neuroscience, Istituto Superiore di Sanità, Rim, Italija
28. Department of Chemistry, University of Zürich, Zürich, Švica
29. Department of Hydrology and water Resources, University of Arizona, Tucson, Arizona, ZDA
30. Droga Kolinska, d. d., PE Rogaški vrelci, Rogaška Slatina
31. EAWAG, Dübendorf, Švica
32. EFB, Warrington, Velika Britanija
33. ERICo Velenje, Inštitut za ekološke raziskave, Velenje
34. ESOTECH, d. d., Velenje
35. European Atomic Energy Community (EURATOM)
36. European Association of National Metrology Institutes (EURAMET)
37. Faculty of Geography, M. V. Lomonosov Moscow State University, Ruska federacija
38. Faculty of Mathematics, Physics and Informatics, Comenius University, Bratislava, Slovaška
39. Fondazione Edmund Mach, San Michele all'Adige, Italija
40. Food and Environmental Research Agency, York, Velika Britanija
41. Free University of Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
42. GEN energija, d. o. o., Krško
43. Geodetski inštitut Slovenije, Ljubljana
44. Geografski inštitut Antona Melika, Slovenija
45. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana
46. German Federal Institute for Risk Assessment, Berlin, Nemčija
47. Ghent University, Ghent, Belgija
48. Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana
49. GR Investicije, d. o. o., Ljubljana
50. Guizhou Science Academy, Guiyang, LR Kitajska
51. Hahn-Meitner Institut, Berlin, Nemčija
52. Hasselt University, Hasselt, Belgija
53. Helmholtz Zentrum Dresden Rossendorf, Dresden, Nemčija
54. HGM, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
55. Hiroshima University, Hiroshima, Japonska
56. Hrvaški geološki zavod, Zagreb, Hrvaška
57. International Atomic Energy Agency (IAEA), Dunaj, Avstrija
58. ICP, d. o. o., Inštitut za celulozo in papir, Ljubljana
59. IMBIB – Institute of Metrology of Bosnia and Herzegovina
60. IMMT, Inštitut za metagenomiko in mikrobne tehnologije, Ljubljana
61. INIA, Madrid, Španija
62. Indiana University, Indiana, ZDA
63. Institut Ruder Bošković, Zagreb, Hrvaška

64. Institut za javno zdravje Črne gore, Podgorica, Črna gora
65. Institute for Geological and Geochemical Research (IGGR), Research Centre for Astronomy and Earth Sciences, Hungarian Academy of Sciences, Budimpešta, Madžarska
66. Institute for Nuclear Research (ATOMKI), Debrecen, Madžarska
67. Institute of Chemistry, Faculty of Science, SS. Cyril and Methodius University, Skopje, Makedonija
68. Institute of Marine Research, Bergen, Norveška
69. Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale – OGS, Trst, Italija
70. Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica (INRIM), Italija
71. Institute of Environmental Assessment and Water Research (IDAEA-CSIC), Barcelona, Španija
72. Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warszawa, Poljska
73. Institute of Physics, Beograd, Srbija
74. Institute of Agriculture and Tourism, Poreč, Hrvaška
75. International Atomic Energy Agency (IAEA), Dunaj, Avstrija
76. IAEA Environmental Laboratories, Monako
77. IOS – Inštitut za okoljevarstvo in senzorje, Maribor
78. IPEN-CNEN/SP (Nuclear and Energy Research Institute – Brazilian Commission for Nuclear Energy, Sao Paulo), Sao Paulo, Brazilija
79. IRGO Consulting, d. o. o., Ljubljana
80. Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA), Rim, Italija
81. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia Sezione di Palermo, Italija
82. Ivane Javakhišvili Tbilisi State University, M. Nodia Institute of Geophysics, Tbilisi, Gruzija
83. Javne službe Ptuj, d. o. o.
84. Javno podjetje vodovod kanalizacija Snaga, d. o. o. (JP VOKA SNAGA, d. o. o.), Ljubljana
85. Jata Emona, d. o. o., Ljubljana
86. Joint Research Centre, Geel (JRC-Geel), Belgija
87. Joint Research Centre, Ispra, Italija
88. Jordan Atomic Energy Commission (JAEC), Jordan Research and Training Reactor (JRTR), Amman, Jordanija
89. k₂-ware, Heerlen, Nizozemska
90. Karl Franzens Universität Graz, Avstrija
91. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
92. Kmetijski inštitut Slovenije, Slovenija
93. Komunala Novo mesto, Slovenija
94. Komunala Velenje, Slovenija
95. Krka, d. d., Novo mesto, Slovenija
96. KTH Royal Institute of Technology, Land & Water Resources Engineering
97. Laboratorio de Radioisotopos Eduardo Penna Franca, Instituto de Biofisica Carlos Chagas Filho, Centro de Ciencias da Saude, UFRJ, Rio de Janeiro, Brazilija
98. Lek farmacevtska družba, d. d., Ljubljana
99. LGC, Teddington, Velika Britanija
100. Ljubljanske mlekarne, d. o. o., Ljubljana
101. Maastricht University, Maastricht, Nizozemska
102. Madžarska akademija znanosti, Inštitut za geologijo in geokemijo, Budimpešta, Madžarska
103. Malmö University, Malmö, Švedska
104. Masaryk University, Brno, Češka
105. Mendel University in Brno, Department of Agricultural, Food and Environmental Engineering, Češka
106. MEIS, d. o. o., Grosuplje, Slovenija
107. Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije
108. Mlekarna Planika, d. o. o., Kobarid
109. Mestna občina Ljubljana, Ljubljana
110. N. P. Ogarev's Mordovian State University, Rusija
111. Nacionalni inštitut za biologijo, Morska biološka postaja, Piran
112. Nacionalni inštitut za javno zdravje, Ljubljana, Slovenija
113. Nacionalni laboratorij za zdravje, okolje in hrano, Maribor, Slovenija
114. National Institute for Minamata Disease, Kogashima, Japonska
115. National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven, Nizozemska
116. National Institute of Environmental Studies, Tsukuba, Japonska
117. National Institute of Radiological Sciences, Inage, Chiba, Japonska
118. National Institute of Standards and Technology (NIST), Gaithersburg, ZDA
119. Nmi Van Swinden Laboratorium B.V., Delft, Nizozemska
120. NPL Management Limited, Združeno kraljestvo
121. Nuklearna elektrarna Krško (NEK)
122. Odessa National Polytechnic University, Department of Theoretical and Experimental Nuclear Physics, Odessa, Ukrajina
123. Onkološki Inštitut Ljubljana
124. Premogovnik Velenje, d. d., Velenje
125. QuantiSci Ltd., Henley on Thames, Združeno kraljestvo
126. Queen Mary University of London, London, Združeno kraljestvo
127. RECETOX Research Centre for Toxic Compounds in the Environment, Brno, Češka
128. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Trst, Italija
129. Rudnik Mežica, d. o. o., Mežica
130. Rudnik Žirovski vrh, Slovenija
131. Saratovski gosudarstveni universitet imeni N.G. Černiševskega, SGU, Rusija
132. Sava Turizem, d. d., Ljubljana, Slovenija
133. Seconda Università degli Studi di Napoli, Napoli, Italija
134. Skoltech – Skolkovo Institute of Science and Technology, Moskva, Rusija
135. Slovenska akreditacija, Ljubljana
136. Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), Ljubljana
137. Steklarna Hrastnik, d. o. o., Hrastnik
138. Termoelektrarna Šoštanj (TES), Slovenija
139. Termoelektrarna Toplarna Ljubljana
140. Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Danska
141. The South African Nuclear Energy Corporation (NESCA) Research & Development, Južna Afrika
142. The University of Texas, El Paso, ZDA
143. Tomsk Polytechnic University, Rusija
144. Trent University, Peterborough, Kanada
145. TÜBİTAK UME, Gebze-Kocaeli, Turčija
146. UMIST Manchester, Združeno kraljestvo
147. United Nations Environment Programme (UNEP), Ženeva, Švica
148. Università degli Studi di Udine, Dipartimento di Patologia e Medicina Sperimentale e Clinica, Udine, Italija
149. Université catholique de Louvain, Groupe de Recherche en Physiologie végétale (GRPV), Louvain-la-Neuve, Belgija
150. Université Pierre et Marie Curie, Pariz, Francija
151. University of Antwerp, Antwerp, Belgija
152. University of Balearic Islands, Palma de Mallorca, Španija
153. University of Burgos, Burgos, Španija
154. University of Ghana, Accra, Gana
155. University of Pisa, Italija
156. University of Leoben, Leoben, Avstrija
157. University of Lille, Lille, Francija
158. University of Lisbon, Lizbona, Portugalska
159. University of Mining and Metallurgy, Krakow, Poljska
160. University of Munich, Department of Geography, München, Nemčija
161. University of Padova, Padova, Italija
162. University of Pannonia, Veszprém, Madžarska
163. University of Parma, Parma, Italija
164. University of Pau, Pau, Francija
165. University of Turin, Torino, Italija
166. University of Udine, Unit of Hygiene and Epidemiology, School of Medicine, Italija
167. University of Utah, Salt Lake City, ZDA
168. University of Wroclaw, Poljska
169. University of Zaragoza, Zaragoza, Španija
170. University of Montenegro, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, Podgorica, Črna gora
171. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta
172. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
173. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo
174. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
175. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
176. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
177. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za zdravstvene vede
178. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta
179. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo
180. Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta
181. Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, Fakulteta za strojništvo
182. Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo
183. Univerza v Novem Sadu, Novi Sad, Srbija
184. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju
185. Univerza v Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftna fakulteta in Fakulteta za agronomijo, Zagreb, Hrvaška (University of Zagreb, Faculty of mining, geology and petroleum Engineering and Faculty of Agriculture)
186. Univerzitetni klinični center Ljubljana, (UKCL), Slovenija
187. Uprava Republike Slovenije za jedrsko varnost (URSJV), Ministrstvo za okolje in prostor
188. Uprava Republike Slovenije za varstvo pred sevanji (URSVS), Ministrstvo za zdravje
189. Urad Republike Slovenije za meroslovje (MIRS), Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo
190. Ural Scientific Research Institute for Metrology (UNIIM), Ekaterinburg, Rusija
191. Vrije Universitat Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
192. Vinča Institute of Nuclear Sciences, Beograd, Srbija
193. Vodovod Kanalizacija LCC, Podgorica, Črna gora
194. Wageningen University, Wageningen, Nizozemska
195. Zavod Republike Slovenije za varstvo pri delu (ZVD), Ljubljana
196. Zdravstveni inšpektorat Republike Slovenije
197. ZRC SAZU, Inštitut za raziskovanje Krasa, Postojna in Geografski inštitut Antona Melika, Ljubljana

ODSEK ZA AVTOMATIKO, BIOKIBERNETIKO IN ROBOTIKO E-1

Raziskave na Odseku za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko (<http://abr.ijs.si/>) združujejo področja robotike (vključujoč inteligentno vodenje, humanoidno in kognitivno robotiko, robotsko učenje in robotski vid), industrijske robotike in avtomatike, tovarn prihodnosti, biokibernetike, kineziologije, ergonomije in okoljske medicine. Skupni imenovalec naših raziskovalnih prizadevanj je optimizacija delovanja človeka in stroja, pri čemer vedno upoštevamo vpliv okolja. Dodatna stična točka so raziskave na področju sodelovanja človeka in robota. Raziskovalna strategija odseka se odlikuje po tem, da poleg raziskav na specialnih področjih vsebuje tudi več multi- in interdisciplinarnih projektov. Rezultati povezovanja tehnoloških in kliničnih raziskav so uspehi na različnih področjih, kot so učenje robotskih veščin s posnemanjem in globokimi nevronskimi mrežami, simulacija planetarnega habitata, rekonfigurabilne robotske celice za industrijska okolja, humanoidni robotski sistemi, eksoskeleti, manikini za vrednotenje industrijskih, vojaških in rekreacijskih oblačilnih sistemov, ter metode za fizično sodelovanje med človekom in robotom.



V okviru odseka deluje programska skupina Avtomatika, robotika, biokibernetika (vodja: prof. dr. Igor Mekjavič). Naši raziskovalci sodelujejo pri številnih evropskih projektih s področja robotike, kognitivnih sistemov, tovarn prihodnosti, zdravja in vesoljskih tehnologij. V letu 2022 smo na primer v sodelovanju z Evropsko vesoljsko agencijo začeli izvajati nov program za preprečevanje adaptacije fizioloških sistemov na breztežnost, koordinirali pa smo tudi evropski projekt ReconCycle, ki se nanaša na razvoj adaptivnih in rekonfigurabilnih robotskih sistemov. Stalno smo aktivni tudi pri prenosu rezultatov naših raziskav v industrijske aplikacije, kar izvajamo v sodelovanju z industrijskimi partnerji.

Vodja:

prof. dr. Aleš Ude

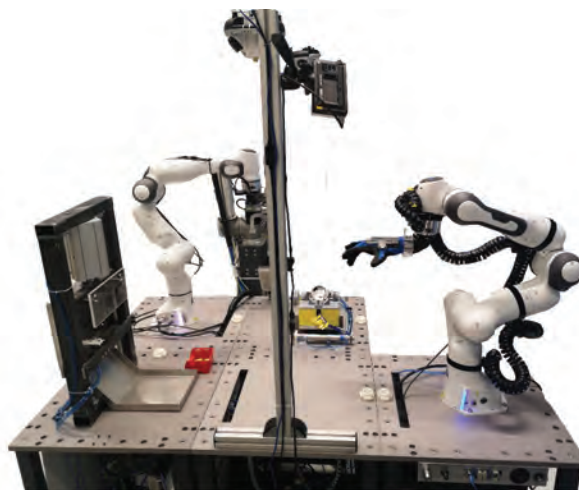
Rezultat vzdrževanja kritične mase raziskovalcev na različnih znanstvenih področjih v sklopu odseka so številni interdisciplinarni projekti na različnih znanstvenih področjih.

Raziskave na področju humanoidne in kognitivne robotike ter robotskega učenja se izvajajo predvsem v Laboratoriju za humanoidno in kognitivno robotiko, ki deluje v okviru našega odseka (vodja: prof. dr. Bojan Nemec). Cilj laboratorija je razvoj robotov, ki znajo samostojno pridobivati nova znanja in sodelovati z ljudmi v naravnih okoljih. Na odseku deluje tudi Laboratorij za nevromehaniko in biorobotiko, ki ga vodi prof. dr. Jan Babič. Poslanstvo laboratorija je v uporabi integralnega pristopa biomehanike, neurofiziologije in robotike za raziskave človekove motorične kontrole in v razvoju robotskih naprav, ki pomagajo človeku.

Glavni poudarek naših raziskav v preteklem letu je bil na razvoju rekonfigurabilnih robotskih celic za tovarne prihodnosti, problematiki avtomatizacije industrijskih proizvodnih sistemov, novih strategij robotskega učenja (kjer se opiramo predvsem na kinestetično vodenje, spodbujevalno učenje in globoke nevronske mreže), robotskih pomagal (kot so eksoskeleti), novih metod za sodelovanje človeka z robotom, razvoju modelov človeškega gibanja ter na študiju fizioloških značilnosti človeka v različnih ekstremnih okoljih, ovrednotenju zaščitne opreme in razvoju novih biomedicinskih metod.

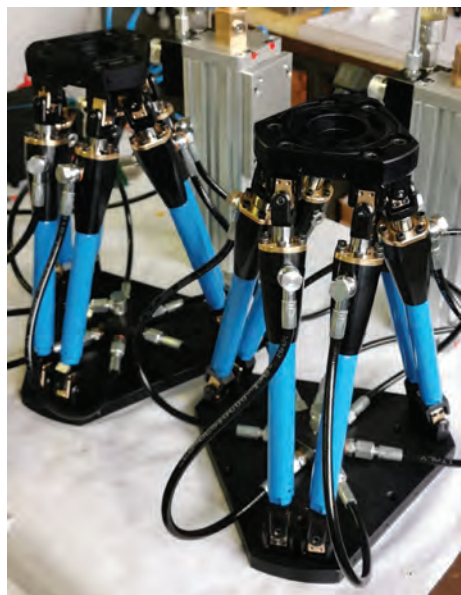
Robotika

Leta 2022 smo nadaljevali naše delo v evropskem projektu iz Obzorja 2020 ReconCycle (Samodejna rekonfiguracija robotske celice za reciklažo elektronskih izdelkov, <http://www.reconcycle.eu>), ki ga naša skupina tudi koordinira. Glavni cilj projekta je uvedba rekonfigurabilne strojne opreme in adaptivnih robotskih sistemov v postopek reciklaže elektronskih izdelkov. Pri tem se opiramo na rezultate projekta ReconCell (<http://www.reconcell.eu/>), ki smo ga prav tako koordinirali na našem odseku. Glavni izziv projekta je razvoj metodologij za samodejno rekonfiguracijo robotskih celic, vključno z določanjem optimalne lege robotov in drugih komponent celice, ter izbira primernih orodij in senzorjev. Pri projektu obravnavamo še razvoj novih metod za hitro (re)



Slika 1: Rekonfigurabilna celica za razstavljanje kalorimetrov

Pri projektu iz Obzorja 2020 ReconCycle, ki ga koordiniramo, nameravamo bistveno povečati avtomatizacijo reciklaže elektronskih izdelkov z uvedbo novih tehnologij robotskega učenja.



Slika 2: Stewartovi platformi za konstrukcijo rekonfigurabilnih robotskih celic

programiranje in adaptacijo robotskih operacij za mehke robote in razvoj mehkih prijemalk, ki so primerne za recikliranje elektronskih izdelkov. Z mehкими komponentami poenostavimo prijetanje in podajno vodenje robotov, vendar pa je njihova uporaba lahko problematična pri nalogah, ki zahtevajo natančno vodenje, na primer naloge sestavljanja.

Ker pa visoka natančnost ni odločilnega pomena pri nalogah razstavljanja, pri čemer lahko fizične omejitve vodijo podajno robotsko gibanje v pravo smer, so mehke komponente kljub temu koristne pri reciklaži elektronskih izdelkov in prispevajo k uspešni izvedbi razstavljanja elektronskih izdelkov.

V letu 2022 smo uspešno zaključili evropski projekt CoLLaboratE (<https://collaborate-project.eu>). Glavni cilj tega projekta je bil izboljšati način, kako se **industrijski roboti učijo sodelovanja s človeškimi delavci** pri izvajanju nalog sestavljanja v proizvodnji. V okviru projekta smo razvili in eksperimentalno preverili kolaborativno celico za sestavljanje avtomobilskih zaganjalnikov, kjer smo uporabili in verificirali nove postopke in algoritme, ki smo jih razvili v okviru tega projekta. Eden naših ključnih prispevkov je bil razvoj algoritma za prepoznavanje in napovedovanje človekovega delovanja, ki robotu omogoča sproten odziv na namere človeškega delavca. Zasnovali smo tudi **nov pristop za postopno učenje veščin**, ki uporablja dvosmerne dinamične generatorje gibov. Poleg tega smo predlagali postopek učenja, ki omogoča smiselno odzivanje robota na nepredvidene situacije med postopkom montaže, pri čemer vseh teh situacij ni treba vnaprej predvideti.

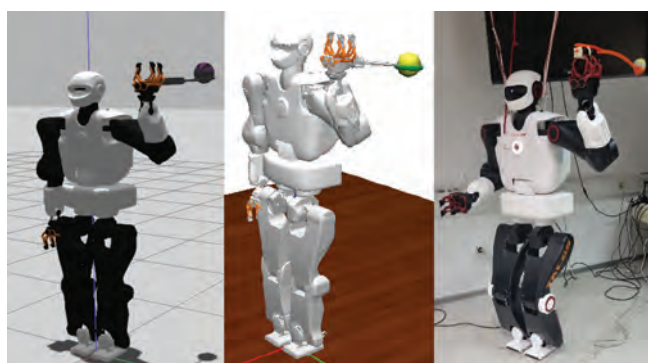
Na področju humanoidne robotike smo izvedli več študij, v katerih smo obravnavali **učenje senzomotoričnih veščin na humanoidnih robotih**, pri čemer smo izkoristili mobilnost humanoidnih robotov in upoštevali njihovo stabilnost. Pokazali smo, da lahko mobilne senzomotorične veščine, ki jih humanoidni roboti pridobijo z učenjem s posnemanjem (to je zaradi njihove podobnosti ljudem še posebej primerno za humanoidne robote), bistveno izboljšamo s spodbujevalnim učenjem. Glavna prednost predlaganega pristopa je, da ga lahko uporabimo tudi, kadar natančni dinamični modeli robotov in robotskih nalog niso na voljo.

Namen na novo pridobljenega ARRS projekta *Robotsko pregledovanje in manipulacija tekstila in tkanin* (<https://abr.ijs.si/rtfm/>), ki smo ga začeli izvajati leta 2022, je vpeljava naprednih metod globokega učenja in metod prenosa motoričnih znanj iz simulacijskih v realna okolja na področju **robotske manipulacije in pregledovanja tekstilnih materialov**. Razvili smo nove metode strojnega vida za zaznavanje tekstilnih materialov, ki so podlaga za nove metode za robotsko manipulacijo tovrstnih materialov. Rezultati projekta bodo služili kot razvojni temelj za prihodnje aplikacije, s katerimi bomo povečali konkurenčnost slovenskih in evropskih podjetij, ki delujejo na področju tekstilne proizvodnje in logistike.

Na področju strojnega učenja smo raziskali, kako implementirati **učenje s kurikulumom**, da bi pospešili pridobivanje znanja s predlaganim zaporedij nalog, ki se jih agent uči. V ta namen smo uvedli **vidike presenečenja, novosti, zanimivosti in tipičnosti**, ki kvantificirajo različne vidike nalog, ki jih učni algoritmi učnega načrta stohastično predlagajo za učečega agenta. Predlagane naloge smo modelirali z modeli Gaussove mešanice, ki omogočajo njihovo verjetnostno interpretacijo, in uporabili Hellingerjevo razdaljo med porazdelitvami ter nagradami za usposabljanje pri oblikovanju predlaganih metrik. Rezultati so pokazali razlike v prednostnem razvrščanju različnih vidikov ustvarjanja nalog in statistično različne povprečne metrične vrednosti pri primerjavi najboljših in najslabše uspešnosti usposabljanja agenta.

Na področju robotskih eksoskeletov smo zaključili študijo uporabe eksoskeletov rok za delo nad glavo v industrijskih okoljih. Razvili smo **verjetnostni algoritem ocenjevanja učinkov uporabe eksoskeleta** na celo telo. Rezultati so pokazali, da eksoskelet zagotavlja podporo človeškim ramam z zmanjšanjem skupnega navora na ciljnih okončinah in da se del notranjih obremenitev intuitivno prenese z zgornjega dela telesa na stegna in noge, kar je prikazano s povečanjem navorov v sklepih nog. Rezultati kažejo, da se verjetnostni ocenjevalni algoritem lahko uporablja kot validacijska metrika za kvantitativno oceno delovanja eksoskeletov, s čimer so omogočene nadaljnje raziskave in razvoj optimizacije navorov človeških sklepov s prilagodljivim vodenjem eksoskeletov.

Nadaljevali smo naše raziskave na področju fizične interakcije človeka z robotom, kjer obravnavamo hipotezo, da človeški centralni živčni sistem integrira t. i. interne modele s senzorično povratno informacijo tako, da ustvari



Slika 3: Učenje senzomotoričnih veščin na humanoidnem robotu Talos

Razvili smo eksoskelet, ki zagotavlja podporo človeškim ramam z zmanjšanjem skupnega navora na ciljnih okončinah.

natančne gibe ob stiku z okoljem. Toda kako možgani dojemajo zunanjo silo okolja in kako ljudje natančno ocenijo silo iz svojih preteklih izkušenj, še ni v celoti razloženo. Da bi odgovorili na ta vprašanja, smo testirali motorično vodenje ljudi v interakciji z okoljem z različno karakteristiko togosti, pri čemer je bila sila na koncu giba enaka v vseh primerih. Rezultati naše študije so pokazali, da karakteristike togosti okolja vplivajo na hitrost učenja in da je bila človeška ocena položaja točna ne glede na okolje. Ti rezultati pomembno vplivajo na **koncepte programiranja robotov, ki delujejo z ljudmi v fizični interakciji**.

V letu 2022 smo v okviru skupine Cobotat, ki jo vodi prof. dr. Tadej Petrič, nadaljevali izvedbo bilateralnega projekta **SWITCH** (Učenje z menjavo vlog pri fizičnem sodelovanju med človekom in robotom, <https://switch-project.github.io/>), ki poteka v sodelovanju z inštitutom Idiap v Švici. Glavni dosežek projekta v letu 2022 je bil razvoj novega pristopa za vodenje humanoidnih robotov, ki temelji na človeku podobnih mehanizmih učenja. V ta namen smo izvedli več laboratorijskih eksperimentov, v katerih smo proučevali fizično interakcijo med človekom in humanoidnim robotom pri nalogi vstajanja. Na podlagi pridobljenih podatkov smo razvili modele, ki opisujejo delovanje obeh agentov – asistenta in osebe, ki ji asistent pomaga. Te modele smo nato uporabili za razvoj sistemov za nadzor humanoidnih robotov s prediktivnim vodenjem. Pridobljene podatke smo uporabili tudi za nadaljnji razvoj novega kvazi pasivnega mehanizma za obtelesne robote. Razviti mehanizem smo uspešno prijavi na slovenskem patentnem uradu in ga integrirali v kolenski eksoskelet, ki smo ga tudi evalvirali.

Leta 2022 smo pridobili tudi projekt **BodyCoM** (Dinamična večkontaktna interakcija celega telesa za izboljšanje natančnosti manipulacije, <http://cobotat.ijs.si/projects/bodycom/>). Cilj tega projekta je izboljšati natančnost manipulacije z izkoriščanjem fizične interakcije na strukturi robota, na primer z opranjem komolcev na okolje. V sklopu tega projekta smo razvili novo metodo za kalibracijo kolaborativnih robotov. Naše inovativne metode vodenja humanoidnih robotov in izkoriščanja fizične interakcije bodo prispevale k napredku na področju sodelovanja med človekom in robotom ter odpirale nove možnosti za natančno manipulacijo in delo ob boku robotov v prihodnosti.

Glavni cilj projekta **TRINITY** (<https://trinityrobotics.eu/>), ki je še en projekt iz Obzorja 2020 na našem odseku, je razvoj multidisciplinarnih in sinergističnih mrež regionalnih digitalnih inovacijskih stičišč, ki jih sestavljajo raziskovalni centri, podjetja in univerze ter pokrivajo širok nabor znanj, s katerimi lahko prispevajo k razvoju agilnih proizvodnih procesov. Pri tem je gonilna sila napredna robotika, ki ji pomagajo digitalna orodja in sistemi za zagotavljanje kibernetične varnosti. Leta 2022 smo se osredotočili na eksperimentalno validacijo naših rešitev na področju programiranja s posnemanjem za specifikacijo robotskih operacij v stiku z okolico in na področju pasivnih rekonfigurabilnih vpenjal, zgrajenih iz več Stewartovih platform. Komponente naših demonstratorjev že ponujamo v uporabo in nadaljnji razvoj proizvodnim podjetjem.

Avtomatizacija in industrijska robotika

Namen projekta **QU4LITY** (<https://qu4lity-project.eu>) je bil preizkusiti – v realnih okoljih ter na merljiv in ponovljiv način – odprte, standardizirane in transformativne modele ter servise za proizvodnjo brez napak, ki so prijazni do malih in srednjih podjetij. Leta 2022 smo zaključili naše delo na **robotsko podprtem adaptivnem vizualnem nadzoru** kakovosti avtomobilskih delov in v sodelovanju s slovenskim podjetjem Kolektor razvili celovit postopek za nadzor kakovosti v proizvodnih procesih. Sistem temelji na **metodah globokega učenja**, kjer uporabljamo parametre procesa za napovedovanje možnih defektov na proizvodu in kjer se ta defekt najverjetneje nahaja. Z izključevanjem maloverjetnih napak in preverjanjem samo iz ključnih pogledov preprečimo nastajanje zastojev v proizvodni liniji in hkrati proizvodni proces približamo zeleni proizvodnji brez napak.

Pri projektu **Smart Flex Cell** iz programa **EIT Manufacturing** smo razvili in preizkusili novo rekonfigurabilno in cenovno dostopno robotsko celico, ki je preprosta za uporabo in je namenjena malim in srednje velikim podjetjem. Ena od bistvenih komponent naše celice je **nova različica pasivne Stewartove platforme** za rekonfigurabilno vpenjanje obdelovancev. Ta različica je opremljena s senzorji položaja v vsaki nogi mehanizma za boljši nadzor proizvodnih parametrov med delovanjem. Zmožnost uporabe robotov za proizvodnjo majhnih serij visoko personaliziranih izdelkov je velika prednost naše

Proučevali smo fizično interakcijo med človekom in humanoidnim robotom pri nalogi vstajanja in rezultate uporabili za prediktivno vodenje humanoidnih robotov.



Slika 4: Humanoidni robot med izvajanjem stabilnih asistenčnih gibov



Slika 5: Eksoskelet za spodnje okončine

V okviru projekta Smart Flex Cell iz programa EIT Manufacturing smo razvili in preizkusili novo rekonfigurabilno, cenovno dostopno robotsko celico.

rešitve, saj so to izdelki z visoko dodano vrednostjo. Projekt Smart Flex Cell je ustvaril dve uspešni rekonfigurabilni robotski aplikaciji, robotsko celico za točkovno varjenje in celico za robotizirane strojne obdelave.

V okviru projekta **Stellaverde** (<https://kons-platforma.org/en/projekti/stellaverde/>) smo razvili avtonomnega robotskega pajka za vertikalno vrtnarjenje. Agilen dizajn pajkovih nog omogoča robotskemu pajku učinkovito premikanje vzdolž vertikalnih površin, s čimer smo omogočili oskrbovanje rastlin v urbanih okoljih. Z inovativno zasnovo robotskega pajka nameravamo prispevati k razvoju hortikulture v urbanih okoljih ter omogočiti učinkovite in trajnostne vertikalne vrtove ter s tem spodbujati zeleno prihodnost.

V okviru **Strateškega raziskovalno-inovacijskega partnerstva Tovarne prihodnosti (SRIP ToP)** predsedujemo Upravnemu odboru SRIP ToP in koordiniramo SRIP ToP Horizontalno mrežo (omogočitveno tehnologijo) Robotika, s čimer podpiramo **uvajanje naprednih robotskih tehnologij v pametne tovarne**. V letu 2022 smo nadaljevali izvajanje programa, katerega namen je spodbujati sodelovanje proizvodnih podjetij z raziskovalnimi organizacijami ter prenos znanj in novih robotskih tehnologij v industrijsko prakso.

Fiziologija okolja in ergonomija

Raziskave naravoslovnih znanosti na našem odseku se osredotočajo na fiziologijo in patofiziologijo ljudi v ekstremnih okoljih. Prispevamo k razvoju novih strategij in opreme za ublažitev učinkov okoljskih dejavnikov na zdravje in dobro počutje ljudi ter za povečanje varnosti in produktivnosti delavcev v industrijskih, vojaških in vesoljskih okoljih.

Gravitacijska fiziologija: Institut "Jožef Stefan" je s pomočjo Evropske vesoljske agencije pridobil novo raziskovalno infrastrukturo Planetary Habitat Simulation (PlanHab) v Planici (Rateče, Slovenija). Naša ekipa v tem laboratoriju se trenutno osredotoča na razvoj protiukrepa z vadbo, ki bi ublažil učinke breztežnosti na fiziološke

sisteme, zlasti na mišično-skeletni in srčno-žilni sistem. V okviru projekta BRAVE, ki ga financira Evropska vesoljska agencija (ESA), ocenjujemo učinkovitost vibracijske vadbe v kombinaciji z umetno težnostjo kot potencialnega protiukrepa za preprečevanje izgube mišične in kostne mase ter kardiovaskularne oslabilosti med misijo na Mars.

Sposobnost izvajanja omenjene vadbe pri povečani gravitacijski obremenitvi od glave do nog na človeški centrifugi, kot se predvideva za prihodnje vesoljske misije, je odvisna od ustrezne prekrvavljenosti aktivnih mišic za dovajanje kisika in odstranjevanja stranskih produktov presnove ter kože za potrebno odvajanje toplote, ki nastaja v skeletnih mišicah. Regulacijo vazomotorične aktivnosti v perifernih žilah uravnavajo fiziološki sistemi, ki uravnavajo telesno temperaturo in arterijski tlak. Razumevanje medsebojnega delovanja teh dveh fizioloških sistemov pri uravnavanju perifernega vazomotoričnega tonusa ob povečani gravitacijski obremenitvi v smeri od glave do nog v termonevtralnih in vročih hipoksičnih in normoksičnih pogojih je eden od ciljev projekta ESA-INTREPID.

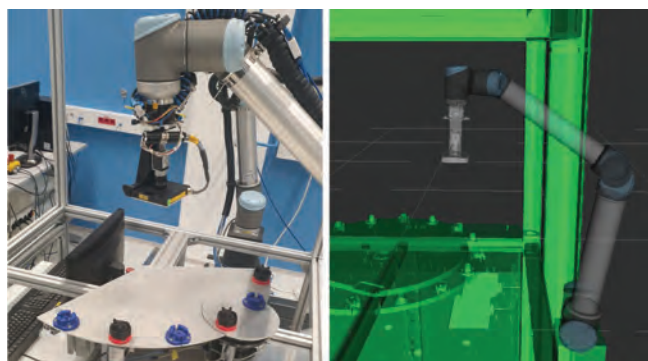
Zaščitna oblačila: V okviru projekta ReMOS (Regulation of the microenvironment of clothing systems), ki ga je podprlo Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije, smo v sodelovanju z industrijskim partnerjem Prevent-Deloza, d. o. o., razvili evaporacijski jopič, ki povečuje evaporativno izgubo toplote s trupa in zmanjšuje toplotno obremenitev med dejavnostmi v vročih okoljih. Evaporacijski jopič ima vgrajene senzore in procesorje za samodejno uravnavanje mikrookolja v jopiču. Evaporacijski jopič je bil ocenjen v simuliranih vročih razmerah v klimatski komori in med simuliranimi terenskimi operativnimi dejavnostmi Slovenske vojske. Z industrijskim partnerjem Proalp, d. o. o., smo razvili pohodne čevlje z vgrajenimi senzori, ki na podlagi temperature prstov pri določenem pragu sprožijo opozorilo o nevarnosti ozeblin.

Globalno segrevanje: Poletni vročinski valovi postajajo vse pogostejši, intenzivnejši in daljši. Ena od naših nalog pri projektu ReMOS, ki ga podpira Ministrstvo za obrambo RS, je razvoj programske aplikacije, ki zagotavlja podporo

pri pripravi na misije v ekstremnih okoljskih pogojih. Programska aplikacija upošteva oblačila, ki jih posameznik nosi, v kombinaciji z antropometrijo uporabnika (vojaka) in predvideno dejavnostjo ter prevladujočimi ali predvidenimi okoljskimi razmerami, da zagotovi predloge za optimalno kombinacijo zaščitnih oblačil v določenih okoljskih razmerah. Omenjena programska aplikacija je zdaj pripravljena tudi za civilno uporabo (Heat Health), da uporabnike opozori na morebitne vročinske obremenitve. Aplikacija je bila uspešno testirana v Evropi (Slovenija, Grčija, Danska, Združeno kraljestvo), azijsko-pacifiški regiji (Japonska, Nova Zelandija), Afriki (Gambija) in Severni Ameriki (Kanada).

Individualna variabilnost: Dobro znano je, da je odziv astronautov na mikrogravitacijo različen in zelo individualiziran. To se kaže v obsegu izgube mišične in kostne mase ter kardiovaskularne oslabilosti med

Septembra 2022 smo v sodelovanju z Evropsko vesoljsko agencijo začeli izvajati projekt BRAVE, ki obravnava učinkovitost vibracijske vadbe v kombinaciji z umetno težnostjo.



Slika 6: Robotska celica za vizualno pregledovanje kakovosti

vesoljskimi misijami, pa tudi s simulacijami na Zemlji, ki vključujejo nedejavnost. V okviru pogodbe z Evropsko vesoljsko agencijo še naprej raziskujemo možnost določanja individualne variabilnosti odzivov fizioloških sistemov na nedejavnost.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. L. Žlajpah in T. Petrič, Kinematic calibration for collaborative robots on a mobile platform using motion capture system, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2022, 79, 102446-1–102446-15
2. L. Miškovič, M. Dežman in T. Petrič, Pneumatic quasi-passive variable stiffness mechanism for energy storage applications, *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2022, 7, 2, 1705–1712
3. M. Dežman, T. Asfour, A. Ude in A. Gams, Mechanical design and friction modelling of a cable-driven upper-limb exoskeleton, *Mechanism and Machine Theory*, 2022, 171, 104746-1–104746-16
4. D. Gorjan, N. Šarabon in J. Babič, Inter-individual variability in postural control during external center of mass stabilization, *Frontiers in Physiology*, 2022, 12, 722732-1–722732-7
5. J. T. Fisher, U. Ciuha, L. G. Ioannou, L. Simpson, C. Possnig, J. Lawley in I. B. Mekjavič, Cardiovascular responses to orthostasis during a simulated 3-day heatwave, *Scientific Reports*, 2022, 12, 19998-1–19998-12
6. J. T. Royal, J. T. Fisher, T. Mlinar, I. B. Mekjavič in A. McDonnell, Validity and reliability of capillary vs. venous blood for the assessment of haemoglobin mass and intravascular volumes, *Frontiers in Physiology*, 2022, 13, 1021588-1–1021588-13



Slika 7: Avtonomni robotski pajek za vertikalno vrtnarjenje

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Sestanek projekta H2020 ReconCycle, 24.–25. 11. 2022 (virtualno)

Nagrade in priznanja

1. Peter Nimac: Prešernova nagrada študentom Univerze v Ljubljani, Ljubljana, Fakulteta za elektrotehniko, Zasnova in izvedba radarja za pametni prometni semafor

MEDNARODNI PROJEKTI

1. FlexHex patent „Cardon Joint“
Flex Hex ApS
doc. dr. Igor Kovač
2. COST CA16116 - 20786; Obtelesni roboti za izboljšanje, pomoč ali nadomestitev človekovih motoričnih funkcij
COST Office
prof. dr. Jan Babič
3. ESA - Vesoljska medicina v Sloveniji
ESA/ESTEC
prof. dr. Igor Mekjavič
4. H2020 - CoLLaboratE: Celica za kolaborativno izvajanje nalog sestavljanja
European Commission
prof. dr. Bojan Nemeč
5. H2020 - TRINITY; Digitalne tehnologije, adaptivna robotika in intuitivni vmesniki za napredne proizvodne procese
European Commission
prof. dr. Aleš Ude
6. H2020 - QU4LITY; Digitalna resničnost v proizvodnji brez napak
European Commission
prof. dr. Aleš Ude
7. H2020 - ReconCycle; Samodejna rekonfiguracija robotske celice za predelavo elektronskih odpadkov
European Commission
prof. dr. Aleš Ude
8. Interakcija regionalne toplotne in barorefleksne regulacije perifernega ožila
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Igor Mekjavič
9. Generacija in učenje cikličnih robotskih gibanj pri fizični interakciji med robotom in človekom
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Tadej Petrič
10. Učinki robotsko inducirane lokalnega gravitacijskega upodabljanja na človeško motorično kontrolo v različnih gravitacijskih okoljih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Jan Babič
11. Razširitev prediktivnega vodenja humanoidnih robotov na osnovi modela s prednaučeno dinamiko
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Andrej Gams
12. Ergonomska interakcija med človekom in robotom preko optimizacije s strojnem učenjem
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Jan Babič
13. OE - EUOfusion; WP17: RM_OE-FU
European Commission
prof. dr. Aleš Ude
14. OE - euROBIN; Evropska mreža za robotiko in umetno inteligenco
European Commission
prof. dr. Aleš Ude
15. EIT M - Pametna fleksibilna celica
EIT Manufacturing
doc. dr. Igor Kovač
16. Optimizacija zmogljivosti atletov na Olimpijskih igrah v Parizu 2024 izpostavljenih vročinskemu stresu iz okolja
Sveriges Olympiska Kommité
dr. Urša Ciuha

17. ESA – INTREPID
ESA/ESTEC
prof. dr. Igor Mekjavić
18. ESA – BRAVE
ESA/ESTEC
prof. dr. Igor Mekjavić

PROGRAM

1. Avtomatika, robotika in biokibernatika
prof. dr. Igor Mekjavić

PROJEKTI

1. Mehanizmi hipoksične (in)tolerance pri predčasno rojenih posameznikih
prof. dr. Tadej Debevec
2. Intermitentna eksogena ketoza: Nova strategija izboljšanja hipoksične tolerance in adaptacije
prof. dr. Tadej Debevec
3. Prilagoditev in senzomotorično procesiranje med povečanimi gravitacijskimi gradienti
dr. Adam McDonnell
4. Vpliv hiperkapnične vadbe na intrakranialni tlak in oko
prof. dr. Igor Mekjavić
5. Učenje z menjavo vlog pri fizičnem sodelovanju med človekom in robotom (SWITCH)
prof. dr. Tadej Petrič
6. Uporaba vadbe z uporovnimi vibracijami (RVE) za ublažitev degeneracije hrustanca, povzročene s hipoksično neaktivnostjo: posledice za bolnike s Covid-19
dr. Adam McDonnell
7. Dinamična več kontaktna interakcija celega telesa za izboljšanje natančnosti manipulacije
prof. dr. Tadej Petrič

8. Robotsko pregledovanje in manipulacija tekstila in tkanin (RTFM)
prof. dr. Andrej Gams
9. Telesne asimetrije kot dejavnik tveganja za nastanek mišično-skeletnih poškodb: proučevanje mehanizmov nastanka in razvoj korektivnih ukrepov za njihovo odpravljanje s ciljem primarne in terciarne preventive
prof. dr. Jan Babič
10. ELME - Ekološki laboratorij z mobilno enoto
Ministrstvo za obrambo
dr. Tilen Brecelj
11. Regulacija mikroklimе v oblačilnih sistemih - ReMOS
Ministrstvo za obrambo
prof. dr. Igor Mekjavić
12. Naprej
Univerza na Primorskem
prof. dr. Jan Babič
13. Stimulatorji tuji trg
prof. dr. Aleš Ude
14. Servisne usluge – tujina
prof. dr. Aleš Ude
15. Testiranje rokavic
Ministry of Defence
prof. dr. Igor Mekjavić

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

1. „Zeleno modra stena“
ARELT, Gregor Krpič, s. p.
prof. dr. Jan Babič

OBISKI

1. Wout Lauriks, Univerza Leuven, Belgija, 15. 2.–15. 5. 2022
2. Gregoire Millet, Univerza v Lozani, Švica, 22. 2.–27. 2. 2022
3. Giorgio Manfredelli, Univerza v Lozani, Švica, 22. 2.–27. 2. 2022
4. Atae Jafari Tabrizi, Polymer Competence Center Leoben GmbH, Nemčija, 2. 5.–30. 6. 2022
5. Sebastian Ruiz, Univerza v Goetingenu, Nemčija, 1.–14. 8. 2022
6. Rafael José Escarabajal Sánchez, Politehnična Univerza Valencia, Španija, 1. 9.–30. 11. 2022
7. Elena Paris Quijada, Univerza Twente, Nizozemska, 14. 10.–24. 12. 2022
8. Elmar Rückert, Univerza v Leobnu, Avstrija, 22. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Miha Deniša: Izboljšanje ergonomije delovne celice z uporabo pasivnih prilagodljivih vpenjal, 7. 1. 2022
2. dr. Tadej Debevec: Učinki hipoksijske, vročine in telesne aktivnosti na oksidativni stres, 21. 1. 2022
3. Marko Jamšek: Prediktivno vodenje eksoskeletov za ojačanje gibov roke z uporabo verjetnostnih primitivov gibanj v kombinaciji s tokovnim vodenjem, 28. 1. 2022
4. Joshua Toby Royal: Z apnejo pogojena hipoksična prilagoditev na vodne športe, 28. 1. 2022
5. prof. dr. Aleš Ude: ReconCycle: Samodejna rekonfiguracija robotske celice za reciklažo elektronskih naprav, 4. 2. 2022
6. Matevž Majcen Hrovat: Izvedba vstavljanja bakrenih drsnih obročkov v kovinske modele za uporabo v Kolektorjevem delu industrijske aplikacije projekta CoLLaboratE, 11. 2. 2022
7. Mihael Simonič: Kratek sprehod po tehnologiji vsebnikov, 11. 2. 2022
8. dr. Urša Ciuha: Projekt ReMOS: Regulacija mikroklimе oblačilnih sistemov, 18. 2. 2022
9. dr. Andrej Gams: Varnostni standardi za kolaboracijo človek-robot, 4. 3. 2022
10. Matija Mavsar: Predikcija gibanja s pomočjo rekurenčnih nevronske mreže pri sodelovanju robota in človeka, 11. 3. 2022
11. Tinkara Mlinar: Premeri krvnih žil mrežnice pri otrocih in odraslih, izpostavljenih simulirani nadmorski višini 3.000 m: projekt KidSki, 11. 3. 2022
12. dr. Leon Žlajpah: Funkcionalno redundanti roboti, 25. 3. 2022
13. Jason Thomas Fisher: Napovedovanje globoke telesne temperature (Tb) na podlagi temperature kože na čelu: Tb ali ne Tb? 1. 4. 2022
14. Benjamin Jonathan Narang: Fiziološki odzivi na višini oz. v hipoksiji pri predčasno rojenih posameznikih: Projekt PreAlt, 1. 4. 2022
15. dr. Adam McDonnell: Individualne razlike v odzivih ljudi na ..., 6. 5. 2022
16. prof. dr. Igor Mekjavić: Teorija ekvivalentne zračne višine, 13. 5. 2022
17. Luka Miškovič: Pnevmatiki mehanizem s spremljivo togostjo za eksoskeletni sklep, 13. 5. 2022
18. prof. dr. Jan Babič: Senzomotorično prilagajanje človeka in robota med njuno fizično interakcijo, 20. 5. 2022

19. prof. dr. Bojan Nemeč: Collaborate po Collaborate, 3. 6. 2022
20. dr. Anton Ružič: Vidiki RRI aktivnosti pri projektih za končne uporabnike, 3. 6. 2022
21. dr. Tilen Brecelj: Projekt Switch, 10. 6. 2022
22. Martin Bem: SmartFlexCell, 17. 6. 2022
23. Riccardo Sorrentino: Nove metode in strategije za preprečevanje učinkov mikrogravitacije, 17. 6. 2022
24. Benjamin Fele: Reševanje naloge doseganja tarče z uporabo učnega načrta z uteževanjem nagrad, 7. 10. 2022
25. Peter Nimac: Simulacija glajenja krpe z uporabo modela slika-v-gibanje, 7. 10. 2022
26. doc. dr. Tadej Petrič: Kooperativno sodelovanje robotov v scenarijih fizične interakcije med človekom in robotom, 28. 10. 2022
27. Riccardo Sorrentino: Raziskave za študijo BRAVE: kaj je bilo narejeno in kaj sledi; prolog, 4. 11. 2022
28. dr. Lydia Tsoutsoumpi: Centralni in periferni mehanizmi z mrazom povzročene vazodilatacije, 4. 11. 2022
29. doc. dr. Igor Kovač: SmartFlexCell – prva objava projektnih rezultatov, 11. 11. 2022
30. dr. Urša Ciuha: Pregled projekta ReMOS, 18. 11. 2022
31. dr. Marko Jamšek: Prediktivno vodenje eksoskeletov na podlagi verjetnostnih modelov, 18. 11. 2022
32. Tjaša Kunavar: Model iterativnega učenja kontrole človeškega senzomotoričnega in nagrajevalnega učenja, 9. 12. 2022
33. Boris Kuster: Pregled projekta ReconCycle, 9. 12. 2022
34. dr. Miha Deniša: Projekt TRINITY, 16. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Jan Babič, IROS 2022 International Conference on Intelligent Robots and Systems, Kyoto, Japonska, 23.–27. 10. 2022
2. Martin Bem, European Robotics & Automation Talks, Leibnitz, Avstrija, 3. 10. 2022
3. Tilen Brecelj, Boris Kuster, Peter Nimac, Mihael Simonič, Elettrotehniška in računalniška konferenca ERK 2022, Portorož, 19.–20. 9. 2022 (3)
4. Tadej Debevec, Igor Mekjavić, 19th International Conference on Environmental Ergonomics, Niagara Falls, Kanada, 6.–10. 9. 2022
5. Victorien Olivier Faivre-Rampant, Jason Thomas Fisher, Leonidas Ioannou, Tinkara Mlinar, Joshua Royal, Lydia Tsoutsoumpi, New insights into breath-holding and diving physiology, Lignano, Italija, 9. 12. 2022
6. Benjamin Fele, 13th International Conference on Computational Creativity ICC22, Bolzano, Italija, 27. 6.–1. 7. 2022 (1)
7. Jason Thomas Fisher, Adam McDonnell, Igor Mekjavić, Benjamin Jonathan Narang, Riccardo Sorrentino, 27th Annual Congress of the European College of Sport Science – ECSS, Sevilla, Španija, 30. 8.–2. 9. 2022 (4)

8. Jason Thomas Fisher, Zvezdan Lončarević, Peter Nimac, 14. študentska konferenca Mednarodne podiplomske šole Jožefa Stefana, Kamnik, 1.–3. 6. 2022 (3)
9. Andrej Gams, 17th International Conference on Intelligent Autonomous Systems (IAS-17), Zagreb, Hrvaška, 13.–16. 6. 2022
10. Andrej Gams, Matija Mavsar, Aleš Ude, International Conference on Humanoid Robots (Humanoids 2022), Ginowan, Okinawa, Japonska, 28.–30. 11. 2022 (2)
11. Tjaša Kunavar, 31st Annual Meeting and Conference of the Society for the Neural Control of movement, Dublin, Irska, 25.–29. 7. 2022 (1)
12. Luka Mišković, Tadej Petrič, Aleš Ude, International Conference on Robotics and Automation ICRA 2022, Philadelphia, ZDA, 23.–27. 5. 2022
13. Bojan Nemeč, 18th International Conference on Automation Science and Engineering CASE 2022, Mexico City, Mehika, 20.–24. 8. 2022
14. Peter Nimac, Tadej Petrič, Leon Žlajpah, 31st International Conference on Robotics in Alpe-Adria-Danube Region RAAD 2022, Celovec, Avstrija, 8.–10. 6. 2022 (4)

15. Tadej Petrič, 48th Annual Conference of the Industrial Electronics Society IECON 2022, Bruselj, Belgija, 17.–20. 10. 2022

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Jernej Čamernik: Univerza v Ulmu, Nemčija, 1. 1.–31. 12. 2022 (postdoktorsko usposabljanje)
2. Miha Dežman: Tehnološki inštitut Karlsruhe, Nemčija, 1. 1.–31. 12. 2022 (postdoktorsko usposabljanje)
3. Matija Mavsar: Raziskovalni inštitut ATR, Kyoto, Japonska, 24. 7.–3. 10. 2022 (strokovno izpopolnjevanje)
4. Zvezdan Lončarević: Tehnološki inštitut Karlsruhe, Nemčija, 1. 10.–31. 12. 2022 (strokovno izpopolnjevanje)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Jan Babič
2. dr. Urša Čiuha
3. prof. dr. Tadej Debevec*
4. prof. dr. Andrej Gams
5. prof. dr. Polonca Jaki Mekjavič*, znanstveni svetnik
6. doc. dr. Igor Kovač
7. *prof. dr. Jadran Lenarčič, znanstveni svetnik, upokožitev 4. 1. 2022*
8. dr. Adam Mc Donnell
9. prof. dr. Igor Mekjavič, znanstveni svetnik
10. prof. dr. Bojan Nemeč, znanstveni svetnik - vodja laboratorija
11. doc. dr. Tadej Petrič
12. dr. Anton Ružič
13. prof. dr. Blaž Stres*, znanstveni svetnik
14. **prof. dr. Aleš Ude, znanstveni svetnik - vodja odseka**
15. doc. dr. Leon Žlajpah, znanstveni svetnik

Podoktorski sodelavci

16. *Edwin Johnatan Avila Mireles, PhD., odšel 1. 6. 2022*
17. dr. Tilen Brecej
18. dr. Jernej Čamernik
19. dr. Miha Deniša
20. *dr. Miha Dežman, začasna prekinitev 1. 5. 2021*
21. Leonidas Ioannou, PhD., Grčija
22. dr. Rok Pahič*
23. Lydia Tsoutsoumpi, PhD., Grčija

Mlajši raziskovalci

24. Victorien Olivier Faivre-Rampant, MSC., Francija
25. Benjamin Fele, mag. kog. zn.
26. Jason Thomas Fisher, Msc., Anglija
27. dr. Marko Jamšek
28. Tjaša Kunavar, M. Sc.
29. Boris Kuster, mag. inž. str.
30. Zvezdan Lončarević, mag. inf. kom. tehnol.
31. Matija Mavsar, mag. inž. el.
32. Luka Mišković, Msc
33. Tinkara Mlinar, MSc Human and Applied Physiology, VB
34. Benjamin Jonathan Narang, Msc., Anglija
35. Peter Nimac, mag. inž. el.
36. Joshua Toby Royal, Msc., Združeno kraljestvo Velike Britanije in Severne Irske
37. Kristina Savevska, mag. inf. in kom. tehnologij
38. Mihael Simonič, Msc
39. Riccardo Sorrentino, Msc., Italija

Strokovni sodelavci

40. Martin Bem, mag. inž. str.
41. Jack Patrick Fortune, BSc., Irska
42. Niko Kroflič, dipl. ekon. (VS)
43. *Rebeka Kropivšek Leskovar, dipl. inž. str. (VS), odšla 16. 8. 2022*
44. Matevž Majcen Hrovat, mag. fiz.
45. *Primož Radanovič, dipl. inž. str. (UN), odšel 16. 4. 2022*
46. Simon Reberšek, univ. dipl. inž. el.
47. Bogomir Vrhovc, univ. dipl. inž. rač. in inf.
48. Andrej Zadnik, prof. mat. in rač.
- Tehniški in administrativni sodelavci**
49. Tanja Dragojevič, dipl. soc. del.
50. Petra Movh, univ. dipl. org.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. AnyBody Technology A/S (SME), Danska
2. Aristotle University of Thessaloniki, Automation and Robotics Lab, Grčija
3. Atos Research and Innovation, Bilbao, Španija
4. ATR Computational Neuroscience Laboratories, Kyoto, Japonska
5. Bernstein Center for Computational Neuroscience, Göttingen, Nemčija
6. Blue Ocean Robotics, Odense, Danska
7. Centria University of Applied Sciences, Kokkola, Finska
8. Charite - Universitätsmedizin Berlin, Nemčija
9. Cosmed, Rome, Italija
10. CSIC, Institut de Robòtica i Informàtica Industrial, Barcelona, Španija
11. Deutsches Zentrum Für Luft- und Raumfahrt, Köln, Nemčija
12. EIT Manufacturing CLC East, Dunaj, Avstrija
13. ElectroCycling GmbH, Goslar, Nemčija
14. ELVEZ, Višnja Gora
15. EPFL, Biorobotics Laboratory, Lozana, Švica
16. European Space Agency (ESA), Noordwijk, Nizozemska
17. Fraunhofer IGD, Darmstadt, Nemčija
18. GEOX s.p.A., Trbiž, Italija
19. Heidelberg University, Nemčija
20. Heliomare, Nizozemska
21. Hellenic Military University, Faculty of Physical and Cultural Education, Human Performance - Rehabilitation Laboratory, Atene, Grčija
22. Idiap Research Institute, Martigny, Švica
23. IMK automotive GmbH (SME)
24. Innovalia Association, Bilbao, Španija
25. Institut National de Recherche en informatique et en automatique, Francija
26. Institute of Naval medicine, Ministry of Defence, Alverstoke, Velika Britanija
27. Istituto Nazionale Tumori, Centro di Riferimento Oncologico, Aviano, Italija
28. Inštitut za rehabilitacijo RS, Ljubljana
29. Intersocks, d. o. o., Kočevje
30. Iskratel, d. o. o., Kranj
31. Italian Institute of Technology, Genova, Italija
32. Johannes Kepler University Linz, Avstrija
33. Karlsruhe Institute of Technology, Institute for Anthropomatics, Nemčija
34. Kimberly-Clark, Atlanta, Georgia, ZDA
35. Kolektor Group, d. o. o., Idrija
36. Laboratory for Manufacturing Systems & Automation (LMS), Patras, Grčija
37. Leibniz Universität Hannover, Nemčija
38. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana
39. National and Kapodistrian University of Athens, Faculty of physical education and sport science, Department of sport medicine and biology of exercise, Atene, Grčija
40. NELA razvojni center, d. o. o., Železniki
41. Nordijski center Planica, Planica
42. Odelo, d. o. o., Prebold
43. OttoBock Healthcare GmbH, Nemčija
44. Politecnico di Milano, Italija
45. Predilnica Litija, d. o. o., Litija
46. Prevent-Delozza, d. o. o., Celje
47. qrobotics, Pisa, Italija
48. Republika Slovenija, Ministrstvo za obrambo, Ljubljana
49. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Švedska
50. RWTH Aachen, Institute of Man-Machine Interaction, Nemčija
51. S2P, znanost v prakso, Ljubljana
52. Slovenski etnografski muzej, Ljubljana
53. Steklarna Hrastnik, d. d., Hrastnik
54. Tampere University of Technology, Institute of Production Engineering, Finska
55. Technische Universität Darmstadt, Nemčija
56. Technische Universität München, Nemčija
57. Tekstina, d. o. o., Ajdovščina
58. The Arctic University of Norway (UiT), Tromsø, Norveška
59. UCS, d. o. o., Vrhnika

60. Università degli studi di Bologna, Italija
61. Università degli studi di Trieste, Italija
62. Università degli studi di Udine, Italija
63. Université Louis Pasteur, Laboratoire d'Imagerie et de Neurosciences Cognitives, Strasbourg, Francija
64. University of Birmingham, Birmingham, Velika Britanija
65. University of Bremen, Institute of Artificial Intelligence, Nemčija
66. University of Innsbruck, Avstrija
67. University of Nottingham, Velika Britanija
68. University of Portsmouth, The Human and Applied Physiology Laboratory, Anglija
69. University of Southern Denmark, Maersk McKinney Moller Institute, Odense, Danska
70. University of Texas at Austin, ZDA
71. University Pierre and Marie Curie, Pariz, Francija
72. Univerza na Primorskem, Fakulteta za vede o zdravju, Izola
73. Univerza v Beogradu, Elektrotehniška fakulteta, Beograd, Srbija
74. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
75. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana
76. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana
77. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana
78. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Ljubljana
79. Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, Odsek za fizioterapijo
80. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor
81. Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Maribor
82. Univerza v Trstu, Medicinska fakulteta, Italija
83. Univerza v Zagrebu, Hrvaška
84. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Klinični inštitut za klinično nevrofiziologijo
85. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Očesna klinika
86. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Ortopedska klinika
87. Versarum, d. o. o., Trebnje
88. Vrije Universiteit Brussel, Belgija
89. VU University Amsterdam, Nizozemska
90. W. L. Gore & Associates, München, Nemčija
91. Xsens Technologies, Nizozemska
92. Yaskawa Slovenija, d. o. o., Ribnica
93. Zavod Biomedicinska razvojna inovacijska skupina, Ljubljana
94. University of Lausanne, Lozana, Švica
95. University Savoie Mont Blanc, Chambéry, Francija
96. KU Leuven, Leuven, Belgija
97. Domel, d. o. o., Železniki, Slovenija

Dejavnost Odseka za sisteme in vodenje obsega analizo, vodenje in optimizacijo različnih sistemov in procesov. V tem okviru raziskujemo in preizkušamo nove metode za avtomatsko vodenje, razvijamo postopke in programska orodja za podporo načrtovanju in gradnji sistemov za vodenje, načrtujemo in izdelujemo namenske elektronske sklope ter gradimo zahtevne sisteme za vodenje in nadzor strojev in naprav oziroma industrijskih in drugih procesov.

Raziskave in projekti so v letu 2022 potekali na naslednjih področjih: modeliranje kompleksnih dinamičnih sistemov, napredno vodenje, prognostika in diagnostika ter namenski moduli za implementacijo sistemov vodenja. S temi metodologijami smo reševali odprte težave s področja industrijske proizvodnje, energetike, ekologije ter s področja medicine in družboslovnih ter ekonomskih znanosti.

Na področju modeliranja kompleksnih dinamičnih sistemov smo v preteklem obdobju raziskovali metode simulacije aproksimiranih avtoregresijskih modelov in modeliranja razširjanja onesnaženja zraka na kompleksnih področjih z metodami odločitvenih dreves in modeli na podlagi Gaussovih procesov.

Za projekt *Izvor; transport in ponor obstojnih zračnih onesnaževal v okolju Slovenije* smo razvili model z metodami računske inteligence za identifikacijo nadomestnih modelov, uporabnih za modeliranje razširjanja onesnaževala v zraku, konkretno za žveplov dioksid. Ovrednotili smo tri različne identifikacijske metode, ki smo jih uporabili za razvoj nadomestnih modelov.

Za projekt Agencije za raziskave Republike Slovenije *Modeliranje dinamike kratkoročne izpostavljenosti radiološkemu sevanju* smo razvili model z metodo ansamblov odločitvenih dreves za identifikacijo nadomestnega modela, uporabnega za napovedovanje kratkoročne izpostavljenosti radiološkemu sevanju. Pri modeliranju smo dali poseben poudarek na računski zahtevnosti metode modeliranja in napovedovanju radiološkega sevanja na področju okoli NEK Krško.

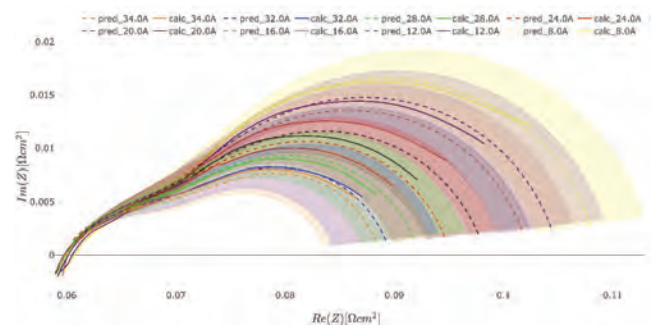
V okviru naprednega vodenja smo raziskovali na področju energetike, in sicer smo analizirali možnosti in omejitve uporabe jedrske energije kot prilagodljivega vira električne energije za pokrivanje dnevnih nihanj proizvodnje energije iz fotovoltaičnih (FV) panelov. Preiskovali smo perspektivo proizvodnje električne energije v Sloveniji do leta 2050, pri čemer smo se osredotočili na predvideno hitro povečanje proizvodnje FV-energije ter na to povezana velika letna in dnevna nihanja. Predstavili smo simulacijsko študijo, ki temelji na nelinearnem modelu tlačnovodnega jedrskega reaktorja (PWR) z 2-točkovno nevtronsko kinetiko, kjer se vodenje izvaja z dvema skupinama krmilnih palic z uporabo novega poenostavljenega regulacijskega pristopa.

V sklopu tematike diagnostike in prognostika smo se osredotočili na razvoj robustnih postopkov za primere negotove dinamike sistema, motenj in spremenljivih delovnih razmer. Na primeru trdnooksidnih gorivnih celic in elektrolizerjev smo razvili postopek, ki združuje (i) pasivno generiranje značilnik iz razpoložljivih signalov in matematičnega modela ter (ii) aktivni pristop, ki uporablja dodatno vzbujanje za identifikacijo dinamike sklada (elektrokemijski impedančni spekter, EIS). EIS-spektre interpretiramo s t. i. modeli nadomestnih vezij (ECM). Za kompenzacijo vpliva spremenljivih obratovalnih pogojev na spektre EIS smo uporabili model Gaussovskih procesov, ki izračuna parametre ECM kot funkcije obratovalnega toka in temperature.

Na področju namenskih modulov za implementacijo sistemov vodenja smo razvili elektronski sistem za neinvazivno analizo elektrokemijskih sistemov, ki poteka na podlagi pri nas razvite izvedenke elektrokemijske impedančne spektroskopije. Sistem se uporablja v več laboratorijih (TU Graz, CEA, v bližnji prihodnosti tudi v EPFL in VTT) za avtomatizirano analizo gorivnih celic, elektrolizerjev ter baterij v okviru projektov, pri katerih sodeluje naš odsek in tudi širše. Razvili



Vodja:
doc. dr. Gregor Dolanc



Slika 1: Spremljanje in napovedovanje stanja elektrokemijskih sistemov: Dejanske (polne črte) in napovedane (prekinjene črte) Nyquistove krivulje za različne delovne razmere z nakazanimi področji nezaupanja.



Slika 2: Mednarodni projekt INEVITABLE, optimizacija in diagnostika procesa hladnega valjanja

smo elektronski vzbujevalno-merilni sistem za karakterizacijo piezoelektričnih materialov, ki poteka s pomočjo impedančne spektroskopije. Sistem se uporablja na tehniških univerzah TU Darmstadt in TU Graz. Posebnost sistema

je velik merilni razpon impedanc ter visoko razmerje med vzbujevalnim signalom in DC napetostjo (1:10000). Za sistem je bil prijavljen mednarodni patent, za odkup pravic se že zanimajo nekatera evropska podjetja.

V povezavi s čistim okoljem smo se ukvarjali z naprednim vodenjem sistemov čiščenja odpadnih voda. Razvili smo suboptimalen, vendar računsko učinkovit algoritem za porazdeljeno nelinearno prediktivno vodenje na podlagi Gaussovih procesov in ga preizkusili na poenostavljenem modelu kanalizacijskega sistema. Na podlagi monitoringa novodobnih onesnažil v vodi in blatu na čistilni napravi pa smo za različna onesnažila v skupini bisfenolov s pomočjo masnih bilanc ocenili biorazgradnjo in adsorpcijo onesnažil.

Kot partnerji smo začeli sodelovanje v projektu *UPTAKE - Ponovna uporaba vode in blata iz čistilnih naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritarnih onesnažil v modelni rastlini paradiznika*, ki so ga pridobili na Odseku za znanosti o okolju. Ukvarjali se bomo z modeliranjem privzema novodobnih onesnažil v rastline. Cilj je predvideti privzem posameznih spojin v rastline oz. različne dele rastlin na podlagi fizikalno-kemijskih lastnosti onesnažil, fiziologije rastlin in okoljskih dejavnikov.

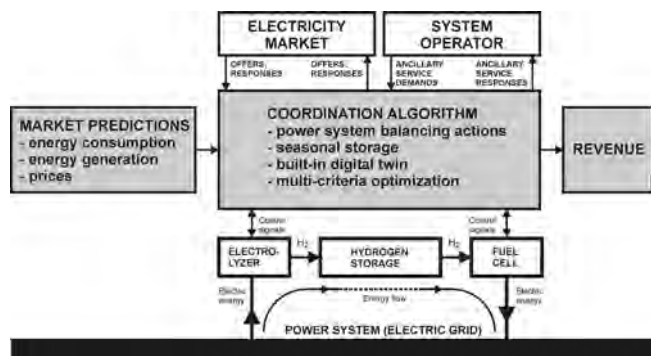
Na področju pametnih tovarn so bile raziskave usmerjene v razvoj samoučljivega sistema za spremljanje in nadzor naddelovanja proizvodne opreme na podlagi analize signalov, ki jih generirajo proizvodni sistemi. V poročanem letu so bili razviti posamezni gradniki takšnega sistema, ki skrbijo za segmentacijo in zaznavo ponovljivih vzorcev v časovnih vrstah signalov. Začele pa so se tudi nadaljnje aktivnosti za identifikacijo diskretno dogodkovnih sistemov (DES) delovanja proizvodne opreme.

Koordinirati smo začeli nov raziskovalni projekt z naslovom *Minimalno invazivni samoorganizirajoči diagnostični sistemi: ključni element tovarn prihodnosti*. Cilj projekta je razviti metode in algoritme za zaznavanje stanj in postopkov industrijskega proizvodnega procesa na podlagi signalov, pridobljenih s splošno prisotnimi oz. preprosto vgrajenimi senzorji. Za doseg cilja bo treba razviti metode za predobdelavo, segmentacijo in klasifikacijo signalov časovnih vrst ter tudi pristope za gradnjo diskretnih dogodkovnih modelov, s katerimi bo predstavljen dogodkovni digitalni dvojček. Namen je avtomatizirano spremljanje proizvodnje in odkrivanje odstopanj od ustaljenega procesa.

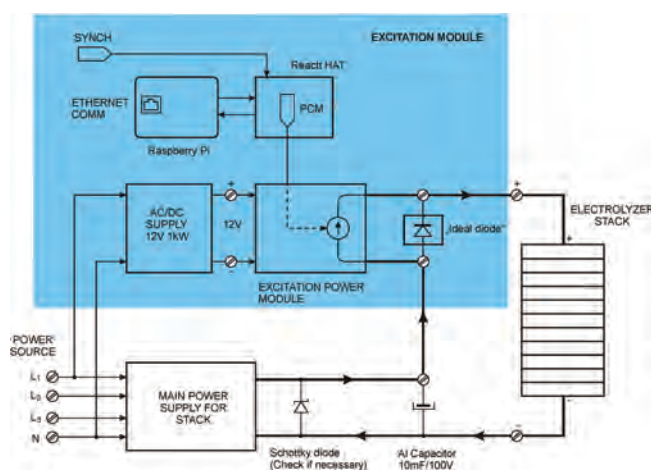
V okviru pobude Republike Slovenije za vzpostavitev in delovanje strateško inovativnih partnerstev v okviru Slovenske strategije pametne specializacije S4 deluje tudi Strateško inovativno partnerstvo Tovarne prihodnosti – SRIP ToP. Naš odsek ima v SRIP ToP zelo aktivno vlogo pri vodenju področja Tehnologije vodenja in pri izvajanju večletnega akcijskega načrta tega področja. Sodelavca odseka sta predstavnik mreže SRIP ToP v evropskih združenjih Processes4Planet in Made in Europe.

V sklopu energetike in vodikovih tehnologij smo v okviru projekta z naslovom *Optimizacijsko vodenje pretvornika energije v vodik v povezavi s hidroelektrarno* zasnovali in razvili orodje za podporo odločanju za prihodnje načrtovanje in naložbe v vodikove tehnologije v hidroelektrarni z upoštevanjem tehničnih in ekonomskih vidikov njihove implementacije. Takšno orodje omogoča učinkovitejšo izbiro velikosti komponent vodikovega sistema in daje oceno ekonomskih koristi proizvodnje vodika.

Hkrati smo na tem področju začeli s koordinacijo novega raziskovalnega projekta s področja uporabe vodikovih tehnologij v energetiki. V projektu bomo s pomočjo modeliranja in simulacije analizirali, kako lahko sisteme s področja vodikovih tehnologij (elektrolizerji, gorivne celice,



Slika 3: Koncept povezave vodikovih tehnologij z elektroenergetskim sistemom in trgom



Slika 4: Projekt REACTT, blokovna shema zunanjega modula za vzbujanje sklada. Modul za vzbujanje je sestavljen iz močnostnega dela (EPM) in kontrolnega dela (ECM).



Slika 5: Elektronski modul za neinvazivno diagnostiko elektrokemijskih sistemov

Inovacija *The electronic module for perturbing SOEC stacks during their operation to get dynamic response needed for the condition assessment* je bila izbrana za objavo na spletni strani EU Innovation Radar.
<https://www.innoradar.eu/innovation/48360>

hranilniki vodika) vključimo v elektro energetske sisteme in kakšne funkcije lahko opravljajo (hranjenje energije, sistemske storitve, udeležba na trgih električne energije) ter kakšen je ekonomski vidik uporabe teh sistemov. Sodelujoča partnerja v projektu sta Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru ter podjetje Dravske elektrarne, ki projekt tudi sofinancira.

Na področju **baterijskih sistemov** začnemo s projektom *Natančna fizikalno-osnovana ocena stanja ohranjenosti zdravlja litij-ionskih baterij na osnovi meritev nizkofrekvenčne impedance s stohastičnim vzbujanjem*. Projekt ima štiri glavne cilje, osredotočene na razvoj novih, na fiziki temelječih impedančnih modelov za grafitno anodo in polne litij-ionske baterije, potrjevanje korelacije EIS-SOH za posamezno komercialno baterijo, implementacijo merilnega modula EIS na osnovi CWT (modul DRBS-EIS) ter integracijo in testiranje modulov DRBS-EIS na demonstracijskem baterijskem modulu.

Nadaljujemo tudi z raziskavami na področju **medicine**. Pridobili smo nov raziskovalni projekt z naslovom *Sinhronizirana kardiorespiratorna koronarna rehabilitacija*, katerega cilj je ovrednotenje alternativnega pristopa k rehabilitaciji srca, imenovanega sinhronizirana kardiorespiratorna rehabilitacija (SCR), ki vključuje počasnejše gibe, sinhronizirane z dihanjem, da bi zmanjšali telesni stres in povečali učinkovitost rehabilitacije. Ovrednotenje SCR-metode bomo izvajali z merjenjem in podatkovno analizo standardnih parametrov, kot so krvni tlak, variabilnost srčnega utripa in zmogljivost kardiorespiratornega sistema, ter tudi s posebnimi merjenji, ki bodo vključevala visokoločljivostno elektrokardiografijo, motoriko dihanja, mikrovaskularni krvni obtok, pulzno plethizmografijo, temperaturo kože, bližnjo infrardečo spektroskopijo (NIRS) in elektroencefalografijo (EEG).

Na področju **družboslovnih in ekonomskih znanosti** nadaljujemo sodelovanje z Ekonomsko fakulteto Ljubljana v okviru novega projekta *Investicije kot ključ do izgradnje trajnostnega podjetja: izgradnja teoretičnega modela in multimetodološka empirična analiza*, namenjenega izgradnji teoretičnega okvira za trajnostno naravnana podjetja, določitvi vrst potrebnih investicij ter ovrednotenju obstoječih in potrebnih investicij v slovenskih podjetjih za doseg trajnostnega podjetja.

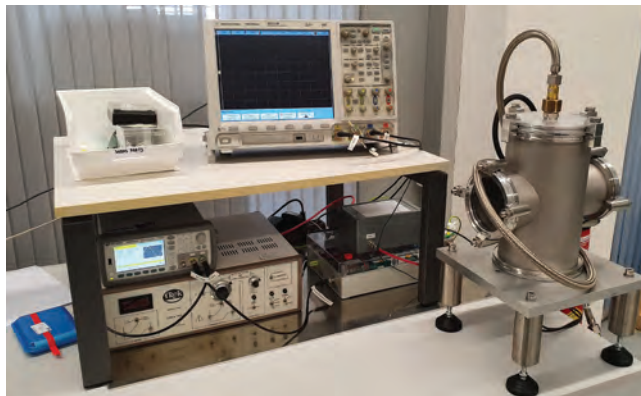
Začeli smo tudi sodelovati pri projektu *Vpliv umetne inteligence na trg dela: ekonomska analiza, zmanjševanje kompetenčnega razkoraka in zagotavljanje delovnopravne zaščite*. Projekt se osredotoča na umetno inteligenco (AI) na trgu dela, njegov cilj pa je ozaveščanje o uporabi rešitev AI ter prepoznavanje in obvladovanje tveganj v zaposlovalnih procesih.

Z naslova prijave ERC-projekta smo pridobili domači raziskovalni projekt z naslovom *Zrak v kraškem podzemlju kot ponor toplogrednih plinov*. Metan je pomemben toplogredni plin, opazovanja pa kažejo, da se v zraku v podzemlju hitro razgradi. Z meritvami, modeliranjem in razvojem teorije bomo določili pretok zraka skozi kraško podzemlje, saj je to glavni vir negotovosti pri ocenjevanju vloge podzemlja kot ponora metana.

Izvajali in koordinirali smo tudi mednarodne raziskovalne projekte. Eden od teh je projekt *H2020 Inevitable*, ki ga koordinira naš odsek, ukvarja pa se z optimizacijo v procesni industriji s pomočjo tehnologij s področja digitalizacije. Projekt je usmerjen v železarsko industrijo, v slovenskem delu projekta gre za večstransko optimizacijo procesa v elektrooblačni peči in procesa hladnega valjanja. Razvili smo programska orodja za podporo odločanju in spremljanje stanja pri procesu hladnega valjanja. Glavni poudarek dela pa je bil na implementaciji predhodno razvitih modelov v industrijsko okolje. Pripravljene rešitve omogočajo podporo pri določanju nastavitvenih parametrov procesa in nadzor nad delovanjem opreme valjevskega stroja.

V projektu RUBY razvijamo napredne tehnike in namensko strojno opremo za nadzor, diagnostiko, prognostiko in optimizacijo (MDPC) gorivnih celic PEM in SOFC s ciljem povečanja učinkovitosti in življenjske dobe. IJS skupina je prispevala niz diagnostičnih algoritmov za aktivno in pasivno diagnostiko trdno-oksidnih gorivnih celic. Naš poseben prispevek predstavlja

Rezultati pri sodelovanju z industrijo, vključno z razvojem in izdelavo dveh novih ter tehnološko naprednih sistemov za končni nadzor kakovosti za podjetje Domel.



Slika 6: Sistem za neinvazivno karakterizacijo piezoelektričnih materialov, razvit v sodelovanju s TU Darmstadt in TU Graz.



Slika 7: Popolnoma avtomatski sistem za končni nadzor kakovosti tip ML16 za podjetje Domel (faza razvoja in izdelave na IJS)



Slika 8: Delno avtomatski sistem za končni nadzor kakovosti tip 714 za podjetje Domel

statistični pristop k diagnostični fuziji, ki združuje vse razpoložljive simptome in izračuna seznam osumljenih napak s pripadajočo mero verjetnosti.

Ideja projekta *REACTT* je zgraditi vgrajeni sistem vodenja, ki bo optimiziral zmogljivost in življenjsko dobo obstoječih (reverzibilnih) trdnooksidnih elektrolizerjev. Najodmevnejši prispevek naše ekipe je inovativen modul za zunanje vzbujanje skladov za namene sprotne elektrokemične impedančne spektroskopije. Zasnovan je kot tokovni generator, ki deluje v seriji s privzetim (napetostnim) napajalnikom. Sposoben je vzbujati sklad s poljubnim časovnim signalom v frekvenčnem področju do 18 kHz in hkrati zagotavljati do 200 A enosmerne komponente toka v sklad.

Projekt *H2020 Hecat* si prizadeva izboljšati izkušnje in rezultate brezposelnosti za državljane EU, tako da ponuja personalizirane realnočasovne informacije trga dela. Projekt temelji na algoritmih za podporo pri odločanju in ocenjevanju časa do zaposlitev. Cilj je razširitev fokusa na kakovost delovnih mest in trajnostno zaposlovanje, vključujejo meritve povpraševanja po delovni sili in z uporabo obdelave velikih podatkov obravnavajo vsakega posameznika. Platforma uporablja umetno inteligenco in vizualizacijske tehnike za podporo sprejemanju odločitev.

Izvajali smo tudi **pogodbene projekte za slovensko industrijo**. Za našega dolgoletnega industrijskega partnerja Domel smo v letu 2022 dokončali razvoj novega diagnostičnega sistema (tip 714) za končni nadzor kakovosti. Gre za polavtomatski diagnostični sistem za novo proizvodno linijo brezkrtačnih elektromotorjev. Sistem predstavlja nov izziv v smislu digitalizacije, prenosa podatkov in spremljanja delovanja, saj bo vgrajen v tovarni na Kitajskem. Poleg tega smo v letu 2022 od podjetja Domel prejeli naročilo za razvoj in izvedbo nove popolnoma avtomatske in obsežne naprave za končni nadzor kakovosti raznih vrst elektromotorjev za proizvodno linijo ML-16. V primerjavi z napravami, ki smo jih izvedli do zdaj, novo napravo odlikuje izjemno visoka stopnja prilagodljivosti, ki omogoča diagnostiko različnih vrst elektromotorjev z različno geometrijo. Adaptacije za različne tipe motorjev se izvajajo programsko s pomočjo vrste pametnih mehatronskih aktuatorjev. S tem smo naše naprave še bolj približali konceptoma Industrije 4.0 in Pametnih tovarn.

Izobraževanje strokovnjakov in študentov na področju tehnologije vodenja

Sodelavci odseka redno sodelujemo pri izpeljavi predavanj in vaj ter izvedbi diplomskih, magistrskih in doktorskih del v okviru študija na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani, Fakulteti za logistiko Univerze v Mariboru, Fakulteti za industrijski inženiring Novo mesto, Univerzi v Novi Gorici in na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana v Ljubljani.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Jovan, David Jure, Dolanc, Gregor, Pregelj, Boštjan, Utilization of excess water accumulation for green hydrogen production in a run-of-river hydropower plant, *Renewable energy*, 2022, 195, 780-794, doi: 10.1016/j.renene.2022.06.079
2. Kos, Tomaž, Slabki, Mihail, Petrovič, Janko, Vrančič, Damir, Dolanc, Gregor, Koruza, Jurij, Measurement system for piezoelectric resonance impedance spectroscopy under combined AC and high-voltage DC loading, *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, 2022, 69, 11, 3137-3144, doi: 10.1109/TUFFC.2022.3185534
3. Andonovikj, Viktor, Boškosi, Pavle, Evkoski, Bojan, Redek, Tjaša, Boshkoska, Biljana Mileva, Community analysis in Slovenian labour network 2010-2020, *Journal of decision systems*, 2022, 31, S1, 308-318, doi: 10.1080/12460125.2022.2070944
4. Ješič, Dimitrij, Erklavec Zajec, Vivian, Bajec, David, Dolanc, Gregor, Berčič, Gorazd, Likozar, Blaž, Computational investigation of auto-thermal reforming process of diesel for production of hydrogen for PEM fuel cell applications, *International journal of energy research*, 2022, 46, 12, 17068-17083, doi: 10.1002/er.8370
5. Königshofer, Benjamin, Höber, Michael, Nusev, Gjorgji, Boškosi, Pavle, Hochenauer, Christoph, Subotić, Vanja, Accelerated degradation for solid oxide electrolyzers: analysis and prediction of performance for varying operating environments, *Journal of power sources*, 2022, 523, 230982-1-230982-14, doi: 10.1016/j.jpowsour.2022.230982

Nagrade in priznanja

1. Jernej Mlinarič, priznanje Tehnološke mreže Tehnologija vodenja procesov za najboljšo magistrsko delo z naslovom: *Diagnostika in prognostika elektromehanskih sklopov na podlagi mehanskih, električnih, vibracijskih in akustičnih signalov*, Ljubljana, Slovenija

MEDNARODNI PROJEKTI

1. H2020 - RUBY; Robustno in zanesljivo splošno namensko orodje za vodenje gorivnih celic v stacionarnih aplikacijah z namenom izboljšanja učinkovitosti in trajnosti
European Commission
prof. dr. Dani Juričić
2. H2020 - HECAT; Uporaba prebojnih tehnologij za podporo pri upravljanju s trgom dela
European Commission
doc. dr. Pavle Boškosi
3. H2020 - INEVITABLE; Optimizacija in izboljšanje procesov v jeklarski industriji z uporabo digitalnih tehnologij
European Commission
dr. Dejan Gradišar
4. H2020 - REACTI; Napredna orodja za diagnostiko in vodenje sistemov trdo oksidnih celic z namenom podaljšanja življenjske dobe
European Commission
prof. dr. Dani Juričić
5. TRACE - Filogenetska rekonstrukcija z uporabo Gaussovih procesov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Juš Kocijan

PROGRAM

1. Sistemi in vodenje
prof. dr. Dani Juričić

PROJEKTI

1. Sinhronizirana kardiorespiratorna koronarna rehabilitacija
doc. dr. Pavle Boškosi
2. Investicije kot ključ do izgradnje trajnostnega podjetja: izgradnja teoretičnega modela in multi-metodološka empirična analiza
doc. dr. Pavle Boškosi
3. STRAP - Izvor, transport in ponor obstojnih zračnih onesneževal v okolju Slovenije
prof. dr. Juš Kocijan
4. Natančna fizikalno-osnovana ocena stanja ohranjenosti zdravja litij-ionskih baterij na osnovi meritev nizko-frekvenčne impedance s stohastičnim vzbujanjem "AccessToInternalSOH"
Kemijski Inštitut Ljubljana
doc. dr. Pavle Boškosi
5. Optimizacijsko vodenje pretvornika energije v vodik v povezavi s hidro elektrarno
doc. dr. Gregor Dolanc
6. Stabilnost jedrskih reaktorjev pri obratovanju v načinu sledenja bremenu
dr. Boštjan Pregelj
7. Modeliranje dinamike kratkoročne izpostavljenosti radiološkemu sevanju
prof. dr. Juš Kocijan
8. Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda
dr. Darko Vrečko
9. Minimalno-invazivni samorazvijajoči diagnostični sistemi: ključni element tovarn prihodnosti
prof. dr. Dani Juričić

10. Vecfunktionalne vodikove tehnologije v podporo balansiranju elektroenergetskega sistema, shranjevanju energije in trgu
dr. Janko Petrovčič
11. „Uptake „: ponovna uporaba vode in blata iz čistilni naprav v kmetijstvu: privzem in porazdelitev prioritarnih onesnažil v modelni rastlini paradiznika
dr. Nadja Hvala
12. Vpliv umetne inteligence na trg dela: ekonomska analiza, zmanjševanje kompetenčnega razkoraka in zagotavljanje delovnopravne zaščite
doc. dr. Pavle Boškosi
13. Circular 4.0: Digitalne tehnologije, kot omogočitelj spodbujanja prehoda h krožnemu gospodarstvu s strani MSP na območju Alp
Government Office of the Land of Salzburg
dr. Miha Glavan
14. Vpliv umetne inteligence na trg dela: ekonomska analiza, zmanjševanje kompetenčnega razkoraka in zagotavljanje delovnopravne zaščite
Služba Vlade Republike Slovenije
doc. dr. Pavle Boškosi

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. L2-1832 Sofinanciranje L-projekta: Optimizacijsko vodenje pretvornika energije v vodik v povezavi s hidroelektrarno
Hidroelektrarne na Spodnji Savi, d. o. o.
doc. dr. Gregor Dolanc
2. L2-2615 Sofinanciranje L-projekta: Modeliranje dinamike kratkoročne izpostavljenosti radiološkemu sevanju
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
prof. dr. Juš Kocijan
3. Sofinanciranje L-projekta: „Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda“
JP ČČN Domžale-Kamnik, d. o. o.
dr. Darko Vrečko
4. Sofinanciranje L-projekta: „Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda“
Kolektor SisteH, d. o. o.
dr. Darko Vrečko
5. Sofinanciranje L-projekta: „Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda“
Komunala Novo mesto, d. o. o.
dr. Darko Vrečko
6. Sofinanciranje L-projekta: „Nadzorni sistem vodenja za celostno optimizacijo delovanja čistilnih naprav za čiščenje odpadnih voda“
Komunala Kranj, d. o. o.
dr. Darko Vrečko
7. Sofinanciranje L2-4456 „Vecfunktionalne vodikove tehnologije v podporo balansiranju elektroenergetskega sistema, shranjevanju energije in trgu“
DEM, d. o. o.
dr. Janko Petrovčič
8. Sofinanciranje L2-4454 - „Minimalno-invazivni samorazvijajoči diagnostični sistemi: ključni element tovarn prihodnosti“
Domel, d. o. o.
prof. dr. Dani Juričić

OBISKI

1. izr. prof. dr. Ivana Palunko, Sveučilište u Dubrovniku, Dubrovnik, Hrvaška, 2.–5. 5. 2022
2. dr. Domagoj Tolić, Rochester Institute of Technology Croatia, Dubrovnik, Hrvaška, 2.–5. 5. 2022
3. dr. Rade Garić, Sveučilište u Dubrovniku, Dubrovnik, Hrvaška, 2.–5. 5. 2022
4. dr. Rade Garić, Sveučilište u Dubrovniku, Dubrovnik, Hrvaška, 29. 11.–7. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Martin Brešar, mag. fiz.: Detekcija sklopitve med sistemi in aplikacija v medicini, 17. 1. 2022
2. David Jure Jovan, mag. inf. in kom. tehnol.: Izdelava modela HE in njegova uporaba za oceno možnosti kogeneracije vodika, 9. 5. 2022
3. Juš Kocijan, prof. dr.: Simulation of autoregressive Gaussian-process models, 19. 4. 2022
4. Matija Perne, dr.: Izkušnje prijave na razpis ERC, 16. 5. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI

STROKOVNIH ZBOROVANJIH

1. Samo Gerkšič, 32th Symposium on Fusion Technology SOFT 2022, Dubrovnik, Hrvaška, 18.–23. 9. 2022 (1)
2. Juš Kocijan: 6th Edition of the Workshop on Nonlinear System Identification Benchmarks, Leuven, Belgium, 25.–27. 4. 2022 (plenarni predavatelj)
3. Juš Kocijan, 6th IFAC Conference on Intelligent Control and Automation Sciences ICONS 2022, Cluj-Napoca, Romania, 13.–15. 7. 2022 (sourednik zbornika, virtualna konferenca)
4. Boštjan Pregelj, ERK 2022, Enaintrideseta mednarodna elektrotehniška in računalniška konferenca, Portorož, Slovenija, 19.–20. 9. 2022 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. doc. dr. Pavle Boškosi
2. **doc. dr. Gregor Dolanc, vodja odseka**
3. dr. Samo Geršič
4. dr. Miha Glavan
5. dr. Giovanni Godena
6. dr. Dejan Gradišar
7. dr. Nadja Hvala
8. *dr. Vladimir Jovan, upokojitev 16. 7. 2022*
9. prof. dr. Dani Juričič, znanstveni svetnik
10. prof. dr. Juš Kocijan, znanstveni svetnik
11. *dr. Marko Nerat, odšel 1. 7. 2022*
12. doc. dr. Matija Perne
13. dr. Janko Petrovčič
14. dr. Boštjan Pregelj
15. doc. dr. Damir Vrančič
16. dr. Darko Vrečko

Mlajši raziskovalci

17. Martin Brešar, mag. fiz.
18. Žiga Gradišar, mag. fiz.
19. Tadej Krivec, mag. inž. el.
20. Jernej Mlinarič, mag. inž. meh.
21. *Gjorgji Nusev, univ. dipl. inž. el., odšel 1. 6. 2022*
22. Aljaž Pavšek, mag. fiz.
23. Matic Rutnik, mag. inž. meh.
24. Žiga Stržinar, mag. inž. el.
25. Luka Žnidarič, mag. mat.

Strokovni sodelavci

26. Stanislav Černe, dipl. inž. el.
27. Primož Fajdiga, dipl. inž. el.
28. David Jure Jovan, mag. inf. in kom. tehnol.

Tehniški in administrativni sodelavci

29. Maja Janežič, univ. dipl. kom.
30. Miroslav Štrubelj

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Andritz OY, Norveška
2. AVL List GmbH, Avstrija
3. BFI – Betriebsforschungsinstitut, Nemčija
4. CEA – French Alternative Energies and Atomic Energy Commission
5. Centralna čistilna naprava Domžale-Kamnik

6. Copenhagen Business School, Danska
7. Danfoss Trata, Ljubljana
8. DEM – Dravske elektrarne Maribor
9. Domel Železniki
10. Eibar Precision Casting, Španija
11. Eilenburger Elektrolyse- und Umwelttechnik GmbH, Nemčija
12. EPFL – École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Švica
13. Fundacion Azterlan, Španija
14. GEN energija, Ljubljana
15. Helios, Domžale
16. HESS – Hidroelektrarne na Spodnji Savi, Brežice
17. INERIS – The French National Institute for Industrial Environment and Risks, Francija
18. Kemijski Inštitut, Ljubljana
19. Kolektor Sisteh, Ljubljana Črnuče
20. Komunala Kranj
21. Komunala Novo mesto
22. KTH – The Royal Institute of Technology, Švedska
23. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana
24. MEIS, Ljubljana
25. Nuklearna elektrarna Krško
26. Roskilde University, Danska
27. Sciences Po, Francija
28. Sidenor Aceros Especiales, Španija
29. Siemens, Ljubljana
30. SIJ Acroni, Jesenice
31. Sintef, Norveška
32. South East Technological University, Irska
33. South Eastern Technical University SETU Waterford, Irska
34. Tecnalia, Španija
35. TUG – Technical University of Graz, Avstrija
36. UNISA – University of Salerno, Italija
37. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta
38. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
39. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko
40. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo
41. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
42. Univerza v Mariboru, Fakulteta za logistiko
43. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za aplikativno naravoslovje
44. Univerza v Novi Gorici, Fakulteta za znanosti o okolju
45. Univerza v Novi Gorici, Poslovno tehniška fakulteta
46. UTAD – University of Trás-os-Montes and Alto Douro, Portugalska
47. Voestalpine Stahl, Avstrija
48. VTT – Technical Research Centre of Finland, Finska
49. Zavod Center ARI, Ljubljana
50. Zavod KC STV, Ljubljana
51. Zavod Republike Slovenije za zaposlovanje, Ljubljana

Področje dela Odseka za umetno inteligenco (<http://ailab.ijs.si/>) so informacijske tehnologije, ki temeljijo na metodah in tehnologijah umetne inteligence. Najpomembnejša področja raziskav in razvoja so: analiza podatkov s poudarkom na tekstovnih, spletnih, večpredstavnih in dinamičnih podatkih, tehnike za analizo velikih količin podatkov v realnem času, strojno učenje, analize in modeliranje velikih omrežij, vizualizacija kompleksnih podatkov, semantične tehnologije, jezikovne tehnologije, metode sklepanja ter širše področje raziskav upravljanja z znanjem. Laboratorij za umetno inteligenco združuje sodelavce z znanji in izkušnjami z različnih področij umetne inteligence. Poleg objav raziskovalnih rezultatov so sodelavci razvili vrsto metod in orodij za čezmodalno analizo podatkov. Najpomembnejša so: Text-Garden, knjižnica za analizo besedil (<https://ailab.ijs.si/tools/text-garden/>); OntoGen (<https://ailab.ijs.si/tools/ontogen-2/>), orodje za gradnjo ontologij iz večpredstavnih podatkov; Document-Atlas (<https://ailab.ijs.si/publications/past-projects/documentatlas/>), orodje za vizualizacijo kompleksnih podatkov; Atlas of Slovenian Science (<http://scienceatlas.ijs.si/>), portal za analizo aktivnosti raziskovalcev; Enrycher (<http://enrycher.ijs.si/>), sistem za semantično anotacijo besedil; SearchPoint (<http://searchpoint.ijs.si/>), portal za vizualno in kontekstno spletno iskanje; OntoPlus (<https://ailab.ijs.si/tools/ontoplus/>), metodologija za polavtomatsko razširitev ontologij, Contextify, orodje za kontekstno upravljanje z e-pošto in osebnim imenikom; Qminer (<http://qminer.ijs.si/>), platforma za analizo in procesiranje strukturiranih in nestrukturiranih podatkovnih tokov na velikih skalah v realnem času; NewsFeed (<https://ailab.ijs.si/tools/newsfeed/>), prečiščen, neprekinjen, agregiran tok trenutnih semantično obogatenih novic iz RSS – usposobljenih internetnih strani z vsega sveta; EventRegistry (<http://eventregistry.org/>), sistem za identifikacijo dogodkov v svetovnih medijih, ki vključuje tudi komponento za DarkNET; Wikifier (<http://wikifier.org>), sistem za anotacijo dokumentov, ki vsebujejo povezave na internetne strani Wikipedije; StreamStory, orodje za analizo podatkovnih tokov, ki omogoča alternativno vizualizacijo s pomočjo multivariantnih podatkovnih tokov z uporabo modela Markova; Videolectures Explorer, orodje, ki omogoča uporabnikom brskanje podatkovne baze predavanj ter iskanje njihovih medsebojnih skupnih lastnosti, EDSA dashboard, orodje za agregiranje podatkov o povpraševanju (po prostih delovnih mestih) in ponudbi (izobraževalnega materiala) na področju znanosti o podatkih znotraj Evrope; nextPin, orodje za analizo časovnih sprememb lokacijskih podatkov; infominer, sistem za polavtomatsko analizo dokumentov; Connection tool, orodje, ki z analizo podatkov sistema EventRegistry omogoča uporabniku sledenje poslovnih in zasebnih imen v odvisnosti od časa, določitev splošnih relacij med njimi in spremljanje sprememb teh relacij (temelji na konceptih znotraj Wikipedije); Graph Based Analytics, storitev za identifikacijo poslovnih relacij na podlagi tekstovnih podatkov; streamfusion, univerzalni sistem za predprocesiranje heterogenih tokovnih podatkov; ELEXIS ER (<http://er.elex.is/>), dodatek za sistem Event Registry, prilagojen leksikografskim vsebinam; platforma, ki omogoča zaznavanje in vizualizacijo anomalij v javnih naročilih in finančnih transakcijah (<http://tbfy.ijs.si/>); Infominer, orodje za interaktivno analizo podatkov; WaterObservatory (<http://naiades.ijs.si/>); sistem za avtomatsko generiranje splošnih opisov MultiCOMET (<https://multicomet.ijs.si/>), SmellTracker (<https://odeuropa.ijs.si/>), sledenje uporabe UI v proizvodni industriji EUJapan Observatory (<https://eujapan.ijs.si/>) in orodje za pretvorbo časovnih vrst v sistemska stanja (<http://atena.ijs.si:8080/>). Strategija laboratorija je poleg znanstvene odličnosti predvsem vzdrževati tesno sodelovanje z industrijo in prenašanje rezultatov v poslovna okolja.



Vodja:

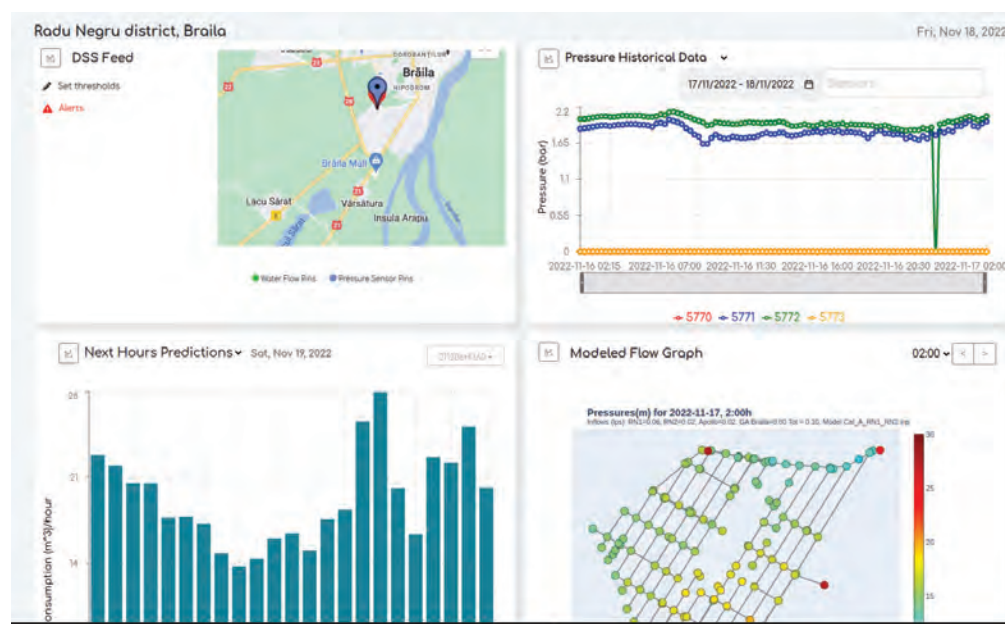
prof. dr. Dunja Mladenec

V letu 2022 smo bili zelo aktivni in uspešni pri prijavi novih projektov, predvsem v okviru Obzorja Evropa. Začeli smo delati na dveh novih projektih: *enRichMyData* in *CONDUCTOR*, ter pridobili financiranje za sedem novih evropskih projektov, ki se bodo začeli v letu 2023. Nadaljujemo prakso uspešnega vključevanja slovenske industrije v evropski raziskovalni prostor, do zdaj smo tako vključili številna posamična partnerska podjetja.

Projekt H2020 SILKNOW je dobitnik nagrade EuropaNostra Grand Prix.

V zadnjih 20 letih smo sodelavci Odseka za umetno inteligenco uspešno sodelovali pri 80 evropskih projektih. V letu 2022 smo uspešno zaključili tri evropske projekte in nadaljevali delo na desetih projektih. Hkrati smo sodelovali tudi pri sedmih nacionalnih projektih.

Na področju statističnega modeliranja podatkov in strojnega učenja smo v letu 2022 začeli delati na novem projektu CONDUCTOR in nadaljevali delo pri projektih: CogLo, Naiades, FACTLOG in STAR. Projekt EU H2020 Cog-Lo (*Cognitive Logistics*) se je uspešno zaključil leta 2022, po šestmesečnem podaljšanju zaradi pandemije covid-19. Cilj projekta je bil zasnovati in razviti inteligentno logistično platformo s kognitivnimi storitvami za poštno storitve. Projekt se je osredotočil na opazovanje poštno infrastrukture kot objekta v času, pri čemer smo obravnavali pretok paketov z uporabo osnovnih infrastrukturnih orodij. V okviru projekta je Odsek za umetno inteligenco uspešno zasnoval metodologijo za izgradnjo digitalne predstavitve fizične infrastrukture, metodologijo za optimizacijo virov na distribuciji grafov in metodologijo za obdelavo velikih grafov z gručenjem. Razvito je bilo orodje Cognitive Adviser Tool, ki v realnem času spremlja dogodke v infrastrukturi in ustvarja intervencije za optimizacijo procesov. Skupaj z Odsekom E7 smo začeli delati pri evropskem projektu CONDUCTOR (*Fleet and Traffic Management System for Conducting future cooperative mobility*). Cilj projekta je oblikovati, integrirati in demonstrirati napredno upravljanje prometa, ki bo omogočilo učinkovit in globalno optimalen prevoz potnikov in blaga ter bo hkrati omogočilo preprosto večmodalnost in interoperabilnost transporta z uporabo dinamične optimizacije in prednostnim upravljanjem vozil (avtomatiziranih in konvencionalnih). V ta namen bo CONDUCTOR gradil na najsodobnejših rešitvah za upravljanje prometa v ekosistemu CCAM (Connected, Cooperative and Autonomous Mobility) ter razvil naslednjo generacijo simulacijskih modelov in orodij na različnih ravneh, ki jih omogočajo UI in združitev različnih virov podatkov, ter tako omogočil izboljšanje učinkovitosti prometnih operaterjev in logistike. Za testiranje in validacijo bodo analitične funkcionalnosti integrirane in implementirane v štirih industrijskih pilotnih okoljih: Atene, Madrid, Almeo in regija SLO-IT. Predstavljeni primeri uporabe bodo tako vključevali integrirano upravljanje transporta z intermodalnostjo, transport po odzivu na povpraševanje in logistika urbanega okolja. Znotraj projekta H2020 Naiades (*A holistic water ecosystem for digitisation of urban water sector*) smo v letu 2022 dokončali delo na štirih nalogah: (1) izdelava sistema za pretvorbo časovnih vrst v sistem stanj, (2) izdelava detektorja anomalij, ki poteka v realnem času, (3) izdelava sistema za napovedi, ki poteka v realnem času in (4) izdelava vodnega observatorija. Sistem za pretvorbo časovnih vrst stanja smo zgradili leta 2021, leta 2022 pa smo dodali novo funkcijo pošiljanja opozoril spremembe v posebna stanja na časovnih vrstah v realnem času in njihovo pošiljanje na platformo Naiades. Uporabnik lahko sam določi, katera stanja so zanj zanimiva, ta pa vključuje tudi detekcijo anomalij. Za anomalije smo izdelane dodatne sisteme (torej (i) detekcijo anomalij v časovnih vrstah, (ii) detekcijo približnega mesta puščanja v vodovodnem omrežju in (iii) detekcijo natančnega mesta puščanja v vodovodnem omrežju) razvili do konca in njihove rešitve integrirali v Naiades okolje. Sistem za napovedi, ki potekajo v realnem



Slika 1: Napoved porabe vode. Zaslonski posnetek platforme NAIADES (<https://naiades.simavi.ro/>), izdelal jo je Konnektable Technologies), ki prikazuje grafični uporabniški vmesnik za primer uporabe Braiila z napovedmi porabe vode, ki jih je izdelal Odsek za umetno inteligenco (graf na spodnji levi strani), in hidrološki model (spodaj desno, izdelal ga je IHE Delft Institute for Water Education), zgrajen na podlagi napovedi.

času, je bil integriran v platformo Naiades ter napovedi validirane od vseh treh pilotov. Dodatno smo razvili sistem za nadzor celotnega ekosistema (nadzor nad vhodnimi podatki, fuzija podatkov, ustvarjanje napovedi in njihovo pošiljanje na platformo Naiades). Vodni observatorij (<http://naiades.ijs.si>) smo nadgradili z zavihkom s srednjeročnimi napovedmi vremena in vodnih virov. Projekt se je zaključil novembra 2022. Cilj projekta

Projekt H2020 FACTLOG je odbor za inovacije EC Innovation Radar izbral za enega od ključnih inovacijskih projektov na temo izboljšani kognitivni digitalni dvojčki.

FACTLOG (*Energy-aware Factory Analytics for Process Industries*) je podpora procesne industrije skozi razvoj digitalnih dvojčkov. Digitalni dvojčki kot digitalna preslikava tovarne, podprta z analitskimi sistemi, omogoča funkcije, kot so: proženje alarmov ob anomalijah, načrtovanje optimalnega vrstnega reda proizvodnje in nastavljanje ustreznih parametrov proizvodnih strojev. S partnerji smo oblikovali ogrodje, v katerem modeli strojnega učenja delujejo skupaj z modeli domenskih strokovnjakov in algoritmi za optimizacijo ter rešujejo naloge industrije. Naši glavni prispevki v preteklem letu so bili (a) sklop modelov umetne inteligence za napovedovanje nečistoč v procesih destilacije turške nafte rafinerije Tüpraş, (b) sklop modelov umetne inteligence za modeliranje energetske porabe v turški naftni rafineriji Tüpraş in (c) modeli za napoved bodočega stanja v podjetju za predelavo odpadkov (JEMS) na podlagi preteklih vrednostnih senzorskih podatkov. Modeli za turško rafinerijo so bili uspešno integrirani v skupno digitalno platformo. Čez leto smo tudi raziskovali možnost napovedovanja žvepla v procesih rafiniranja nafte. Cilj projekta STAR (*Safe and Trusted Human Centric Artificial Intelligence in Future Manufacturing Lines*) je razvoj človeku prijaznih rešitev umetne inteligence na področju proizvodnje. Projekt raziskuje pristope in uporabo umetne inteligence v proizvodnji, ki omogoča (a) bolj varno okolje proizvodnje oziroma sodelovanje z roboti, (b) varnost pred kibernetičnimi napadi, (c) razložljivost modelov umetne inteligence, da človek bolje razume oziroma pridobi vpogled v način razmišljanja teh modelov, ter (d) raziskavo in uporabo pristopov aktivnega učenja, ki omogočajo sodelovanje med človekom in modeli strojnega učenja z namenom, da se izboljša raven učenja modelov strojnega učenja. Naši glavni prispevki v preteklem letu so bili: (a) razvoj rešitev strojnega učenja za avtomatično detekcijo napak v proizvodnji, (b) uporaba metod razložljive umetne inteligence in njihovo ovrednotenje, kako pomagajo k hitrejši in bolj kakovostni identifikaciji napak v proizvodnji, (c) uporaba strojnega učenja za detekcijo slik, ki so bile spremenjene z namenom, da kvarijo napovedi modelov strojnega učenja, (d) razvoj novih pristopov za merjenje kakovosti kalibracije modelov ter (e) uporaba pristopov aktivnega učenja za zmanjševanje potreb labeliranja podatkov in boljše učenje modelov strojnega učenja. Modele strojnega učenja razvijamo za dva ključna partnerja projekta: Philips in IBER.

Na področju analize kompleksnih sistemov smo razvili prvo verzijo observatorija slovenske umetne inteligence, ki je javno dostopen na <http://slovenian-observatory.ijs.si>. Osnovna funkcionalnost sistema zajema analitiko podatkov, pročelje sistema z uporabniškim vmesnikom z vizualizacijo rezultatov, podsistem za izdelavo poročil. Za potrebe izgradnje sistema smo zbrali podatke iz odprtih virov in identificirali dodatne vire podatkov, ki jih bomo v naslednjem letu pridobili. Pridobljene podatke smo semantično označili ter izdelali vrsto analiz in vizualizacij rezultatov. Na pilotnem projektu, ki ga financira Ministrstvo za obrambo, se razvija sistem, imenovan Si-Twin, ki predstavlja digitalni dvojček Slovenije. Sistem bo skrbel za celovito razumevanje dogodkov v Sloveniji in tudi v širšem kontekstu, s tem bo uporabnikom omogočeno razumevanje informacij v realnem času, hkrati pa tudi predvidevanje in prepoznavanje potencialnih kompleksnih kriz. Arhitektura je zasnovana na podlagi mikrostoritev ter omogoča fleksibilen razvoj in večjo skalabilnost celotnega sistema. Analitski del infrastrukture že podpira shranjevanje in obdelovanje podatkovnih tokov v realnem času, ti pa se tudi ustrezno agregirajo in shranijo v podatkovno bazo sistema. Za prikaz shranjenih podatkov je bil implementiran uporabniški vmesnik, ki podatke prikazuje s pomočjo interaktivnih vizualizacij. Integriran je bil tudi sistem NCKU, ki omogoča ločen prikaz dogodkov v Sloveniji, tako z vidika domačih kakor tudi tujih medijev. Poteka pa tudi integracija interaktivnega zemljevida, ki prikazuje prenosno omrežje električne energije v Evropi in pripadajoče stanje na tej infrastrukturi. Začel se je razvoj modelov umetne inteligence, ki bodo omogočali napovedovanje za različne razpoložljive podatkovne vire. Podatki se v sistem pošiljajo iz različnih podatkovnih virov, ki vključujejo informacije o vremenu, porabi in proizvodnji električne energije v Sloveniji ter stanju podtalnih vod v državi.

Na področju **analiz podatkovnih tokov** smo nadaljevali delo pri projektu *INFINITECH (Tailored IoT & BigData Sandboxes and Testbeds for Smart, Autonomous and Personalized Services in the European Finance and Insurance Services Ecosystem)*, kjer je vključenih 15 različnih pilotov iz Fintech domene, eden izmed njih je razvoj analitične platforme za *Anti Money Laundering in Counter Financing of Terrorism* (PAMLS) za potrebe nadzora finančnih institucij, kjer je naš partner Banka Slovenije. Na razvoju pilota sta vključena zgolj dva partnerja – Banka Slovenije kot vsebinski partner in končni uporabnik ter Odsek za umetno inteligenco kot edini tehnološki partner. Razvite metode smo integrirali v platformo PAMLS in validirali funkcionalnosti na dejanskih aktualnih podatkih. Celotna platforma PAMLS je postavljena na BS testbedu in je sestavljena iz tretje verzije Risk Assessment Tool in druge verzije orodja Screening, ki sta tudi medsebojno integrirana. Izvedena je bila validacija funkcionalnosti na dejanskih živih podatkih, rezultati pa so se pokazali za izjemno koristne, ne samo na procesih nadzora, temveč so se odprle

Uspešno smo zaključili tri projekte EU H2020: CogLo (*Future COGNitive Logistics Operations through Social Internet of Things*), Cybersane (*Cyber Security Incident Handling, Warning and Response System for European Critical Infrastructures*) in ELEXIS (*European Lexicographic Infrastructure*).

analitične rešitve, in ga bo mogoče uporabiti v številnih panogah, kot so digitalno trženje, javna naročila, inovacijski ekosistemi, industrija 4.0, napovedno vzdrževanje medicinskih naprav in predelava mineralov. Projekt CyberSANE (*Cyber Security Incident Handling, Warning and Response System for the European Critical Infrastructures*) se je začel leta 2019, končal pa leta 2022. Namen projekta je bil povečati varnost in odpornost kritične evropske informacijske infrastrukture (CII). V okviru projekta smo razvili platformo CyberSANE, ki varnostnim strokovnjakom v organizacijah pomaga pri obravnavi kibernetških incidentov. Platforma je sestavljena iz več komponent, Odsek za umetno inteligenco pa je bil v okviru projekta odgovoren za razvoj komponente DarkNET, ki omogoča zajem in analizo strukturiranih in nestrukturiranih podatkov iz tako imenovanega temnega spleta (angl. *dark web*) in iz medijskih zapisov. DarkNET komponenta zajete podatke semantično analizira ter iz njih izlušči relevantne informacije o kibernetških incidentih. Ti podatki varnostnim analitikom omogočajo vpogled v globalno stanje kibernetške kriminalitete, pa tudi zaznavanje kibernetških groženj na temnem spletu in med novicami. V letu 2022 je bil razvoj platforme končan in uspešno preskušen v treh pilotnih testih. V okviru projekta je bila pod prosto licenco izdana tudi knjiga *Crash course on cybersecurity: a manual for surviving in a networked world* avtorja Mateja Kovačiča. Knjiga poskuša na razumljiv način razložiti kompleksno področje kibernetške varnosti, izpostavlja ključne informacije o tem, kako zaščititi sebe in/ali svoje podjetje pred kibernetškimi napadi ter podaja tehnološko nevtralne nasvete za izvedbo zaščite pred kibernetškimi napadi.

Na področju analize besedil in omrežij ter jezikovnih tehnologij smo uspešno zaključili delo in koordinacijo na evropskem projektu ELEXIS (*European Lexicographic Infrastructure*), ki se je začel februarja 2018. Cilj projekta je bil integrirati, razširiti in uskladiti nacionalne in regionalne dejavnosti na področju leksikografije z namenom oblikovanja trajnostne infrastrukture, ki bo (1) omogočila učinkovit dostop do visokokakovostnih leksikalnih podatkov v digitalni dobi ter (2) zapolnila vrzel med naprednejšimi in slabše opremljenimi znanstvenimi skupnostmi na področju izdelovanja leksikografskih virov. V letu 2022 smo poleg dejavnosti, vezanih na vodenje projekta, še naprej vzdrževali spletno stran projekta ter objavili končne različice orodij Elexifinder, Elexifier, Lemony, ELEXIS one-click dictionary, ELEXIS Lexicographic News Feed in Dictionary Matrix. Prav tako smo uspešno organizirali in izvedli zaključni dogodek projekta (ELEXIS Showcase Event), ki je potekal junija 2022 v Firencah v Italiji. V okviru projekta H2020 EU Marie Skłodowska-Curie ITN CLEOPATRA (*Cross-lingual Event-centric Open Analytics Research Academy*) smo objavili šest raziskovalnih člankov. Naši doktorski študenti so se v okviru projekta CLEOPATRA udeležili tečaja pisanja diplomskih nalog na delavnici CLEOPATRA in svoje raziskovalne izsledke predstavili na ESWC 2022. Abdul Sittar in Swati sta zaključila tudi svoje usposabljanje v tujini, ki sta jih gostila BL (British Library) in FCT-FCCN (Fundação para a Ciência e a Tecnologia). Na področju analize besedil in omrežij ter jezikovnih tehnologij smo sodelovali tudi pri nacionalnih in regijskih projektih. V letu 2022 smo nadaljevali delo pri projektu Razvoj slovenščine v digitalnem okolju (RSDO). Operacijo Razvoj slovenščine v digitalnem okolju sofinancirata Republika Slovenija in Evropska unija iz Evropskega sklada za regionalni razvoj. Operacija se izvaja v okviru Operativnega programa za izvajanje evropske kohezijske politike v obdobju 2014–2020. Med rezultati so novi jezikovni viri, orodja za procesiranje slovenščine in aplikacije (nadgradnja besedilnih korpusov, prepoznavna govora, semantične tehnologije,

strojno prevajanje, terminološki portal, vzdrževanje jezikovnotehnološkega centra - CLARIN.SI). V tretjem letu projekta smo končali razvoj orodja MultiCOMET. Slednje je model, ki ustvarja kontekstualne trditve glede ne stavek, ki ga vnesemo. To vključuje pogoje in posledice vnesenega. Iz tega nastaja grafični prikaz trditve. Globoka nevronska mreža razčleni vnos in naredi sklep na podlagi okoliščin in vplivov. V letu 2022 smo končali izvajanje projekta CurliCat (Curated Multilingual Language Resources for CEF AT Action), katerega cilj je bil zbrati kurirane baze podatkov za sedem konzorcijskih jezikov (bolgarščina, hrvaščina, madžarščina, poljščina, romunščina, slovaščina, slovenščina) za namen izboljšanja strojnega prevajalnika Evropske komisije. V okviru tega projekta smo novembra 2022 končali razvoj sistema za anonimizacijo besedil za vseh 7 jezikov. Leta 2022 se je zaključil tudi projekt Federated eTranslation TermBank Network



Slika 2: Vmesnik za anotacijo slik, razvit v okviru projekta H2020 STAR. Ta in drugi podobni vmesniki se uporabljajo za izvajanje različnih poskusov označevanja slik.

(FedTerm). Njegov namen je bil razviti združene terminološke zbirke (vozišča), kjer lahko uporabniki upravljajo in delijo svojo terminologijo z drugimi uporabniki ter iščejo termine v zasebnih in javno dostopnih terminoloških zbirkah. Projekt razvija omrežje, ki bo organizacijam in institucijam v EU omogočilo lokalno namestitve posameznih federacijskih vozišč eTranslation TermBank, ki bodo povezana z osrednjim federacijskim voziščem (eTranslation TermBank) in bodo redno sinhronizirala terminološke spremembe. Projekt zajema vse uradne jezike EU ter norveščino in islandščino, pri čemer se osredotoča na partnerske jezike (latviščino, danščino, islandščino, estonsščino, litovščino, slovenščino, nemščino in švedščino). V zaključnem letu projekta smo na spletnem naslovu <https://fedterm.ijs.si/> objavili slovensko terminološko vozišče kot del evropske mreže terminoloških portalov. V letu 2022 se je zaključil tudi projekt ELRC (European Language Resource Coordination). ELRC je namenjen upravljanju, vzdrževanju in usklajevanju ustreznih jezikovnih virov v vseh uradnih jezikih EU in pridruženih državah CEF (Connecting Europe Facility). Te dejavnosti bodo pripomogle k izboljšanju kakovosti, pokritosti in učinkovitosti rešitev za avtomatizirano prevajanje v okviru sedanjih in prihodnjih digitalnih storitev programa CEF. Leta 2022 smo organizirali (že tretjo) mednarodno delavnico ELRC, ki je potekala v veliki predavalnici na IJS in prek platforme Zoom. V okviru dogodka smo predstavili trenutno stanje, projekte ter načrte za razvoj jezikovnih virov in orodij za slovenščino. Razvijalci, integratorji in uporabniki jezikovnih tehnologij, tako iz zasebnega kot javnega sektorja, so izmenjali izkušnje, zahteve in načine za preoblikovanje digitalne komunikacije v naši večjezični Evropi z jezikovnimi tehnologijami. Na koncu so razpravljali o tem, kako lahko jezikovni podatki, tj. besedila in govor, spodbudijo razvoj na področju umetne inteligence. V letu 2022 smo sodelovali tudi v iniciativah ELG (European Language Grid) in ELE (European Language Equality). ELG je z zmogljivimi večjezičnimi, medjezikovnimi in enojezičnimi tehnologijami prispeval k oblikovanju resnično povezanega večjezičnega enotnega digitalnega trga, ki pokriva več jezikov. Iniciativa ELG se je leta 2022 zaključila. Glavni rezultat projekta je povezava repozitorijev ELG in CLARIN.SI na način, da komunicirata med sabo in se vsebina obeh avtomatično medsebojno usklajuje. V okviru ELE se še naprej razvijata strateški, raziskovalni, inovacijski in izvedbeni program ter načrt za doseganje popolne digitalne jezikovne enakosti v Evropi do leta 2030. V letu 2022 smo dokončali poročilo o stanju jezikovnih tehnologij za slovenščino. Poročilo: https://european-language-equality.eu/wp-content/uploads/2022/03/ELE___Deliverable_D1_31___Language_Report_Slovenian_.pdf Skupaj z odsekom za tehnologije znanja (E8) smo v letu 2022 še naprej vodili slovensko raziskovalno infrastrukturo CLARIN.SI, ki omogoča preprosto objavo in trajnosten dostop do digitalnih jezikovnih podatkov za raziskovalce v humanistiki in družbenih vedah. Poleg tega, da smo ponujali podporo za repozitorij CLARIN.SI, smo nanj naložili številne podatke (leksikalne vire, korpuse, sezname) in tehnologije za procesiranje slovenskega jezika. V letu 2022 se je zaključil projekt Spremljevalni korpus in spremljajoči jezikovni viri (krajše: SLED). Naslovlj je predvsem eno od temeljnih potreb slovenskega jezika, tj. izdelavo spremljevalnega korpusa, ki je ob izredno hitrih spremembah v jeziku (za primer lahko vzamemo spremembe v času pandemije covid-19) nujno potrebna temeljna infrastruktura za spremljanje, opazovanje, pa tudi popisovanje različnih diahronih jezikovnih fenomenov, npr. različnih vrst neologizmov (leksikalnih in semantičnih), padajoče rabe besed in besednih zvez itd. V letu 2022 so bili objavljeni naslednji projektne rezultati: spremljevalni korpus trendi; anketa med uporabniki; frekvenčni sezname, ki vsebujejo besede oziroma nize besed, katerih raba je v izbranem obdobju v primerjavi s prejšnjim obdobjem najbolj opazno narasla, ter orodje za tematsko označevanje besedil. V letu 2022 smo začeli izvajati projekt SLOKIT (Korpusni informator in besedilni analizator). Glavni namen projekta je nadgradnja portala raziskovalne infrastrukture CLARIN.SI s storitvami, ki bodo vsebine portala, predvsem korpuse, približale širši množici uporabnikov. Pomemben rezultat projekta bo orodje, ki bo prepoznavalo težje dele besedil in ponujalo rešitve za njihovo poenostavljanje, kar bo v pomoč tako neposrednim uporabnikom kot tudi snovalcem učnih gradiv. Poudarek pri izdelavi obeh orodij bo na prilagoditvi za osebe z osebnimi potrebami.

Na področju semantičnih tehnologij smo nadaljevali delo pri projektu H2020 ODEUROPA (Negotiating Olfactory and Sensory Experiences in Cultural Heritage Practice and Research), katerega namen je uporabiti najsodobnejše tehnike umetne inteligence za besedilne in slikovne zbirke kulturne dediščine, ki zajemajo štiri stoletja evropske zgodovine, da bi ugotovili in sledili, kako se je »vonj« izražal v različnih jezikih, s katerimi kraji je bil povezan, katere vrste dogodkov in praks je zaznamoval ter s katerimi čustvi je bil povezan. Leta 2022 so partnerji projekta Odeuropa nadaljevali gradnjo projektne infrastrukture, organizacijo in sodelovanje na dogodkih, povezanih z vonjem (delavnice, konference, razširjanje v javnosti), ter odkrivanje besedilnih in vizualnih virov o vonju. Odsek za umetno inteligenco je prispeval predvsem k pridobivanju znanja, povezanega z vonjem, iz slovenskih korpusov Odeuropa. V skladu s projektnimi nalogami smo organizirali anotacijo čustev za primerjalnik Odeuropa in usposobili začetne modele za ekstrakcijo čustev. Novembra 2022 je bil Odsek za umetno inteligenco skupaj z Narodno in univerzitetno knjižnico Slovenije



Slika 3: Projekt H2020 Odeuropa Smell Tracker, nadzorna plošča dljib, koncept filtra: parfum

Uspešno smo zaključili šest projektov, ki se financirajo na državni in regionalni ravni: Causality, CurliCat, FedTerm, ELRC, Kauč in SLED.

osrednji organizator hakatona in delavnice Odeuropa *Izboljšajte svoje znanje o vonju*. Dvodnevni dogodek je privabil raziskovalce s področja vonja, zgodovinarje in strokovnjake za IT iz različnih evropskih institucij ter zagotovil podlago za vrednotenje in potrjevanje orodij in tehnologij Odeurope. Odsek za umetno inteligenco je v letu 2022 tudi uspešno zaključil ARRS projekt *Causality*. V sklopu projekta smo razvili teoretski okvir za modeliranje dinamičnega grafa medsebojno povezanih dogodkov kot hierarhičnega večnivojskega kompleksnega sistema. Razvili smo metode za napovedovanje razvoja raziskav, ki temelji na objavljenih znanstvenih člankih v zadnjih dvesto letih. Na področju analize besedil smo razvili pristop za razumevanje besedil, ki temelji na modelih agent-based. Pristop smo preverili na kratkih zgodbah. Na področju financ smo razvili pristop za karakterizacijo finančnih trgov z vidika vpliva dogodkov, objavljenih v medijih. Za analizo vzroka in vpliva osebnih dejavnosti smo razvili sistem za avtomatsko pridobivanje vsakodnevnih opisov sveta – *MultiCOMET*, ki smo ga v zadnjem letu razširili s poudarkom na slovenščini. V zadnjem letu smo razvili novo metodologijo za urjenje sistema za pridobivanje podatkov o dogodkih in jo preizkusili na resničnih scenarijih, ki analizirajo dogodke potresov in terorističnih napadov v večjezičnem okolju. Pri analizi ovir za širjenje informacij smo proučevali kaskadne ovire in ovire za širjenje informacij na svetovnih novicah, pri čemer smo predlagali metodologijo in jo uporabili na treh različnih vrstah dogodkov: globalnem segrevanju, potresih in svetovnem prvenstvu v nogometu FIFA. V sodelovanju z britansko knjižnico smo proučevali slogovne značilnosti pri poročanju o novicah na primeru novic na temo BREXIT. Na področju pristranskosti poročanja o informacijah smo raziskali vpliv geografske pristranskosti na sentiment novic na primeru olimpijskih dogodkov v Londonu in Riu.

Pod raziskave na področju upravljanja znanja štejemo razvoj novih poslovnih in organizacijskih modelov ter storitev s poudarkom na uvajanju in prilagajanju tehnologij širšega področja umetne inteligence v realna uporabniška okolja. Evropski projekt *HumanE-AI-Net (Making artificial intelligence human-centric)* je nadaljevanje projekta *HumaneAI (Toward AI Systems That Augment and Empower Humans by Understanding Us, our Society and the World Around Us)* in združuje vodilna evropska raziskovalna središča, univerze in industrijska podjetja v mrežo centrov odličnosti. Projekt je na tretji četrtini svojega trajanja. V preteklem letu smo na Odseku za umetno inteligenco nadaljevali raziskave na področju transparentnosti rezultatov različnih modelov AI. Cilj projekta *EU-Japan.AI (Advancing Collaboration and Exchange of Knowledge Between the EU and Japan for AI-Driven Innovation in Manufacturing)* je bil vzpostaviti in spodbuditi dolgoročno sodelovanje med EU in Japonsko na področju inovacij rabe umetne inteligence v proizvodnji in digitalni industriji. V okviru projekta smo tako razvili spletno platformo, prek katere so dostopne vse relevantne informacije o uporabi umetne inteligence v proizvodnji v EU in na Japonskem ter prek katere lahko povezujejo vsi relevantni deležniki iz obeh regij. V okviru projekta smo zbrali podatke o dogodkih, projektih, organizacijah in priložnostih za financiranje projektov na področju umetne inteligence v proizvodnji v EU in na Japonskem. Odsek za umetno inteligenco je v okviru projekta razvil tudi *AI Observatorij*, ki prikazuje različne analize in vizualizacije znanstvenih publikacij s področja umetne inteligence, medijskih poročil o dogodkih, povezanih z umetno inteligenco, analizo trga delovnih mest in povpraševanja po veščinah na področju umetne inteligence, analizo EU raziskovalnih projektov in odprtokodnih projektov, povezanih z umetno inteligenco. Pripravili smo tudi poročilo, v katerem smo predstavili analizo investicij v tehnologije umetne inteligence ter vizualizacijo in analizo javnih politik umetne inteligence. Za objavo na spletni platformi pa smo pripravili tudi več člankov o priložnostih in pasteh uporabe umetne inteligence v praksi. Projekt *Za kakovost slovenskih učbenikov (KaUč)* se je posvečal pregledu in raziskavam rabe učbenikov v Sloveniji. Na podlagi ugotovljenega stanja je bil kot osrednji cilj projekta izpostavljen razvoj kazalnikov kakovosti učbenikov za praktično uporabnost v procesu potrjevanja učbenikov in njihove evalvacije. Leta 2022 se je projekt končal. Glavni končni rezultat je bilo orodje za avtomatsko ocenjevanje učbenikov na podlagi besedilnih in slikovnih lastnosti.

Odsek za umetno inteligenco posveča posebno pozornost promociji znanosti. Sodelavci Odseka so bili leta 2022 zelo aktivni pri promociji svojega raziskovalnega področja, in sicer:

- Marko Grobelnik je imel več predavanj na temo umetne inteligence, med drugim je imel osrednjo besedo na konferenci AI Con (<https://ai-con.ai>).
- Dunja Mladenič je sodelovala v panelu OECD na mednarodni konferenci o umetni inteligenci pri delu, inovacijah, produktivnosti in spretnostih.
- Alenka Guček je imela intervju za časnik Delo na temo *Vizualizacija ob dnevu boja proti nasilju nad ženskami*.
- Alenka Guček, Joao Pita Costa in Matej Kovačič so sodelovali na treh spletnih seminarjih v okviru projekta NAIADES
- Simon Krek je imel več predavanj na temo jezikovnih tehnologij in leksikografije, med drugim *Opening up dictionaries for natural language understanding* na konferenci o jezikovnih tehnologijah v Københavnu.

- Iztok Kosem je imel več predavanj na temo slovarjev, med drugim *Dictionary-makers and dictionary users in the era of technological progress* na mednarodnem Simpoziju o leksikografskih inovacijah v dobi prelomnih tehnologij na Kitajskem.

V sodelovanju z odsekom CT3 smo tudi v letu 2022 prek portala Videlectures.net pomembno prispevali k promociji umetne inteligence, promociji instituta ter splošni promociji slovenske znanosti. Odsek je tudi soorganizator in eden glavnih pobudnikov vsakoletnega srednješolskega tekmovanja iz znanja računalništva ACM, v letu 2022 se ga je udeležilo 188 tekmovalcev iz 28 šol. Dejavnost smo bili tudi na področju promocije žensk v znanosti, kjer smo gostili virtualno razstavo o doktoricah znanosti na področju računalništva in informatike ter elektroinženirstva v Sloveniji. Redno posodabljam javno dostopne vire o ženskah v znanosti (<http://ScienceWithArt.ijs.si/>).

Tema evropskega projekta Obzorja 2020 Athena je enakovrednost spolov za krepitev raziskovalnih potencialov, odstranjevanje ovir pri zaposlovanju ter ohranitev in napredovanje raziskovalk. Hkrati je cilj projekta zmanjševanje neuravnoteženosti med spoli pri procesih, vezanih na sprejemanje vodstvenih odločitev ter začetek kulturne spremembe, potrebne za izogibanje predsodkov in diskriminacij skozi pripravo in izvedbo Načrtov o enakovrednosti (ang. Gender Equality Plans (GEPs)). Da bi zagotovili spremembe na inštitutski ravni, smo izvedli analizo trenutnih navad in postopkov, zakonodaj in političnih okvirov. Projekt je hkrati izvajal postopke, kjer je vključena interesna skupina izrazila svoje potrebe in želje ter postopke za ustrezno usposabljanje na izbranih področjih. Razvili smo Načrt o enakovrednosti za IJS in ga začeli izvajati na ravni celotnega instituta.

Leta 2022 je Mednarodni raziskovalni center za umetno inteligenco pod okriljem UNESCO – IRCAI, ki je laboratorij znotraj Odseka za umetno inteligenco, razširil mrežo NAXUS za krepitev raziskovalnih centrov odličnosti umetne inteligence po vsem svetu ter olajšal njihovo sodelovanje in mreženje za povečanje raziskovalnih zmogljivosti na področju UI in trajnostnega razvoja. V sklopu te pobude je tudi prispeval k razvoju etične in zaupanja vredne umetne inteligence, kot je opisano v Unescovem priporočilu. Leta 2022 je IRCAI znotraj mreže uspešno začrtal novo znanstveno revijo o umetni inteligenci in trajnostnem razvoju.

Leta 2022 je IRCAI organiziral virtualni dogodek ob podelitvi nagrade IRCAI za leto 2021 raziskovalki Adriani Euforsini Bora. Nagrajena je bila za izjemne dosežke njenega projekta AIMS na področju rešitev umetne inteligence pri spopadanju z oblikami sodobnega suženjstva, in sicer prek razumevanja letnih poročil multinacionalk.

IRCAI je leta 2002 objavil tudi mednarodni seznam inovacij in rešitev umetne inteligence za trajnostni razvoj v dobro človeštva. Seznam vsebuje deležnike, ki si prizadevajo za doseganje vseh 17 ciljev trajnostnega razvoja, ki pokrivajo več sektorjev in vsako geografsko regijo Združenih narodov. Po izvedbi mednarodnega programa je IRCAI objavil poročilo, v katerem analizira prijavljenih 100 rešitev. Projekti, imenovani kot izjemne rešitve, so bili predstavljeni v petek, 18. februarja, na dogodku, ki je bil izveden v soorganizaciji med IRCAI in Stalnim predstavništvom Slovenije pri ZN. Na dnevnem redu so bili govori veleposlanika Boštjana Malovrha, stalnega predstavnika Slovenije pri ZN, Tawfika Jelassija, pomočnika generalnega direktorja za komuniciranje in informiranje Unesco, Marie-Francesce Spatolisano, v. d. odposlanke Urada odposlanca generalnega sekretarja za tehnologijo, veleposlanika Collena Vixena Kelapila, stalnega predstavnika Bocvane pri ZN in predsednika ECOSOC, ter Johna Shawe-Taylorja, direktorja IRCAI.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Alba, Ester, Gaitán, Mar, León, Arabella, Mladenec, Dunja, Brank, Janez, Weaving words for textile museums: the development of the linked SILKNOW thesaurus, *Heritage science*, 2022, 10, 59-1-59-14, DOI: 10.1186/s40494-022-00681-x
2. Althoff, Tim, Nilforoshan, Hamed, Hua, Jenna, Leskovec, Jurij, Large-scale diet tracking data reveal disparate associations between food environment and diet, *Nature communications*, 2022, 13, 267, DOI: 10.1038/s41467-021-27522-y
3. Beltramo, Gabriele, Škraba, Primož, Persistent homology in ℓ^∞ metric, *Computational geometry*, 2022, 10, 101821, DOI: 10.1016/j.comgeo.2021.101821
4. Beltramo, Gabriele, Škraba, Primož, Andreeva, Rayna, Sarkar, Rik, Giarratano, Ylenia, Bernabeu, Miguel O., Euler characteristic surfaces, *Foundations of data science*, 2022, 4, 4, 505-536, DOI: 10.3934/fods.2021027
5. Beshar, Massri M., Novalija, Inna, Mladenec, Dunja, Brank, Janez, Graça Da Silva, Sara, Marrouch, Natasza, Murteira, Carla, Hürriyetoğlu, Ali, Šircelj, Beno, Harvesting context and mining emotions related to olfactory cultural heritage, *Multimodal technologies and interaction*, 2022, 6, 7, 57, DOI: 10.3390/mti6070057

Člani uprav:

- **Simon Krek, ELRA Board, član uprave**
 - **Iztok Kosem, član EURALEX Board**
 - **Dunja Mladenec, SLAIS – članica Executive board**
 - **Dunja Mladenec, ACM Slovenija – članica Executive Board**
 - **Iztok Kosem, član Advisory Board of EURAC**
 - **Marko Grobelnik, ACM Slovenija – član Advisory Board**
-

6. Beshar, Massri M., Pita Costa, João, Grobelnik, Marko, Brank, Janez, Stopar, Luka, Bauer, Andrej, A global COVID-19 observatory, monitoring the pandemics through text mining and visualization, *Informatica: an international journal of computing and informatics*, 2022, 46, 1, 49-55, DOI: 10.31449/inf.v46i1.3375
7. Brbić, Maria, Cao, Kaidi, Hickey, John W., Leskovec, Jurij, *et al.*, Annotation of spatially resolved single-cell data with STELLAR, *Nature methods*, 2022, 19, 11, 1411-1418, DOI: 10.1038/s41592-022-01651-8
8. Kenda, Klemen, Mellios, Nikolaos, Senožetnik, Matej, Pergar, Petra, Computer architectures for incremental learning in water management, *Sustainability*, 2022, 14, 5, 2886-1-2886-18, DOI: 10.3390/su14052886
9. Rožanec, Jože Martin, Trajkova, Elena, Novalija, Inna, Zajec, Patrik, Kenda, Klemen, Fortuna, Blaž, Mladenec, Dunja, Enriching artificial intelligence explanations with knowledge fragments, *Future internet*, 2022, 14, 5, 134, DOI: 10.3390/fi14050134
10. Rožanec, Jože Martin, Lu, Jinzhi, Rupnik, Jan, Škrjanc, Maja, Mladenec, Dunja, Fortuna, Blaž, Zheng, Xiaochao, Kiritsis, Dimitris, Actionable cognitive twins for decision making in manufacturing, *International Journal of Production Research*, 2022, 60, 2, 452-478, DOI: 10.1080/00207543.2021.2002967
11. Rožanec, Jože Martin, Fortuna, Blaž, Mladenec, Dunja, Reframing demand forecasting: a two-fold approach for lumpy and intermittent demand, *Sustainability*, 2022, 14, 15, 9295-1-9295-18, DOI: 10.3390/su14159295
12. Sittar, Abdul, Mladenec, Dunja, Grobelnik, Marko, Analysis of information cascading and propagation barriers across distinctive news events, *Journal of intelligent information systems*, 2022, 58, 1, 119-152, DOI: 10.1007/s10844-021-00654-9
13. Sittar, Abdul, Major, Daniela, Mello, Caio, Mladenec, Dunja, Grobelnik, Marko, Political and economic patterns in COVID-19 news : from lockdown to vaccination, *IEEE access*, 2022, 10, 40036-40050, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3164692
14. Novak, Erik, Bizjak, Luka, Mladenec, Dunja, Grobelnik, Marko, Why is a document relevant? Understanding the relevance scores in cross-lingual document retrieval, *Knowledge-based systems*, 2022, 244, 108545, DOI: 10.1016/j.knosys.2022.108545

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Science Dialogues, 5. 1. 2022 (virtualno)
2. Connect AI webinar, 5. 1. 2022 (virtualno)
3. IRCAI Top 10 – pitch, 14. 1. 2022 (virtualno)
4. Science Dialogues II: AI in Climate, 18. 1. 2022 (virtualno)
5. Science and Innovation Dialogues: Machine Learning in Healthcare: Towards a New Human–Machine Partnership, 11. 2. 2022 (virtualno)
6. AI Award and Round table on Artificial Intelligence for Monitoring Sustainable Development, 17. 3. 2022 (virtualno)
7. STI Forum side event: Launching a Global Network of AI Excellence Centres in Sustainable Development, 4. 5. 2022 (virtualno)
8. ELRC delavnica, Ljubljana, 27. 5. 2022
9. NAIXUS project kick off, 17. 6. 2022 (virtualno)
10. IRCAI – Amazon Sustainability Data Initiative (ASDI) Global Hackathon, 27.–28. 6. 2022 (virtualno)
11. Science and Innovation Dialogues: Stronger Together through the power of Artificial Intelligence for the Common Good, 7. 10. 2022 (virtualno)
12. SiKDD, Odkrivanje znanja in podatkovna skladišča, Ljubljana, 10. 10. 2022 (hibridno)
13. AI in/for Society delavnica, Cerklje, 24.–26. 10. 2022
14. OdEuropa projektne sestanke, Ljubljana, 9.–10. 11. 2022
15. EU D4D: Roundtable A: Shaping an EU–LAC approach to human–centred and inclusive digitalisation: the role of emerging technologies, 12. 12. 2022 (virtualno)

Nagrade in priznanja

1. Pasquale Lisena, Daniel Schwabe, Marieke van Erp, Raphaël Troncy, William Tullett, Inger Leemans, Lizzie Marx: Best Resources Paper, Heraklion, Grčija, ESWC konferenca, Capturing the Semantics of Smell: The Odeuropa Data Model for Olfactory Heritage Information
2. 2022 European Heritage Awards / Europa Nostra Awards: H2020 Silknow projekt, European Heritage Europa Nostra, SILKNOW
3. Europa Nostra Grand Prix Award: H2020 Silknow projekt, Praga, Češka, SILKNOW

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Evropska jezikovna mreža (GA 825627)
DFKI GmbH - Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH
doc. dr. Simon Krek
2. Ukrep na platformi CEF za avtomatizirano prevajalsko jedro (CSP); CEF SMART 2019/1083; LC-01325001
DFKI GmbH - Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH
doc. dr. Simon Krek
3. INEA/CEF: CURLICAT; Izbrani večjezični jezikovni viri za CEF AT
Innovation and Networks Executive Agency (INEA)
doc. dr. Simon Krek
4. INEA/CEF: FedTerm; Povezana mreža terminoloških bank za strojno prevajanje
Innovation and Networks Executive Agency (INEA)
doc. dr. Simon Krek
5. PPPA - ELE; Evropska jezikovna enakost
European Commission
doc. dr. Simon Krek
6. ERASMUS+: BRIDGES - Premostitev izrednih razmer v izobraževanju z digitalno pedagogiko
Agenzia nazionale Erasmus+ INDIRE
Kim Sevšek, dipl. org. (UN)
7. COST CA18209; Evropska mreža za spletno usmerjeno znanost o jezikovnih podatkih
COST Association AISBL
doc. dr. Simon Krek
8. COST CA18231; Multi3Generation: Večopravilna, večjezična in večmodalna tvorba besedil
COST Association AISBL
Marko Grobelnik
9. H2020 - Cleopatra; Akademija za večjezično, na dogodke osredotočeno odprto analitično raziskovanje
European Commission
Marko Grobelnik
10. H2020 - NAIADES; Celovit vodni ekosistem za digitalizacijo urbanega vodnega sektorja
European Commission
Marko Grobelnik
11. H2020 - CyberSANE; Sistem za zaščito, opozarjanje in odzivanje na področju kibernetске varnosti za evropske ključne infrastrukture
European Commission, the Directorate-general
Marko Grobelnik
12. H2020 - INFINTECH; Prirojena testna okolja in peskovniki interneta stvari in masovnih podatkov za pametne, avtonomne in prilagojene storitve v evropskem ekosistemu finančnih in zavarovalniških storitev
European Commission
Marko Grobelnik
13. H2020 - FACTLOG; Energetsko ozaveščena tovarniška analitika za procesno industrijo
European Commission
prof. dr. Dunja Mladenec
14. H2020 - HumanE-AI-Net; Mreža Humane AI
European Commission
Marko Grobelnik
15. H2020 - STAR; Varna zaupanja vredna in na človeka osredotočena umetna inteligenca v proizvodnih linijah prihodnosti
European Commission
Marko Grobelnik
16. H2020 - ODEUROPA; Uveljavitev olfaktornih in senzoričnih izkušenj v raziskavah kulturne dediščine
European Commission
prof. dr. Dunja Mladenec
17. H2020 - EU-Japan.AI; Spodbujanje sodelovanja in izmenjave znanja med EU in Japonsko za inoacije v proizvodnji, ki jih vodi umetna inteligenca
European Commission
Marko Grobelnik
18. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Dunja Mladenec
19. H2020 - ELEXIS; Evropska likesikografska infrastruktura
European Commission
doc. dr. Simon Krek
20. OE - CONDUCTOR; Sistemi upravljanja vozil in prometa za vodenje sodelovalne mobilnosti prihodnosti
European Commission
Marko Grobelnik
21. Orodje za analizo slovenskega inovacijskega ekosistema
Google Ireland Limited
Marko Grobelnik
22. AIRISE - Okvir mednarodnega političnega observatorija
I-CCEED - International Council on Environmental Economics and Development
prof. dr. John Stewart Shawe-Taylor

23. COST CA21167; Univerzalnost, raznolikost in idiosinkratičnost v jezikovnih tehnologijah (UniDive)
COST Association AISBL
doc. dr. Simon Krek

PROGRAM

1. Tehnologije znanja
prof. dr. Dunja Mladenec

PROJEKTI

1. Povezovanje zelenih fenotipskih lastnosti na podlagi meritev obnašanja in anatomskih ter fizioloških lastnosti z genetskimi markerji pri lipicancih
dr. Aljaž Košmerlj
2. Causalify - Vzročnost v dinamiki svetovnih dogodkov
prof. dr. Dunja Mladenec
3. Opredelitev okvira za zagotavljanje zaupanja javnosti v sisteme umetne inteligence in njihove uporabe
Marko Grobelnik
4. Opredelitev modela kazalnikov za spremljanje potenciala uvajanja UI v Sloveniji s poglobljeno primerjalno analizo stanja v Sloveniji in v EU in multi-metodološko analizo stanja in trendov v Sloveniji
prof. dr. Dunja Mladenec
5. Proteverb - Pravni, etični in tehnološki vidiki obdelave besedilnih in govornih virov podatkov za znanstvene, raziskovalne in razvojne namene
doc. dr. Simon Krek
6. Observatorij slovenske umetne inteligence
prof. dr. Dunja Mladenec
7. CLARIN
Institut "Jožef Stefan"
doc. dr. Simon Krek
8. KAUC: Za KAKovost slovenskih Učbenikov
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
doc. dr. Simon Krek
9. RSDO: Razvoj slovensčine v digitalnem okolju
Ministrstvo za kulturo
dr. Aljaž Košmerlj
10. Opredelitev modela kazalnikov za spremljanje potenciala uvajanja UI v Sloveniji s poglobljeno primerjalno analizo stanja v Sloveniji in v EU in multi-metodološko analizo stanja in trendov v Sloveniji
Služba Vlade Republike Slovenije
prof. dr. Dunja Mladenec
11. Proteverb - Pravni, etični in tehnološki vidiki obdelave besedilnih in govornih virov podatkov za znanstvene, raziskovalne in razvojne namene
Služba Vlade Republike Slovenije
doc. dr. Simon Krek
12. Opredelitev okvira za zagotavljanje zaupanja javnosti v sisteme umetne inteligence in njihove uporabe
Služba Vlade Republike Slovenije
Marko Grobelnik
13. SLED - Spremljevalni korpus in spremljajoči podatkovni viri, JR-infrastruktura-SJ-2021-2022
Ministrstvo za kulturo
dr. Iztok Kosem
14. Financiranje projektnih gostovanj na slovenskih visokošolskih zavodih
Javni študentski, razvojni, invalidski in preživninski sklad Republike Slovenije
dr. Alenka Guček
15. IRCAL- Mendarodni raziskovalni center za umetno inteligenco - UNESCO
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
mag. Mitja Jermol
16. SLOKIT: Nadgradnja CLARIN.SI: Korpusni informator in besedilni analizator
Ministrstvo za kulturo
dr. Iztok Kosem
17. „Digitalizacija analitične podpore v nacionalnem centru za krizno upravljanje“ - DAP
NCKU
Ministrstvo za obrambo
Marko Grobelnik
18. Observatorij slovenske umetne inteligence
Ministrstvo za javno upravo
prof. dr. Dunja Mladenec
19. Observatorij slovenske umetne inteligence
Ministrstvo za zunanje zadeve
prof. dr. Dunja Mladenec
20. Observatorij slovenske umetne inteligence
Urad Vlade Republike Slovenije za varovanje tajnih podatkov
prof. dr. Dunja Mladenec

21. Observatorij slovenske umetne inteligence
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Dunja Mladenič
22. Priprava in analiza podatkov za delavnice
Universidade de Coimbra
dr. Iztok Kosem
23. Organizacija niza dogodkov s slovenskimi ambasadami

- Mihajela Črnko, dipl. prav. (UN)
24. Organizacija tekmovanja za Evropsko statistične nagrade za spletno inteligenco - LOT 1
European Commission
Marko Grobelnik
25. Upravljanje evropskih statističnih nagrad za napovedovanje trenutkov - LOT 2
European Commission
Marko Grobelnik

OBISKI

1. Dobran Božič, Ministrstvo za zunanje zadeve, 21. 3. 2022
2. Magdim Pašič, Univerza v Zagrebu, Hrvaška, 21. 3. 2022
3. Gašper Hrastelj, Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, 21. 3. 2022
4. Nadira Ahmadi, Afganistan, 15. 4. 2022
5. Wassim Haroun, Conser, Dubaj, Združeni arabski emirati, 6. 5. 2022
6. Natasa Milic-Frayling, Intact Digital, Velika Britanija, 14. 6. 2022
7. Natasa Milic-Frayling, Intact Digital, Velika Britanija, 21. 7. 2022
8. prof. dr. Maria Fasli, Univerza v Sussexu, Velika Britanija, 1. 8. 2022
9. Michael Witbrock, University of Auckland, Nova Zelandija, 3. 8. 2022
10. Rok Sosič, Univerza Stanford, ZDA, 3. 8. 2022
11. Tel Amiel, Univerza Brasilia, Brazilija, 17. 8. 2022 – sedanost
12. Anastassia Fedyk, Berkley University, ZDA, 6. 9. 2022
13. James Hodson, AI for Good, ZDA, 6. 9. 2022
14. Samo Zorc, Služba za digitalno preobrazbo, 6. 9. 2022
15. Laurence Devillers, Univerza v Sorboni, Francija, 29. 9. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Matej Kovačič: H2020 CyberSane, 4. 1. 2022
2. Luis Rei: Information Extraction at Event Registry, 12. 1. 2022
3. dr. Miha Cimperman: The conclusion of the Cog-Lo project, 19. 1. 2022
4. Mihajela Črnko, Davor Orlič, dr. John Shawe-Taylor: IRCAI, 2. 2. 2022
5. Erik Novak, mag. prof. mat.: Figma, 9. 2. 2022
6. Jaka Čibej, Kaja Dobrovoljc, Simon Krek: H2020 Elexis, 16. 2. 2022
7. Maja Škrjanc, univ. dipl. inž. rač. in inf.: Infintech, 23. 2. 2022
8. Swati: New Media Research Methods, 2. 3. 2022
9. Erik Novak, mag. prof. mat.: Eurostat project European statistics awards programme, 9. 3. 2022
10. Jakob Jelenčič, mag. fin. mat.: Improving stochastic models by smart de-noising and latent representation optimization, 16. 3. 2022
11. Marko Grobelnik: Ongoing work with OECD, 23. 3. 2022
12. dr. Matej Kovačič: EU-Japan AI Advancing Collaboration and Exchange of Knowledge Between the EU and Japan for AI-Driven Innovation in Manufacturing, 30. 3. 2022
13. Luka Bizjak, mag. mat.: Applied Optimal Transport, 6. 4. 2022
14. Joao Costa, dr. Alenka Guček: Data visualization in the context of climate change and long term forecasting, 13. 4. 2022
15. dr. Inna Novalija: OdEuropa project Emotions in Fairy Tales, 20. 4. 2022
16. dr. Dunja Mladenič: Gender equality plan @JSI, 11. 5. 2022
17. dr. Luka Bradeško: HE project Conductor, 18. 5. 2022
18. Nadira Ahmadi: The state of Women's Education in Afghanistan, 25. 5. 2022
19. Patrik Zajec: Overview of recent methods for general purpose question answering, 1. 6. 2022
20. Abdul Sittar: Final Cleopatra workshop, 8. 6. 2022
21. Maja Škrjanc, univ. dipl. inž. rač. in inf.: ongoing work on the INFINITECH project, 15. 6. 2022
22. dr. Inna Novalija, dr. Polona Škraba Stanič: Progress of the European statistics awards programme (nowcasting), 22. 6. 2022
23. Gregor Žunič: Blockchain technology in the context of AI, 29. 6. 2022
24. dr. Joao Pita Costa: IRCAI SDG Observatory lessons learnt yesterday and data science challenges of tomorrow, 6. 7. 2022
25. Jože Rožanec: Reframing Demand Forecasting: A Two-Fold Approach for Lumpy and Intermittent Demand, 1. 8. 2022
26. Anastassia Fedyk, University Berkley: Firm Investments in Artificial Intelligence Technologies and Changes in Workplace, 6. 9. 2022
27. Erik Novak, mag. prof. mat., dr. Inna Novalija, Anja Polajnar, dr. Polona Škraba Stanič: European Statistics Awards, 7. 9. 2022
28. M. Basher Massri: International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-ECAI 2022), 14. 9. 2022
29. Nadezhda Komarova: Emotion Recognition in Text Using Graph Similarity Criteria, 21. 9. 2022
30. dr. Matej Kovačič: conclusion of work within the CYBERSANE project, 28. 9. 2022
31. dr. Inna Novalija: Hackathon and Workshop 'IMPROVE YOUR OLFACTORY LANGUAGE', 5. 10. 2022
32. Jan Šturm, mag. posl. ved.: Modelling the impact of the COVID-19 pandemics on consumption, 12. 10. 2022
33. dr. Simon Krek: Conclusion of the H2020 project ELEXIS: European Lexicographic Infrastructure, 19. 10. 2022
34. Matej Kovačič: RasPBX or how to run your own phone network, 2. 11. 2022

35. dr. Luka Stopar: AI in Grocery Retail, 9. 11. 2022
36. Luis Rei: Horizon Europe project enRichMyData: Enabling Data Enrichment Pipelines for AI-driven Business Products and Services, 16. 11. 2022
37. Gregor Kržmanc: Few-Shot In-Context Learning on Graphs: Towards Graph Foundation Models, 23. 11. 2022
38. Jože Rožanec: CECIIS conference highlights, 30. 11. 2022
39. Marko Grobelnik: ChatGPT, 7. 12. 2022
40. Erik Novak, mag. prof. mat., dr. Inna Novalija, dr. Polona Škraba Stanič: launch of the Web Intelligence Competition as part of the European Statistics Awards Program, 14. 12. 2022
41. dr. Alenka Guček, Klemen Kenda, univ. dipl. fiz.: Ongoing work on the H2020 project NAIADES, 21. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. John Shawe-Taylor, UNESCO kickoff Coalition of AI countries, 3. 2. 2022 (virtualno)
2. John Shawe-Taylor, Predstavitev UNESCO poročila o znanosti, Ljubljana, Slovenija, 9. 2. 2022, 1 predstavitev
3. Mihajela Črnko, State of the Internet's Languages Report Launch, 23. 2. 2022 (virtualno)
4. Mihajela Črnko, Dan odprtih podatkov Slovenije 2022, 4. 3. 2022 (virtualno)
5. Mihajela Črnko, Digital Education Stakeholder Forum, 22. 3. 2022 (virtualno)
6. Kaja Dobrovoljc, vabljen predavanja na konferenci ESFRI, Pariz, Francija, 24.–27. 3. 2022, 1 vabljen predavanje
7. Marko Grobelnik, sestanek na SADAIA, Digital Wellbeing Summit, Annual Investment Meeting in regionalni dialog, Riyadh, Dammam, Dubai, Taškent, Uzbekistan, 25. 3.–10. 4. 2022
8. Teja Goli, obisk srečanja Pan-European terminology summit, Reykjavik, Islandija, 25.–31. 3. 2022
9. Simon Krek, obisk srečanja Pan-European terminology summit, Reykjavik, Islandija, 26.–31. 3. 2022
10. Mihajela Črnko, IRCAI – future of the Digital Education Hackathon, 29. 3. 2022, (virtualno)
11. John Shawe-Taylor, UNCTAD/IRCAI side event on National AI strategies, 29. 3. 2022, (virtualno)
12. Luka Bradeško, udeležba na Logističnem kongresu, Portorož, Slovenija, 6.–8. 4. 2022
13. Klemen Kenda, vabljen predavanje v podjetju Domel, Železniki, Slovenija, 12. 4. 2022, 1 vabljen predavanje
14. Marko Grobelnik, obisk LabTop (Razvojni center NN), Novo mesto, Slovenija, 12. 4. 2022
15. Marko Grobelnik, udeležba na H2020 HumaneAI sestanku, Benetke, Italija, 13.–15. 4. 2022
16. Marko Grobelnik, udeležba na The Web Conference 2022, Lyon, Francija, 24. 4.–1. 5. 2022
17. Daniel Schwabe, udeležba na The Web conference 2022, delovni sestanki H2020 OdEuropa na IJS, Lyon, Francija, 24. 4.–10. 5. 2022
18. Kim Sevek, udeležba na projektnem sestanku Bridges, Erasmus plus, Barcelona, Španija, 27.–30. 4. 2022
19. Miha Cimperman, Jose Martin Rožanec, projektni sestanek FACTLOG, Biella, Italija, 9.–11. 5. 2022
20. Klemen Kenda, projektni sestanek FACTLOG, sestanek AquaSPICE, Biella, Italija, 9.–13. 5. 2022
21. Marko Grobelnik, sestanek na OECD, udeležba na ACL 2022 konferenci, udeležba na ESWC 2022 konferenci, Pariz, Dublin, Hersonissou, Grčija, 22. 5.–4. 6. 2022
22. Mihajela Črnko, OE Global 2022 congress, Nantes, Francija, 23. 5. 2022
23. John Shawe-Taylor, 11. mednarodna konferenca Dan Afrike, 26. 5. 2022 (virtualno)
24. Abdul Sittar, udeležba na konferenci ESWC 2022, Hersonissou, Grčija, 27. 5.–5. 6. 2022
25. Klemen Kenda, udeležba na konferenci CEMEP9, Mykonos, Grčija, 2.–13. 6. 2022, 1 prispevek
26. Marko Grobelnik, sestanek z županom občine Slovenj Gradec na temo digitalni dvojček občine, Slovenj Gradec, Slovenija, 6. 6. 2022
27. Teja Goli, Iztok Kosem, Mojca Kregar, Simon Krek, Gregor Leban, zaključni dogodek projekta Elexis, Firenze, Italija, 6.–10. 6. 2022
28. Marko Grobelnik, udeležba na EU – US Trade and Technology Council (TTC) Analyst Workshop Conference, Bruselj, Belgija, 7.–10. 6. 2022
29. Alenka Guček, projektni sestanek NAIADES, Carouge, Švica, 7.–10. 6. 2022
30. Mihajela Črnko, UNESCO – Open for Good Alliance Webinar on AI in the Justice Systems, 8. 6. 2022 (virtualno)

31. Marko Grobelnik, udeležba na konferenci na tematiko digitalizacije pravnih in sodnih dejavnosti, Taškent, Uzbekistan, 14.–19. 6. 2022, 1 vabljeno predavanje
32. Iztok Kosem, obisk 19th Annual Conference of Applied Linguistics 2022, Talin, Estonija, 15.–19. 6. 2022
33. Simon Krek, obisk 19th Annual Conference of Applied Linguistics 2022, obisk konferenca LREC Marseille, Talin, Marseille, Francija, 15.–26. 6. 2022
34. Kaja Dobrovoljc, udeležba na konferenci LREC, Marseille, Francija, 20.–24. 6. 2022
35. Alenka Guček, vabljeni govorec na IoT konferenci, Dublin, Irska, 20.–24. 6. 2022, 1 vabljeno predavanje
36. Jose Martin Rožanec, udeležba na konferenci IFAC + workshop Supply chain finance, Nantes, Francija, 20.–25. 6. 2022
37. Mihajela Črnko, Amazon re:MARS hackathon, 21. 6. 2022 (virtualno)
38. Marko Grobelnik, Perspectives Workshop 22262 on Human-Centered Artificial Intelligence, Dagstuhl, Nemčija, 25. 6.–2. 7. 2022
39. John Shawe-Taylor, Ministerial level Transforming Education Pre-Summit, 28. 6. 2022, (virtualno)
40. Simon Krek, udeležba na konferenci ob 10. obletnici BabelNet, vabljen govorec, Rim, Italija, 3.–8. 7. 2022, 1 vabljeno predavanje
41. Marko Grobelnik, Jakob Jelenčič, M.Besher Massri, Jan Šturm, obisk na OECD – JSI plenary meeting, Paris, Francija, 3.–10. 7. 2022
42. Jose Martin Rožanec, projektni sestanek STAR, Atene, Grčija, 4.–7. 7. 2022
43. Mihajela Črnko, Amazon Sustainability Data Initiative Global Hackathon, 5. 7. 2022 (virtualno)
44. John Shawe-Taylor, AI for Smarter and Greener Transportations and Systems: Experience Sharing from Taiwan and the US, 8. 7. 2022 (virtualno)
45. Iztok Kosem, Simon Krek, udeležba na konferenci EURALEX 2022, Mannheim, Nemčija, 10.–17. 7. 2022
46. Marko Grobelnik, M. Beshher Massri, udeležba na IJCAI 2022 konferenci, Dunaj, Avstrija, 24.–30. 7. 2022
47. Dunja Mladenec, vabljeno predavanje na konferenci INISTA 2022, Bisritz, Francija, 7.–11. 8. 2022, 1 vabljeno predavanje
48. Marko Grobelnik, udeležba na KDD konferenci, sestanek na Georgetown University na CSET centru (Dewy Murdick), sestanek na slovenski ambasadi, obisk na CMU in v New Yorku na IBM Watson in Bloomberg LP, New York, ZDA, 12.–26. 8. 2022
49. Mihajela Črnko, Deep Learning Indaba 2022, Tunis, Tunizija, 21. 8. 2022
50. Marko Grobelnik, udeležba na BSF 2022, Bled, Slovenija, 28.–30. 8. 2022
51. John Shawe-Taylor, Bled Strategic Forum, Bled, Slovenija, 29.–31. 8. 2022
52. Mihajela Črnko, Launch of UNESCO's Comic strip Inside AI – An Algorithmic Adventure, 7. 9. 2022 (virtualno)
53. John Shawe-Taylor, UNESCO–Southern Africa sub-Regional Forum on Artificial Intelligence, 7. 9. 2022 (virtualno)
54. Miha Cimperman, Jose Martin Rožanec, projektni sestanek Factlog, Lizbona, Portugalska, 7.–10. 9. 2022
55. Kaja Dobrovoljc, udeležba na predavanju mreže COST, Bruselj, Belgija, 8.–10. 9. 2022
56. Marko Grobelnik, sestanek za new HumaneAI followup proposal, Frankfurt, Nemčija, 9.–10. 9. 2022
57. Luka Bizjak, udeležba na konferenci Noncommutative shapes, Antwerp, Belgija, 11.–16. 9. 2022
58. Ervin Pfeifer, udeležba na Global AI Summit, Riyadh, Saudova Arabija, 11.–17. 9. 2022
59. Alenka Guček, predstavitev članka na konferenci IWA 2022, Copenhagen, Danska, 11.–20. 9. 2022
60. John Shawe-Taylor, African meeting of UNESCO national commissions, 12.–14. 9. 2022, (virtualno)
61. Marko Grobelnik, udeležba na Global AI Summit, Riyadh, Saudova Arabija, 12.–17. 9. 2022
62. John Shawe-Taylor, AI4D Conference: Using Artificial Intelligence to Advance Morocco's New Development Model and the related SDG, 14.–16. 9. 2022 (virtualno)
63. Jakob Jelenčič, Dunja Mladenec, Jose Martin Rožanec, predstavitev članka na konferenci CECHS, Dubrovnik, Hrvaška, 19.–25. 9. 2022, 1 prispevek
64. Simon Krek, udeležba na uvodnem sestanku akcije COST UniDive, Bruselj, Belgija, 22.–24. 9. 2022
65. Kaja Dobrovoljc, udeležba na predavanju mreže COST, Bruselj, Belgija, 22.–24. 9. 2022
66. Mihajela Črnko, ITU Plenipotentiary Conference 2022, Bukarešta, Romunija, 23.–27. 9. 2022
67. Davor Orlič, udeležba na ITU konferenci, Bukarešta, Romunija, 23.–28. 9. 2022
68. Marko Grobelnik, Dunja Mladenec, Inna Novalija, udeležba na projektnem sestanku Odeuropa, Trento, Italija, 26.–28. 9. 2022
69. Mihajela Črnko, Digital Collective Impact Coalition launch, 27. 9. 2022 (virtualno)
70. Marko Grobelnik, obisk na CMU, kick off enrichMyData in vabljeno predvanje na Baltic HLT conference, Riga, Latvija, 29. 9.–7. 10. 2022, 1 vabljeno predavanje
71. Machado Rei Jose Luis, Kick-off sestanek projekta enrichMyData, Oslo, Norveška, 3.–6. 10. 2022
72. Mihajela Črnko, UNESCO new global network: ESD–Net 2030 launch webinar, 4. 10. 2022 (virtualno)
73. John Shawe-Taylor, ICGOV 2022 – roundtable on Digital Humanism, 6. 10. 2022 (virtualno)
74. Tel Amiel, Mitja Jermol, Dunja Mladenec, udeležba na 30. obletnici slovenske nacionalne komisije za Unesco, Bohinjska Bistrica, Slovenija, 7. 10. 2022
75. Simon Krek, udeležba na konferenci CLARIN, Praga, Češka republika, 9.–12. 10. 2022
76. Kaja Dobrovoljc, udeležba na konferenci CLARIN, Praga, Češka republika, 10.–12. 10. 2022
77. Mihajela Črnko, IndabaX Malawi, 14. 10. 2022 (virtualno)
78. John Shawe-Taylor, Council of Europe Working Conference: Artificial Intelligence and Education, 18.–19. 10. 2022 (virtualno)
79. Mihajela Črnko, Partner for DIGITAL skills 3 – Infoday and pitching event, 20. 10. 2022 (virtualno)
80. Mihajela Črnko, Mitja Jermol, John Shawe-Taylor, UNESCO Regional Consultation on the OER Recommendation for Europe and North America, 20. 10. 2022 (virtualno)
81. Amiel Tel, Luka Bradeško, Aleš Buh, Miha Cimperman, Mihajela Črnko, Blaž Fortuna, Jasna Franko, Marko Grobelnik, Alenka Guček, Jakob Jelenčič, Mitja Jermol, Branko Kavšek, Klemen Kenda, Mojca Kregar, Simon Krek, Monika Kropelj, Gregor Kržmanc, Gregor Leban, M. Beshher Massri, Dunja Mladenec, Erik Novak, Inna Novalija, Davor Orlič, Ervin Pfeifer, Jan Rupnik, Kim Sevšek, John Shawe-Taylor, Beno Šircelj, Špela Sitar, Abdul Sittar, Luka Stopar, Polona Škraba Stanič, Maja Škrjanc, Jan Šturm, Swati Patrik Zajec, udeležba na AI in/for Society delavnici, Cerkno, Slovenija, 24.–26. 10. 2022, 30 predavanj
82. Tel Amiel, Mitja Jermol, John Shawe-Taylor, udeležba na prvem regionalnem srečanju UNESCO Chairjev s področja znanosti in Unescovih centrov iz Južnozahodne Evrope in Sredozemlja, Benetke, Italija, 26.–28. 10. 2022
83. Grobelnik Marko, vabljeno predavanje na KIT, Karlsruhe, Nemčija, 27.–29. 10. 2022, 1 vabljeno predavanje
84. Tel Amiel, Mitja Jermol, John Shawe-Taylor, udeležba na 30. obletnici začetka programa Unescovih nosilcev kateder UNITWIN/UNESCO, Pariz, Francija, 1.–5. 11. 2022
85. Daniel Schwabe, udeležba na OdEuropa hackathonu in delovni sestanki na projektu OdEuropa, Rio de Janeiro, Brazilija, 5.–14. 11. 2022
86. Marko Grobelnik, udeležba na 2nd Meeting of the OECD Working Party on Artificial Intelligence Governance (AIGO), Paris Peace Forum in HumaneAI projektnem sestanku, Stockholm, Švedska, 6.–18. 11. 2022
87. Dunja Mladenec, Inna Novalija, Odeuropa Heckathon and workshop, Ljubljana, Slovenija, 7. 11. 2022
88. Kaja Dobrovoljc, udeležba na sestanku 12th LRB Meeting, Praga, Češka republika, 8.–10. 11. 2022
89. Davor Orlič, udeležba na Unescovi konferenci na temo umetne inteligence in podatkovne znanosti (AI & Data Science for Society), Haag, Nizozemska, 9.–11. 11. 2022
90. Mihajela Črnko, UNESCO Inaugural Conference – UNESCO Chair AI & Data Science for Society, Den Haag, Nizozemska, 10. 11. 2022
91. Dunja Mladenec, obisk knjižnice Franciškanskega samostana – povabilo NUK-a, Novo mesto, Slovenija, 10. 11. 2022
92. Iztok Kosem, udeležba na sestanku nadzornega telesa EURAC, Bolzano, Italija, Italija, 13.–15. 11. 2022
93. John Shawe-Taylor, Humane AI meeting co-located with the WASP AI conference, 14.–16. 11. 2022 (virtualno)
94. John Shawe-Taylor, Euro-Atlantic Resilience Forum, Bukarešta, Romunija, 15. 11. 2022
95. Davor Orlič, udeležba na zasedanju GPAI (Global partnership on AI), Tokio, Japonska, 17.–23. 11. 2022
96. Mihajela Črnko, GPAI Summit 2022, Tokio, Japonska, 18.–23. 11. 2022
97. Marko Grobelnik, udeležba na GPAI Summitu 2022, Tokio, Japonska, 19.–24. 11. 2022, 1 vabljeno predavanje
98. Massri M. Beshher, udeležba na EBDVF konferenci, Praga, Češka republika, 20.–24. 11. 2022
99. Luka Bradeško, Kick-off meeting projekt CONDUCTOR, Peania, Grčija, 21.–23. 11. 2022
100. Marko Grobelnik, udeležba na GoDigital, Brdo pri Kranju, Slovenija, 24. 11. 2022, 1 vabljeno predavanje
101. Alenka Guček, Predstavitev boljših načinov vizualizacije podatkov, Slovenija, Slovenija, 24. 11. 2022, 1 vabljeno predavanje
102. Marko Grobelnik, HumaneAINet workshop, udeležba na AiCon konferenci, Belfast, Velika Britanija, 28. 11.–2. 12. 2022
103. Simon Krek, vabljeno predavanje na konferenci Language Technology Conference in udeležba na delavnici o leksikonih, Copenhagen, Danska, 29.11–3. 12. 2022, 1 vabljeno predavanje
104. Dunja Mladenec, udeležba na konferenci Cybersecurity and Integrity Symposium, Ljubljana, Slovenija, 2. 12. 2022
105. Marko Grobelnik, posvet o dialogu o nadaljnem razvoju avtorskopravne zakonodaje, Ljubljana, Slovenija, 6. 12. 2022
106. Marko Grobelnik, udeležba na Forumu slovenske digitalne koalicije, Ljubljana, Slovenija, 7. 12. 2022
107. Marko Grobelnik, Maja Škrjanc, Digital Twin sestanek na MORS, Ljubljana, Slovenija, 8. 12. 2022
108. Marko Grobelnik, udeležba na OECD Ministerial Meeting, srečanje Silknow konzorcija za pripravo novih projektov, Valencia, Španija, 10.–21. 12. 2022
109. Mihajela Črnko, 2. srečanje visokih predstavnikov D4D Hub (Digital for Development Hub) za Latinsko Ameriko in Karibe, Bruselj, Belgija, 11.–14. 12. 2022
110. Davor Orlič, 2. srečanje visokih predstavnikov D4D Hub (Digital for Development Hub) za Latinsko Ameriko in Karibe, Bruselj, Belgija, 12.–14. 12. 2022
111. John Shawe-Taylor, Global Forum on the Ethics of AI, Praga, Češka republika, 13. 12. 2022

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Swati: A Fundacao para a Ciencia e a Tecnologia inštitut, Lizbona, Portugalska, 14. 11.–26. 12. 2022
2. Swati: University of Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska, 1.–15. 1. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

1. doc. dr. Branko Kavšek*
2. dr. Iztok Kosem
3. doc. dr. Simon Krek*
4. dr. Jurij Leskovec
5. **prof. dr. Dunja Mladenič, znanstveni svetnik - vodja odseka**
6. prof. dr. John Stewart Shawe-Taylor, znanstveni svetnik
7. doc. dr. Primož Škraba

Podoktorski sodelavci

8. dr. Luka Bradeško*
9. dr. Jaka Čibej*
10. dr. Kaja Dobrovoljc*
11. dr. Blaž Fortuna*
12. dr. Alenka Guček
13. *dr. Aljaž Košmerlj, odšel 24. 1. 2022*
14. *Adam Rambousek, PhD., Republika Češka, odšel 1. 8. 2022*
15. *dr. Luka Stopar, odšel 1. 12. 2022*

Mlajši raziskovalci

16. Swati, Msc., Indija
17. mag. Rayid Ghani
18. Jakob Jelenčič, mag. fin. mat.
19. mag. Mitja Jermol
20. Klemen Kenda, univ. dipl. fiz.
21. Mark D Minevich, MSc., ZDA
22. Erik Novak, mag. prof. mat.
23. Jose Martin Rožanec, Msc
24. Abdul Sittar, MSc., Pakistan
25. Jan Šturm, mag. posl. ved

Strokovni sodelavci

26. *Luka Bizjak, mag. mat., odšel 1. 10. 2022*
27. dr. Janez Brank
28. dr. Miha Cimperman
29. Teja Goli, mag. prev.
30. dr. Matej Kovacič
31. dr. Gregor Leban*
32. Jose Luis Machado Rei, Msc., Portugalska
33. dr. Inna Novalija
34. dr. Ervin Pfeifer*
35. *Matej Posinkovič, univ. dipl. fiz., odšel 18. 4. 2022*
36. dr. Jan Rupnik*
37. dr. Polona Škraba Stanič
38. Maja Škrjanc, univ. dipl. inž. rač. in inf.

Tehniški in administrativni sodelavci

39. Aleš Buh
40. Mihajela Črnko
41. Jasna Franko, dipl. trž. kom. (VS)
42. Marko Grobelnik
43. Mojca Kregar, dipl. ekon.
44. Monika Krojej, univ. dipl. kult.
45. Blaž Novak, univ. dipl. inž. rač. in inf.
46. Kim Sešek, dipl. org. (UN)
47. Špela Sitar, univ. dipl. inž. živ. tehnol.
48. Mateja Škraba, dipl. posl. inf. (VS)

Opomba

- * delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aboitiz Data Innovation, Singapore, Singapur
2. Aalborg University, Aalborg, Danska
3. AdriaMobil, Novo Mesto, Slovenija
4. Advanced International Center for Smart Decision Science Applications based on Blockchain And Artificial Intelligence (BAIA), Santiago de Chile, Čile
5. African Institute for Mathematical Sciences (AIMS), Cape Town, Južna Afrika
6. Agricultural Institute of Slovenia, Ljubljana, Slovenija
7. AI Laboratory at the University of the Witwatersrand (RAIL), Johannesburg, Južna Afrika
8. Aikwit, d. o. o., Horjul, Slovenija
9. Allan Turing Institute, London, Velika Britanija
10. Alpineon razvoj in raziskave, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
11. Amazon, Seattle, Washington, ZDA
12. Amebis, d. o. o., Kamnik, Slovenija
13. Andorra Research + Innovation, Sant Julià de Lòria, Andorra
14. Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Grčija

15. Artificial Intelligence Policies Association (AIPA), Ankara, Turčija
16. Athens university of economics and business - research center, Atene, Grčija
17. Atos Spain Sa Madrid, Madrid, Španija
18. AUEB, Atene, Grčija
19. Austrian Institute of Technology GmbH, Dunaj, Avstrija
20. Banka Slovenije, Ljubljana, Slovenija
21. Banking & payments federation Ireland company limited by guarantee, Dublin, Irska
22. Big bang, trgovina in storitve, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
23. Bio-Robotics Laboratory, National Autonomous University of Mexico, Mexico City, Mexico
24. Bloomberg, New York, ZDA
25. BRC LIMITED, Newport, Velika Britanija
26. British Council, Ljubljana, Slovenija
27. CARTIF Technology Center, Valladolid, Španija
28. Ceneje družba za trgovino in poslovno svetovanje, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
29. Cerved Group Spa, Milan, Italija
30. Chung-Hua Institution for Economic Research, New Taipei, Tajvan
31. Continental automotive romania SRL, Timișoara, Romunija
32. CONTROL 2K LIMITED, Bridgend, Velika Britanija
33. Copenhagen fintech, Copenhagen, Danska
34. Council of Europe, Ad Hoc Committee on Artificial Intelligence (CAHA), Strasbourg, Francija
35. CVS mobile, informacijske rešitve, d. d., Ljubljana, Slovenija
36. Data for Development Network (D4D.net), Bruselj, Belgija
37. Data Scientists Network Foundation, Legos, Nigerija
38. Data-Pop Alliance, Mexico City, Mehika
39. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit, Bonn, Nemčija
40. DEUTSCHE WELLE, Bonn, Nemčija
41. DFKI, German Research Center for Artificial Intelligence, Kaiserslautern, Nemčija
42. DOMEL, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
43. DOMINA SRL, MODENA, Italija
44. Ecole polytechnique federale de Lausanne, Lausanne, Švica
45. EIT Climate-KIC, Copenhagen, Danska
46. ELLIS Unit Alicante Foundation, Alicante, Španija
47. Eötvös Loránd University, Budapest, Madžarska
48. Ernst & young gmbh wirtschaftsprüfungsgesellschaft, Stuttgart, Nemčija
49. ETH Zürich, Zürich, Švica
50. EURECOM, Biot, Francija
51. Eurostat, Luxembourg, Luxembourg
52. Expert Group on AI and Data in Education and Training (E03774), set up by the European Commission, Bruselj, Belgija
53. Faculdade De Ciências Sociais E Humanas Da Universidade Nova De Lisboa, Lizbona, Portugalska
54. Finnish Center for Artificial Intelligence (FCAI), Aalto, Finska
55. Fondazione Bruno Kessler, Trento, Italija
56. Forschungsinstitut fuer Rationalisierung - FIR, Aachen, Nemčija
57. Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH, Nemčija
58. Forschungszentrum Informatik, Karlsruhe, Nemčija
59. FORTISS GMBH, München, Nemčija
60. Forum Virium, Helsinki, Finska
61. Foundation for Research and Technology-Hellas, Heraklion, Grčija
62. Fraunhofer Gesellschaft Zur Foerderung der Angewandten Forschung E.V., Nemčija
63. Fraunhofer-Institut - Intelligent Analysis and Information Systems, Sankt Augustin, Nemčija
64. Fundacio eurecat, Barcelona, Španija
65. Fundacion de la comunidad valenciana para la investigacion, promocion y estudios comerciales de valenciaport, Valencia, Španija
66. Geoville Informationssysteme und Datenverarbeitung GmbH, Innsbruck, Avstrija
67. GFT ITALIA SRL, Milano, Italija
68. Google, Mountain View, ZDA
69. Google, Zürich, Švica
70. Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover - I3S Research Center, Hannover, Nemčija
71. Graz University of Technology, Institute for Theoretical Computer Science (IGI), Gradec, Avstrija
72. HANSE AEROSPACE WIRTSCHAFTSDIENST GMBH, Hamburg, Nemčija
73. Hella Saturnus, Ljubljana, Slovenija
74. Hrvatska Pošta, Zagreb, Hrvaška
75. Icelandic Institute for Intelligence Machines. Reykjavik, Islandija
76. ideXlab, Pariz, Francija
77. INNOV-ACTS LIMITED, Nikozija, Ciper
78. INNOVATION SPRINT, Bruselj, Belgija
79. INRIA Lille - Nord Europe, Lille, Francija
80. INRIA, Pariz, Francija
81. Institut National De Recherche En Informatique Et Automatique, Le Chesnay-Rocquencourt, Francija
82. Inštitut za novejšo zgodovino, Ljubljana, Slovenija
83. Institute For Bulgarian Language Prof Lyubomir Andreychin, Sofija, Bolgarija
84. Institute for Language and Folklore, Stockholm, Švedska

85. Institute for Language and Speech Processing, R.C. Athena, Atene, Grčija
86. Institute for Lithuanian Language, Vilna, Litva
87. Institute of communication and computer systems, Atene, Grčija
88. Institute of Science and Technology – IST, Klosterneuburg, Avstrija
89. Institute of the Estonian Language, Talin, Estonija
90. Institution Information Technologies Institute (CERTH – ITI), Thessaloniki, Grčija
91. Instituto Cervantes, Madrid, Španija
92. Instituut Voor Nederlandse Lexicologie, Lieden, Nizozemska
93. Intellectual Property Committee, Ljubljana, Slovenija
94. International Computer Science Institute (ICSI), Berkeley, Kalifornija, ZDA
95. International Network for Terminology, Dunaj, Avstrija
96. INTRASOFT International SA, Bruselj, Belgija
97. Iren Rinnovabili srl, Iren, Italija
98. Iskratel, d. o. o., Kranj
99. JEMS, energetska družba, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
100. Joanneum research forschungsgesellschaft MBH, Gradec, Avstrija
101. Johann Wolfgang Goethe Universitaet Frankfurt Am Main Frankfurt, Nemčija
102. JOT INTERNET MEDIA ESPAÑA SL, Madrid, Španija
103. Kabarak University, Nakuru, Kenija
104. Karlsruhe Institute of Technology, Karlsruhe, Nemčija
105. Katholieke Universiteit Leuven, Lueven, Belgija
106. King's College, London, Velika Britanija
107. KLINIKUM NURNBERG, Nuremberg, Nemčija
108. Knowledge 4 All Foundation, London, Velika Britanija
109. Knowledge for All Foundation – K4A, London, Velika Britanija
110. Kobenhavns Universitet, Kopenhagen, Danska
111. KONNEKT ABLE TECHNOLOGIES LIMITED, Waterford, Irska
112. Közép-Európai Egyetem (CEU), Budimpešta, Madžarska
113. KTH Stockholm, Stockholm, Švedska
114. La Sorbonne UPMC, Pariz, Francija
115. Landbrug & Fodevarer F.M.B.A., Kopenhagen, Danska
116. Language Technology Centre Ltd., Surrey, Velika Britanija
117. LEANSCALE SL, Madrid, Španija
118. Leeds University, Leeds, Velika Britanija
119. Leibniz Universität Hannover, Hannover, Nemčija
120. Leiden University, Leiden, Nizozemska
121. Lighthouse AI, Palo Alto, Kalifornija, ZDA
122. LPP, Ljubljana, Slovenija
123. Magellium SAS, Ramonville St Agne Cedex, Francija
124. MAGGIOLI SPA, Santarcangelo Di Romagna, Italija
125. Masakhane Foundation, Nairobi, Kenija
126. Max Planck Institut für Biologische Kybernetik, Tübingen, Nemčija
127. Microsoft Research Ltd., Cambridge, Velika Britanija
128. Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo, Ljubljana, Slovenija
129. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ljubljana, Slovenija
130. Ministrstvo za javno upravo, Ljubljana, Slovenija
131. Ministrstvo za kulturo, Ljubljana, Slovenija
132. Ministrstvo za zunanje zadeve, Ljubljana, Slovenija
133. Ministry of Digital Transformation of Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenija
134. Ministry of Education, Science and Sport, Ljubljana, Slovenija
135. Ministry of Foreign and European Affairs of Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenija
136. Nantes Universite, Nantes, Francija
137. NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Singapur, Singapur
138. National & Kapodistrian University of Athens, Atene, Grčija
139. National Bank of Greece S.A., Palamas, Grčija
140. National Cheng Kung University, Tainan, Tajvan
141. Network of diplomatic representations of Republic of Slovenia, Ljubljana, Slovenija
142. New York Times, New York, ZDA
143. Nissatech Innovation Centre, Niš, Srbija
144. Northeastern University, Northeastern Civic A.I., Boston, Massachusetts, ZDA
145. Norwegian Mapping Agency, Honefoss, Norveška
146. Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norveška
147. NTUA – National Technical University of Athens, Atene, Grčija
148. NUI Galway, Galway, Irska
149. Olsen Ltd AG, Zürich, Švica
150. Ontotext AD, Sofia, Bolgarija
151. Open Data Institute (ODI), London, Velika Britanija
152. Oxford University, Oxford, Velika Britanija
153. Permanent Mission of the Republic of Slovenia to the United Nations, New York, ZDA
154. ZDA Philips Electronics Nederland B.V., Eindhoven, Nizozemska
155. Pinterest, San Francisco, ZDA
156. PlayGen Ltd, London, Velika Britanija
157. Politechnika Warszawska, Varšava, Poljska
158. Politecnico Di Milano, Milan, Italija
159. Polytechnio Kritis, Chania, Grčija
160. Pošta Slovenije, Ljubljana, Slovenija
161. Poste Italiane – societa per azioni, Rim, Italija
162. PostEurop, Bruselj, Belgija
163. Prive services Europe GMBH, Dunaj, Avstrija
164. QLECTOR, Razvoj celovitih rešitev za pametne tovarne, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
165. Queen Mary University of London, London, Velika Britanija
166. Queensland University of Technology, Brisbane, Avstralija
167. Radboud University of Nijmegen, Nijmegen, Nizozemska
168. Real Academia Espanola, Madrid, Španija
169. Regional Center for Studies on the Development of the Information Society (CETIC), São Paulo, Brazilija
170. Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe (REC), Szentendre, Madžarska
171. Registerenheten i bronnoysund, Bronnoysund, Norveška
172. Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, ZDA
173. Reportbrain limited, London, Velika Britanija
174. Research ICT Africa, Cape Town, Južna Afrika
175. Research Institute for Linguistics of the Hungarian Academy of Sciences, Budimpešta, Madžarska
176. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Bonn, Nemčija
177. Rheinisch-Westfaelische Technische Hochschule Aachen – RWTH, Aachen, Nemčija
178. Roessingh research and development BV, Enschede, Nizozemska
179. Royal Holloway, University of London, London, Velika Britanija
180. Rutgers University, New Jersey, ZDA
181. S2 grupo de innovacion en procesos organizativos SL, Valencia, Španija
182. Saarland University, Saarbrücken, Nemčija
183. SANTANDER UK PLC, London, Velika Britanija
184. SAP AG, Walldorf, Nemčija
185. SCI – University of Utah, Salt Lake City, ZDA
186. Semantic Technology Institute International, Dunaj, Avstrija
187. Semantic Technology Institute, University of Innsbruck, Innsbruck, Avstrija
188. SIA SPA, Milano, Italija
189. Siemens, Munich, Nemčija
190. Sinergise, Laboratory for geographical information systems, Ltd., Ljubljana, Slovenija
191. Singular Logic – Information Systems & Applications SA, Atene, Grčija
192. SISSA Medialab, Trst, Italija
193. SIVECO ROMANIA SA, Bukarešta, Romunija
194. Slovenian National Committee for UNESCO, Ljubljana, Slovenija
195. Slovenska Tiskovna Agencija, Ljubljana, Slovenija
196. SOFTWARE AG, Darmstadt, Nemčija
197. SOFTWARE IMAGINATION & VISION SRL, Bukarešta, Romunija
198. Sorbonne Universite, Pariz, Francija
199. SPAZIODATI SRL, Trento, Italija
200. Špica International, d. o. o., Ljubljana, Ljubljana
201. St Louis University, Saint Louis, ZDA
202. Stanford University, Palo Alto, ZDA
203. Steinbeis Innovation gGmbH, Stuttgart, Nemčija
204. Stichting Centrum Voor Wiskunde En Informatica, Amsterdam, Nizozemska
205. Stichting ihe delft institute for water education, Delft, Nizozemska
206. Stiftelsen Sintef, Trondheim, Norveška
207. Stockholm University, Stockholm, Švedska
208. Studio Moderna, d. o. o., Zagorje ob Savi, Ljubljana
209. SVEUCILISTE U RIJECI EKONOMSKI FAKULTET, Reka, Hrvaška
210. Sveuciliste u Zagrebu Filozofski Fakultet – University of Zagreb, Zagreb, Hrvaška
211. Swedish Centre for Terminology, Stockholm, Švedska
212. TU Berlin, Berlin, Nemčija
213. Tampereen Korkeakouluosaatio SR, Tampere, Finska
214. Tampereen Yliopisto, Tampere, Finska
215. Tanzania AI Lab & Community, Dar Es Salaam, Tanzanija
216. Techila Technologies Ltd, Tampere, Finska
217. Technical University of Denmark, Kongens Lyngby, Kopenhagen, Danska
218. Technical University of Kosice, Košice, Slovaška
219. Technicolor, Pariz, Francija
220. Technion – Israel Institute of Technology, Haifa, Izrael
221. Technische universitaet Dresden, Dresden, Nemčija
222. Technische Universitaet Kaiserslautern, Nemčija
223. Technische Universitaet Wien, Dunaj, Avstrija
224. Technische Universitaet Berlin, Berlin, Nemčija
225. Technische Universität München, München, Nemčija
226. Technische Universiteit Delft, Nizozemska
227. Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, Nizozemska
228. Teknoloji arastirma gelistirme endustriyel urunler bilisim teknolojileri sanayi ve ticaret anonim ticaret, Istanbul, Turčija
229. Tel Aviv University, Tel Aviv, Izrael
230. Telefonica investigacion y desarrollo SA, Madrid, Španija
231. Telekom Slovenije, Ljubljana, Slovenija
232. Telenor ASA, Fornebu, Norveška
233. THALES ALENIA SPACE, Cannes, Francija
234. Thales Research & Technology, Palaiseau, Francija
235. Thales Six Gts France SAS, Gennevilliers, ÎledeFrance, FR
236. The Alan Turing Institute, London, Velika Britanija
237. The European Students' Union, Bruselj, Belgija
238. The Hague University of Applied Sciences, Den Haag, Nizozemska
239. The Open University, Milton Keynes, Velika Britanija
240. The University of Limerick, Localisation Research Centre, Limerick, Irska

241. The University of Manchester, Manchester, Velika Britanija
 242. The University of Sussex, Brighton, Velika Britanija
 243. TIB Hannover – The German National Library of Science and Technology, Hannover, Nemčija
 244. Ticon Uk Limited, London, Velika Britanija
 245. TILDE, Riga, Latvija
 246. TIS Transport, Innovation and Systems Consultancy, Lizbona, Portugalska
 247. TNO, Delft, Nizozemska
 248. Toshiba, Cambridge, Velika Britanija
 249. TU Berlin / DAJ-Lab, Berlin, Nemčija
 250. TU Delft, Digital Ethics Centre, Delft, Nizozemska
 251. TU Wien, Dunaj, Avstrija
 252. TurboInštitut, d. d., Ljubljana, Slovenija
 253. Turkiye Petrol Rafinerileri Anonim Sirketi, Körfez, Turčija
 254. UBITECH LIMITED, Limassol, Ciper
 255. Ukobenhavns Universitet, Kopenhagen, Danska
 256. Umeå University, Umeå, Švedska
 257. UNESCO Office, Ljubljana, Slovenija
 258. UNESCO, Pariz, Francija
 259. UNESCO's High Level Expert Group for the implementation of the UNESCO Recommendation on the Ethics of AI, Pariz, Francija
 260. UNICEF, New York, ZDA
 261. Unilever, London, Velika Britanija
 262. Uninova-Instituto de Desenvolvimento de Novas Tecnologias-Associacao, Caparica, Portugalska
 263. Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, Španija
 264. Universidad Complutense de Madrid, Madrid, Španija
 265. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, Španija
 266. Universidad Pompeu Fabra, Barcelona, Španija
 267. Università Ca' Foscari di Venezia, Benetke, Italija
 268. Università degli studi di Genova, Genova, Italija
 269. Università degli Studi di Milano, Milano, Italija
 270. Università Degli Studi Di Palermo, Palermo, Italija
 271. Università degli studi di pavia, Pavia, Italija
 272. Università Degli Studi Di Roma La Sapienza, Rim, Italija
 273. Università dell'Insubria, Varese, Italija
 274. Università Di Pisa, Pisa, Italija
 275. Università politecnica delle Marche, Ancona, Italija
 276. Universitaet Osnabrueck, Osnabrück, Nemčija
 277. Universitat d'Alicante, Alicante, Španija
 278. Universitat de les Illes Balears, Palma, Španija
 279. Universitat de Lleida, Lleida, Španija
 280. Universitat de Valencia, Valencia, Španija
 281. Universitat Jaume I de Castellon, Castellon de la Plana, Španija
 282. Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Španija
 283. Universitat Politècnica de València – UPV, Valencija, Španija
 284. Universitat Pompeu Fabra, Barcelona, Španija
 285. Universität Stuttgart, Stuttgart, Nemčija
 286. Universität Trier, Trier, Nemčija
 287. Université de Geneve, Ženeva, Švica
 288. UNIVERSITE DU LUXEMBOURG, Luxembourg, Luxembourg
 289. Université Grenoble Alpes, Francija
 290. UNIVERSITE PARIS I PANTHEON-SORBONNE, Pariz, Francija
 291. Université Pierre et Marie Curie, Pariz, Francija
 292. Universiteit Leiden, Leiden, Nizozemska
 293. Universiteit Utrecht, Utrecht, Nizozemska
 294. Universiteit van Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
 295. University College Cork – National University of Ireland, Cork, Irska
 296. University College Dublin, Dublin, Irska
 297. University College London, Centre for Artificial Intelligence, London, Great Britain
 298. University College London, London, Velika Britanija
 299. University Islamabad of the Islamic Republic of Pakistan (COMSATS), Islamabad, Pakistan
 300. University of Aalto, Helsinki, Finska
 301. University of Aegean, Mytilini, Grčija
 302. University of Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
 303. University of Antwerp, Antwerp, Belgija
 304. University of Barcelona, Španija
 305. UNIVERSITY OF BRIGHTON, Brighton, Velika Britanija
 306. University of Bristol, Bristol, Velika Britanija
 307. University of British Columbia, Vancouver, Kanada
 308. University of Cambridge, Cambridge, Velika Britanija
 309. University of Cape Coast, Cape Coast, Gana
 310. University of Coimbra, Coimbra, Portugalska
 311. University of Copenhagen, Kopenhagen, Danska
 312. University of Economics, Prague, Praga, Češka
 313. University of Edinburgh, Edinburgh, Velika Britanija
 314. University of Essex, Colchester, Velika Britanija
 315. University of Fribourg, Fribourg, Švica
 316. University of Gabes, Gabes, Tunizija
 317. University of Glasgow, Glasgow, Velika Britanija
 318. University of Gothenburg, Gothenburg, Švedska
 319. University of Heidelberg, Heidelberg, Nemčija
 320. University of Helsinki, Helsinki, Finska
 321. University of Innsbruck, Innsbruck, Avstrija
 322. University of Karlsruhe, Institute AIFB, Nemčija
 323. University of Leeds, Leeds, Velika Britanija
 324. University of Leoben, Leoben, Avstrija
 325. University of Liege, Liege, Belgija
 326. University of Lisbon Algebra Center, Lizbona, Portugalska
 327. University of Liverpool, Liverpool, Velika Britanija
 328. University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
 329. University of London, London, Velika Britanija
 330. University of Manchester, Manchester, Velika Britanija
 331. University of Monastir, Monastir, Tunizija
 332. University of Nova Gorica, Nova Gorica, Slovenija
 333. University of Oviedo (ILTO), Asturias, Španija
 334. University of Oxford, Oxford, Velika Britanija
 335. University of Pennsylvania, Pennsylvania, ZDA
 336. UNIVERSITY OF PIRAEUS RESEARCH CENTER, Piraeus, Grčija
 337. University of Pretoria, Pretoria, Pretoria, Južna Afrika
 338. University of Sheffield, Sheffield, Velika Britanija
 339. University of Siena, Siena, Italija
 340. University Of Southampton, Southampton, Velika Britanija
 341. University of St. Andrews, St. Andrews, Velika Britanija
 342. University of Surrey, Guildford, Velika Britanija
 343. University of Szeged, Juhasz Gyula, Teachers Training Faculty, Szeged, Madžarska
 344. University of Tartu, Tartu, Estonija
 345. University of the Aegean (UoA), Mytilini, Grčija
 346. University of Tuscia, Viterbo, Italija
 347. University of Venice/ECLT, Benetke, Italija
 348. University of Wolverhampton (UoW), Wolverhampton, Velika Britanija
 349. University of York, York, Velika Britanija
 350. University of Zagreb, Faculty of Organization and Informatics, Varaždin, Hrvaška
 351. University Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Pariz, Francija
 352. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Ljubljana, Slovenija
 353. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
 354. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija
 355. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
 356. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
 357. UP IAM – University of Primorska, Andrej Marušič Institute, Koper, Slovenija
 358. UPC Barcelona / Universidad de Cantabria, Barcelona, Španija
 359. Urad Republike Slovenije za varovanje tajnih podatkov, Ljubljana, Slovenija
 360. US Military Academy, West Point, New York, ZDA
 361. VILLE DE CAROUGE, Ženeva, Švica
 362. VISTATEC LTD, Dublin, Irska
 363. VITASIS, d. o. o.
 364. Volkswagen AG, Nemčija
 365. Warsaw university of technology, Varšava, Poljska
 366. Wikimedia, Berlin, Nemčija
 367. Working group for the Digital Competences Framework (DigComp 2.2), set up by the European Commission, Bruselj, Belgija
 368. Wrocław university of science and technology, Wrocław, Poljska
 369. Xlab, Teslova 30, Ljubljana, Slovenija
 370. Yahoo! Research, New York, ZDA
 371. Zürcher hochschule für angewandte wissenschaften, Winterthur, Švica

LABORATORIJ ZA ODPRTE SISTEME IN MREŽE

E-5

Aktivnosti Samostojnega laboratorija za odprte sisteme in mreže so usmerjene v raziskave in razvoj omrežij naslednje generacije, internetnih tehnologij, komponent in integriranih sistemov ter storitev in aplikacij informacijske družbe, predvsem tistih, ki zagotavljajo varnost in zasebnost.

Člani laboratorija so v letu 2022 opravljali raziskovalno, razvojno in pedagoško delo. Raziskave in razvojne dejavnosti so potekale v okviru raziskovalnega programa Tehnologije interneta prihodnosti: koncepti, arhitekture, storitve in družbeno-ekonomski vidiki ter pri več domačih in mednarodnih projektih.

Na področje varnih sodobnih omrežij, internetnih tehnologij in informacijskih sistemov spadajo projekti CONCORDIA, DE4A, BD4OPEM in iFlex iz programa Obzorje 2020 ter ciljni raziskovalni projekt Umetna inteligenca za kibernetko varnost. Raziskave mehanizmov boja proti kibernetnemu kriminalu so potekale pri projektu EIO-LAPD iz programa EU DG Justice, raziskave o vrednotenju intelektualne lastnine v raziskovalnih in razvojnih projektih pa pri ciljnem raziskovalnem projektu *Vrednotenje IL kot podlaga za predlog dolgoročno vzdržnega modela državnih pomoči za spodbujanje sodelovanja znanosti in gospodarstva*.

Rezultati raziskav so bili vključeni v pedagoške dejavnosti članov laboratorija, ki sodelujejo kot visokošolski učitelji na dodiplomskem in podiplomskem študiju na Mednarodni podiplomski šoli Jožefa Stefana, Fakulteti DOBA ter Fakulteti za komercialne in poslovne vede. Laboratorij je član Evropske organizacije za kibernetko varnost (ECISO).



Vodja:
doc. dr. Tomaž Klobučar

Koncepti in arhitektura varnih internetnih omrežij, internetnih tehnologij in informacijskih sistemov

Raziskave na prvem področju so bile povezane z varnostno infrastrukturo in zaupanja vrednimi storitvami na področjih javne uprave, zdravstva in industrijskih sistemov.

Projekt DE4A (Digital Europe for all) bo državam članicam EU olajšal prehod na varne evropske čezmejne digitalne javne storitve, okreplil zaupanje v javne ustanove, povečal njihovo učinkovitost ter zmanjšal administrativna bremena in stroške. Projekt poenostavlja čezmejno uporabo izbranih postopkov, sistemov in platform ter v praksi kaže koristi pri čezmejnem uresničevanju načel »samo enkrat« in »najprej digitalno«. Pri projektu, ki bo zagotovil tudi skladnost e-storitev z najnovejšimi direktivami in uredbami EU (npr. eIDAS, SDG), vodimo pilot o varnih čezmejnih e-storitvah na področju izobraževanja, in sicer prijave za sprejem v visokošolske zavode, vloge za štipendije in priznavanje diplom, ter delovni sklop za analizo stanja na področju čezmejnih e-storitev v EU. V letu 2022 smo nadgradili varno čezmejno storitev za oddajo vlog za štipendije, ki študentom iz Portugalske in Španije omogoča, da za dostop do storitve uporabijo svojo nacionalno e-identiteto, potrebna dokazila, na primer potrdilo o diplomi, pa se samodejno prenesejo iz avtentičnega vira v njihovi državi. Nadalje smo analizirali ustreznost osnovnih infrastrukturnih gradnikov in pripravljenost držav članic EU na uvedbo varnih čezmejnih storitev. Drugi slovenski partnerji pri projektu, ki se je začel leta 2020, so Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ministrstvo za javno upravo in Univerza v Mariboru.

Ustrezna varnostna arhitektura je pomembna tudi na področju zdravstva. Medsebojna povezanost medicinskih naprav prek interneta stvari (IoT) veča kakovost oskrbe bolnikov in lajša delo zdravstvenih delavcev, hkrati pa prinaša nove varnostne izzive. Ranljivost naprave ali sistema lahko namreč ogrozi celo življenje bolnikov. Izdelana klinična arhitektura IoT že privzeto omogoča kibernetko varnost z obravnavanjem zaupanja, upravljanja z identiteto, zasebnosti, zaščite in varnosti kot arhitekturnih načel. Prav tako identificira zahteve, ki jih trenutne referenčne arhitekture delno ali v celoti ne obravnavajo, čeprav so kritične v zdravstvu. Celostni arhitekturni okvir za klinični IoT je dovolj specifičen, da ga lahko formaliziramo, in dovolj splošen za uporabo v kateri koli klinični domeni IoT. Na podlagi te arhitekture je bila zasnovana še taksonomija arhitekturnih načel z v cilje usmerjeno metodologijo vrednotenja varnostnih arhitektur.

Problem testiranja kibernetne varnosti je dobro znan tudi v kritični infrastrukturi. Ko je enkrat nameščen, delovanja kritičnega sistema ni mogoče ustaviti za namene simulacije kibernetnih napadov. Po drugi strani je za kritično infrastrukturo potrebna visoka stopnja varnosti od samega začetka. Ker je izdelava fizičnega modela draga



Slika 1: Čezmejna storitev DE4A

Izdelali smo gradnike za varnostno infrastrukturo in zaupanja vredne storitve, ki omogočajo digitalizacijo javnega sektorja.

ali pogosto nemogoča, smo za reševanje teh težav predlagali uvedbo posebnega arhitekturnega pogleda in načrta arhitekture sistema, imenovanega digitalni dvojček kibernetične varnosti. Ta model poslovnoinformacijske arhitekture sistema daje trdno podlago za izvedbo simulacij, ki omogočajo oblikovanje ustreznih ukrepov brez izpada fizične infrastrukture. Da bi dokazali praktično izvedljivost predlagane rešitve, smo metodologijo uporabili na primeru uporabe kooperativnega inteligentnega transportnega sistema in ocenili njegovo varnost. Po uspešni uporabi je bila metodologija dodelana in prilagojena tudi za druge primere uporabe, tako v transportu kot v drugih kritičnih in nekritičnih sektorjih (pametna omrežja in energija, zdravstvo, poslovanje, izobraževanje).

Zaradi lastne razširljivosti in prilagodljivosti so strukturirana prekrivna omrežja odlična podlaga za podporo sodobnim aplikacijam s kompleksno, nestanovitno, mobilno in heterogeno infrastrukturo. Vendar pa ta heterogenost in nestanovitnost infrastrukture povečujeta potrebo po bolj zanesljivih mehanizmih za zagotavljanje razpoložljivosti in delovanja takšnih omrežij z avtonomnimi udeleženci. V ta namen smo predlagali uporabo vzdrževanja sistema, ki temelji na napovedovanju dinamike sosednjega vozlišča. Evalvacija predlaganega modela na prekrivnem omrežju, ki temelji na Chordu, kaže 54-odstotno izboljšanje razmerja uspešnosti iskanja in 59-odstotno izboljšanje režijskih stroškov vzdrževanja.

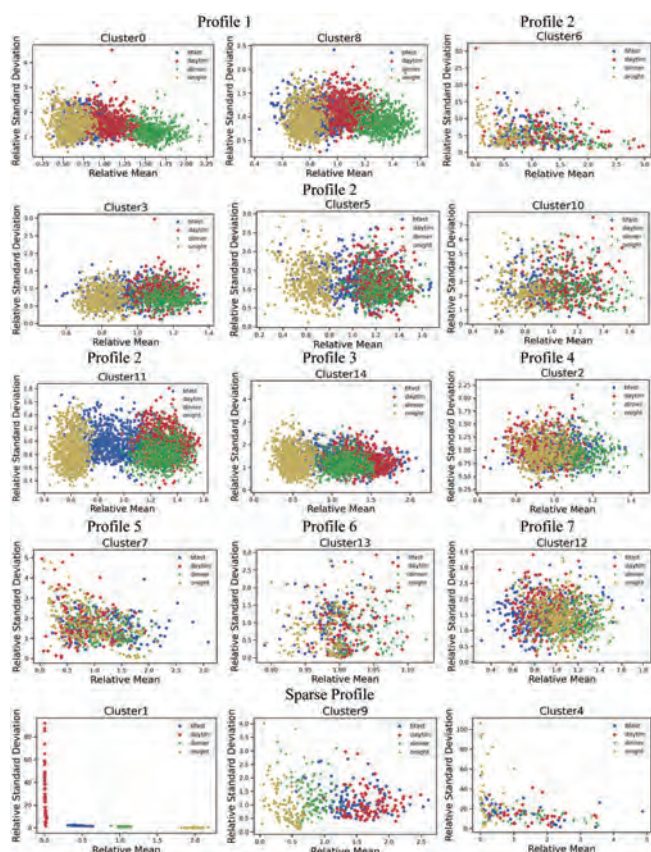
V okviru infrastrukturnega programa v raziskovalnih organizacijah so sodelavci laboratorija še naprej ponujali podporo informacijskim in komunikacijskim storitvam, ki omogočajo boljšo komunikacijo tako med člani različnih raziskovalnih programov kot tudi med študenti in njihovimi mentorji iz geografsko porazdeljenih institucij. V začetku leta 2022 smo zaradi epidemije covid-19 naše delovanje še naprej usmerjali v podporo dela instituta na daljavo. Odsekom in drugim oddelkom instituta smo zagotovili 20 licenc videokonferenčnega sistema GotoMeeting ter 150 licenc sistema Zoom in storitev Webinarja za več udeležencev v sodelovanju s Centrom za mrežno infrastrukturo. S pomočjo storitev raziskovalne infrastrukture smo podprli 31 odsekov, laboratorijev, centrov in drugih organizacijskih enot instituta. Omogočili smo tudi izvedbo Slovenskega in Evropskega festivala znanosti 2022.

Digitalne storitve in internetne tehnologije v energetiki

Velik delež projektov je povezan z načrtovanjem, implementacijo in uporabo digitalnih storitev in internetnih tehnologij v energetiki. BD4OPEM (Big Data for Open Innovation Energy Marketplace) razvija podatkovno usmerjen sistem, ki omogoča razvoj inovativnih storitev za potrebe deležnikov energetskega sistema. Podatkovni tokovi skozi projektno tržnico omogočajo analitske storitve za spodbujanje razvoja novih poslovnih priložnosti. V letu 2022 smo se osredotočili na obravnavo in razvoj storitev napovednega vzdrževanja, obravnavo netehničnih izgub, napovedovanje prožnosti v omrežju in storitve prožnosti za distributerje ter varnost in zasebnost pri zagotavljanju storitev. Razvili smo sistemski modul za zagotavljanje storitev ter modul za avtomatsko upravljanje storitev. V reviji Knowledge based systems smo objavili članek o analizi velepodatkov pametnih števec partnerja pri projektu Elektra Celje. Analizirali smo tipične skupine uporabnikov in značilke, ki omogočajo učinkovito določanje pripadnosti posameznim skupinam. Pri projektu poleg laboratorija sodeluje z IJS tudi Odsek za komunikacijske sisteme.

iFlex (Intelligent Assistants for Flexibility Management) je projekt, ki se osredotoča na načrtovanje, razvoj in evalvacijo podpornih orodij za učinkovito sodelovanje končnega uporabnika pri raznovrstnih storitvah prihodnjega pametnega energetskega omrežja ter za lažje doseganje trajnostnih ciljev uporabnikov in njihovih stavb. V njem sodeluje več slovenskih organizacij: Elektro Celje, Elektro Celje Energija, Smart Com, Zveza potrošnikov Slovenije ter Laboratorij za odprte sisteme in mreže. Naloge laboratorija so usmerjene v zagotovitev varnosti in zaščite podatkov, podatkovno analitiko, izvedbo digitalnega dvojčka pametnega doma oziroma večstanovanjske stavbe ter optimalno, večkriterijsko krmiljenje porabe. V letu 2022 smo vzpostavili osnovne podatkovne storitve slovenskega pilota za končne uporabnike ter razvili pametni dvojček za gospodinjstva s toplotno črpalko in zalogovnikom.

V letu 2022 smo pridobili nov, večji projekt iz programa Obzorje Evropa. Projekt Resonance (Replicable and Efficient Solutions for Optimal Management of Cross-sector Energy) bo razvil katalog strojno informacijskih rešitev za učinkovito upravljanje porabe in proizvodnje



Slika 2: Skupine porabnikov električne energije

Internetne tehnologije omogočajo lažje vključevanje končnih uporabnikov v procese trga električne energije, distribucijskim operaterjem pa pomagajo pri upravljanju.

energije raznovrstnih končnih uporabnikov, od gospodinjestev, stanovanjskih objektov in poslovnih stavb do trgovskih centrov in industrije. Elementi kataloga se razvijajo na treh ravneh: na ravni upravljavca virov, upravljavca energije uporabnika in povezovalcev storitve. Kataloške rešitve bodo razvite in preizkušene v šestih državah: Franciji, Nemčiji, Švedski, Finski, Grčiji in Sloveniji. Pri projektu deluje močan slovenski konzorcij, v katerem sodelujejo ECE, Elektro Celje, SmartCom, Amibit in IJS. V slovenskem pilotu se bomo posvetili rešitvam za gospodinjstva s toplotnimi črpalkami in obnovljivimi viri, cenovnimi rešitvami za prilagajanje porabe in povezovanju upravljavcev energije uporabnika za upravljanje energetskega neravnovesja. V drugem pilotnem ciklu bomo evalvirali rešitve za ogrevanje večstanovanjskih stavb, hranilnikov energije in električnih vozil ter optimizacijo rešitev za energetske učinkovitost. Pri projektu vodimo delovni sklop za razvoj kataloga upravljavca virov in naloge, povezane z varnostjo in zasebnostjo ter zagotavljanjem podatkovnih storitev.

Mehanizmi za zagotovitev varnosti in zasebnosti v informacijskih sistemih

Zagotovljena varnost je ključna za delovanje moderne informacijske družbe in razvoj učinkovitega digitalnega trga. V letu 2022 so bili predmet raziskav matematični modeli za konstrukcijo pomembnih Boolovih funkcij, ki se uporabljajo v simetričnih kriptografskih algoritmihi. Proučevali smo zadostne pogoje, da ima funkcija v obliki $f(x) = g(x) + \prod_{j=1}^n Tr_1^n(u, x)$ petvalentni Walshov spekter. Predstavljena metoda posebej identificira več razredov petvrednostnih Walshovih spektrov funkcij z dodajanjem poljubnega produkta linearnih funkcij znani kvadratni zlomljeni funkciji. Pomen tega rezultata je v tem, da omogoča nadzor algebraične stopnje funkcije $f(x)$ z dodajanjem poljubnega produkta linearnih funkcij. Posledično lahko dobivamo funkcije s stopnjo dve ali tri ali celo z optimalno algebrsko stopnjo, odvisno od števila spremenljivk. To je v nasprotju z nedavno predlaganimi rezultati, ki ne omogočajo takšnega nadzora nad algebraično stopnjo funkcije. Rezultati so bili objavljeni v znanstveni reviji *Journal of Discrete Mathematical Sciences & Cryptography*.

Med novejšo tehnologije, ki obetajo učinkovitejšo zagotavljanje kibernetske varnosti, prištevamo umetno inteligenco (UI), uporabno zlasti pri analizi in obdelavi velikega števila varnostno relevantnih dogodkov ter odkrivanju še neznanih groženj in oblik kibernetskih napadov in odzivanju nanje. Za učinkovitejšo raziskavo in razvoj ter preboj slovenskih ponudnikov varnostnih rešitev na evropski in svetovni trg so poleg ustreznih kompetenc in medsebojnega sodelovanja pomembne tudi informacije o raziskovalnih vrzelih na tem področju ter raziskovalno-razvojnih zmogljivostih in primerjalnih prednostih Slovenije. Pri ciljnem raziskovalnem projektu **Umetna inteligenca za kibernetsko varnost** smo raziskali metode UI za zagotovitev varnosti in analizirali stanje na tem področju v Sloveniji, EU in drugod po svetu. Pripravili smo taksonomijo metod UI za kibernetsko varnost in opisali primere uporabe UI za kibernetsko varnost. Na podlagi analize literature smo oblikovali seznam raziskovalnih in razvojnih vrzeli, ki so bile razvrščene v štiri sklope:

i) nova področja uporabe UI v kibernetski varnosti, (ii) viri in predstavitve podatkov, (iii) napredne metode UI za kibernetsko varnost ter (iv) raziskave in razvoj nove infrastrukture. Raziskovalne in razvojne vrzeli v kombinaciji z analizo zmogljivosti in potreb slovenskih raziskovalcev, ponudnikov in uporabnikov rešitev na področjih kibernetske varnosti in UI, prioriteta EU ter zahtevami deležnikov so bile tudi podlaga za pripravo predloga kratkoročnih, srednjeročnih in dolgoročnih ciljev in ukrepov za nadaljnji razvoj.

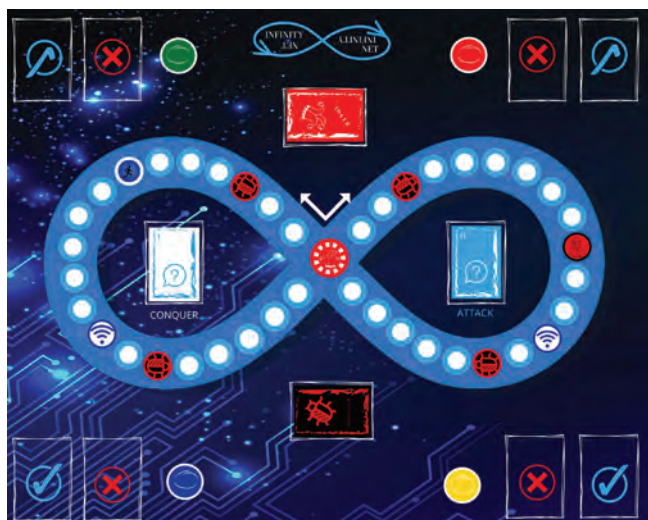
Raziskovanje pridobivanja čezmejnih digitalnih dokazov in analizo Direktive 2014/41/EU smo v letu 2022 uspešno zaključili z objavo na končni konferenci projekta **EIO-LAPD** (Evropski preiskovalni nalog – pravna analiza in praktične dileme mednarodnega sodelovanja) iz programa EU Justice, pri katerem smo sodelovali s šestimi ustanovami iz Avstrije, Hrvaške, Italije, Nemčije, Slovenije in Portugalske. Laboratorij za odprte sisteme in mreže je tudi član projekta **CONCORDIA**, enega od štirih evropskih centrov odličnosti kibernetske varnosti iz programa Obzorje 2020. Center ponuja raziskovalne in razvojne rešitve za varen, odporen in zaupanja vreden evropski ekosistem. V letu 2022 je laboratorij sodeloval pri razvoju metodologij in pristopov za izobraževanje na področju kibernetske varnosti. Izdelana metodologija je objavljena na spletu in se izvaja v učnem procesu na Gimnaziji Bežigrad. Rezultati raziskav so bili objavljeni v reviji z velikim vplivom.

V letu 2022 smo skupaj z nekaj drugimi odseki in centri IJS (F1, F5, E6, CMI) pridobili projekt **SiQUID** (Slovenian Quantum Communication Infrastructure Demonstration), ki bo vzpostavil sistem za kvantno distribucijo ključev (QKD) med več vladnimi vozlišči v Sloveniji in testno kvantno omrežje za napredne kvantne komunikacijske protokole med raziskovalnimi ustanovami v Ljubljani. Projekt vključuje sodelovanje z javnimi in industrijskimi partnerji ter usposabljanje ključnega osebja, mladih raziskovalcev in inženirjev na področju kvantne tehnologije. V okviru projekta bodo preizkušeni napredni kvantni komunikacijski protokoli, od merilnih naprav neodvisna kvantna distribucija ključev in distribucija zapletenosti na dolge razdalje, da bi dodatno povečali varnost implementacij kvantne distribucije ključev in pripravili podlago za prihodnje polnopravno kvantno komunikacijsko omrežje. Poleg tega bo projekt v tesnem stiku s pobudami za kvantno komunikacijsko infrastrukturo v sosednjih državah, da bi olajšali usklajevanje nacionalnih prizadevanj ter prihodnje čezmejne povezave in izvajanje vesoljskega segmenta EuroQCI.

Rezultati naših raziskav in razvoja prispevajo k varnejši in zaupanja vredni informacijski družbi.

Storitve, aplikacije in družbeno-ekonomski vidiki informacijske družbe

Uspešno poučevanje osnovnih digitalnih veščin zahteva pristop, ki temelji na potrebah in zmožnostih starejših. V okviru projekta DIGIBLEND (Izboljšanje digitalne pismenosti odraslih z inovativnim igrificiranim mešanim učenjem) smo nadaljevali razvoj inovativnega pristopa k poučevanju in usposabljanju na področju osnovnih digitalnih veščin za starejše. V letu 2022 smo razvili namizno igro za ocenjevanje znanja, ki kombinira znane učne elemente, ki temeljijo na igrar, z interaktivnim kombiniranim učenjem.



Slika 3: Načrt namizne igre za starejše

Pri projektu Athena sodelujemo z več drugimi odseki in direktorjevo pisarno. Cilj projekta je odstranjevanje ovir za zaposlovanje in karierno napredovanje raziskovalk, zmanjšanje neravnovesja med spoloma v procesih odločanja ter ustvarjanje kulturne spremembe, ki je potrebna, da bi se izognili spolni pristranskosti in diskriminatornim praksam. V ta namen smo izdelali načrt za enakost spolov (NES) in spremljamo njeno izvajanje. Za zagotovitev sistemskih institucionalnih sprememb pri projektu načrtujemo izvedbo ocene že obstoječih postopkov in praks v partnerskih organizacijah ter analizo nacionalnih zakonodaj in političnih okvirov. Vzpostavljamo vključujoč postopek sodelovanja, katerega cilj je po eni strani razumeti potrebe in želje zaposlenih na inštitutu, po drugi strani pa slednje izobraziti o izbranih temah, povezanih z enakovrednim obravnavanjem spolov. Pripravili smo tudi metodo z indikatorji za spremljanje izvedbe sprejetega načrta NES. V septembru 2022 je Laboratorij za odprte sisteme in mreže organiziral odmevno delavnico za tuje deležnike o enakosti spolov z zavedanjem raznolikosti do vključujoče organizacijske kulture. Delavnico smo izvedli v hibridni obliki in tako privabili 57 udeležencev.

V letu 2022 smo v sodelovanju s Centrom za prenos tehnologij in inovacij na Inštitutu "Jožef Stefan" uspešno zaključili projekt *Vrednotenje IL kot podlaga za predlog dolgoročno vzdržnega modela državnih pomoči za spodbujanje sodelovanja znanosti in gospodarstva*. Pri projektu, ki sta ga financirala Ministrstvo za znanost, šolstvo in šport ter ARRS, smo kvantitativno in kvalitativno analizirali kritične točke prenosa pravic intelektualne lastnine (IL) ter pripravili smernice za upravljanje s pravicami intelektualne lastnine za potrebe sodelovalnih razvojno-raziskovalnih projektov. Pripravljeni so bili tudi mednarodni primerjalni pregled urejanja sistema državnih pomoči, na podlagi omenjenega pregleda celostni sistem državne pomoči z vidika projektov, financiranih iz skladov evropske kohezijske politike, ter predlogi za spremembo pomoči države na mednarodni ravni, ki bodo implementirani za doseganje bolj učinkovitega sodelovanja med deležniki v heliksu znanja.

Laboratorij za odprte sisteme in mreže je aktiven član delovne skupine IEEE P2933 za standardizacijo interneta stvari na področju zdravstva. Člani laboratorija predsedujejo podskupini Trust and Identity (T&I SG) in sodelujejo pri delu podskupin za umetno inteligenco in strojno učenje ter načrtovanje inteligentnih sistemov. Pri pripravi standarda laboratorij vodi opredelitev metodologije razvoja, taksonomijo zasnove sistema in usklajevanje integracije rezultatov različnih podskupin. Hkrati povezujemo poglede EU in ZDA (tehnološki in regulativni) na zaupanje in identiteto v e-zdravju, pri tem pa v standard uvajamo izkušnje iz priprave arhitektur za pilote e-zdravja iz projektov e-SENS in CONCORDIA. V letu 2022 smo bili vključeni v dokončanje prvega osnutka standarda in pripravili prispevke za naslednje dele standarda: računalniški model zaupanja za klinično arhitekturo interneta stvari, medsebojna odvisnost med zaupanjem in identiteto ter evalvacija varnostnih vidikov referenčne klinične arhitekture interneta stvari.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Kaur, R., Gabrijelčič, D., Behavior segmentation of electricity consumption patterns: a cluster analytical approach, *Knowledge-based systems*, 2022, **251**, 109236
2. Jerman Blažič, B., Jerman Blažič, A., Cybersecurity skills among European high-school students: a new approach in the design of sustainable educational development in cybersecurity, *Sustainability*, 2022, **14**, 8, 4763
3. Joksimoski, B., Zdravevski, E., Lameski, E., Miguel Pires, I., José Melero, F., Puebla Martinez, T., Garcia, N., Mihajlov, M., Chorbev, I., Trajkovik, V., Technological solutions for sign language recognition: a scoping review of research trends, challenges, and opportunities, *IEEE access*, 2022, **10**, 40979-40998

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. 28. slovenski festival znanosti z mednarodno udeležbo, Znanost v vsakdanjem življenju, Ljubljana, 9.–15. 11. 2022, virtualno

MEDNARODNI PROJEKTI

- EIO-LAPD-JUST-AG-2018/JUST-JCOO-AG-2018; Evropski preiskovalni nalog - pravna analiza in dileme prakse v mednarodnem sodelovanju
European Commission, Directorate General for Justice and Consumers
prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič
- ERASMUS+; DigiBlend - Izboljšanje digitalne pismenosti odraslih z inovativnim kombiniranim učenjem s pomočjo iger
European Commission
dr. Martin Mihajlov
- H2020 - CONCORDIA; Competence na področju kibernetne varnosti za raziskave in inovacije
European Commission
dr. Tanja Pavleska
- H2020 - DE4A; Digitalna Evropa za vse
European Commission
doc. dr. Tomaž Klobučar
- H2020 - BD4OPEM; Masovni podatki za tržnico energetskih aplikacij na podlagi odprtih inovacij
European Commission
dr. Dušan Gabrijelčič
- H2020 - iFLEX; Pametni pomočniki za upravljanje prožnosti
European Commission
dr. Dušan Gabrijelčič
- H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič

- COST CA21107; Neenakosti pri delu v poznejših letih na novo definiranih z digitalizacijo
COST Association AISBL
dr. Martin Mihajlov

PROGRAM

- Tehnologije interneta prihodnosti: koncepti, arhitekture, storitve in družbeno-ekonomski vidiki
prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič

PROJEKTI

- Umetna inteligenca za kibernetno varnost
doc. dr. Tomaž Klobučar
- Vrednotenje IL kot podlaga za predlog dolgoročno vzdržnega obrazca državnih pomoči za spodbujanje sodelovanja znanosti in gospodarstva
prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič
- Umetna inteligenca za kibernetno varnost
Urad Vlade Republike Slovenije za informacijsko varnost
doc. dr. Tomaž Klobučar
- Vrednotenje IL kot podlaga za predlog dolgoročno vzdržnega obrazca državnih pomoči za spodbujanje sodelovanja znanosti in gospodarstva
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- Tanja Pavleska: Trust, identity and governance in the digital age. Predstavitve v okviru izvolitvenega postopka, 5. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Martin Mihajlov, vabljeni predavanje: Living Offline, Univerza v Zagrebu, Pravna fakulteta, Zagreb, Hrvaška, 4. 4. 2022 (1)
- Tomaž Klobučar, konferenca EEMA v okviru projekta DE4A, London, Velika Britanija, 7.-9. 6. 2022 (1)

- Dušan Gabrijelčič, skupščina projekta BD4OPM, Rogaška Slatina, 19.-21. 6. 2022
- Andrej Jerman Blažič, delavnica v okviru projekta DIGIBLEND, Stralsund, Nemčija, 12.-16. 9. 2022
- Borka Jerman Blažič, Enakost spolov z zavedanjem raznolikosti do vključujoče organizacijske kulture, okrogla miza v okviru projekta ATHENA, Ljubljana, 15. 9. 2022 (1)
- Dušan Gabrijelčič, sestanek projekta iFlex, Atene, Grčija, 26.-29. 9. 2022
- Tomaž Klobučar, pregled pilota v okviru projekta DE4A, Bruselj, Belgija, 6.-8. 10. 2022
- Andrej Jerman Blažič, sestanek projekta DIGIBLEND, Giulianova, Italija, 12.-14. 10. 2022
- Dušan Gabrijelčič, delavnica s pilotnimi uporabniki v okviru projekta iFlex, Šempeter pri Celju, 27. 10. 2022
- Tomaž Klobučar, konferenca Znanje in poslovni izzivi globalizacije v letu 2022, Celje, 17. 11. 2022 (1)
- Martin Mihajlov, vabljeni predavanje: Problematic Internet use and risky online behaviour, Univerza v Zagrebu, Pravna fakulteta, Zagreb, Hrvaška, 13. 12. 2022 (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

- doc. dr. Rok Bojanc*
- prof. dr. Borka Džonova Jerman Blažič, znanstveni svetnik
- dr. Dušan Gabrijelčič
- doc. dr. Tomaž Klobučar, vodja sam. laboratorija**
- dr. Martin Mihajlov
- dr. Živa Stepančič, odšla 1. 5. 2022*

Podoktorski sodelavci

- Ramanpreet Kaur, PhD., Indija
- dr. Samed Bajrić
- dr. Primož Cigoj
- dr. Andrej Jerman Blažič
- dr. Tanja Pavleska

Strokovni sodelavci

- Klemen Stanič, dipl. inž. rač. in inf. (VS), odšel 13. 10. 2022*
- Davud Topalović, BSc., BiH

Tehniški in administrativni sodelavci

- Tatjana Martun, dipl. ekon.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

- ATOS, Španija
- BOSA, Belgija
- Elektro Celje, Slovenija
- ELES, Slovenija

- Elektro Celje Energija, Slovenija
- ENGIE Ineo, Francija
- Engineering, Italija
- Fraunhofer FIT, Nemčija
- Hellenic Foundation for European and Foreign Policy, ELIEEP/ELIAMEP, Grčija
- Inštitut za korporativne varnostne študije, Slovenija
- ICTU, Nizozemska
- INESC-ID, Portugalska
- INTRACOM SA, Grčija
- IT-Forum, Danska
- Masarykova univerza, Brno, Češka republika
- Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Slovenija
- Ministrstvo za javno upravo RS
- Ministrstvo za šolstvo, znanost in šport RS
- Nuue APS, Danska
- ODT-e, Francija
- Raziskovalni inštitut CODE, Nemčija
- Rhenisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Nemčija
- Siemens SRL, Romunija
- Smart Com, Slovenija
- Thales, Francija
- Universidade Catolica Portuguesa, Portugalska
- Universitat Jaume I, Španija
- Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Španija
- University of Latvia, Latvija
- Univerza Middlesex, London, Velika Britanija
- Univerza sv. Cirila in Metoda, Skopje, Severna Makedonija
- Univerza v Ljubljani
- Univerza v Mariboru
- Univerza v Stockholmu, Švedska
- VTT, Finska

Osnovne dejavnosti Odseka za komunikacijske sisteme obsegajo raziskovanje, načrtovanje in razvoj heterogenih komunikacijskih, računalniških in senzorskih omrežij, brezžičnih tehnologij in komunikacijskih storitev naslednje generacije; zasnovanje novih postopkov za vzporedno in porazdeljeno reševanje računsko intenzivnih problemov na raznolikih visokozmogljivih računalniških arhitekturah in časovno občutljivih problemov v robnih napravah; ter integracijo senzorskih, komunikacijskih, računskih in podatkovnih tehnologij v podporo digitalizaciji in pametnim infrastrukturam. V okviru teh dejavnosti razvijamo in proučujemo nove metode in arhitekture, programska orodja in knjižnice, pilotske postavitve in eksperimentalna okolja.

Raziskovalno in razvojno delo na odseku poteka v okviru *Laboratorija za komunikacijske tehnologije (LKT)*, *Laboratorija za vzporedne in porazdeljene sisteme (LVPS)* in *Laboratorija za omrežene vgrajene sisteme (LOVS)*. Raziskovalno delo laboratorijev se vsebinsko dopolnjuje, kar se izraža predvsem pri izvajanju aplikativnih projektov.

Raziskovalne in razvojne dejavnosti *Laboratorija za komunikacijske tehnologije* so bile predvsem, vendar ne izključno, povezane s segmentom brezžičnega dostopa do komunikacijskih omrežij v prizemnih in satelitskih komunikacijah ter z upravljanjem radijskih in omrežnih virov v mobilnih celičnih sistemih. Raziskave so del raziskovalnega programa *Komunikacijska omrežja in storitve (P2-0016)* ter treh raziskovalnih projektov: J2-2507 *Z upoštevanjem informacij o okolju proti inteligentnim brezžičnim komunikacijam*, J2-3048 *Napredno modeliranje radijskih kanalov z žarkovno-optičnimi in numeričnimi brez mrežnimi metodami* ter J2-4461 *Teraherčni radijski valovi za zaznavanje in lokalizacijo v prihodnjih 6G komunikacijskih sistemih*. Poleg tega smo nadaljevali raziskave in sodelovanje z industrijo na področju elektroenergetskih omrežij, ki smo jih začeli v zadnjih letih, ter vzdrževali in izboljšali testno okolje LOG -a- TEC z novimi funkcijami.

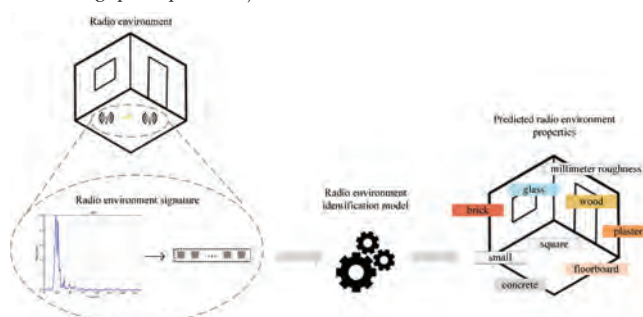
Modeliranje radijskih kanalov je pomemben del raziskovalnih dejavnosti *Laboratorija za komunikacijske tehnologije*. Ukvarjamo se z determinističnim modeliranjem radijskih kanalov v prizemnih komunikacijskih sistemih, zlasti za notranja okolja, in statističnim modeliranjem kanalov v satelitskih komunikacijskih sistemih. Med determinističnimi modeli kanalov se najpogosteje uporablja metoda sledenja žarkom, vendar metoda modelira le podmnožico znanih mehanizmov širjenja radijskega valovanja ter tako ne zagotavlja ustreznih modelov radijskih kanalov za komunikacije naslednje generacije. Zmanjšanje dejanskega geografskega območja radijskih celic in povečanje računske moči sta odprla možnost numeričnega reševanja temeljnih Maxwellovih enačb, ki smo jih raziskali v okviru projekta J2-3048 *Napredno modeliranje radijskih kanalov z žarkovno-optičnimi in numeričnimi brez mrežnimi metodami*. Proučevali smo sledenje radijskim žarkom v pravokotnih predorih. Izkazalo se je, da je metoda sledenja radijskim žarkom matematično enakovredna analitičnim modalnim metodam. Enakovrednost velja le za modeliranje odbojev z uporabo teorije slik, medtem ko drugi pristopi sledenja žarkom vnašajo sistemske napake. Uporaba sledenja žarkom s pristopom pošiljanja žarkov je lahko vprašljiva, vsaj če se uporablja označevanje žarkov, da bi se izognili napakam dvojnega štetja. Poleg znanih netočnosti poti smo kot najbolj problematične opredelili prej neobdelane nekonistentne žarke, zaradi katerih je raven signala znatno precenjena na razdaljah, večjih od 100 m. Ocenili smo napako in predlagali izboljšavo filtrov za dvojno štetje za zaznavanje nekonistentnih žarkov.

Inteligenca prihodnjih brezžičnih komunikacijskih sistemov temelji na poznavanju radijskega okolja, ki se oceni na podlagi lastnosti sprejetih signalov ter trenutno in v preteklosti dodeljenih omrežnih virov. V zvezi s tem smo proučevali brezžične komunikacijske sisteme, ki omogočajo napovedovanje značilnosti radijskega kanala z izkoriščanjem okoliških informacij, izmerjenih delnih informacij o stanju kanala (CSI) in informacij o radijskih vozliščih. Te raziskave so predmet projekta J2-2507 *Z upoštevanjem informacij o okolju proti inteligentnim brezžičnim komunikacijam*. V zvezi s tem smo kritično pregledali obstoječe brezžične komunikacijske tehnologije glede zavedanja okolja in njihove zmogljivosti



Vodja:

prof. dr. Mihael Mohorčič



Slika 1: Ugotavljanje lastnosti notranjega okolja z uporabo impulza odziva kanala (CIR) in pristopom strojnega učenja.

Razvijamo pristope za inteligentno integrirano zaznavanje okolja in komunikacije za prihodnje brezžične komunikacijske sisteme.

za ocenjevanje CSI. V prvih generacijah komunikacijskih sistemov je CSI na voljo le kot slabitev kanala, medtem ko se v skoraj vseh trenutno uporabljenih širokopasovnih radijskih tehnologijah CSI meri kot impulzni odziv kanala (CIR), vendar ta informacija na splošno ni na voljo zunaj komunikacijskih sistemov. Prav tako se CSI ocenjuje samo za kanal z aktivno komunikacijo, tehnologija novega radija (NR) pa ponuja možnost ocenjevanja CIR za neaktivne kanale in s tem možnost vzpostavitve okolijsko ozaveščenih brezžičnih komunikacij. Predlagali smo tudi arhitekturo omrežja, ki omogoča okolijsko ozaveščene brezžične komunikacije.

Ukvarjali smo se tudi s problemi integriranega zaznavanja in komunikacije, in sicer z ocenjevanjem 3D geometrije okolja in električnih lastnosti gradbenih elementov z izkoriščanjem impulznega odziva kanala (CIR). Zamisel predpostavlja, da je sprejeti radijski signal popačen zaradi interakcije z okoliškimi predmeti in tako vsebuje podpis radijskega okolja. Za obdelavo odbitih radijskih valov smo uporabili strojno učenje (ML), da bi pridobili znanje o materialih površin, ki omejujejo notranje okolje. Problem smo formalizirali kot nalogo klasifikacije v več razredov. Dobljeni rezultati kažejo, da je za nekatere kombinacije materialov v prostoru težko napovedati material posamezne površine brez upoštevanja materialov vseh drugih površin.

Ob izbruhu epidemije covid-19 smo dejavno sodelovali pri raziskavah, ki bi pomagale pri modeliranju intenzivnosti medosebnih stikov. Predlagali smo inovativne metode ocene bližine na podlagi sledi radijskega okolja, ki jo je posnel pametni telefon, ter opredelili parameter bližine. V ta namen smo razvili aplikacijo za pametne telefone in zaledne storitve. Rezultati so pokazali, da lahko sprejemljivo natančnostjo ocenimo bližino dveh naprav v smislu bližnje, srednje in daljne razdalje. Poleg tega smo raziskali omejitve pristopa, ki temelji na strojnem učenju in zaznava bližino dveh naprav na podlagi prstnih odtisov WiFi in BLE.

Prihodnje brezžične storitve bodo kot del funkcionalnosti potrebovale vhodne podatke o zaznanem okolju. Zato se v sistemih 6G predvideva soobstoj funkcionalnosti komunikacije, zaznavanja in lokalizacije v eni napravi. V zvezi s tem smo leta 2022 začeli izvajati projekt J2-4461 Teraherčni radijski valovi za zaznavanje in lokalizacijo v prihodnjih 6G komunikacijskih sistemih, katerega glavni cilj je proučiti, določiti in razviti nove modele kanalov, primerne za načrtovanje in vrednotenje skupne komunikacije, zaznavanja okolja in natančne lokalizacije v notranjih okoljih z uporabo komunikacij 6G v teraherčnem frekvenčnem pasu.

Laboratorij je tudi del projekta COST CA 20210 INTERACT *Intelligence-enabling radio communications for seamless inclusive interactions*. Njegov cilj je doseči znanstveni preboj z uvedbo novih metod načrtovanja in analize, da bi prihodnja radijska komunikacijska omrežja postala inteligentna, tj. ozaveščena, prilagodljiva in varčna, ter prispevati k ustvarjanju inteligentnih okolij. Sodelujemo v več delovnih skupinah.

Nadaljevali smo tudi raziskave interneta stvari (IoT), pri čemer smo se osredotočili na lokalizacijo in oceno lege v prostoru. Razvili smo dve novi metodi določanja razdalje iz faze sprejetega signala za brezžične tehnologije na podlagi standarda 6TISCH (IPv6 over TSCH mode of IEEE 802.15.4e). Predlog izboljšuje znane algoritme z zmanjšanjem števila zahtevanih faznih vzorcev, ne da bi se zmanjšala natančnost in občutljivost algoritma, hkrati pa povečuje energetska učinkovitost. Zasnovali smo tudi enotno krožno antensko polje z 12 enopolnimi antenami in RF stikali za izbiro aktivne antene za ocenjevanje smeri prihoda (DoA) signala za sisteme Bluetooth Lower Energy. Sistem smo preizkusili v delno nadzorovanem okolju in dosegli napako pri ocenjevanju smeri prihoda, ki je bila manjša od 1 stopinje. Eksperimentalno testno okolje LOG-a-TEC smo razširili s funkcijami, ki podpirajo eksperimente s tehnologijo BLE.

Na področju obdelave signalov smo nadaljevali obsežne statistične analize signalov, pridobljenih s triletnimi meritvami s satelita Alphasat na frekvencah 19,7 GHz in 39,4 GHz. Analizirali smo presih zaradi migljanja v troposferi in ga primerjali z modelom ITU-R P.618-13.

Z dramatičnimi premiki k trajnostnim in obnovljivim virom energije v ospredje prihajajo raziskovalne teme, povezane z infrastrukturo elektroenergetskega sistema. Na tem področju smo obravnavali načine učinkovite identifikacije topologije nizkonapetostnega omrežja, poznavanje katere je prvi pogoj za zagotovitev ustreznih prenosnih kapacitet ob naraščanju obremenitev in večanju števila porazdeljenih virov energije. Poleg rekonstrukcije neznane topologije iz meritev pametnih števec smo razvili tudi metodi za aproksimacijo neznanih linijskih impedanc in zaznavanje nelegalnih odvzemov energije.

V sodelovanju s sodelavci Odseka za teoretično fiziko F1 in Odseka za fiziko trdnih snovi F5 smo razvijali kriptografsko varne generatorje naključnih števil. Dejavnosti so del ciljnega raziskovalnega programa, ki ga delno financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije in delno pristojna vladna agencija. V letu 2022 smo organizirali javno delavnico o kriptografsko varnih generatorjih naključnih števil, njihovi standardizaciji in testiranju. Večina opravljenih raziskav na tem področju je na zahtevo naročnikov zaupna.

Del dejavnosti laboratorija je bil namenjen učinkovitemu upravljanju radijskih virov v prihodnjih komunikacijskih sistemih z uporabo arhitekture radijskega dostopnega omrežja v oblaku (C-RAN). Glavni cilj je zagotoviti storitve, ki izpolnjujejo zahteve QoS posameznih uporabnikov, hkrati pa zagotavljajo učinkovito uporabo omrežnih virov. Analizirali smo algoritem za dinamično dodeljevanje virov v heterogenem omrežju C-RAN, ki omogoča optimalno uporabo virov v mobilnih komunikacijskih omrežjih.

V Laboratoriju za vzporedno in porazdeljeno računanje smo nadaljevali razvoj lokalnih brez mrežnih metod za numerično reševanje sistemov parcialnih diferencialnih enačb (PDE). V letu 2022 smo razvili izvirni hp-adaptivni postopek, ki temelji na uveljavljenem iterativnem reši-oceni-označi-izboljšaj pristopu. Na primerih dvo- in trodimenzionalnih kontaktnih problemov smo pokazali, da razvita hp-adaptivna metoda izboljša rezultate obstoječih metod. V sklopu hp-adaptivnosti smo predstavili tudi nov indikator napake IMEX (Implicit-Explicit), ki predpostavlja, da je napaka numerične rešitve povezana z razliko med implicitno pridobljeno rešitvijo in lokalno eksplicitno reevalvacijo PDE z višjim redom aproksimacije. Pokazali smo, da IMEX v vseh obravnavanih primerih ustrezno opiše globalno obnašanje napake rešitve. V kontekstu diskretizacije računskih domen smo nadaljevali raziskave namenskih algoritmov za postavitve razpršenih točk, primernih za brez mrežno analizo, kjer smo razvili nov hierarhični algoritem za brez mrežno diskretizacijo modelov CAD (computer-aided design). Na področju aproksimacije diferencialnih operatorjev smo opazili več lokalnih minimumov v odvisnosti natančnosti numerične rešitve od velikosti podporne domene. Opažanja smo povezali s prostorsko odvisnostjo napake aproksimacije. Za boljšo računsko učinkovitost brez mrežnih metod smo predlagali hibridno razpršeno-uniformno diskretizacijo domene. Razvili smo tudi brez mrežni rešitveni postopek za simulacijo rasti kristalnih zrn med strjevanjem.

Nadaljevali smo sodelovanje z Geološkim zavodom Slovenije in Oddelkom za geografijo Filozofske fakultete Univerze v Ljubljani pri projektu ARRS J1-2479 *Pretekle podnebne spremembe in poledenitev na stičišču Alp in Dinaridov*. Pripravili smo digitalni višinski mapi za območje Snežnika in Trnovskega gozda. Za obe območji smo zgradili klimatološka modela ter ju prek optimizacijskih postopkov uglasili. S klimatološkima modeloma ter simulacijskim okoljem PISM smo simulirali obseg ledenikov, kjer smo ujeli relativno dobro ujemanje z ugotovitvami s terena.

Nadaljevali smo naše delo na projektu ARRS J7-2599 *Vpliv razpada masovne populacije invazivne rebrače na mikrobno združbo obalnega morja – od molekul do ekosistema – celosten interdisciplinarni pristop*. V letu 2022 smo dopolnili naše delo na novem populacijskem modelu za rast mikroorganizmov, ki temelji na modelih Monoda in Luedeking-Pireta. Model smo razširili s tem, ko smo ga posplošili na poljubno število starostnih skupin mikroorganizmov, kar je vodilo v razvoj zveznega modela v obliki von Foersterjeve enačbe. S tem nadgrajenim modelom smo uspešno opisali več eksperimentov, ki spremljajo mikrobiološki razpad biomase.

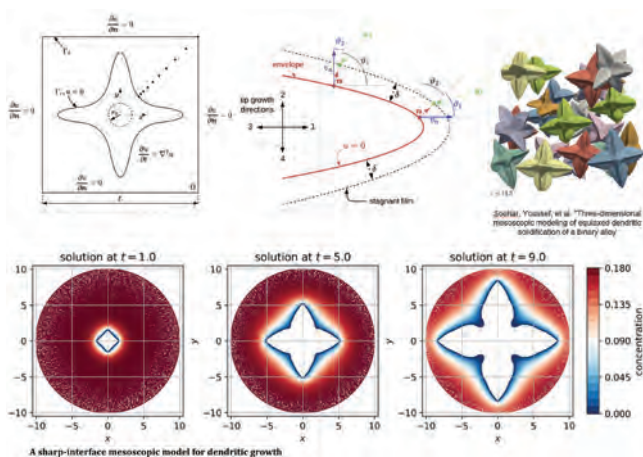
V sodelovanju s Fakulteto za elektrotehniko (FE) in z laboratorijem za komunikacijske tehnologije smo nadaljevali raziskovalno delo v sklopu projekta J2-3048 *Advanced modelling of radio channels using ray-optical and numerical meshless methods*. Posplošili smo metodo končnih diferenc v časovni domeni (Finite Difference Time Domain (FDTD) method) na brez mrežno formulacijo. Pri tem smo uporabili metodo končnih diferenc, generiranih z radialnimi baznimi funkcijami (Radial Basis Function generated Finite Differences (RBF-FD) method), kar je obetavno za natančno simulacijo elektromagnetnih polj na kompleksnih domenah. Preverili smo, da lahko na mreži naša metoda reproducira rezultate metode končnih diferenc v časovni domeni, in nadalje raziskali lastnosti vpeljane metode s poudarkom na stabilnosti in disperziji.

V sodelovanju s Fakulteto za šport in Laboratorijem za strojno inteligenco na Fakulteti za elektrotehniko smo nadaljevali delo na projektu J3-3115 AiCoachU *Vadba z umetno inteligenco*. Na podlagi s partnerji usklajenimi zahtevami smo razvili senzorsko platformo, ki sloni na senzorju MCU STM32L476JG. Komunikacija s senzorjem je izvedena prek vodil I2C in SPI, kjer smo dodali SD kartico za lokalno shrambo. Brežično povezljivost smo zagotovili prek BLE. Razvili smo programsko kodo za senzorsko napravo (firmware) in mobilno Android aplikacijo za nadzor meritev, kjer smo za upravljanje naprav in prenos podatkov razvili poseben komunikacijski protokol. Razvili in implementirali smo tudi algoritem za sinhronizacijo več senzorjev.

V okviru projekta N2-0171 *Teorija grafov in kombinatorično znanstveno računanje* smo s Fakulteto za računalništvo in informatiko (FRI), InnoRenew (SI) in Alfréd Rényi Institute of Mathematics (HU) razvili računalniško okolje za implementacijo algoritmov za reševanje problemov s področja teorije grafov. Okolje smo uporabili pri udeležbi na tekmovanju v reševanju težkih kombinatoričnih problemov, kjer nam je uspelo rešiti vse zastavljene probleme (kar je uspelo le dvema od petih ekip). V nadaljevanju smo okolje uporabili pri razvoju novega hitrega algoritma za iskanje k-klik v k-partitnih grafih.

V sodelovanju z oddelkom F1 in Laboratorijem za komunikacijske tehnologije smo nadaljevali delo pri projektu N2-0171 *Kriptografsko varen generator naključnih števil*. Raziskali smo stanje in trend razvoja operacijskih sistemov ter izbrali ciljne operacijske sisteme za razvoj knjižnice za generiranje naključnih števil iz tipal, ki so

Razvili smo hp-adaptivno brez mrežno metodo, vključno z izvirnim IMEX indikatorjem napake.



Slika 2: Brez mrežna simulacija rasti kristalnih zrn med strjevanjem

tipično prisotna na mobilnih napravah. Nadalje smo izbrali najbolj perspektivna tipala, katerih izhod vsebuje veliko naključnosti, to so kamera, mikrofoni in pospeškometer. Razvili smo tudi demonstracijsko aplikacijo, ki generira naključna števila iz izbranih tipal na operacijskih sistemih Android in iOS.

Na področju aplikativnih raziskav smo nadaljevali razvoj DiTeR – modularne programske opreme za dinamično ocenjevanje toplotnega stanja (DTR), namenjene napovedi toplotnega stanja električnih daljnovodov, ki se operativno uporabljajo v družbi ELES, d. o. o., po vsem svetu pa jo trži podjetje Operato. V letu 2022 smo nadaljevali z vzdrževanjem sistema in izvedli pilotno namestitev sistema za prenosnega operaterja LitGrid v Litvi.

V letu 2022 smo nadaljevali projekt TrafoFlex – *Napreden koncept učinkovite izrabe transformatorjev z uporabo tehnologije DTR*. V okviru projekta smo razvili nov večmasni model, ki poleg jedra in olja modelira tudi transformatorsko postajo. Model smo razširili z upoštevanjem vremenskih vplivov tako, da poleg standardnih mehanizmov prenosa toplote opiše tudi zunanje vplive vetra, sončnega obsevanja in padavin. Modelske parametre smo določili na meritvah, ki so bile v okviru projekta merjene na 19 transformatorskih postajah, in pokazali, da razviti model zadovoljivo opiše temperaturo transformatorskega olja.

Za diagnostično-analitski center (DAC) ELES smo uspešno končali projekt *Napovedovanje vzdrževalnih posegov regulacijskega stikala z napredno analitiko*, kjer smo razvili model za napovedovanje obrablenosti regulacijskih stikal ter ga implementirali v operacijskem okolju DAC. Razvita programska oprema se uporablja za napovedovanje vzdrževalnih posegov do enega leta vnaprej in je v operativni rabi od aprila 2022.

V okviru razpisa OPUS in programa Weave 2021/43/I/ST3/00228 smo v sodelovanju z Univerzo v Wrocławu začeli projekt N2 – 0275 *Inercijski učinki na tok tekočine v kompleksnih poroznih medijih*. Projekt se osredotoča na sistematično numerično modeliranje toka skozi kompleksne porozne medije s ciljem boljšega upoštevanja hidravlične vijugavosti in ovrednotenjem pravilnosti Carman-Kozenyevskega zakona. Pri projektu bomo proučevali tok skozi fraktalne preproge Sierpińskega, naključne porozne medije in realistične modele zbitih nehomogenih zrn. Cilj naše skupine v okviru projekta je razvoj prilagodljivega brez mrežnega postopka za simulacijo toka skozi kompleksne geometrije.

Raziskave v **Laboratoriju za omrežne vgrajene sisteme** so usmerjene v digitalizacijo pametnih infrastruktur z namenom izboljšanja njihove dostopnosti, uporabnosti in učinkovitosti rabe virov. Pri tem nadgrajujemo obstoječa znanja ter rešitve obdelave signalov in modeliranja časovnih vrst z vidika odločanja z uporabo različnih tehnik umetne inteligence, kot so predstavitveno učenje, globoko učenje, gručenje in razvrščanje.

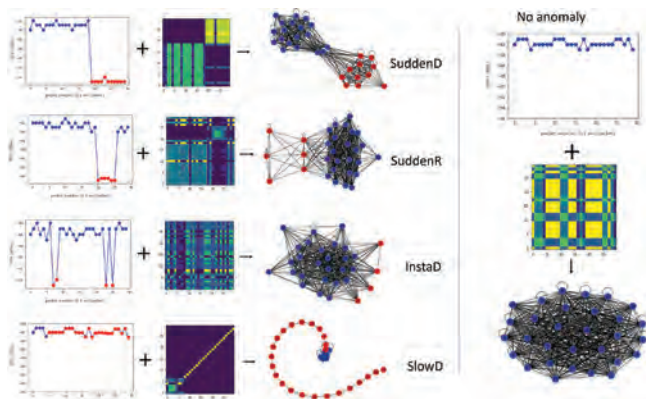
V okviru raziskovalnega programa *Komunikacijska omrežja in storitve* (P2-0016) smo nadaljevali s proučevanjem in prilagajanjem metod strojnega in globokega učenja za napredno upravljanje radijskih virov na podlagi podatkovnega pristopa. Poudarek je bil na prenesenem učenju, samonadzorovanem učenju, razložljivi umetni inteligenci in na alternativnih tehnikah reprezentacije podatkov v časovnih vrstah, kot so podokna in grafi. Poleg pogosto uporabljenih tehnik zmanjševanja dimenzionalnosti podatkov v vrstah na najpomembnejše značilnosti za

Kot prvi smo izvedli analizo tehnik na podlagi slikovnih predstavitev podatkov v časovnih vrstah za odkrivanje anomalij v brezžičnih omrežjih z uporabo pojavitvenih diagramov in Gramovih kotnih polj za binarno in večrazredno razvrščanje ter predlagali novo arhitekturo globoke nevronske mreže za razlikovanje med anomalijami na brezžičnih povezavah.

prepoznavanje in razvrščanje vzorcev smo nadaljevali proučevanje metod za razširjanje dimenzionalnosti z namenom izboljšanja prepoznavanja anomalij in motivov v podatkovnih časovnih vrstah. Pri tem smo se zlasti posvetili metodam Gramovih kotnih polj (angl. Gramian angular fields) in pojavitvenih diagramov (angl. recurrence plots) za predstavitev podatkov časovnih vrst v slikovni obliki za odkrivanje anomalij na brezžičnih povezavah.

Vse večja kompleksnost modelov strojnega in globokega učenja, ki se uporabljajo za optimizacijo brezžičnih komunikacijskih omrežij s pomočjo metod umetne inteligence, se kaže tudi v povečani porabi energije v komunikacijskih omrežjih in s tem povezanih klimatskih vplivih. To je spodbudilo naše raziskave o vidikih trajnosti in energetske učinkovitosti modelov strojnega učenja in privedlo do razvoja nove arhitekture globokega učenja za lokalizacijo na podlagi odtisa radijskega signala v zaprtih prostorih.

Nadaljevali smo tudi razvoj in proučevanje postopkov avtomatizacije življenjskega cikla pametnih infrastruktur s pomočjo umetne inteligence. Sistematično smo analizirali fazi začetne postavitve in delovanja pametne infrastrukture, pri čemer smo prikazali prednosti metod brezstične začetne namestitve in konfiguracije, avtomatizacije s pomočjo glasovnih pomočnikov in rešitev DevOps z uporabo modelov umetne inteligence, ter samodejnega zaznavanja napak in nepravilnosti. Identificirali smo vrsto izzivov za vpeljavo rešitev pametnih infrastruktur v manjša delovna okolja z uporabo lokalnih računskih gruč. Razvili smo rešitev Kubitect, ki temelji



Slika 3: Transformacija in klasifikacija signala iz časovne vrste v graf

izključno na odprtokodnih tehnologijah, omogoča lokalno uvajanje, razširljivost in nadgradnjo računskih gruč na enem ali več fizičnih strežnikih in podpira uporabniku prijazno konfiguracijo z uporabo deklarativnega jezika.

Poleg dela na raziskovalnem programu smo v letu 2022 uspešno zaključili projekta Obzorja 2020 RESILOLOC in Fed4FIRE+, nadaljevali raziskovalno delo pri projektu Obzorja 2020 BD4OPEM ter začeli nov projekt Obzorja Evropa MSCA TimeSmart.

V zadnjem letu projekta RESILOLOC (Resilient Europe and Societies by Innovating Local Communities) je bil naš poudarek na uporabi nevsiljivega zaznavanja prisotnosti ljudi in vzorcev gibanja množic, ki ohranja zasebnost uporabnikov. Temelji na brezžičnih tehnologijah Bluetooth in WiFi ter izkorišča njuna sporočila za upravljanje omrežja, ki jih oddajajo osebne naprave. Predlagano rešitev smo umerili s pomočjo označenega javno dostopnega nabora podatkov, jo intenzivno preizkušali in potrdili z meritvami v nadzorovanem ruralnem in delno nadzorovanem notranjem okolju, ter njeno delovanje prikazali v okviru vaje v nenadzorovanem urbanem okolju v mestu Catania.

V projektu BD4OPEM (Big Data for Open innovation Energy Marketplace) smo v letu 2022 zaključili razvoj in začetno testiranje podatkovno zasnovanih storitev za: simulacije motenj v prenosnem in distribucijskem omrežju, združevanje prilagodljivosti, upravljanje z energijo na ravni gospodinjstev oziroma lokalnih skupnosti ter oceno povpraševanja in ponudbe energije. Začeli smo tudi že z dejavnostmi polne integracije zasnovanih storitev v t. i. tržnico energetske storitev. Namen teh podatkovno podprtih storitev je učinkovito in samodejno upravljanje s porazdeljenimi obnovljivimi viri in bremenami za zmanjšanje vršnih vrednosti in nihanja pri prenosu in distribuciji ter optimizaciji stroškov pri porabi energije.

Oktober 2022 smo začeli projekt HE MSCA TimeSmart, v okviru katerega bo podoktorski sodelavec dr. Jernej Hribar raziskoval uporabnost nove metrike starost informacije (angl. Age of Information, AoI) v pametnih energetskih omrežjih (angl. smart grids). Medtem ko je bila metrika sprejeta kot dragoceno orodje za merjenje časovne učinkovitosti določenega sistema, sta njena praktična vrednost in vpliv na delovanje sistema v realnem času še pretežno neraziskana. V okviru projekta TimeSmart si bomo prizadevali to popraviti z uporabo metrike v sistemu, v katerem časovna informacija zbranih podatkov, ki se trenutno meri le prek zakasnitev in tresenja zakasnitve, močno vpliva na njegovo upravljanje in nadzor. Metrika AoI namreč ponuja nov pogled na to, kako naj sistem zbira in obdeluje informacije, saj takšne odločitve temeljijo tudi na kontekstu obdelanih informacij, torej njihovi semantični naravi. Po drugi strani pa lahko ta pristop ponudi tudi inovativen način za izboljšanje učinkovitosti oskrbe z obnovljivo električno energijo in upravljanja s porabo z izkoriščanjem razpoložljive robne infrastrukture.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. R. Novak, Inconsistent rays in propagation prediction by ray launching in rectangular tunnels, *IEEE access*, 2022, 10, 122548-122559, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3223868
2. A. Švigelj, A. Hrovat, T. Javornik, User-centric proximity estimation using smartphone radio fingerprinting, *Sensors*, 2022, 22, 15, 5609-1-5609-17, DOI: 10.3390/s22155609
3. M. Depolli, J. Slak, G. Kosec, Parallel domain discretization algorithm for RBF-FD and other meshless numerical methods for solving PDEs, *Computers & Structures*, 2022, 264, 106773, DOI: 10.1016/j.compstruc.2022.106773
4. E. Merdjanovska, A. Rashkovska, Comprehensive survey of computational ECG analysis: databases, methods and applications, *Expert systems with applications*, 2022, 203, 117206, DOI: 10.1016/j.eswa.2022.117206
5. A. Rashkovska, M. Jančič, M. Depolli, J. Kosmač, G. Kosec, Uncertainty assessment of dynamic thermal line rating for operational use at transmission system operators, *IEEE transactions on power systems*, 2022, 37, 6, 4642-4650, DOI: 10.1109/TPWRS.2022.3144740
6. J. Hribar, A. Marinescu, A. Chiumento, and L. DaSilva, Energy Aware Deep Reinforcement Learning Scheduling for Sensors Correlated in Time and Space, *IEEE Internet of Things Journal*, 2022, 9, 9, 6732-6744

Nagrade in priznanja

1. Blaž Bertalanič, Gregor Cerar, Carolina Fortuna, Halil Yetgin: Student Best Paper Award, Bologna, Italija, WiMob 2021, *A Deep Learning Model for Anomalous Wireless Link Detection*.
2. Aleksandra Rashkovska Koceva, Roman Trobec: Odlični v znanosti 2021, ARRS, *Personalizirano vodenje skritih temperaturnih spremenljivk pri terapevtskem hlajenju kolena v realnem času*.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. COST CA18203; ODIN - Optimizacija načrtovanja za preverjanje
COST Association AISBL
dr. Gregor Kosec
2. COST CA20120 - INTERACT; Omogočanje inteligentnih radijskih komunikacij za vseobsežne interakcije brez zaznavanja prekinitev
COST Association AISBL
prof. dr. Tomaž Javornik
3. H2020 - Fed4FIREplus; Federacija za FIRE plus - Federacija za raziskovanje in eksperimentiranje v internetu plus
European Commission
prof. dr. Mihael Mohorčič
4. H2020 - RESILO; Odporna evropska družba z inovativnimi lokalnimi skupnostmi
European Commission
prof. dr. Mihael Mohorčič
5. H2020 - BD4OPEM; Masovni podatki za tržnico energetskih aplikacij na podlagi odprtih inovacij
European Commission
prof. dr. Mihael Mohorčič
6. Povezan algoritem razvrščanja in usmerjanja za industrijske aplikacije v brezžičnih omrežjih
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Andrej Hrovat
7. Lokalizacija v zaprtih prostorih podprta s strojnim učenjem
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
dr. Klemen Bregar
8. OE - TimeSmart; Pravočasnost informacij v pametnih energetskih omrežjih
European Commission
prof. dr. Mihael Mohorčič

PROGRAMA

1. Komunikacijska omrežja in storitve
prof. dr. Mihael Mohorčič
2. Vzporedni in porazdeljeni sistemi
dr. Gregor Kosec

PROJEKTI

1. Pretekle podnebne spremembe in poledenitev na stičišču Alp in Dinaridov
dr. Gregor Kosec

OBISKI

1. Dawid Strzelczyk, Univerza Wrocław, Poljska, 28. 11.-9. 12. 2022
2. Milan Mladen, Univerza v Banja Luki, Bosna in Hercegovina, 7.-10. 12. 2022
3. Želimir Maletić, Univerza v Banja Luki, Bosna in Hercegovina, 7.-10. 12. 2022
4. Maciej Matyka, Univerza Wrocław, Poljska, 1.-3. 12. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. dr. Carolina Fortuna: Anomaly detection in wireless networks, 10. 11. 2022
2. mag. Mitja Jančič: Hp-adaptivni rešitveni postopek z uporabo brezžičnih metod, 5. 10. 2022
3. dr. Arsim Kelmendi: Statistical Analysis of Alphasat Satellite Propagation Measurements at Ka and Q Bands in Ljubljana, 31. 8. 2022
4. dr. Matjaž Depolli: Predstavitev projekta ELES-NPR, 15. 6. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Arsim Kelmendi, Konferenca EUCAP 2022, 27. 3.-1. 4. 2022, Madrid, Španija (1)
2. Mitja Jančič, Nika Mlinarič, Miha Mohorčič, Andrej Kolar Požun, Aleksandra Rashkova Koceva, Miha Rot, Blaž Rojč, Filip Strniša, Konferenca MIPRO 2022, 25.-27. 5. 2022, Opatija, Hrvaška (7)

2. Vpliv razpada masovne populacije invazivne rebrače na mikrobnno združbo obalnega morja -od molekul do ekosistema - celosten interdisciplinarni pristop
dr. Gregor Kosec
3. Teorija grafov in kombinatorično znanstveno računalništvo
dr. Matjaž Depolli
4. AiCoachU - Vadbna z umetno inteligenco
dr. Gregor Kosec
5. Z upoštevanjem informacij o okolju proti inteligentnim brezžičnim komunikacijam
prof. dr. Aleš Švigelj
6. Napredno modeliranje radijskih kanalov z žarkovno-optičnimi in numeričnimi brezžičnimi metodami
prof. dr. Tomaž Javornik
7. Teraherčni radijski valovi za zaznavanje in lokalizacijo v prihodnji 6G komunikacijskih sistemih
doc. dr. Andrej Hrovat
8. Kriptografsko varen generator naključnih števil
dr. Matjaž Depolli
9. Sporazum o sodelovanju pri razvoju in trženju dinamičnega termičnega modela za ocenjevanje prenosne zmogljivosti daljnovidov
Elektroinštitut Milan Vidmar
dr. Gregor Kosec
10. Kriptografsko varen generator naključnih števil
Urad Vlade Republike Slovenije za varovanje tajnih podatkov
dr. Matjaž Depolli
11. CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
dr. Matjaž Depolli

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Programska oprema za DTR
ELES, d. o. o.
dr. Gregor Kosec
2. Napovedovanje vzdrževalnih posegov regulacijskega stikala z naprednoanalitiko
ELES, d. o. o.
dr. Gregor Kosec
3. Razvojno raziskovalna storitev za projekt TRAFOFLEX
Operato, d. o. o.
dr. Gregor Kosec

3. Matjaž Depolli, Viktor Cvrtila, Konferenca MIPRO 2022 (virtualno), 25.-27. 5. 2022, Opatija, Hrvaška (2)
4. Andrej Hrovat, Mihael Mohorčič, Miha Mohorčič, RESILO Consortium meeting and Trial Event, 20.-24. 9. 2022, Catania, Italija
5. Matjaž Depolli, Alfréd Rényi Institute of Mathematics, 26.-27. 5. 2022, Budimpešta, Madžarska (1)
6. Klemen Bregar, SEACOMP, Carlsbadm ZDA, 28. 5.-10. 6. 2022
7. Mitja Jančič, Gregor Kosec, Andrej Kolar Požun, Miha Rot, Filip Strniša, Konferenca SpliTech 2022, 4.-9. 7. 2022, Bol, Hrvaška (3)
8. Mihael Mohorčič, BD4OPEM KER Follow up meeting, 14.-17. 9. 2022, Göteborg, Švedska
9. Mitja Jančič, 6. Konferenca ICASP, 19.-25. 6. 2022, Le Bischenberg, Francija (1)
10. Blaž Bertalančič, Konferenca 11th edition of IoT Week, 20.-24. 6. 2022, Dublin, Irska (1)
11. Mitja Jančič, Andrej Kolar Požun, Gregor Kosec, Rot Miha, Filip Strniša, Konferenca SpliTech 2022, 4.-9. 7. 2022, Bol, Hrvaška (3)
12. Aleš Švigelj, Konferenca CoBCom, 12.-14. 7. 2022, Gradec, Avstrija (1)
13. Grega Morano, Poletna šola SLICES-SC, 18.-22. 7. 2022, Volos, Grčija
14. Blaž Bertalančič, Andrej Hrovat, Tomaž Javornik, Konferenca BalkanCom 2022, 21.-24. 8. 2022, Sarajevo, Bosna in Hercegovina (2)
15. Filip Strniša, Konferenca CST - Conference on Computational Structures Technology, 22.-26. 8. 2022, Montpellier, Francija (1)
16. Ljupcho Milosheski, IEEE SPS and EURASIP Summer School, 4.-9. 9. 2022, Banja Luka, Bosna in Hercegovina
17. Tomaž Javornik, Technical Meeting COST IC 20120 INTERACT, 18.-23. 9. 2022, Valencia, Španija
18. Blaž Bertalančič, Grega Morano, Konferenca ERK 2022, 19. 9. 2022, Portorož (2)
19. Matjaž Depolli, Konferenca MATCOS-22, 12.-15. 10. 2022, Koper (1)
20. Din Mušič, Konferenca CloudAM 2022, 6.-9. 12. 2022, Vancouver, ZDA (1)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Andrej Čampa*
2. dr. Matjaž Depolli
3. dr. Carolina Fortuna
4. Ke Guan, PhD. Kitajska, znanstveni svetnik
5. Jernej Hribar, PhD., Irska
6. doc. dr. Andrej Hrovat
7. prof. dr. Tomaž Javornik, znanstveni svetnik
8. dr. Arsim Kelmendi*
9. dr. Gregor Kosec
10. prof. dr. Andrej Lipej*, znanstveni svetnik
11. **prof. dr. Mihael Mohorčič, znanstveni svetnik - vodja odseka**
12. doc. dr. Roman Novak
13. doc. dr. Aleksandra Rashkovska Koceva
14. prof. dr. Aleš Švigelj, strokovni sekretar odseka

Podoktorski sodelavci

15. dr. Klemen Bregar
16. dr. Gregor Cerar
17. dr. Sebastijan Mrak
18. dr. Filip Strniša

Mlajši raziskovalci

19. Blaž Bertalanč, mag. inž. el.
20. Marko Hudomalj, mag. inž. el.
21. Mitja Jančič, mag. inž. str.
22. Andrej Kolar - Požun, mag. fiz.
23. Ljupcho Milosheski, Msc., Makedonija
24. Grega Morano, mag. inž. el.
25. Miha Rot, mag. fiz.
26. Aleš Simončič, mag. inž. el.
27. Denis Sodin, mag. inž. el.

Strokovni sodelavci

28. Viktor Cvrtila, mag. mat.
29. Nika Mlinarič Hribar, mag. fiz.
30. Miha Mohorčič, dipl. inž. rač. in inf.
31. Din Mušič, dipl. inž. rač. in inf. (UN)
32. Blaž Rojc, mag. inž. rač. mat.
33. Miha Smolnikar, univ. dipl. inž. el.

Tehniški in administrativni sodelavci

34. Polona Anžur, dipl. ekon.
35. *Tomaž Krištofelc, 1. 10. 2022 razporeditev v odsek U1*
36. *Tamara Matevc, univ. dipl. lit. komp. in fil., 1. 9. 2022 razporeditev v odsek K8*
37. Marko Mihelin*, univ. dipl. inž. el.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Alfréd Rényi Inštitut za matematiko, Budimpešta, Madžarska
2. ATOS, Madrid, Španija
3. Balkan Institute of Labor and Social Policy, Sofija, Bolgarija
4. Beijing Jiaotong University, Peking, Kitajska
5. ComSensus, d. o. o., Dob, Slovenija
6. Czech Technical University Prague, Praga, Češka
7. Elektro Celje, Celje, Slovenija
8. Elektro Gorenjska, Kranj, Slovenija
9. Elektroinštitut Milan Vidmar (EIMV), Ljubljana, Slovenija
10. ELES, d. d., Ljubljana, Slovenija
11. Engineering Ingegneria Informatica S.p.a., Rim, Italija
12. Estabanell y pahisa energia SA, Granollers, Španija
13. Fraunhofer Institute for Material Flow and Logistics, Frankfurt, Nemčija
14. Fundacion Tecnalia Research & Innovation, Derio Bizkaia, Španija
15. Grid Instruments, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
16. IES Solutions, Tremestieri Etneo, Italija
17. iMe Cor, d. o. o., Sežana, Slovenija
18. Imec, Eindhoven, Nizozemska
19. INOV, Lizbona, Portugalska
20. Istituto di sociologia internazionale di Gorizia ISIG, Gorica, Italija
21. Interactive Wear AG, Starnberg, Nemčija
22. INTRACOM, Peania, Grčija
23. Kahlert School of Computing, University of Utah, ZDA
24. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana, Slovenija
25. NETIS, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
26. NIL, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
27. Nuvve Denmark, Kopenhagen, Danska
28. Operato, d. o. o., Maribor, Slovenija
29. Politehniška univerza Barcelona, Barcelona, Španija
30. Resilience Advisors LTD, Worcester, Velika Britanija
31. Ruder Bošković Institute, Zagreb, Hrvaška
32. SFERA IT STORITVE, d. o. o., Maribor, Slovenija
33. Sustainable Innovation I Sverige, Stockholm, Švedska
34. Tavistock Institute of Human Relations (TIHR) London, Velika Britanija
35. Telekom Slovenije, d. d., Ljubljana, Slovenija
36. Trinity College Dublin, Dublin, Irska
37. Univerza Črne gore, Fakulteta za elektrotehniko, Podgorica, Črna gora
38. Univerza Mälardalen, Västerås, Švedska
39. Univerza RWTH Aachen, Aachen, Nemčija
40. Univerza Sorbona, Pariz, Francija
41. Univerza v Antwerpnu, Antwerpen, Belgija
42. Univerza v Atenah NKUA, Atene, Grčija
43. Univerza v Banja Luki, Fakulteta za elektrotehniko, Bosna in Hercegovina
44. Univerza v Bologni, Bologna, Italija
45. Univerza v Firencah, Firenze, Italija
46. Univerza v Gentu, Gent, Belgija
47. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
48. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
49. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
50. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, Slovenija
51. Univerza v Vroclavu, Vroclav, Poljska
52. Uprava RS za zaščito in reševanje, Ljubljana, Slovenija
53. Vrije Universiteit Brussel, Bruselj, Belgija
54. We Plus, Torino, Italija
55. Odit-e, Meylan, Francija

Osnovne raziskave Odseka za računalniške sisteme obsegajo razvoj zmogljivih optimizacijskih algoritmov, inteligentne obdelave velikih količin podatkov, učinkovitega upravljanja in vizualizacije podatkov ter prilagodljivih računalniških struktur za hitrejša in zanesljivejša izvajanja algoritmov. Pozornost namenjamo samonastavljivim sistemom, modeliranju ter optimiranju kompleksnih, dinamičnih in nedeterminističnih sistemov. V okviru navedenih raziskav razvijamo aplikacije na področjih proizvodnje, transporta, bioinformatike, prehrane, zdravja in medicine. Odsek vzdržuje visoko raven aktualnega znanja z raziskovalnih področij ter ima vzpostavljene povezave in sodelovanja z drugimi akademskimi institucijami in industrijo.



Vodja:
prof. dr. Gregor Papa

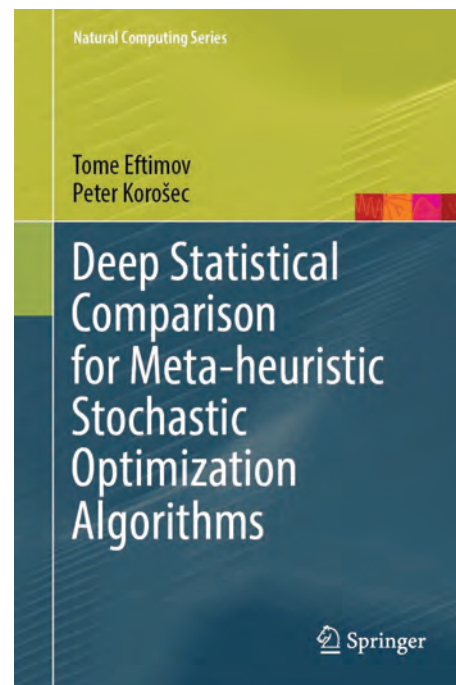
V letu 2022 smo nadaljevali delo na raziskovalnem programu (Računalniške strukture in sistemi – P2-0098) v okviru ARRS. Osredotočamo se na področja raziskav, ki so tesno povezana z rekonfigurabilnimi sistemi, in sicer: zanesljivost, arhitekture podatkovno intenzivnih sistemov, sočasno načrtovanje strojne in programske opreme, načrtovanje in razvrščanje gradnikov za doseg večje energijske učinkovitosti, prilagodljive in učeče metode nadzora, dinamična prilagoditev spremenljivim kontekstom, odločitve v nezanesljivih in spremenljivih okoljih. Pri raziskavah se srečujemo z naprednimi, interdisciplinarnimi raziskovalni izzivi, ki združujejo področja računalništva, inženirstva in matematike. Sodelavci odseka smo v letu 2022 raziskovalno delo nadgradili z zasnovo in razvojem rešitev v okviru 13 evropskih projektov v programih *Obzorje 2020*, *Obzorje Evropa*, *ECSEL JU*, *PRIMA*, *EFSA* in *Interreg* ter osmih domačih projektov. Naše delo je bilo povezano tudi z dejavnostmi *Strateško razvojno inovacijskih partnerstev* (SRIP) na področjih *Pametnih mest in skupnosti* (PMIS) ter *Tovarn prihodnosti* (ToP).

Optimizacijski algoritmi

Na številnih aplikativnih področjih se srečujemo z optimizacijo večjega števila pogosto zamudnih in nasprotujočih si ciljev. Pri tem lahko za povečanje kakovosti ob sočasnem zmanjšanju stroškov uporabimo pristope računske ali umetne inteligence, podprte z zahtevnimi numeričnimi simulacijami.

Samodejna konfiguracija in izbira algoritma sta v zadnjih letih postala zelo pomembna na področju evolijskega računanja. Dve ključni, včasih implicitni komponenti metod AutoML sta 1) predstavitve, ki temeljijo na značilkah instanc problemov, in 2) metode napovedovanja zmogljivosti, ki uporabljajo te značilke kot vhodne podatke za oceno, kako dobro bo dana instanca algoritma delovala na dani instanci problema. Februarja se je začela izvajati komplementarna shema ARRS ERC StG *RESPONSE – Representation Learning of Landscape Spaces for Explainable Performance of Stochastic Optimization Algorithms* (<https://cs.ijs.si/projects/190>), kjer raziskujemo metaznačilke, ki jih je mogoče uporabiti za opis lastnosti enokriterijskih optimizacijskih problemov, ki so nadalje vključeni v študije AutoML, kot so ponovljivost rezultatov primerjalne analize, samodejna izbira algoritma in samodejna konfiguracija algoritma. Raziskali smo najsodobnejše pokrajinske značilke, pridobljene iz prostora odločitev problemov z uporabo umetnega vzorčenja rešitev v različnih učnih scenarijih, in identificirali minimalno število značilk, ki so potrebne za zanesljivo napoved zmogljivosti različnih algoritmov (predstavljeno na *IEEE Congress of Evolutionary Computation – CEC 2022*). Podali smo razlage glede pomembnosti pokrajinskih značilk za napovedovanje zmogljivosti algoritma (predstavljeno na *International Conference on the Applications of Evolutionary Computation – Evo* 2022*), ki smo jih uporabili tudi kot metapredstavitve pri iskanju ustrezne konfiguracije algoritma (predstavljeno na *Genetic and Evolutionary Computation Conference – GECCO 2022*) in analizi njihovega obnašanja (predstavljeno na *Bioinspired optimization methods and their applications – BIOMA 2022*).

Sodelavca, doc. dr. Tome Eftimov in prof. Peter Korošec, sta izdala knjigo *Deep Statistical Comparison for Meta-heuristic Stochastic Optimization Algorithms*, ki predstavlja obsežno primerjavo delovanja stohastičnih optimizacijskih algoritmov, vključuje uvod v primerjalno in statistično analizo ter ponuja vpogled v spletno orodje za statistično primerjavo optimizacijskih



Slika 1: Naslovnica knjige *Deep Statistical Comparison for Meta-heuristic Stochastic Optimization Algorithms*.

Objava knjige o delovanju stohastičnih optimizacijskih algoritmov

algoritmov. Organizirali smo tri pregledna predavanja o statistični analizi metahevrstik z enim ciljem in več ciljev na *IEEE CEC 2022*, *GECCO 2022* in *PPSN 2022*.

ARRS-projekt mladega raziskovalca se je osredotočil na izračun metaznačilnik na podlagi trajektorije algoritmov. Te značilke opišejo njegovo delovanje in jih lahko uporabimo za identifikacijo problemov in za avtomatizirano načrtovanje algoritmov. Drugi ARRS-projekt mladega raziskovalca je opravil celovito analizo invariance **značilnik raziskovalne analize pokrajin** (angl. Exploratory Landscape Analysis) na preslikave funkcij (predstavljeno na konferenci *IEEE CEC 2022*). Prav tako smo raziskali možnost posplošitve modela za avtomatizirano izbiro algoritmov na nabor različnih podatkovnih zbirk. Pokazali smo, da model, ki se uči na eni sami zbirki, doseže slabe rezultate, ko ga uporabimo za napovedovanje na drugi zbirki, ki ima popolnoma različno distribucijo problemov kot zbirka, uporabljena za učenje (objavljeno v reviji *Mathematics*).

Pridobivanje uporabnih značilnik, ki lahko pomagajo pri izbiri najboljših algoritmov, je pomembna raziskovalna tema. Na področju časovnih vrst smo proučili interakcije med algoritmi za **časovne vrste** in lastnosti časovnih vrst ter raziskali uporabo obstoječih značilnik in njihov prispevek k napovedovanju uspešnosti določenih algoritmov. Pokazali smo, da obstajajo značilke, ki zelo prispevajo k pridobivanju natančnih ocen uspešnosti samo na podlagi lastnosti časovnih nizov, in da se te lastnosti lahko uporabijo za izbiro boljših napovednih algoritmov. Za izbrane značilke smo dodatno raziskali, zakaj se določeni algoritmi obnašajo drugače od drugih. Delo je bilo objavljeno v reviji *Expert Systems with Applications*. Proučevali smo tudi nove topološko navdihnjene značilke z zelenimi lastnostmi, kot je invariantnost za različne transformacije, kar je pogosta težava pri nekaterih obstoječih naborih značilnik. Z uporabo novo razvitega pristopa se vsak optimizacijski problem pretvori v nabor značilnik, ki poskušajo zajeti obstoj večdimenzionalnih lukenj. S pomočjo značilnik, navdihnenih s topologijo, je mogoče izboljšati obstoječe probleme, ki se uporabljajo za testiranje algoritmov. Delo je bilo predstavljeno na konferenci *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence*.

Oktobra smo začeli izvajati ARRS raziskovalni projekt *AutoOPT – Automated selection and configuration of single-objective continuous optimization algorithms* (<https://cs.ijs.si/projects/199>). V sodelovanju z odsekom E8 raziskujemo, kako lahko uporabniki dobijo kakovostne rešitve za določeno instanco optimizacijskega problema, ne da bi za to potrebovali poglobljeno predznanje o optimizacijskih algoritmi ali instanci problema. Za doseg tega je treba upoštevati več različnih značilnosti instance problema, da se določi primernost danega optimizacijskega algoritma za dano instanco problema. To je kompleksen večdimenzionalen problem z odvisnostmi med posameznimi značilnostmi. Z uporabo **razložljivih tehnik strojnega učenja** lahko poiščemo povezave med značilnostmi instance problema in zmogljivostjo optimizacijskega algoritma. Če je namreč mogoče najti dovolj splošne povezave, jih je mogoče uporabiti za napovedovanje zmogljivosti optimizacijskih algoritmov na neznanih instancah problema. V prvih nekaj mesecih projekta smo se osredotočali predvsem na zbiranje instanc problemov. Začetno delo pri raziskovanju značilnik analitičnih problemov in razširitvi ontologije OPTION se je že začelo.

Novembra smo začeli s projektom Obzorja Evropa *CONDUCTOR – Fleet and traffic management systems for conducting future cooperative mobility* (<https://conductor-project.eu/>), v okviru katerega tehnično koordiniramo razvoj, integracijo in predstavitev naprednega sistema upravljanja prometa in voznega parka na visoki ravni, ki bo omogočal **učinkovit in globalno optimalen prevoz** potnikov in blaga, hkrati pa zagotavljal brezhibno multimodalnost in interoperabilnost. Skupaj s 15 partnerji iz 7 držav bomo uporabili inovativno dinamično uravnoteženje in prednostno upravljanje avtomatiziranih in konvencionalnih vozil. Da bi to dosegel, bo konzorcij nadgradil najsodobnejše rešitve za upravljanje voznega parka in prometa v ekosistemu Cooperative Connected and Autonomous Mobility (CCAM) ter razvil simulacijske modele in orodja naslednje generacije, ki jih omogočata strojno učenje in zlivanje podatkov z namenom povečanja zmogljivosti prometnih odločevalcev in operaterjev, da postanejo upravljalci prihodnjih prometnih omrežij. Naš odsek se bo v sodelovanju z odsekom E3 osredotočil na integracijo pristopov optimizacije in napovedi v izbranih primerih uporabe.

Naša raziskava o problemih **optimizacije minimaks** z vzporedno hierarhično diferencialno evolucijo in SciPy je bila predstavljena na mednarodni konferenci *Bioinspired Optimization Methods and their Applications BIOMA 2022*. Prispevek se osredotoča na vrednotenje uspešnosti algoritma pri reševanju kompleksnih optimizacijskih problemov. S testnimi funkcijami analiziramo hitrost konvergence glede na število jeder in dimenzionalnost testnih problemov. Prispevek ponuja dragocene vpoglede za raziskovalce in druge uporabnike, ki iščejo učinkovite pristope za reševanje zahtevnih problemov minimalne in maksimalne optimizacije.

V sodelovanju z oddelkom E9 smo za MAHLE Electric Drives Slovenija delali na industrijskem projektu *Optimizacija samodržnega momenta pri načrtovanju elektromotorja s pomočjo simulacij*. Pri tem iščemo najboljše zasnove električnega motorja, ki izpolnjuje vrsto omejitev, vključno z nizkim navorom zobnika, kar je najpomembnejše. Iskanje primernih zasnov motorjev vključuje izvajanje računalniško intenzivnih računalniških simulacij. Naloga projekta je razviti metodo za učinkovito iskanje v prostoru rešitev z uporabo **pristopa večnivojske optimizacije** v kombinaciji z nadomestno optimizacijo. V prvih dveh fazah projekta smo uspešno formulirali optimizacijski problem, postavili in implementirali prototipno optimizacijsko okolje ter izvedli poglobljeno raziskavo

simetričnega modela elektromotorja z začetnimi rezultati na asimetričnem modelu. Rezultati so pokazali velik potencial za izboljšanje zelenih karakteristik motorja z uporabo asimetričnih modelov, zaradi česar je podjetje razširilo projekt v tretjo fazo, kjer bo poudarek na raziskovanju asimetričnih modelov.

Na *PPSN 2022* smo pripravili tutorial o sistematični uporabi **dinamičnega nastavljanja krmilnih parametrov** za evolucijske izračune. Predstavili smo obstoječe tehnike samodejnega sprotnega nastavljanja vrednosti krmilnih parametrov. Poleg tega smo razpravljali o teoretičnih in eksperimentalnih rezultatih, ki dokazujejo neizkoriščen potencial uporabe dinamičnih parametrov. Organizirali smo tudi BENCHMARKING delavnico na *GECCO 2022* in Autodesig4EC: Automated Algorithm Design for Evolutionary Computation na *IEEE CEC 2022*.

Naš članek v reviji *Renewable and Sustainable Energy Reviews* z naslovom *Electric Bus Routes in Hilly Urban Areas: Overview and Challenges* je prejel nagrado **ARRS Odlični v znanosti 2022**. Članek predlaga novo, zahtevno, hribovito referenčno testno pot, ki zagotavlja tehnično oceno elektrifikacije mestnega prometa na geografsko specifičnem območju s posebej zahtevnimi voznimi pogoji.

V sodelovanju z Odsekom za inteligentne sisteme na IJS in s Fakulteto za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru smo že devetnajsto leto zapored pripravili več rednih skupnih delavnic *Algoritmi po vzorih iz narave* (AVN), katerih osrednja tema so različne tehnike stohastične optimizacije. Sodelovali smo tudi pri soorganizaciji novembrske mednarodne konference *Bioinspired Optimization Methods and their Applications BIOMA 2022* v Mariboru. Prispevki so bili objavljeni v *Lecture Notes in Computer Science (LNCS)* pri založbi Springer.

Na področju optimizacij aktivno sodelujemo z *Univezo Sorbonne* (Francija), *Univerzo Leiden* (Nizozemska) in *Univerzo Malaga* (Španija).

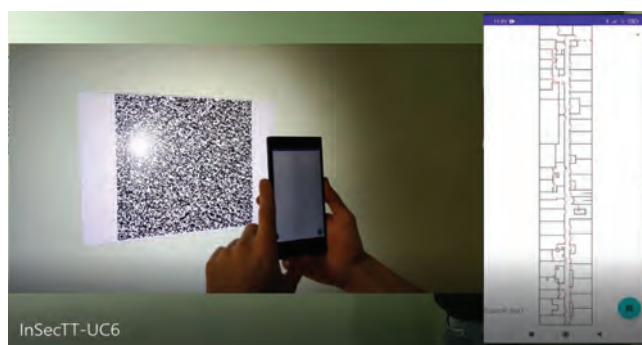
Smo uredniki in gostujoči uredniki pri rednih in posebnih številkah različnih revij, kot so *Natural Computing*, *Sensors* in *Automatika*.

Obdelava podatkov

Elektronske komponente in sistemi (EKS) so bistvenega pomena za gospodarstvo in državljanje EU, saj podpirajo področja od transporta in mobilnosti do medicine in energetike. Eno od ključnih področij, ki jih je treba obravnavati, je **izboljšanje zanesljivosti** vedno bolj zapletenih čipov in sistemov, ki so zasnovani za obdelavo ogromnih količin podatkov, hkrati pa zagotavljajo večjo hitrost in natančnost obdelave ter zmanjšujejo porabo energije. Nadaljevali smo projekt ECSEL JU/Horizon 2020 *iRel40 - Intelligent Reliability 4.0* (<https://www.irel40.eu>) v sodelovanju s 75 partnerji iz 13 držav, da bi zmanjšali pogostost odpovedi EKS v celotni vrednostni verigi. Končni cilj projekta je izboljšati zanesljivost elektronskih komponent in sistemov z uporabo naprednih inteligentnih tehnologij, kot so umetna inteligenca in simulacije. Naše delo je bilo osredotočeno na zanesljivost elektromotorjev in-wheel, ki jih je razvilo slovensko podjetje Elaphe. Vzpostavitev zanesljivega avtomobilskega električnega pogonskega sistema zahteva inteligentno napravo za nadzor stanja, ki je sposobna zanesljivo oceniti stanje in zdravje elektromotorja. Da bi omogočili množično integracijo takih nadzornih naprav, morajo biti poceni in majhne. Te zahteve omejujejo njihovo natančnost. Pokazali pa smo, da je te omejitve mogoče bistveno zmanjšati z ustrezno obdelavo senzorskih podatkov. Uporabili smo modele strojnega učenja za pretvorbo zelo ošumljenih meritev izolacijske upornosti navitij motorja, izmerjene s poceni napravo, v veliko bolj zanesljive vrednosti, ki se lahko kosajo z meritvami, opravljenimi z najsodobnejšimi dražjimi merilnimi sistemi. Predlagana metoda je pomemben gradnik za prihodnji inteligentni sistem za spremljanje stanja, ki zagotavlja poceni in natančno oceno stanja elektromotorjev v povezavi s stanjem njihove izolacije navitij. Del tega je bil predstavljen tudi na konferenci *IEEE Industrial Electronics Society - IECON 2022*. Poleg tega smo imeli vodilno vlogo pri pregledu in kategorizaciji različnih metod umetne inteligence, uporabljenih v več kot 20 primerih uporabe, in oblikovali zaključke o značilnostih težav z zanesljivostjo in rešitve za njihovo obravnavo. Novembra 2022 smo v Ljubljani organizirali generalno skupščino s skoraj 100 udeleženci, med katerimi so bili tudi vodilni evropski strokovnjaki z različnih področij, povezanih z zanesljivostjo.

Nadaljevali smo dejavnosti v okviru projekta ECSEL JU/Obzorje 2020 *InSecTT - Intelligent Secure Trustable Things* (<https://www.insectt.eu/>), ki vključuje 52 partnerjev ter združuje umetno inteligenco (AI) in internet stvari (IoT). Projekt je posvečen spodbujanju sodelovanja med velikimi industrijskimi podjetji z različnih področij, številnimi zelo inovativnimi malimi in srednje velikimi podjetji, razširjenimi po Evropi, ter vrhunskimi raziskovalnimi institucijami in univerzami. Naš odsek je vključen v dva primera uporabe. Prvi primer uporabe se nanaša na pametne in prilagodljive povezane rešitve za celoten zdravstveni kontinuum znotraj pametne bolnišnice, kjer se ukvarjamo z razvojem metod za **odkivanje anomalij v biomedicinskih signalih** pacientov z uporabo globokih nevronske mreže (DNN). Leta 2022 smo razširili nabore podatkov za usposabljanje in testiranje iz različnih javnih baz podatkov EKG na skoraj 80.000 označenih 12-kanalnih signalov EKG z 10-sekundnimi segmenti in frekvenco vzorčenja 500 Hz. Po raziskovanju in testiranju različnih nadzorovanih in nenadzorovanih metod učenja smo se osredotočili na arhitekturo autoenkoderja z odpravljanjem šuma (denoising autoencoder), ki se je izkazala kot zelo primeren sistem zaradi dejstva, da so vhodni EKG-signali pogosto šumni. Podrobneje smo raziskali

Tehnična koordinacija izvedbe projekta za učinkovit in globalno optimalen transport



Slika 2: Aplikacija za notranjo navigacijo, razvita v okviru projekta *InSecTT*.

latentni prostor, tj. prostor, v katerega so signali najprej kodirani, preden so dekodirani nazaj v časovno domeno. Tako se bistveno zmanjša dimenzionalnost vhodnih podatkov (s 60.000 na 40), vendar ostaja natančnost zaznavanja anomalij nad reduciranimi podatki približno enaka. Pripravili smo demonstracijo zaznavanja nepravilnosti v EKG v živo prek protokola FastAPI, ki vrne verjetnost, da je pacientov EKG nepravilen, in sliko z označenimi lokacijami nepravilnosti. Ta storitev je že integrirana v arhitekturo primerov uporabe skupaj z rešitvami drugih partnerjev za primere uporabe. Drugi primer uporabe je povezan z logističnimi storitvami nujne medicinske pomoči, za katere razvijamo rešitev za **lokalizacijo in navigacijo v zaprtih prostorih** s pametnimi telefoni brez komunikacijskega omrežja in satelitske navigacije. Razvijamo aplikacijo za Android za podporo reševalnim ekipam v izrednih razmerah, kot so incidenti z množičnimi nesrečami. Aplikacija lahko uporabnika vodi do izbrane destinacije v nadstropju stavbe tako, da pridobi vse potrebne informacije, kot so tloris, možne destinacije in navigacijski grafi iz kode QR na vhodu v etažo. Uporabljena sta bila navigacijski algoritem Dijkstra in algoritem Pedestrian Dead Reckoning za sledenje uporabnikovega gibanja med kodami QR, ki služijo kot svetilniki položaja. V primeru množične nesreče lahko aplikacija trenutno lokacijo uporabnika skupaj s triažno odločitvijo, ki jo sprejmejo prvi posredovalci, pošlje v oblak, kjer je na voljo drugim, na primer članom reševalne ekipe, ki poberejo poškodovane. Če podatkovno komunikacijsko omrežje ni na voljo, se triažna sporočila shranijo v lokalno bazo podatkov, ki temelji na strukturi JSON, in se pošljejo pozneje, ko je povezljivost spet na voljo. V obeh primerih uporabe se osredotočamo na razvoj in uporabo razločljivih in zaupanja vrednih metod AI, ki uporabnikom pomagajo razumeti, zakaj je prišlo do točno takih (in ne drugačnih) rezultatov v določenih postopkih strojnega učenja.

Razvili smo pristop, ki temelji na nenadzorovanem strojnem učenju in tehnikah teorije grafov ter nam omogoča izbiro raznolikih in nepristranskih primerjalnih problemov, ki vodijo do **ponovljive ocene uspešnosti** (predstavljeno na *GECCO 2022*). Raziskali smo tudi pokrajinske značilnosti, izračunane iz možnih rešitev, zaznanih med izvajanjem algoritma in uporabljenih za samodejno napovedovanje delovanja algoritma (predstavljeno na *IEEE CEC 2022* in na *Parallel problem solving from nature – PPSN 2022*).

Oktobra je bil zagnan PRIMA projekt *WEFE4MED – Towards a Mediterranean WEFE Nexus Community of Practice*. Namen projekta je zagotoviti prožno, krožno in zeleno gospodarstvo ter doseči cilje trajnostnega razvoja za vodo, energijo, hrano in ekosisteme. Skupaj z oddelkom E8 in Centrom pametnih mest bomo prispevali svoje znanje podatkovne analitike in podpore odločanju, kjer bodo naše rešitve podatkovne analitike, optimizacije in strojnega učenja pripomogle k doseganju splošnih ciljev in uvajanju rešitev v prakso. V drugem PRIMA projektu *PROMEDLIFE – Novel food products for the PROMotion of MEDiterranean LIFEstyle and healthy diet* bomo podpirali partnerje pri analizi okoljskih podatkov o inovativnih funkcionalnih živilih iz sredozemske regije. Prav tako nameravamo razširiti naše spletno orodje FoodTrack s podatki, zbranimi v tem projektu, in njegovi funkcionalnosti dodati metode analize in vizualizacije.

Naš prispevek *Energy and nutritional composition of school lunches in Slovenia: the results of a chemical analysis in the framework of the national school meals survey*, objavljen v reviji *Nutrients*, je prejel nagrado **ARRS odlični v znanosti 2022**. Prispevek predstavlja rezultate raziskave, namenjene primerjavi sestave šolske prehrane v slovenskih osnovnih šolah z nacionalnimi prehranskimi smernicami.

Naša doktorska študentka Eva Valenčič je prejela nagrado za **najboljši doktorski študentski znanstveni članek** v letu 2022 Univerze v Newcastlu v Avstraliji, kjer je opravljala raziskave v okviru dvojnega doktorata na temo digitalnega nudginga v živilstvu in prehrani.

Upravljanje in vizualizacija podatkov

V okviru nacionalnega projekta *OPKP – Odprta platforma za klinično prehrano* (<http://www.opkp.si>), ki ga podpira Ministrstvo za zdravje, smo nadgradili slovensko bazo podatkov o sestavi živil. V ta namen smo razvili novo **spletno orodje za upravljanje s podatki in znanjem**, imenovano *FoodMapper*. Orodje je namenjeno strokovnjakom in omogoča iskanje, pregledovanje in izgradnjo baze podatkov in znanja. Prav tako orodje omogoča povezovanje relevantnih in z dokazi podprtimi podatki. Rezultati predstavljajo pomembno osnovo drugim sistemom (npr. mobilnim aplikacijam, spletnim živilskim trgovinam ipd.), ki omogočajo dodatno informiranje in izobraževanje potrošnikov ter oceno njihovega prehranskega vnosa. Rezultate smo predstavili v dveh prispevkih na mednarodnem kongresu *Central European Congress on Food and Nutrition* ter na nacionalni konferenci *Zdravje otrok in mladostnikov*.

Junija smo začeli izvajati projekt Obzorja Evropa *FishEUTrust – European integration of new technologies and socioeconomic solutions for increasing consumer trust and engagement in seafood products* (<https://www.fisheustrust.org/>), kjer nadaljujemo raziskave semantične **interoperabilnosti podatkov** o hrani. Prispevali bomo tudi z naprednimi metodami za analizo podatkov mikrobioma rib z uporabo strojnega učenja in obdelave naravnega jezika.

V okviru ESFRI projekta *MetroFood – Infrastructure for promoting Metrology in Food and Nutrition* (<https://www.metrofood.eu>), ki se je končal leta 2022, smo razvili spletno stran projekta za promocijo naborov **podatkov**

in storitev, razvitih v okviru projekta. Na *Poletni šoli odprte znanosti* smo se posvetovali s slovenskimi partnerji MetroFood-PP o načelih odprte znanosti ter odprtih raziskovalnih podatkih in FAIR. Na zaključni konferenci MetroFood-PP smo imeli vabljeni govor, v katerem smo predstavili rezultate naših nedavnih raziskav na področju hrane in prehrane.

Zaključili smo nacionalni projekt *Šolski lonec* (<http://solskilonec.si>) v sodelovanju z Nacionalnim inštitutom za javno zdravje (NIJZ), ki ga je podprlo Ministrstvo za zdravje. Razvili smo spletno orodje za načrtovanje prehranskih obrokov za šole in vrtce. Orodje smo testirali v sodelovanju s 25 osnovnimi šolami. Delo je bilo predstavljeno na konferenci *Zdravje otrok in mladostnikov*.

Namen projekta *COMFOCUS – Community on Food Consumer Science* (<https://comfocus.eu>) iz programa Obzorije 2020 je podpreti napredek znanosti o potrošnikih hrane glede na trenutno fragmentacijo, ki onemogoča, da bi postala bogat vir podatkov in prispevala k reševanju družbenega problema (ne)zdravih izbir hrane. Izvedli smo multimodalno analizo interakcij uporabnikov z recepti v Porterju, da bi raziskali njihovo vedenje (predstavljeno na konferenci *Healthinf, BIOSTEC 2022*). Kot del projekta smo razvili cevovod za razločljive napovedne modele in cevovod za vstavljanje manjkajočih vrednosti v baze sestavin hrane. Preizkusili smo cevovod za pojasnjevalne napovedne modele z zagotavljanjem pojasnil glede napovedovanja smrtnosti zaradi covid-19 v vsaki državi z združevanjem podatkov Svetovne zdravstvene organizacije o sočasnih boleznih, podatkov o porabi hrane FAO in socialno-ekonomskih dejavnikih (objavljeno v reviji *Expert Systems with Applications*). Poleg tega smo preizkusili cevovod za pridobivanje poglobljenega vpogleda v kompleksnost Alzheimerjeve bolezni (objavljeno v reviji *Scientific Reports*). Razvili in preizkusili smo tudi cevovod za vstavljanje manjkajočih vrednosti v baze podatkov o sestavi živil z uporabo avtoenkoderjev, algoritma globokega učenja, ki lahko aproksimira vrednosti z učenjem višje ravni predstavitve vhoda (objavljeno v reviji *Journal of Food Composition and Analysis*).

V okviru projekta, ki ga je finančno podprla Evropska agencija za varnost hrane (EFSA), *CAFETERIA – ExtraCling and Annotating Food Name Entities from Scientific Literature*, smo razvili delotoke za luščenje informacij o entitetah hrane iz besedilnih podatkov ter oblikovali označene korpuse besedilnih dokumentov z označbami hrane, potrebnimi za razvoj nadzorovanih postopkov strojnega učenja za luščenje informacij. Prvi označeni korpus vsebuje podatke o opisih receptov z označenimi entitetami hrane, povezanimi z različnimi semantičnimi viri (objavljeno v reviji *Foods*), medtem ko drugi vsebuje znanstvene povzetke z označenimi entitetami hrane (objavljeno v reviji *Database-Oxford*). Oba vira podpirata biomedicinske raziskave na področju obdelave naravnega jezika in sta že bila uporabljena za razvoj modelov prepoznavanja imenovanih entitet in povezovanja imenovanih entitet z uporabo najnovejših pristopov učenja reprezentacij.

Pri projektu Obzorja 2020 *FNS-Cloud – Food Nutrition Security Cloud* (<http://www.fns-cloud.eu>) smo prispevali k razvoju Oblaka FNS. To je nova oblaka platforma za hrano in prehrano, ki bo integrirana v evropski oblak odprte znanosti (EOSC). Naš glavni prispevek je razvoj storitev ujemanja živil in cevovodov z uporabo strojnega učenja in obdelave naravnega jezika, ki se uporabljajo za usklajevanje heterogenih podatkov o hrani in hranilni vrednosti oziroma za njihovo analizo. Ustvarili smo tudi protokol za FAIRness samooocenjevanje naborov podatkov in programske opreme. V okviru tega projekta smo objavili več recenziranih in mednarodnih konferenčnih prispevkov o interoperabilnosti podatkov in metodologiji standardizacije, npr. v *Trends in food science & technology* in *Journal of Food Composition and Analysis*.

V duhu promocije naših raziskav in izmenjave znanja z drugimi raziskovalci in industrijo smo organizirali *AI & Food and Nutrition Track na Applied Machine Learning Days* v Lozani v Švici. Organizirali smo tudi tretjo *Big Food, Nutrition, and Environment Data Management and Analysis (BFNDMA 2022)* na konferenci *IEEE Big Data 2022* v Osaki na Japonskem. Ne nazadnje smo v Amsterdamu na Nizozemskem izvedli delavnico *ELIXIR All hands* o povezovanju podatkov o hrani, prehrani, biomedicini in okolju za zaupanja vredno AI prediktivno zdravstveno varstvo. Imeli smo tudi vabljen predavanja na *Slovenskem društvu za umetno inteligenco (SLIAS)* in na *MCICHE Convergent Innovation Webinar Series Event*, McGill University, Kanada.

Septembra 2022 je Gjorgijina Cenik zaključila magistrsko nalogo *Information extraction workflows for knowledge graph construction from food and biomedical scientific literature*. Namen naloge je razvoj delovnega toka pridobivanja informacij za prepoznavanje odnosov med živili, kemikalijami in boleznimi iz povzetkov znanstvenih člankov, ki lahko avtomatizira proces ustvarjanja grafov znanja.

Gordana Ispirova je decembra 2022 zagovarjala doktorsko disertacijo z naslovom *Exploiting domain knowledge in predictive learning from food and nutrition data*. Delo je bilo osredotočeno na vključevanje domenskega znanja na vsakem koraku novega cevovoda ML za napovedovanje prehranskih vrednosti, ustvarjanje dveh korpusov z vnaprej določenimi domensko specifičnimi vdelavami ter posploševanje napovednih modelov in različnih načinov izbire reprezentativnega nabora podatkov za usposabljanje.

Razvoj cevovoda za razločljive napovedne modele in cevovoda za vstavljanje manjkajočih vrednosti

Na področju učinkovitih sistemov za interakcijo z računalniki smo se osredotočili na spletna orodja za prehrano in informatiko o hrani. Poglobljeno smo raziskali in oblikovali vizualne predstavitve za različne projekte, aplikacije in spletne strani. V sodelovanju s partnerji in končnimi uporabniki smo analizirali potrebe uporabnikov in opredelili ustrezne uporabniške izkušnje ter oblikovali ustrezne grafične vmesnike za več orodij, povezanih s prehrano.

V letu 2022 smo uspešno zaključili projekta *Inovativne rešitve za informirane odločitve: zagotavljanje delovanja mobilne aplikacije VešKajJeš* in nadgradnjo z dodatnimi informacijami ter *Veš kaj piješ? – Podpora prebivalcem za zmanjševanje tvegane rabe alkohola z mobilno aplikacijo*, oba je financiralo Ministrstvo za zdravje. Pri projektih smo skrbeli za tehnični razvoj mobilnih aplikacij iOS in Android ter zalednih procesov. Aplikacija postavi podatke o prehranski sestavi živil v kontekst prehranskega semaforja, ponuja podatke in opozorila o izdelkih, ki vsebujejo alkohol in jih sicer ni na embalaži ter služi kot orodje za zbiranje podatkov o izdelkih na slovenskem trgu s pomočjo množic. Z aplikacijo je letno narejenih več kot pol milijona poizvedb. Z anketo pred izidom nadgradnje z informacijami o alkoholu in po njem smo pokazali učinkovitost orodja za ozaveščanje in dvig pismenosti o nevarnostih pitja alkohola. Opis sistema za pridobivanje podatkov je opisan v reviji *Frontiers in Nutrition*.

V okviru sodelovanja z odsekom E8 in *Mednarodno podiplomsko šolo Jožefa Stefana* pri projektu Obzorja 2020 *IPM Decisions – Decision support for Integrated Pest Management in Europe* pomagamo kmetom pri prehodu na okolju prijaznejše načine zatiranja škodljivcev. Pri tem uporabljamo sisteme za podporo odločanja in bodo na poenoten način na voljo v okviru platforme. Razvili smo tudi spletno orodje (<https://ipmadviser.ijs.si/>), ki omogoča pregled nad obstoječimi sistemi za podporo odločanja in primerjavo med njimi.

Projekt iz programa Interreg *SI4Care – Social Innovation for integrated health CARE of ageing population in ADRIAN Regions* (<https://si4care.adrioninterreg.eu>) se ukvarja s socialnimi inovacijami na področju dolgotrajne oskrbe in ima za cilj pripravo skupne transnacionalne strategije in akcijskih načrtov za posamezne države, ki pri projektu sodelujejo in izvirajo iz Jadransko-jonske regije. Leta 2022 se je projekt prevesil v sklepno fazo, kjer smo zaključevali pilotne projekte s področja aktivnega življenjskega sloga (šport, prehrana) ter na podlagi ugotovitev pripravili 21 akcij, ki sestavljajo akcijski načrt za Slovenijo. Predloge akcij smo različnim deležnikom predstavili na več dogodkih. Dejavnosti so predstavljene tudi v reviji *Geriatrics* in na konferenci *Informacijska družba 2022*.

Začeli smo sodelovanje pri raziskovalnem projektu ARRS zgodovinskih ved *SHT – Historična topografija Posavja in Posotelja* (<https://piir.zrc-sazu.si/sl/programi-in-projekti/historicna-topografija-posavinja-in-posotelja>) s *Slovensko akademijo znanosti in umetnosti*. Raziskava je tretja faza dolgoročnega načrta ter se nanaša na zgodovinsko topografijo Posavja in Posotelja. Osredotoča se na raziskovanje zgodovinske topografije obeh regij. V prvih mesecih so celotno knjigo, ki je izšla pred desetletji, skenirali, gesla o Posavju in Posotelju pa osamili in obdelali s programsko opremo za optično prepoznavanje znakov (OCR). Zaradi velike količine besedila in številnih napak, ki se pojavljajo pri OCR, smo podprli avtomatsko obdelavo besedil v podatkovno strukturo, ki bo osnova za nadaljnje raziskovanje in povezovanje s slovensko bazo historične topografije.

Prilagodljive računalniške strukture

Za učinkovito izvedbo naših algoritmov smo proučili več možnosti izvedbe v posebni strojni opremi, predvsem z uporabo programirljivih matrik logičnih vrat (angl. Field-Programmable Gate Array ali FPGA) ter prilagodljivih vgrajenih sistemov in senzorjev. Razvijamo infrastrukturo za pospeševanje algoritmov, ki temelji na pospeševalnih karticah FPGA ALVEO podjetja Xilinx. Na karticah FPGA smo implementirali umetne nevronske mreže. Pri tem smo namesto plavajoče vejice, ki je tipično uporabljena v umetnih nevronskih mrežah, uporabili fiksno vejico. Zapis z nepremično vejico je vodil do področja kvantiziranih nevronskih mrež, ki smo jih raziskovali tako z algoritmičnega vidika kot z vidika učinkovitih implementacij v strojni opremi. Kvantizirane nevronske mreže omogočajo prilagodljivost težavnosti računanja v zameno za točnost mreže – približno računanje.

V sodelovanju z *Indian Institute of Technology Indore* smo razvili učinkovito strojno izvedbo enote Softmax (SF). Temelji na CORDIC arhitekturi cevovoda z nastavljivo eksponentialno enoto (ExU) in delitveno enoto (DiU). Rešitev je bila testirana na napravi FPGA. Raziskani so bili kompromisi med natančnostjo bitov, globino cevovoda, hitrostjo in natančnostjo SF. Članek z opisom ocene razvite enote je bil oddan v revijo *IEEE Access*.

Nadaljevali smo delo na ECSEL JU/Obzorje 2020 projektu DAIS – *Distributed Artificial Intelligent Systems* (<https://dais-project.eu/>), skupaj s 47 partnerji iz 11 držav. Skupni cilj projekta je razvoj rešitev porazdeljene in varne umetne inteligentne sisteme. Prizadevamo si rešiti težave, ki nastanejo pri izvajanju obstoječih algoritmov na teh široko razširjenih robnih napravah. Naš odsek v sodelovanju s podjetji Cosylab in



Slika 3: Sistem za prepoznavanje objektov integriran v FPGA AGV

TPV razvija avtonomno avtomatizirano vodeno vozilo (AGV), ki bo uporabno za transport materialov in izdelkov med tovarno in skladiščem. Naša vloga v konzorciju je načrtovanje sistema ter razvoj in uvedba rešitve umetne inteligence. To podpirajo naše raziskave o arhitekturah strojne opreme za visoko kvantizirane nevronske mreže. V letu 2022 nam je uspelo implementirati **kvantizirano nevronske mreže** na vezju FPGA, ki je sposobno zaznati ustrezne predmete v tovarniškem okolju. Rezultat bo pomagal razviti avtonomno rešitev, ki bo sposobna zaznati in se izogniti tovrstnim oviram.

Nadaljevali smo raziskovalno delo v okviru projekta ARRS CODA – *Context-aware on-device approximate computing* (<https://www.fri.uni-lj.si/en/projects/1719>) v sodelovanju s *Fakulteto za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani*. Projekt cilja je drastično zmanjšanje povpraševanja po virih v mobilnem računalništvu s pomočjo **prilagajanja zahtevnosti računanja na zahteve**, ki jih narekuje kontekst uporabe. Naša naloga pri projektu je proučiti primere uporabe, kjer bi algoritmi, razviti pri projektu, prišli do izraza. V ta namen smo se poglobili v problematiko varnosti gora pozimi, ko je nevarnost plazov največja. Opravili smo vrsto anket in pogovorov z deležniki, iz katerih smo izluščili zahteve za aplikacijo, ki bi služila ozaveščanju in izobraževanju obiskovalcev gora o nevarnostih, ki nanje pretijo. Delo je bilo predstavljeno na konferenci *Human-Computer Interaction Slovenia 2022*.

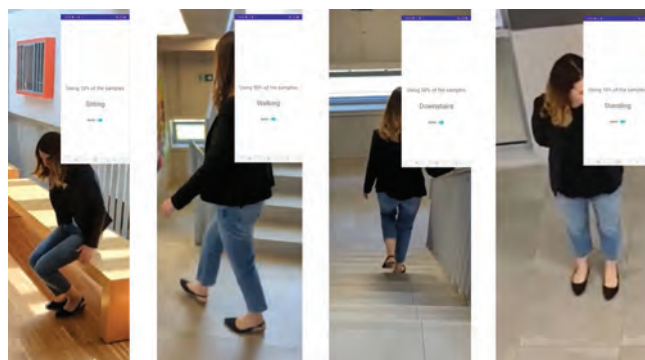
Stisnjeno zaznavanje (angl. Compressive Sensing CS) je matematični pristop, pri katerem lahko z upoštevanjem inherentne strukture podatkov različnih realnih podatkovnih virov znižamo hitrost vzorčenja pod Nyquistovo mejo, pri čemer je še vedno zagotovljena zanesljiva rekonstrukcija signalov. Pri našem delu smo raziskovali uporabo CS v navezi z modeli globokega učenja (Deep Learning (DL)), razvitimi za procesiranje zajetih signalov, ki se običajno uporabljajo pri visokonivojskem sklepanju. V reviji *Artificial Intelligence Review* smo podali obsežen pregled področja CS, kjer smo se osredotočili na uporabo CS za DL postopke umetne inteligence, ki omogočajo procesiranje na robu. Identificirali smo dve ključni lastnosti CS-DL razvojnega okolja za podprtost učinkovitega izvajanja na mobilnih napravah: 1.) zmožnost prilagajanja velikosti vzorca glede na spreminjanje konteksta, v katerem je zajet, in 2.) dinamično adaptivna arhitektura nevronske mreže, ki se prilagaja spremenljivemu nizu zbranih vzorcev s pristopom CS. Na konferenci *ACM International Conference on Computing Frontiers* smo predstavili razviti cevovod CS-DL, ki za dinamično prilagajanje območja vzorčenja na mobilni napravi uporablja vzorčno matriko. Zajemalnemu nivoju sledi DL model, ki izvede sklepanje na vhodnem vektorju spremenljive velikosti z uporabo prilagodljivega vhodnega nivoja. V okviru tega dela smo za prilagodljive čase vzorčenja razvili tudi algoritem SoftMax in pokazali, da na področju pripoznavanja človeške aktivnosti iz podatkov senzorjev naš postopek ob primerljivi natančnosti sklepanja prihrani do 46 % energije. V jeziku Python smo razvili odprtokodno okolje CS in koncept CS preverili na realni mobilni napravi Android.

V okviru projekta D-Rabbit, namenjenemu prenosu tehnologij iz akademske sfere v industrijo, smo sodelovali pri postopku **igrifikacije senzomotoričnega treninga** z ravnotežno desko. Osnovne gradnike za igro predstavljajo gibi, ki smo jih sposobni prepoznati na sami deski. To dosežemo s pomočjo 9DOF senzorja in globokega učenja na senzorski napravi. Delo je bilo predstavljeno na konferenci *Design and Architecture for Signal and Image Processing 2022*.

Načrt za enakost spolov (GEP), ki izpolnjuje niz obveznih zahtev, je merilo upravičenosti za vse javne ustanove, visokošolske ustanove in raziskovalne organizacije iz držav članic in pridruženih držav, ki želijo sodelovati v programu Obzorje Evropa, za razpise od leta 2022. GEP je bil pripravljen v okviru projekta *Athena* (<https://www.athenaequality.eu/>), ki ga je nato potrdil *Znanstveni svet IJS* oktobra 2022. Razvili smo tudi sistem spremljanja in vrednotenja GEP, ki bo pomagal razumeti napredek zaradi izvajanja novih GEP. Po drugi strani pa bo po potrebi pomagal prepoznati preostale izzive in ovire ter zagotoviti prilagojene rešitve za njihovo ustrezno obravnavo in ustrezno spremembo GEP.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Tome Eftimov, Gašper Petelin, Gjorgjina Cenikj, Ana Kostovska, Gordana Ispirova, Peter Korošec, Jasmin Bogatinovski, Less is more: selecting the right benchmarking set of data for time series classification, *Expert systems with applications*, 2022, 198, 116871-1-116871-10, doi: 10.1016/j.eswa.2022.116871
2. Milena Trajanoska, Risto Trajanov, Tome Eftimov, Dietary, comorbidity, and geo-economic data fusion for explainable COVID-19 mortality prediction, *Expert systems with applications*, 2022, 209, 118377-1-118377-15, doi: 10.1016/j.eswa.2022.118377



Slika 4: Prepoznavanje človekove dejavnosti na Androidu, z globokim učenjem in Compressive Sensing <https://www.youtube.com/watch?v=StFrB1AtGmc&feature=youtu.be>

3. Francesco Vitali, Paola Zinno, Emily Schifano, Agnese Gori, Ana Costa, Carlota De Filippo, Barbara Koroušič-Seljak, Panče Panov, Chiara Devirgiliis, Duccio Cavalieri, Semantics of dairy fermented foods: a microbiologist's perspective, *Foods*, 2022, **11**, 13, 1939-1-1939-18, doi: 10.3390/foods11131939
4. Gordana Ispirova, Gjorgijina Cenikj, Matevž Ogrinc, Eva Valenčič, Riste Stojanov, Peter Korošec, Ermanno Cavalli, Barbara Koroušič-Seljak, Tome Eftimov, CafeteriaFCD corpus: food consumption data annotated with regard to different food semantic resources, *Foods*, 2022, **11**, 17, 2684-1-2684-13, doi: 10.3390/foods11172684
5. Rok Hribar, Timotej Hrga, Gregor Papa, Gašper Petelin, Janez Povh, Nataša Pržulj, Vida Vukašinović, Four algorithms to solve symmetric multi-type non-negative matrix tri-factorization problem, *Journal of global optimization*, 2022, **82**, 283-312, doi: 10.1007/s10898-021-01074-3
6. Gregor Papa, Marina Santo-Zarnik, Vida Vukašinović, Electric-bus routes in hilly urban areas: overview and challenges, *Renewable & sustainable energy reviews*, 2022, **165**, 112555-1-112555-19, doi: 10.1016/j.rser.2022.112555
7. Yasmine Emara, Barbara Koroušič-Seljak, Eillen R. Gibney, Gorjan Popovski, Igor Pravst, Peter Fantke, Workflow for building interoperable food and nutrition security (FNS) data platforms, *Trends in food science & technology*, 2022, **123**, 310-321, doi: 10.1016/j.tifs.2022.03.022

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. AI & Food and Nutrition, Applied Machine Learning Days (AML D) 2022, Laussane, Švica, 26.-30. 3. 2022
2. 40. slovenska delavnica Algoritmi po vzorih iz narave (AVN), 15. 6. 2022
3. BENCHMARK workshop at GECCO 2022, Boston, ZDA, 9.-13. 7. 2022
4. AUTODESIGN4EC 2022 : Automated Algorithm Design For Evolutionary Computation at IEEE CEC 2022, Padova, Italija
5. Delavnica za zunanje deležnike projekta Athena ENAKOST SPOLOV z zavedanjem raznolikosti do vključujoče organizacijske kulture, 15. 9. 2022, (soorganizacija)
6. Izobraževanje v okviru evropskega projekta Athena Kako vzpostaviti ravnovesje med poklicnim in zasebnim življenjem , 25. 10. 2022, (soorganizacija)
7. Projektni sestanek FNS-Cloud, M37 Consortium meeting, Ljubljana, Slovenija, 25.-27. 10. 2022
8. Projektni sestanek Intelligent Reliability 4.0 (iRel40), Ljubljana, Slovenija, 7.-10. 11. 2022
9. The 10th International Conference on Bioinspired Optimization Methods and Their Applications, BIOMA 2022, Maribor, Slovenija, 17.-18. 11. 2022
10. Big Food, Nutrition, and Environment Data Analysis and Managment (BFNDMA) at IEEE BigData, Osaka, Japonska, 12.-17. 12. 2022

Nagrade in priznanja

1. Eva Valenčič, nagrada za najboljši članek doktorskih študentov na Univerzi v Newcastlu: *Digital Nudging in Online Grocery Stores: A Scoping Review on Current Practices and Gaps*, Newcastle, Avstralija, december 2022
2. Rok Poličnik, Barbara Koroušič Seljak: ARRS Odlični v znanosti 2022 na področju javnega zdravja za raziskovalno delo: *Energijska in hranilna sestava šolskih kosil v Sloveniji: rezultati kemijske analize v okviru nacionalne raziskave o šolski prehrani* (Poličnik, Rok, Rostohar, Katja, Škrjanc, Barbara, Koroušič-Seljak, Barbara, Blaznik, Urška, Farkaš-Lainščak, Jerneja. Energy and nutritional composition of school lunches in Slovenia: the results of a chemical analysis in the framework of the national school meals survey. *Nutrients*. 2021, vol. 13, no. 12, str. 4287-1-4287-13. ISSN 2072-6643).
3. Gregor Papa, Marina Santo Zarnik, Vida Vukašinović: ARRS Odlični v znanosti 2022 na področju tehnike za znanstveni članek: *Proge električnih avtobusov v hribovitih mestnih območjih: pregled in izzivi* (Papa, Gregor, Santo-Zarnik, Marina, Vukašinović, Vida. Electric-bus routes in hilly urban areas: overview and challenges. *Renewable & sustainable energy reviews: an international journal*. 2022, vol. 165, str. 112555-1-112555-19. ISSN 1364-0321. DOI: 10.1016/j.rser.2022.112555.)

MEDNARODNI PROJEKTI

1. EFSA - CAFETERIA; Podpora za avtomatizacijo določenih korakov postopka sistematičnega pregleda literature s pristopi umetne inteligence
European Food Safety Authority - EFSA
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
2. H2020 - FNS-Cloud; Računalniški oblak in storitve za obdelavo podatkov iz področja ved o hrani, prehrani in varnosti
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
3. H2020 - METROFOOD-PP; Projekt pripravljalne faze METROFOOD-RI
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
4. H2020 - iRel40; Inteligentna zanesljivost 4.0
European Commission
prof. dr. Gregor Papa
5. H2020 - InSecTT; Inteligentne varne zanesljive stvari
European Commission
dr. Drago Torkar
6. H2020 - ATHENA; Izvajanje načrtov za enakost spolov za sprostitev raziskovalnega potenciala v raziskovalnih organizacijah in organizacijah za financiranje raziskav v Evropi
European Commission
dr. Vida Vukašinović
7. H2020 - COMFOCUS; Skupnost raziskovalcev, ki delujejo na področju potrošniških raziskav o hrani
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
8. H2020 - DAIS; Porazdeljeni sistemi umetne inteligence
European Commission
prof. dr. Gregor Papa
9. H2020 - FoodTraNet; Mreža za napredno raziskovanje in usposabljanje na področju kakovosti, varnosti in zaščite hrane
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
10. OE - AgroServ; Integrirane storitve, ki podpirajo trajnostni prehod k agroekologiji
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
11. OE - CONDUCTOR; Sistemi upravljanja vozil in prometa za vodenje sodelovalne mobilnosti prihodnosti
European Commission
prof. dr. Gregor Papa
12. OE - FishEUTrust; Evropska integracija novih tehnologij in družbenoekonomskih rešitev za povečanje zaupanja potrošnikov in udeleževanje pri izdelkih morske hrane
European Commission
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
13. PRIMA; PROMEDLIFE - Novi prehrabeni izdelki za promocijo mediteranskega življenjskega sloga in zdravega prehranjevanja
PRIMA Foundation - Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
14. PRIMA; WEFE4MED - Za sredozemsko skupnost prakse WEFE Nexus
PRIMA Foundation - Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area
prof. dr. Gregor Papa
15. WBL Dotacija; Dotacija za učenje na delovnem mestu
The University Of Wales Trinity Saint David
doc. dr. Tome Eftimov

PROGRAM

1. Računalniške strukture in sistemi
prof. dr. Gregor Papa

OBISKI

1. Laura Bardon, University College Dublin, Irsko, 9.-20. 5. 2022
2. Maja Omieljaniuk, Quadram Institute, Norwich, Velika Britanija, 15. 5. 2022-15. 6. 2022
3. izr. prof. dr. Tamara Bucher, Univerza v Newcastlu, Avstralija, 26. 8. 2022-6. 7. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Margarita Antoniou, Differential Evolution With Estimation of Distribution for Worst-Case Scenario Optimization, 10. 1. 2022

PROJEKTI

1. Kontekstno-odvisno približno računanje na mobilnih napravah
dr. Bojan Blažica
2. Kakovost, varnost in pristnost živil in krme na osnovi proteinov žuželk
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
3. Učenje predstavitev pokrajn in razlago kakovosti stohastičnih optimizacijskih algoritmov
doc. dr. Tome Eftimov
4. Auto-OPT: Avtomatizirana izbira in konfiguracija eno-kriterijskih zveznih optimizacijskih algoritmov
prof. dr. Peter Korošec
5. Historična topografija Posavinja in Posotelja
prof. dr. Peter Korošec
6. METROFOOD
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
7. SI4CARE - Socialne inovacije za celostno zdravstveno oskrbo starajočega se prebivalstva v regijah ADRION-SI4CARE
The Emilia-Romagna region
dr. Bojan Blažica
8. SRIP PMiS: Pametna mesta in skupnosti Podpora strateškim razvojno inovacijskim partnerstvom (SRIP) na prioritarnih področjih pametne specializacije, SRIP Pametna mesta in skupnosti
Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo
prof. dr. Gregor Papa
9. SRIP-ToP: Strateška razvojna inovacijska partnerstva - Tovarne prihodnosti
Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo
dr. Marina Santo Zarnik
10. Šolski lonec: Kontinuirano posodabljanje spletnega portala Šolski lonec za podporo implementaciji nacionalnih prehranskih smernic v vzgojno-izobraževalnih zavodih in prenos veččin e-orodja za načrtovanje kakovostnih šolskih obrokov v prakso
Ministrstvo za zdravje
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
11. Veš kaj ješ: Inovativne rešitve za informirane odločitve: zagotavljanje delovanja mobilne aplikacije VešKajJeš in nadgradnja z dodatnimi, za potrošnike koristnimi informacijami
Ministrstvo za zdravje
dr. Bojan Blažica
12. Veš kaj piješ: Podpora prebivalcem za zmanjševanje tvegane rabe alkohola z mobilno aplikacijo
Ministrstvo za zdravje
dr. Bojan Blažica
13. OPKP: Posodobitev Odrpte platforme za klinično prehrano (OPKP) v skladu z nacionalnimi prehranskimi smernicami in sodobno računalniško tehnologijo
Ministrstvo za zdravje
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
14. Digitalne rešitve in opolnomočenje rabe Informacijskih Tehnologij za spodbujanje zdravih izbir in promocijo zdravja (DoIT)
Zveza potrošnikov Slovenije
prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
15. CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
prof. dr. Gregor Papa

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

1. Optimizacija samodržnega momenta pri načrtovanju elektromotorja s pomočjo simulacij
MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o.
prof. dr. Peter Korošec

2. doc. dr. Anton Biasizzo, Strojno pospeševanje algoritmov, 17. 1. 2022
3. dr. Bojan Blažica, Malo mešano, 24. 1. 2022
4. doc. dr. Tome Eftimov, Less is more, 31. 1. 2022
5. Rok Hribar, Should we differentiate simulations?, 14. 2. 2022
6. dr. Gordana Ispirova, Multi-word Embeddings Fusion by Domain Heuristic for Nutrient Value Prediction, 21. 2. 2022
7. prof. dr. Peter Korošec, Mahle projekt (NDA): Robustno načrtovanje elektromotorja, 7. 3. 2022
8. Robert Modic, BSH & InSecTT: stranka ima vedno prav, 28. 3. 2022
9. Matevž Ogrinc, OPKP - Mapper, 4. 4. 2022
10. dr. Marko Pavlin, LoRaWAN v praksi - od senzorja na terenu do grafa na spletni strani, 11. 4. 2022

11. doc. dr. Veljko Pejović, Dynamic Approximate Computing with Mobiprox, 9. 5. 2022
12. Andraž Simčič, Kotlin vs Java, 23. 5. 2022
13. Uroš Lipovšek, Containers, GPUs and observability, 24. 5. 2022
14. dr. Drago Torkar, InSecTT, 6. 6. 2022
15. prof. dr. Gregor Papa, CONDUCTOR, 13. 6. 2022
16. Jure Vreča, Domain Specific Architectures and Chisel 4ml, 20. 6. 2022
17. Gašper Petelin, Algorithm selection for time-series, 29. 8. 2022
18. dr. Vida Vukašinović, ENAKOST SPOLOV z zavedanjem raznolikosti do vključujoče organizacijske kulture, 19. 9. 2022
19. Margarita Antoniou, Introduction to evolutionary algorithms for pessimistic bilevel problems, 26. 9. 2022
20. doc. dr. Anton Biasizzo, QSee - Quantum Software Engineering, 3. 10. 2022
21. dr. Bojan Blažica, I like to move it, 10. 10. 2022
22. doc. dr. Tome Eftimov, Trajectory-based algorithm selection with warm-starting, 21. 11. 2022
23. Rok Hribar, EXOWORLD, 28. 11. 2022
24. prof. dr. Peter Korošec, AUTO - OPT: Avtomatizirana izbira in konfiguracija enokriterijskih zveznih optimizacijskih algoritmov, 5. 12. 2022
25. dr. Gordana Ispirova, Exploiting Domain knowledge in predictive learning from Food and Nutrition Data, 12. 12. 2022
26. Urban Škvorc, Towards Understanding the Impact of Problem Landscape Space in Numerical Black-Box Optimization, 16. 12. 2022
27. prof. dr. Barbara Koroušič Seljak, Recent 252+ working days were not boring, 19. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Margarita Antoniou, doc. dr. Tome Eftimov, prof. dr. Peter Korošec, prof. dr. Gregor Papa, BIOMA 2022, Maribor, 17.-18. 11. 2022
2. doc. dr. Anton Biasizzo, Jure Vreča, projektni sestanek DAIS, Izmir, Turčija, 24.-28. 10. 2022
3. dr. Bojan Blažica, partnerski sestanek SI4Care, Atene, Grčija, 22.6-4. 6. 2022
4. dr. Bojan Blažica, udeležba na sestanku projekta D-Rabbit, Cagliari, Italija, 19.-17. 9. 2022
5. dr. Bojan Blažica, konferenca Pervasive Health and Smart Sensing, Ljubljana, Slovenija, 13.-14. 10. 2022
6. dr. Bojan Blažica, vabljen predavanje na posvetu: Enakopraven dostop do storitev in informacij ter socialna vključenost so pogoji za preprečitev revščine starejših, Maribor, Slovenija, 17. 10. 2022
7. dr. Bojan Blažica, HCI-SI konferenca, Ljubljana, Slovenija, 29. 11. 2022
8. dr. Bojana Blažica, sestanek SI4CARE, Sarajevo, BiH, 29. 11.-1. 12. 2022
9. Gjorgjina Cenikj, Gašper Petelin, konferenca IEEE SSCI, Singapur, Singapur, 1.-10. 12. 2022 (1)
10. doc. dr. Tome Eftimov, Evostar 2022, Madrid, Španija, 20.-22. 4. 2022 (1) (virtualno)
11. doc. dr. Tome Eftimov, workshop Benchmarked, Amsterdam, Nizozemska, 29. 5.-3. 6. 2022
12. doc. dr. Tome Eftimov in Matevž Ogrinc, ELIXIR All Hand 2022, Amsterdam, Nizozemska, 7.-10. 6. 2022
13. doc. dr. Tome Eftimov, Rok Hribar, prof. dr. Gregor Papa, Gašper Petelin in Urban Škvorc, 40. slovenska delavnica Algoritmi po vzorih iz narave (AVN), Zavarčarjev vrh, Slovenija, 15. 6. 2022 (2)
14. doc. dr. Tome Eftimov, Gašper Petelin in Urban Škvorc, konferenca GECCO 2022, Boston, Massachusetts, ZDA, 8.-14. 7. 2022 (3)

15. dr. Tome Eftimov in Urban Škvorc, konferenca IEEE WCCI 2022, Padova, Italija, 18.-23. 7. 2022 (3)
16. doc. dr. Tome Eftimov, RAFA 2022, Praga, Češka, 6.-9. 9. 2022
17. doc. dr. Tome Eftimov in prof. dr. Gregor Papa, PPSN 2022, Dortmund, Nemčija, 9.-14. 9. 2022 (2)
18. doc. dr. Tome Eftimov, Gordana Ispirova, prof. dr. Barbara Koroušič Seljak, konzorcijski sestanek FNS Cloud, Ljubljana, Slovenija 25.-27. 10. 2022
19. doc. dr. Tome Eftimov in prof. dr. Gregor Papa, Strateški dnevi IJS, Kranjska Gora, Slovenija 8.-9. 11. 2022
20. doc. dr. Tome Eftimov, vabljen predavanje na Tomas Bata University in Zlín, Zlín, Češka, 27. 11.-2. 12. 2022
21. Rok Hribar, prof. dr. Gregor Papa, Gašper Petelin, projektni sestanek iRel40, Istanbul, Turčija, 16.-20. 5. 2022 (3)
22. Rok Hribar, prof. dr. Peter Korošec, prof. dr. Gregor Papa, Gašper Petelin, projektni sestanek iRel40, Ljubljana, Slovenija, 7.-10. 11. 2022
23. dr. Gordana Ispirova, konferenca International Society of Behavioral Nutrition and Physical Activity (ISBNPA), Phoenix, Arizona, ZDA, 17.-28. 5. 2022 (1)
24. dr. Gordana Ispirova, projektni sestanek FNS Cloud, Sassari, Italija, 27. 6. 2022-4. 7. 2022
25. dr. Gordana Ispirova, prof. dr. Peter Korošec, Robert Modic, Andraž Simčič, udeležba na kick-off meeting FishEUTrust, Ljubljana, Slovenija, 12.-13. 9. 2022
26. prof. dr. Peter Korošec, predstavitev v sklopu Inteligentna in robotizirana avtonomnost (Strip ToP, GZS), Idrija, Slovenija, 17. 11. 2022 (1)
27. prof. dr. Barbara Koroušič Seljak, EGI konferenca 2022, Praga, Češka, 20.-22. 9. 2022 (1)
28. prof. dr. Barbara Koroušič Seljak, delavnica OPKP, Ljubljana, Slovenija, 14. 10. 2022
29. prof. dr. Barbara Koroušič Seljak, predavanje How to address open science in EU projects: predavanje v okviru Open Science Summer School, Maribor, Slovenija, 12.-16. 9. 2022
30. Tina Kondić, Robert Modic, Matevž Ogrinc in Andraž Simčič, konferenca Zdravje otrok in mladostnikov, Portorož, Slovenija, 16. 9. 2022 (5)
31. prof. dr. Gregor Papa, ECS Brokerage 2022, virtualno, 18.-19. 1. 2022
32. prof. dr. Gregor Papa, KDT Kick-off and Brokerage 2022, Bruselj, Belgija, 2.-4. 5. 2022
33. prof. dr. Gregor Papa, projektni sestanek iRel40, Beljak, Avstrija, 4.-6. 7. 2022
34. prof. dr. Gregor Papa, prispevek na 48th annual conference IEEE IECON 2022, Bruselj, Belgija 18.-20. 10. 2022 (1)
35. prof. dr. Gregor Papa, sestanek LIT Tranzit, Trzin, Slovenija, 8. 9. 2022
36. prof. dr. Gregor Papa, 5th ESEIA international conference, Nikozija, Ciper, 1.-4. 11. 2022
37. prof. dr. Gregor Papa, Gašper Petelin, prof. dr. Peter Korošec (splet) in dr. Vida Vukašinović (splet), uvodni sestanek projekta CONDUCTOR, Atene, Grčija, 21.-23. 11. 2022
38. Gašper Petelin, poletna šola MLSSN, Krakow, Poljska, 27. 6.-2. 7. 2022
39. Gašper Petelin, Mediterranean Machine Learning Summer School, Milano, Italija, 10.-17. 9. 2022
40. dr. Drago Torkar, projektni sestanek InSecTT, Gdansk, Poljska, 12.-16. 6. 2022
41. Jure Vreča, DAIS: konzorcijski sestanek, Lizbona, Portugalska, 13.-18. 3. 2022
42. Jure Vreča, ACM Europe Summer School, Barcelona, Španija, 28. 8.-5. 9. 2022
43. Jure Vreča, Dresden Microelectronics Academy 2022 - cfad Summer School, Dresden, Nemčija, 9.-18. 9. 2022

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Eva Valenčič: Univerza v Newcastlu, Newcastle, Avstralija, 20. 1. 2022-27. 1. 2023 (doktorsko izpopolnjevanje)
2. dr. Tome Eftimov, Univerza Sorbonne, Pariz, Francija, 4. 3.-16. 3. 2022 (raziskovalni obisk)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. doc. dr. Anton Biasizzo
2. dr. Bojan Blažica
3. doc. dr. Tome Eftimov
4. prof. dr. Peter Korošec
5. prof. dr. Barbara Koroušič Seljak
6. **prof. dr. Gregor Papa, vodja odseka**
7. doc. dr. Veljko Pejović*
8. *dr. Marina Santo Zarnik, upokojitev 1. 4. 2022*
9. dr. Drago Torkar
10. dr. Vida Vukašinović

Podoktorski sodelavci

11. dr. Marko Pavlin*

Mlajši raziskovalci

12. Margarita Antoniou, Msc. in Environmental Protection and Sustainable Develop., Faculty of Eng., Hellenic Republic
13. Gjorgjina Cenikj, mag. inf. in kom. tehnologij
14. Rok Hribar, univ. dipl. fiz.
15. dr. Gordana Ispirova
16. Gašper Petelin, mag. inž. rač. in inf.
17. Urban Škvorc, mag. inž. rač. in inf.

18. Eva Valenčič, mag. inž. preh.

19. Jure Vreča, mag. inž. el.

Strokovni sodelavci

20. Robert Modic, dipl. inž. rač. in inf.
21. *Peter Novak, mag. graf. inž., odšel 1. 3. 2022*
22. Matevž Ogrinc, dipl. inž. rač. in inf. (UN)

Tehniški in administrativni sodelavci

23. Jolanda Jakofčič
24. Tina Kondić
25. Andraž Simčič
26. Andreja Vlašič, dipl. ekon. (VS)

Opomba

- * delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Abinsula, Sassari, Italija
2. Belit, d. o. o., Srbija
3. Cologne University of Applied Sciences, Cologne, Nemčija
4. Consulta Europa Projects and Innovation SL, Kanarski otoki, Španija
5. Cosylab, d. d., Ljubljana, Slovenija
6. Denmark Technical University (DTU), Danska

7. Digital smart, d. o. o., Črna gora
8. Elaphe LAB, Ljubljana, Slovenija
9. Esteco SpA, Trst, Italija
10. EuroFIR AISBL, Bruselj, Belgija
11. European Sustainable Energy Innovation Alliance, Gradec, Avstrija
12. Facebook AI Research, Pariz, Francija
13. Fakulteta za informacijske študije v Novem mestu, Računalništvo in informatika, Novo mesto
14. GINF Systems Ltd., Veszprem, Madžarska
15. GoOpti, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
16. GS1 Slovenija, Ljubljana, Slovenija
17. Harvard University, Boston, ZDA
18. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Dresden, Nemčija
19. IE University's School of Science and Technology, Madrid, Španija
20. Indian Institute of Technology Indore, Indija
21. Infineon Technologies AG, Regensburg, Nemčija
22. Infineon Technologies Austria, Beljak, Avstrija
23. Instituto Portugues do Mar e da Atmosfera, Lizbona, Portugalska
24. Inštitut za nutricionistiko, Ljubljana, Slovenija
25. ITIS Software, Universidad de Malaga, Malaga, Španija
26. Kaliopa, d. o. o., Celje, Slovenija
27. Kingsbox, d. o. o., Sežana, Slovenija
28. Klemen Selakovic, s. p., Ljubljana, Slovenija
29. LIT Transit, Trzin, Slovenija
30. MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o., Šempeter pri Gorici, Slovenija
31. Municipality of Miglierina, Calabria, Italija
32. National and Kapodistrian University of Athens, Atene, Grčija
33. National Technical University of Athens, Atene, Grčija
34. Netcompany-Intrasoft, Peania, Grčija
35. NIJZ, Nacionalni inštitut za javno zdravje, Ljubljana, Slovenija
36. Nutritics, Dublin, Irska
37. Onkološki inštitut Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
38. PBM3, profesionalne biomehanske meritve in merilniki, d. o. o., Ajdovščina, Slovenija
39. Philips Research, Eindhoven, Nizozemska
40. Pipistrel, d. o. o., Ajdovščina, Slovenija
41. PLAMTEX INT., d. o. o., Komenda, Slovenija
42. PROVENTUS, računalniške storitve, d. o. o., Šempeter pri Gorici, Slovenija
43. Public Health Institution Health Center Tivat, Črna gora
44. Redinn s.r.l., Rim, Italija
45. Regional Development Fund of Central Macedonia Thessaloniki, Grčija
46. RISE Research Institutes of Sweden, Göteborg, Švedska
47. Rudolfovo – Znanstveno in tehnološko središče, Novo mesto, Slovenija
48. RWTH Aachen University, Aachen, Nemčija
49. ScaleFocus, Sofija, Bolgarija
50. Slovensko združenje za klinično prehrano, Ljubljana, Slovenija
51. Sorbonne Universit, and CNRS, Laboratoire d'Informatique de Paris 6, Pariz, Francija
52. Sorbonne University, Pariz, Francija
53. Special hospital Merkur, Vrnjačka Banja, Srbija
54. Splošna bolnišnica Novo mesto, Slovenija
55. Stellenbosch University, Stellenbosch, Južna Afrika
56. Nastavni zavod za javno zdravstvo, Split, Hrvaška
57. The Hyve B. V., Utrecht, Nizozemska
58. The Leiden University, Leiden, Nizozemska
59. The Quadram Institute, Norwich, Velika Britanija
60. The University of Newcastle, Newcastle, Avstralija
61. TPV Automotive, d. o. o., Novo mesto, Slovenija
62. Trgovinska zbornica Slovenije, Ljubljana, Slovenija
63. Università degli Studi di Cagliari, Cagliari, Italija
64. University of Florence, Firenze, Italija
65. University of Maastricht, Maastricht, Nizozemska
66. University of Pannonia, Veszprem, Madžarska
67. Sveučilište u Splitu, Medicinski fakultet, Split, Hrvaška
68. University of Surrey, Guildford, Velika Britanija
69. Univerza na Primorskem, Fakulteta za zdravstvene vede, Izola, Slovenija
70. Univerza sv. Cirila in Metoda, Fakulteta za elektrotehniko in informacijske tehnologije, Skopje, Severna Makedonija
71. Univerza sv. Cirila in Metoda, Fakulteta za informacijske znanosti in računalniško inženirstvo, Skopje, Severna Makedonija
72. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija
73. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
74. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
75. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Ljubljana, Slovenija
76. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
77. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Ljubljana, Slovenija
78. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija
79. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
80. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
81. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana, Slovenija
82. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, Slovenija
83. Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta, Nova Gorica, Slovenija
84. Univerza v Osijeku, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informacijsko tehnologijo, Osijek, Hrvaška
85. Univerzitetni klinični center, Pediatrična klinika, Ljubljana, Slovenija
86. Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije Soča, Ljubljana, Slovenija
87. Virtual Vehicle Research GmbH, Gradec, Avstrija
88. Wageningen University, Wageningen, Nizozemska
89. XLAB, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
90. Zavod zdravstvenog osigurenja i reosiguranja federacije Bosne i Hercegovne, Sarajevo, BiH
91. Zeroday, d. o. o.
92. Zgodovinski inštitut Milka Kosa, ZRC SAZU, Ljubljana, Slovenija
93. Zveza potrošnikov Slovenije, Ljubljana, Slovenija

Področje dela Odseka za tehnologije znanja je razvoj metod umetne inteligence in drugih naprednih informacijskih tehnologij, ki podpirajo pridobivanje, upravljanje, modeliranje ter uporabo znanja in podatkov, s čimer omogočajo na znanju temelječo družbo. Naše raziskave pokrivajo številna področja umetne inteligence, kot sta strojno učenje in obdelava naravnega jezika, zajemajo pa tudi druga področja, kot je podpora odločanju. Obsegajo pet stebrov: strojno učenje, podpora odločanju in umetna inteligenca, umetna inteligenca in znanost, jezikovne tehnologije in digitalna humanistika ter tehnologije znanja za družbo. Razvite tehnologije znanja uporabljamo na različnih področjih, od trajnostnega kmetijstva do personalizirane medicine in zdravstva, prek medijev, izobraževanja in umetnosti ter različnih industrijskih sektorjev, kot so energija, promet in vesoljske raziskave.



Vodja:
prof. dr. Sašo Đeroski

V letu 2022 smo bili vključeni v dva nacionalna raziskovalna programa (tehnologije znanja in kvantne tehnologije), osemnajst nacionalnih projektov in deset EU projektov. Med temi so bili koordinatorji dveh EU projektov, EMBEDDIA in IMSyPP, vključeni pa smo bili tudi v en projekt CEF. Sodelovali smo tudi pri dveh infrastrukturnih projektih, dveh aplikativnih projektih in eni akciji COST. Na odseku smo imeli tudi štiri projekte mladih raziskovalcev, v okviru katerih so ti izvajali svoje doktorske raziskave.

Strojno učenje

Na tem področju smo se osredotočili na metode za napovedovanje več ciljnih spremenljivk, pri čemer obravnavamo naloge strojnega učenja, kot sta klasifikacija z več oznakami in regresija z več ciljnimi spremenljivkami. Zasnovali smo novo metodo za učenje preživetvenih dreves, ki temelji na delno nadzorovanem učenju dreves za napovedno razvrščanje regresijskih spremenljivk, in jo ovrednotili na številnih medicinskih zbirkah podatkov. Izvedli smo tudi obsežno empirično primerjalno študijo metod za klasifikacijo z več oznakami, ki zajema veliko metod, naborov podatkov in metrik uspešnosti. Razvili smo tudi več metod za učenje ansamblov relacijskih odločitvenih dreves za klasifikacijo, vključno z metodo bagging, naključnimi gozdovi in metodo gradientni boosting.

Na področju strojnega učenja smo obravnavali tudi temo reprezentacijskega učenja, kjer smo razvili metode podatkovnega rudarjenja za analizo heterogenih podatkov. Razvili smo pristop h globokemu rangiranju vozlišč za nevro-simbolno strukturno vgrajevanje in klasifikacijo vozlišč ter podali celovito evalvacijo pristopov za dopolnjevanje ontologij z učenjem na podlagi grafov. Razvili smo tudi pristop Relief za rangiranje značilnosti v visoko dimenzionalnih prostorih.

Podpora pri odločanju in umetna inteligenca

Na področju podpore pri odločanju razvijamo metode in tehnike odločitvenega modeliranja ter podporna računalniška orodja. V Springerjevi knjigi *Multiple criteria decision making: Techniques, analysis and applications* je izšlo obsežno poglavje o metodi DEX (Decision EXpert). Metoda, ki smo jo razvili na IJS, se je z objavo uvrstila ob bok najpomembnejših metod s področja večkriterijskega odločitvenega modeliranja. Analitični del metode smo dopolnili z algoritmom BAG-DSM, ki s pristopom bayesovske optimizacije rešuje zahteven kombinatorični problem in odgovarja na vprašanja ciljne analize: kaj moramo spremeniti pri določeni odločitveni alternativni, da bo ocenjena boljše oziroma slabše? Zbirko podpornih orodij za DEX smo razširili s programsko opremo za uporabo v okoljih R in Python.

Aplikativni del raziskav je potekal predvsem v znamenju zaključka projekta H2020 NARSIS, v okviru katerega smo razvili sistem za podporo odločanju pri resnih nesrečah v jedrskih elektrarnah Severa. Metodo DEX smo uporabili tudi pri podpori deležnikov pri sanaciji jedrskih objektov in za presojo kakovosti slovenskih učbenikov. Nazadnje je bil DEX uporabljen za podporo pri odločanju pri integraciji sistemov za upravljanje s človeškimi viri in sistemov za upravljanje identitete in dostopa v podjetju, za razvoj orodja za podporo pri odločanju za trajnostno integracijo trga dela in za analizo skupnosti v slovenskem delovnem omrežju 2010–2020.



Slika 1: Nada Lavrač je prejela Zoisovo nagrado za vrhunske znanstvene dosežke na področju strojnega učenja.

Na področju *razločljive umetne inteligence* smo razvili in ovrednotili nove metode za ocenjevanje in rangiranje značilnosti v več različnih kontekstih. Sem spadajo nove metode za rangiranje značilnosti pri večrazredni in večoznačni klasifikaciji, ki temeljijo na nizkodimenzionalnih mnogoterih vgradih vhodnih in izhodnih prostorov ter metodi Relief. Podobno smo razvili tudi nove pristope za rangiranje značilnosti v kontekstu relacijskega učenja, ki temeljijo na metodah učenja ansamblov relacijskih odločitvenih dreves.

Na to področje spadajo tudi raziskave v EU projektu TAILOR (Foundations of Trustworthy AI Integrating Learning, Optimization and Reasoning). Znotraj projekta se osredotočamo na pristope AutoAI za avtomatizirano konfiguracijo različnih metod UI za doseganje boljše učinkovitosti pri določeni nalogi, pa tudi za razumevanje in razlago pogojev (lastnosti naloge), pod katerimi določene metode delujejo dobro. Metaučenje (poleg rezultatov strojnega učenja) smo uporabili za razlago učinkovitosti metod razvrščanja z več oznakami z lastnostmi nabora podatkov. Podobno smo s pomočjo strojnega učenja analizirali delovanje različnih konfiguracij modularnih optimizacijskih algoritmov in povezali njihovo delovanje pri različnih optimizacijskih nalogah z lastnostmi naloge.

Umetna inteligenca za znanost

Na tem področju smo nadaljevali delo na *semantičnih tehnologijah* za podporo procesa analize podatkov in duhu *odprte znanosti*. Po razvoju formalizmov za ontološke opise algoritmov strojnega učenja, naborov podatkov in poskusov smo delali na popolniti ontologiji s podatki. Tako smo na primer pripravili katalog s semantičnimi opombami, zaradi katerega večoznačne zbirke podatkov ustrezajo načelom FAIR (tj. so najdljive, dostopne, interoperabilne in ponovno uporabne). Podobno smo razvili ontologijo primerjalne analize algoritmov optimizacije (OPTION) za podporo primerjalne analize algoritmov na področju optimizacije, ki omogoča opis optimizacijskih algoritmov, problemov optimizacije in informacij o zmogljivosti, ki izhajajo iz študij primerjalne analize. Nato smo zbrali primerjalne podatke, jih ustrezno označili in jih uporabili za metaučenje, npr. za analizo delovanja različnih konfiguracij modularnih optimizacijskih algoritmov in povezovanje njihove uspešnosti pri različnih optimizacijskih nalogah z lastnostmi opravila.

Na področju *računalniškega odkrivanja znanstvenih zakonitosti*, ključnega področja uporabe metod umetne inteligence v znanosti, so se naše raziskave osredotočile na projekt SESAME *Avtomatizirana sinteza in analiza znanstvenih modelov*. Predlagali smo uporabo verjetnostnih slovnice za predstavitev domenskega znanja pri odkrivanju enačb. Po začetnem delu na odkrivanju algebrskih enačb smo naše pristope razširili na učenje navadnih diferencialnih enačb iz podatkov in domenskega znanja, specificiranega z verjetnostnimi slovnici. Na povezanem področju računalniške ustvarjalnosti smo razvili sistem za evalvacijo algoritmov učenja kurikulumov z uporabo metrik s področja računalniške kreativnosti.

Prav tako smo veliko uporabljali *strojno učenje za znanost*, pri čemer smo upoštevali znanstvene podatke z različnih področij, kar je vodilo do objav v literaturi o računalništvu in aplikativnih področjih. Na področju znanosti o življenju, medicine in farmakologije smo uporabili metode večtarčnega napovedovanja za izvedbo virtualnega presejanja spojin. V okviru projekta INTERREG V-A Slovenija-Italija *TRAIN: Big Data and Disease Models: A Cross-border Platform for Validated Biotech Industry Kits* smo iskali zdravila, ki bi pomagala zdraviti pljučno fibrozo, in našli kandidata, za katerega so s poskusi v laboratoriju potrdili, da je aktiven. V okviru projekta *Restavriranje plesnivih slik na platnu: izboljšanje ali poslabšanje?* proučujemo poškodbe slik, ki jih povzročajo glive, še posebej za Celjski strop, biorazpadlo tempera sliko na platnu, kjer smo analizirali razmerje med lastnostmi slik in biološko razgradnjo. Z večtarčnimi napovednimi metodami smo modelirali tudi razmerje med populacijami malih sesalcev in sestavo združb sov.

Na področju ved o okolju smo z metodami strojnega učenja identificirali nastajajoče skrb vzbujajoče onesnaževalce iz masnih spektrov njihovih sililiranih derivatov. Uporabili smo tudi metode za večtarčno napovedovanje za proučevanje pojavljanja, raznolikosti in protiglivične odpornosti gliv v pesku mestne plaže v Sloveniji s pomočjo podatkov, zbranih z okoljskim monitoringom, ter za raziskovanje možnih posledic tveganja za zdravje. Ne nazadnje smo uporabili tudi večtarčno napovedovanje v robotiki, da smo iz večmodalnih podatkov določili kontekst izjem v operacijah sestavljanja.

Jezikovne tehnologije in digitalna humanistika

Na teh področjih se ukvarjamo z obdelavo in razumevanjem naravnega jezika, analitiko besedil in omrežij, odprtimi jezikovnimi viri in digitalno humanistiko.

Na področju obdelave in razumevanja naravnega jezika smo uspešno zaključili delo na evropskem projektu EMBEDDIA (Medjezikovne vektorske vložitve za manj zastopane jezike v evropskih medijih), ki smo ga koordinirali. Razvili smo vrsto novih tehnologij za čez- in večjezično analizo in generiranje novic, ki smo jih predstavili tudi v okviru vabljenih predavanj na dogodkih in tujih univerzah. Analiza novic je bila tudi glavna tema nacionalnega projekta CANDAS (Računalniško podprta večjezična analiza novičarskega diskurza s kontekstualnimi besednimi vložitvami). Primerjali smo različne metode za luščenje ključnih besed za slovenščino in v čezjezičnih eksperimentih. Izvedli

smo tudi primerjalno študijo nenadzorovanih luščilnikov ključnih besed z vidika razmerja med hitrostjo luščenja in kakovosti rezultatov ter predlagali naš lastni sistem za hitro in robustno luščenje brez učnih podatkov. Razvili smo tudi nov način predstavitve besedil na podlagi uporabe grafov znanja in ponazorili potencial pristopa na nalogi klasifikacije lažnih novic. Predlagali smo tudi pristop za luščenje in analizo metafor iz medijskega diskurza na temo migracij. Implementirali smo spletne delotoke za interaktivno eksperimentiranje z besednimi vektorskimi vložitvami v okolju ClowdFlows in jih uporabili na delavnici s področja digitalne humanistike, ki smo jo organizirali. V okviru uporabnih raziskav s področja analize novic smo v okviru industrijskega projekta s podjetjem za spremljanje novic Kliping, d. o. o., nadgradili in ovrednotili metode za analizo sentimenta, luščenje ključnih besed in imenskih entitet ter gručenje in priklic dokumentov. Objavili smo tudi nove učne podatke za luščenje ključnih besed extraction ter predlagali metodo za generiranje novic člankov z malo viri.

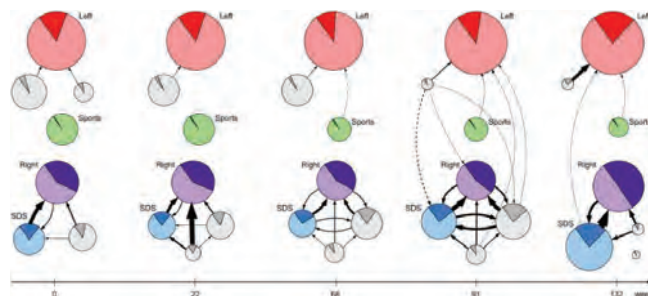
V okviru evropskega projekta MaCoCu (Massive Collection and Curation of Monolingual and Bilingual Data: Focus on Under-resourced Languages) smo izdali prvi sklop enojezičnih zbirk besedil, pridobljenih s spleta, ki zajemajo slovensko, hrvaško, makedonsko, bolgarsko, turško, malteško in islandsko zbirko besedil. Za večino jezikov so te zbirke največje zbirke besedil do zdaj, poleg tega pa so zelo uporabne za gradnjo velikih jezikovnih modelov. Objavili smo tudi več velikih jezikovnih modelov, med katerimi jih večina dosega najboljše rezultate pri izboru nalog s področja razumevanja naravnega jezika (<https://huggingface.co/MaCoCu>). Skupaj z enojezičnimi zbirkami smo objavili tudi vzporedne zbirke besedil v naslednjih jezikovnih parih: slovensko-angleški, hrvaško-angleški, makedonsko-angleški, bolgarsko-angleški, turško-angleški, malteško-angleški in islandsko-angleški. V okviru obogatitve zajetih besedil smo ustvarili novo tipologijo kategorij žanrov in podatkovno množico za žanrsko identifikacijo spletnih besedil, eksperimentirali smo s čezjezičnim prenosom pri žanrski identifikaciji in analizirali značilke, pomembne za to nalogo. Poleg tega smo v okviru tega delovnega sklopa raziskovali tudi razlikovanje med jezikovnimi variantami.

Razvili smo pristop k obdelavi naravnega jezika s kombinacijo nevrosimbolnih predstavitev in omejenega gručenja člankov, ki smo ga vgradili v sistem NeSyChair, ki je uporaben za polavtomatsko izdelavo konferenčnih urnikov. Izdelali smo tudi sistem Linguoplotter za generiranje kratkih jezikovnih opisov podatkov ter predlagali metode za razčlenjevanje besedila v poizvedbe SQL z generiranjem členjenih primerov. Sodelovali smo tudi na računalniških tekmovanjih s področja obdelave naravnega jezika. Dosegli smo prvo mesto na tekmovanju TextGraphs-16 natural language premise selection task, ki se ukvarja z obdelavo naravnega jezika na področju matematične logike, in peto mesto na tekmovanju določanja podobnosti novičarskih člankov ADD COBISS. Sodelovali smo tudi na tekmovanju o večciljni klasifikaciji biomedicinske literature o covidu-19 in predlagali nove pristope k poravnavi predstavitev slovarskih definicij in iztočnic.

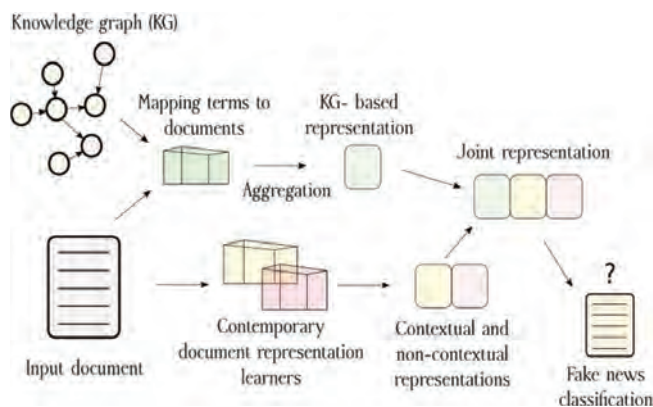
Ne nazadnje smo prispevali tudi k nastanku novega korpusa učbenikov in osnovnega besedišča usvajanja slovenščine kot tujega jezika in razvili jezikovne modele budističnega sanskrta in množice za njihovo vrednotenje ter odkrili, da kontekst občutno izboljša strinjanje med označevalci, še posebej pri najbolj radikalnih primerih sovražnega govora. Nadaljevali smo raziskovanje povezav med omrežji retweetov, temami in sovražnim govorom v objavah na slovenskem Twitterju v obdobju 2018–2020 ter odkrili, da večina sovražnega govora izhaja iz ideološko obarvanih razprav, pri katerih so glavni viri sovražnih vsebin desno orientirane skupnosti. Raziskujemo tudi odziv na Twitterju v državah naslednicah nekdanje Jugoslavije na nedavno rusko invazijo na Ukrajino. Naša analiza razvoja skupnosti je razkrila enoten odziv zahodnega dela nekdanjih jugoslovanskih držav, ki se močno razlikuje od odziva Srbije, kjer skoraj ni bilo sprememb v skupnosti.

Ukvarjali smo se s področjem zaznavanja sovražnega in žaljivega govora v okviru projektov RobaCOFI (Robust and adaptable comment filtering), ki je bil izbran v financiranje v okviru razpisa evropskega projekta AI4Media, ter nacionalnega projekta SOVRAG (Sovražni govor v sodobnih konceptualizacijah nacionalizma, rasizma, spola in migracij). Objavili smo večjezični razpoznavnik sovražnega in žaljivega govora in novo označeno množico podatkov CoRAL, ki zajema označevanje sovražnih in žaljivih komentarjev v hrvaščini predvsem z vidikov implicitnosti in vezanosti na lokalni in globalni kontekst. V eksperimentih pokažemo, da obstoječi modeli za zaznavo neprimernih vsebin slabše delujejo, kadar

Sodelavci odseka so sodelovali pri organizaciji 9. delavnice VarDial na temo procesiranja naravnega jezika za variacije jezika in dialekte, ki je potekala sočasno z Mednarodno konferenco računalniškega jezikoslovja COLING v mestu Gyeongju v Južni Koreji. Delavnica je zajemala 13 prispelih predstavitev in 2 vabljeni predavanja, poleg tega pa so se letos osredotočili na ocenjevanje pristopov do ločevanja med italijanskimi dialekti, meddomenskega razpoznavanja dialektov francoščine in ekstraktivnega odgovarjanja na vprašanja za dialekte angleščine, arabščine in svahilija.



Slika 2: Razvoj mrežnih skupnosti in sovražnega govora na slovenskem Twitterju v obdobju 2018–2020. Vozlišča so največje zaznane skupnosti v tednih $t = 0, 22, 68, 91, 132$. Velikost vozlišča ustreza velikosti skupnosti, temnejši deli predstavljajo delež nesprijemljivih čivkov na Twitterju, svetlejši pa delež sprejemljivih. Povezave označujejo zunanji vpliv ene skupnosti na drugo. Povezane skupnosti tvorijo nadskupnosti: levo orientirane (Left, zgoraj), nepolitično skupnost (Sport, sredina) in desno orientirane (Right in SDS, spodaj).



Slika 3: Pristop odkrivanja lažnih novic z uporabo standardnih in na novo razvitih predstavitev, ki temeljijo na grafih znanja.

jezik ni ekspliciten, težave pa imajo predvsem, kadar je za interpretacijo komentarjev potrebno dobro poznavanje jezikovnega in družbenega konteksta. Poleg raziskav na področju sovražnega govora pa so bile uporabniške vsebine tudi predmet drugih naših raziskav. Analizirali smo tvite med francosko predsedniško kampanjo ter razvili pristop za razumevanje in vključevanje semantike nestandardnih zapisov v tajskem jeziku, ki je pozitivno vplival tudi na rezultate pri nalogah klasifikacije uporabniških vsebin.

V prispevku uporabljamo za analizo grafa družbenega omrežja Delovne skupine za internetno inženirstvo (Internet Engineering Task Force). Na podlagi javno dostopnih elektronskih sporočil, povezav med soavtorji in vplivov ključnih sodelavcev pokažemo, da je ključno malo število osrednjih sodelavcev, vendar je vpliv vedno bolj decentraliziran. Analiziramo korelacijo med vplivom, afiliacijo in uspehom za sprejetje predlogov.

Nadaljevali smo naše delo v okviru projekta Formica 2 (Kvantitativna in kvalitativna analiza nereguliranih delov finančnega poročanja podjetij). Izdelali smo klasifikator za določanje finančnega sentimenta, ki uporablja tudi znanje iz finančnih ontologij, in razvili sistem za zaznavanje tistih vsebin finančnih besedil, ki so vezane na trajnostni razvoj. V nadaljevanju smo se posvetili diahroni analizi finančnih poročil z vidika konceptov trajnostnega razvoja in meril okolja, družbe in upravljanja podjetij (ESG). Za prispevek smo dobili tudi nagrado za najboljši prispevek delavnice First Computing Social Responsibility Workshop, ki je bila organizirana v okviru konference LREC 2022.

Na področju *odprtih jezikovnih virov* vodimo CLARIN.SI, slovensko nacionalno vozlišče evropske raziskovalne infrastrukture CLARIN ERIC, ki omogoča enostavno objavo in trajnosten dostop do digitalnih jezikovnih podatkov za znanstvenike s področja humanistike in družboslovja ter drugih strok, ki uporabljajo ali proizvajajo jezikovne vire. CLARIN.SI vzdržuje CTS certificirani repozitorij jezikovnih virov, spletna konkordančnika in druge spletne storitve ter podpira ustvarjanje jezikovnih virov in promocijo digitalnega jezikoslovja.

CLARIN.SI je bil partner v projektu ParlaMint Towards Comparable Parliamentary Corpora, ki ga je financiral CLARIN ERIC in smo ga uspešno zaključili v letu 2021 ter v letu 2022 nadaljevali projekt. V ParlaMint II vodimo tri od petih delovnih sklopov: DS1 *Dokumentacija, interoperabilnost, metapodatki*, kjer smo napisali smernice za kodiranje in izboljšali kodirno shemo za korpuse, DS2 *Razširitev korpusov*, kjer koordiniramo dodajanje novih korpusov in razširitev prejšnjih z novimi transkripcijami, ter DS3 *Obogatitev korpusov*, kjer bomo korpuse strojno prevedli v angleščino ter izbranim korpusom dodali govorne podatke.

V okviru projekta *Razvoj slovenščine v digitalnem okolju*, ki ga financira Ministrstvo za kulturo RS, in s partnerji iz 12 institucij IJS razvija metode za luščenje terminologije in zaznavanje semantičnih premikov. Za slednje smo izdali nov evalvacijski nabor podatkov za slovenščino. Na področju avtomatiziranega upravljanja terminologije smo luščenje terminologije definirali kot nalogo označevanja zaporedij. Proučili smo vlogo različnih jezikovnih modelov v enojezikovnem okolju, raziskali potencial združevanja njihovih izhodov z ansambli in evalvirali metode v medjezikovnem okolju. Preizkusili smo tudi kombinacijo kontekstualnih in globalnih pristopov za označevanje zaporedij in razvili metodologijo za medjezikovno poravnavo terminologije. Poleg tega smo se na področju terminologije ukvarjali tudi z luščenjem definicij in proučevanjem terminoloških okvirjev za strokovno področje krasoslovja.

CLARIN.SI pa je v projektu *Razvoj slovenščine v digitalnem okolju* pristojen za arhiviranje in dostopnost vseh virov, izdelanih v okviru projekta. CLARIN.SI ponuja pomoč pri označevanju jezikovnih virov ter pri uporabi standardov in dobrih praks kodiranja in označevanja jezikovnih virov projekta, deponirane korpuse pa tudi naredi dostopne na svojih spletnih konkordančnikih.



Slika 4: Postopek za analizo korpusov, razvit na platformi Cloudflows, ki so jo uporabljali udeleženci delavnice Digitalna humanistika, organizirani januarja 2022.

Kodirali in jezikovno označili smo več korpusov, ki so nastali na ZRC SAZU: Korpus slovenske književnosti 1968 Maj68 2.0.; Označeni vzorec Slovenskega biografskega leksikona SBL-51abbr 1.0., kjer smo tudi vodili anotacijsko kampanjo in nato objavili prispevek o tem, kako razširiti okrajšave s tehnikami strojnega učenja, naučenimi na tem naboru podatkov. Objavili smo tudi prispevek o razvoju Korpusa slovenskih šolskih besedil, ki je bil v repozitoriju objavljen leta 2021.

CLARIN.SI vsako leto objavi razpis za projekte, ki uresničujejo cilje infrastrukture CLARIN. V letu 2022 je bilo v financiranje sprejetih šest projektov, ki so bili uspešno zaključeni. Objavljeni so bili tudi trije jezikovni viri, ki temeljijo na korpusu akademske slovenščine KAS in so bili rezultat projekta CLARIN.SI *Luščenja iz korpusa KAS* iz leta 2021, in sicer Nabori

podatkov strojnega prevajanja korpusa KAS KAS-MT 1.0, Povzetki korpusa KAS KAS-Abs 2.0. in podatkovnih nizov Summarization iz korpusa KAS KAS-Sum 1.0. Poleg tega je bil za objavo pripravljen in deponiran v repozitorij tudi prvi slovenski spremljevalni korpus Trendi.

V okviru delovanja Centra znanja za južnoslovanske jezike (CLASSLA) pod vodstvom CLARIN.SI, Inštituta za hrvaški jezik in CLADA-BG smo izboljšali cevovod za jezikoslovno označevanje CLASSLA-Stanza NLP ter izdelali in objavili nove modele za jezikoslovno označevanje. Sodelovali smo tudi pri gradnji slovenskega spremljevalnega korpusa Trendi, predvsem pri zagotavljanju visokokakovostnega določevanja tematike zbranim besedilom. Poleg tega smo nadaljevali dejavnosti za krepitev skupnosti, zbrane okoli jezikovnih tehnologij in virov za južnoslovanske jezike, ter nadaljevali z določevanjem dobrih praks v zvezi z uporabo jezikovnih virov in tehnologij v namene raziskovanja jezika. V okviru centra CLASSLA smo sodelovali tudi pri projektih ParlaMint, in sicer pri gradnji podatkovnih množic in modelov za razpoznavanje sentimenta v parlamentarnih razpravah ter pri gradnji govornih korpusov na podlagi parlamentarnih virov za samodejno razpoznavanje govora in profiliranje govorcev.

CLARIN.SI je bil v letu 2022 soorganizator bienalne Konference o jezikovnih tehnologijah in digitalni humanistiki. Letošnja konferenca je bila najuspešnejša v seriji do zdaj, z dvema vabljenima predavanjema, 30 rednimi prispevki, 9 razširjenimi povzetki in 12 študentskimi prispevki, pri čemer so vsak prispevek pregledali trije recenzenti. Skupno število vseh avtorjev sprejetih prispevkov je bilo 120, od tega tretjina iz tujine. Uredili smo zbornik konference ter objavili pregledni prispevek o delu in načrtih CLARIN.SI.

Na ravni CLARIN ERIC smo sodelovali pri delu Odbora za standarde CLARIN ter bili predsednik programskega odbora in urednik zbornika letne konference CLARIN, ki je potekala 10.-12. 10 2022 v Pragi. Soorganizirali smo ParlaCLARIN III, Delavnico o oblikovanju, obogatitvi in uporabi parlamentarnih korpusov na konferenci LREC 2022 in uredili njen zbornik. Bili smo souredniki jubilejne monografije CLARIN: infrastruktura za jezikovne vire, ki je izšla pri založbi De Gruyter, in zanjo napisali poglavje o družinah virov in orodij CLARIN.

Nadaljevali smo delo na dveh slovenskih temeljnih raziskovalnih projektih, oba pod vodstvom ZRC SAZU, in sicer *Formantna kombinatorika v slovenščini* in *Paremiološke enote v dialogu s sodobno rabo*. Prispevali smo tudi k delu Slovenskega inštituta za standardizacijo kot slovenski predstavniki pri oblikovanju standardov ISO/TC37/SC4 (Jezik in terminologija/Upravljanje z jezikovnimi viri), kjer smo recenzirali, prevajali in potrjevali slovenske standarde s tega področja.

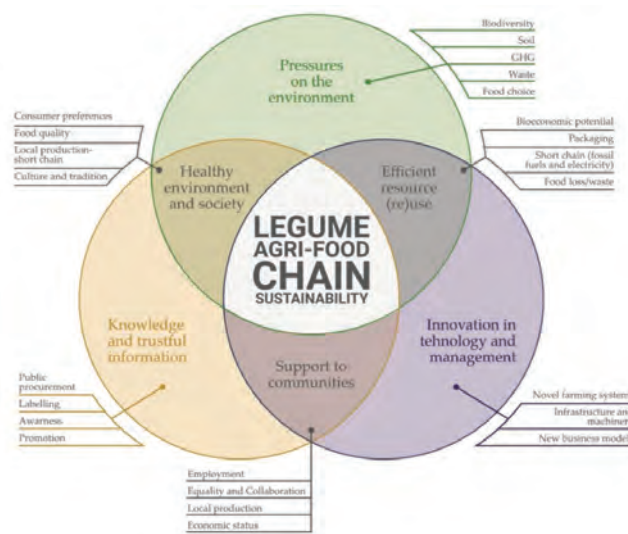
Tehnologije znanja in družba

Tehnologije znanja uporabljamo za reševanje praktično relevantnih problemov z različnih področij, od kmetijstva in industrije, prek medicine in zdravstva, do medijev in izobraževanja. Na področju *kmetijstva, okolja in trajnosti* smo bili vključeni v več projektov, kjer smo z metodami za podatkovno rudarjenje in podporo odločanju razvili napovedne in odločitvene modele za podporo razvoju trajnostnega kmetijstva in prehranskih sistemov.

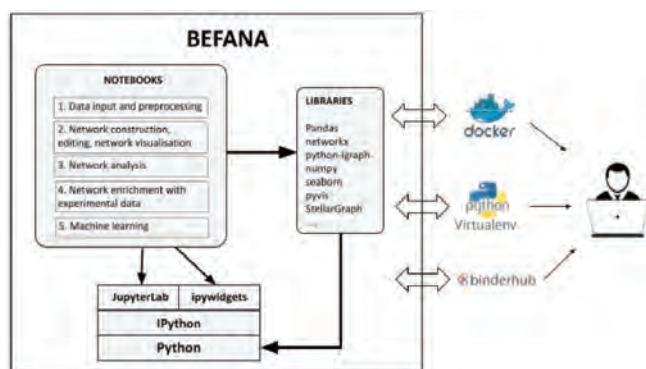
Na podlagi rezultatov že zaključenega projekta Obzorja 2020 TRUE (Poti prehoda v trajnostne sisteme stročnic v Evropi) smo objavili metodo Multi-SWOT, ki smo jo razvili za celostno analizo trajnosti agroživilskih verig stročnic v Sloveniji. Metoda spada v širši okvir večkriterijskega odločitvenega modeliranja. Z uporabo metode Multi-SWOT smo identificirali akterje, ki vzpodbujajo (združeni dejavniki prednosti in priložnosti) in omejujejo (združeni dejavniki slabosti in nevarnosti) trajnost. Na podlagi kriterijev omenjenih dveh skupin smo definirali teme in fokusna področja aspektov trajnosti na ravni celotne verige. S pomočjo nove metode smo odkrili ključne dejavnike, teme in fokusna področja, s katerimi bi lahko izboljšali trajnost slovenskih agroživilskih verig stročnic.

Pri projektu Obzorje 2020 IPM Decisions (Povečanje vpliva sistemov za podporo odločanju za integrirano varstvo rastlin) smo nadaljevali z razvojem aplikacije IPM Adviser. Aplikacija uporabnikom omogoča preprosto iskanje in primerjanje 80 sistemov za podporo odločanju v integriranem varstvu rastlin. Aplikacijo smo aktivno povezali s platformo IPM Decisions (<https://www.platform.ipmdecisions.net/>). S tem bomo uporabnikom platforme omogočili dostop do bogate zbirke metapodatkov o posameznih DSS-jih, vključenih v platformo IPM Decisions. Z izvedbo obsežne ankete uporabnikov DSS smo ugotovili njihove preference glede željenih uporabniških lastnosti DSS. Rezultate bomo uporabili v končnem oblikovanju internetnega vmesnika platforme IPM Decisions (<https://www.platform.ipmdecisions.net/>) in aplikacije IPM Adviser.

Pri projektu Obzorja 2020 COCOREADO (Uravnoteženje povezav med pridelovalci in potrošniki s pomočjo ambasadorjev izobraževanja) smo nadaljevali z aktivnim vključevanjem deležnikov (kmetije in kreativne oskrbovalne verige) v razvoj in preverjanju učinkovitosti sistema za



Slika 5: Rezultati nove metodologije Multi-SWOT, ki smo jo uporabili za oceno trajnosti agroživilske verige s stročnicami v Sloveniji.



Slika 6: Arhitektura orodja BEFANA za analizo in vizualizacijo ekoloških omrežij tal.

Sodelavci odseka so razvili brezplačno in odprtokodno programsko orodje BEFANA za analizo in vizualizacijo ekoloških omrežij tal. Orodje je bilo objavljeno in je javno dostopno (<https://github.com/MartinMarzi/BEFANA>).

podporo odločanju na področju javnih naročil trajnostne pridelave in oskrbe s hrano javnih institucij. Začeli smo tudi z razvojem obsežnega sistema za podporo odločanju v javnem naročanju trajnostno in lokalno pridelane hrane. Sistem bo uporabnikom zagotavljal sinergijske učinke investicij javnih finančnih sredstev v razvoj trajnostne pridelave in uporabe hrane na občinski in regijski ravni.

Pri projektu Obzorja RADIANT (Vpeljava dinamičnih verig vrednosti pridelave zapostavljenih poljščin) smo nadaljevali razvoj novega metodološkega pristopa analize dinamičnih oskrbovalnih verig pri zapostavljenih poljščinah. Sistem za podporo odločanju naj bi pridelovalcem omogočal dostop do trga, hkrati pa bi potrošnikom pomagal pri zadovoljevanju njihovih zahtev. Celoten sistem temelji na kriterijih trajnosti in sledi pristopu teorije sprememb. Njeno hierarhično večkriterijsko odločitveno strukturo smo prilagodili metodi DEX. DSS sestavljata dva osnovna modula: lean canvas in business plan, ki vključujeta kvalitativne odločitvene modele.

V COST projektu EUDaphobase (Evropsko skladišče podatkov o biologiji tal za varstvo tal) smo razvili brezplačno in odprtokodno programsko orodje BEFANA za analizo in vizualizacijo ekoloških omrežij. Prilagojeno je potrebam talnih ekologov in jim omogoča proučevanje topologije in dinamike ekoloških omrežij talnih organizmov ter uporabo

izbranih algoritmov strojnega učenja. BEFANA je implementirana v Pythonu in je strukturirana kot urejena zbirka interaktivnih računalniških zvezkov.

Na področju *zdravja in dobrega počutja* smo nadaljevali delo pri projektu HECAT, izvedli smo analizo skupnosti znotraj slovenske delovne mreže v obdobju 2010–2020. Naše delo na področju obdelave naravnega jezika na področju dobrega počutja in duševnega zdravja zajema izdelavo pristopov za avtomatsko zaznavanje depresije. Kot del uredniškega odbora smo sodelovali tudi pri posebni tematski številki *E-health for Active Ageing* revije *International journal of environmental research and public health*.

Na področju *uporabe tehnologij znanja za izobraževanje* smo nadaljevali sodelovanje z Univerzo v Novi Gorici in Centrom za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij. Naše delo smo usmerili predvsem v aktivnosti za podporo procesom v odprtem izobraževanju. Glavni poudarek je bil na obravnavi procesov upravljanja, kot so na primer identifikacija vrzeli znanja, ocenjevanje kakovosti in oblikovanje strateških politik. Objavili smo članek, ki opisuje, kako podpreti sodelovalno kreiranje odprtih izobraževalnih virov (angl. Open Educational Resources, OER) za podporo doseganju ciljev trajnostnega razvoja (angl. Sustainable Development Goals, SDG). Obravnavali smo projekte, razvite v okviru mednarodnega mentorskega programa Open Education for a Better World (OE4BW), namenjene izobraževanju o energiji, biotski raznovrstnosti in trajnosti. Osredotočili smo se na odkrivanje povezav z drugimi vsebinskimi sklopi in na zapiranje vrzeli znanja, ki jih odprti izobraževalni viri še ne zajemajo. Ugotovljene smernice smo posplošili, saj je namen podpreti tudi druge vsebinske sklope znotraj OE4BW in širše. Identificirali smo odprta vprašanja, primerna za obravnavo s podatkovnim rudarjenjem. Skupaj s kolegi iz Nemčije in Brazilije pa smo za knjigo pri založbi Springer napisali poglavje o novem pristopu razvoja podpornih politik za OER in o tem, kako lahko z analitiko podatkov spremljamo, spodbujamo in izboljšamo aktivno učenje. Med opazovanim učnim procesom so študenti komunicirali na družbenem omrežju Mastodon, od koder smo izluščili, analizirali in študentom redno predstavljali podatke o njihovih objavah in interakcijah. To je izboljšalo razumevanje učnega procesa in odprlo nove poti za konstruktiven dialog med študenti in profesorji. Odstopajoči vzorci so bili upoštevanji pri načrtovanih izboljšavah, analitika je bila tako uporabljena kot orodje za iskanje novih pedagoških rešitev. Poleg podatkov o interakcijah nam je bila dostopna tudi celotna njihova vsebina, ki jo bomo lahko uporabili pri prihodnjih raziskavah.

Nazadnje smo tehnologije znanja uporabili tudi za probleme iz *industrije*, s poudarkom na vesoljskem sektorju, zlasti uporabo strojnega učenja za opazovanje Zemlje in vesoljske operacije. Po projektu *GalaxAI – Machine Learning for Predicting Spacecraft Subsystem Power Consumption*, ki ga je financirala Evropska vesoljska agencija, smo kot odprte podatke objavili telemetrične podatke za vesoljsko plovilo Mars Express v zvezi s porabo toplotne energije. Objavili smo tudi članek o uporabi strojnega učenja za pomoč pri upravljanju vesoljskega plovila INTEGRAL v dinamičnih okoljih sevanja.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Škrli, Blaž, Kralj, Jan, Konc, Janez, Robnik Šikonja, Marko, Lavrač, Nada, Deep node ranking for neuro-symbolic structural node embedding and classification, *International journal of intelligent systems*, 2022, 37, 1, 914-943, doi: 10.1002/int.22651
2. Škrli, Blaž, Džeroski, Sašo, Lavrač, Nada, Petković, Matej, ReliefE: feature ranking in high dimensional spaces via manifold embeddings, *Machine learning*, 2022, 111, 11, 273-317, doi: 10.1007/s10994-021-05998-5
3. Evkoski, Bojan, Pelicon, Andraž, Mozetič, Igor, Ljubešič, Nikola, Kralj Novak, Petra, Retweet communities reveal the main sources of hate speech, *PLoS one*, 2022, 17, 3, e0265602, doi: 10.1371/journal.pone.0265602
4. Mojca Drevenšek, Tanja Urbančič, The role of teamwork in the creation of open educational resources for closing SDG-related knowledge gaps, *Open praxis*, 14, 161, 148-161, doi: 10.55982/openpraxis.14.2.266
5. Petković, Matej, Ceci, Michelangelo, Pio, Gianvito, Škrli, Blaž, Kersting, Kristian, Džeroski, Sašo, Relational tree ensembles and feature rankings, *Knowledge-based systems*, 2022, 251, 109254-1-109254-19, doi: 10.1016/j.knsys.2022.109254
6. Koloski, Boshko, Stepišnik Perdih, Timen, Robnik Šikonja, Marko, Pollak, Senja, Škrli, Blaž, Knowledge graph informed fake news classification via heterogeneous representation ensembles, *Neurocomputing*, 2022, 496, 208-226, doi: 10.1016/j.neucom.2022.01.096
7. Dergan, Tanja, Ivanovska, Aneta, Kocjančič, Tina, Iannetta, Pietro, Debeljak, Marko, 'Multi-SWOT' multi-stakeholder-based sustainability assessment methodology: applied to improve Slovenian legume-based agri-food chains, *Sustainability*, 2022, 14, 22, 15374-1-15374-26, doi: 10.3390/su142215374
8. Marzidovšek, Martin, Podpečan, Vid, Conti, Erminia, Debeljak, Marko, Mulder, Christian, BEFANA: a tool for biodiversity-ecosystem functioning assessment by network analysis, *Ecological modelling*, 2022, 471, 110065-1-110065-6, doi: 10.1016/j.ecolmodel.2022.110065
9. Bogatinovski, Jasmin, Todorovski, Ljupčo, Džeroski, Sašo, Kocev, Dragi, Comprehensive comparative study of multi-label classification methods, *Expert systems with applications*, 2022, 203, 117215-1-117215-18, doi: 10.1016/j.eswa.2022.117215
10. Roy, Bijit, Stepišnik, Tomaž, Vens, Celine, Džeroski, Sašo, Survival analysis with semi-supervised predictive clustering trees, *Computers in Biology and Medicine*, 2022, 141, 105001-1-105001-19, doi: 10.1016/j.combiomed.2021.105001

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases, Grenoble, Francija, 19.-23. 9. 2022, Petra Kralj Novak, sopredsednica programskega odbora
2. Jezikovne tehnologije in digitalna humanistika 2022 (JTDH 2022), Ljubljana, Slovenija, 15.-16. 9. 2022, Tomaž Erjavec, Darja Fišer, sopredsednika programskega odbora
3. Workshop on Multi-Label Learning: Current Trends and Open Challenges at ECML PKDD 2022, Grenoble, France, 19. 9. 2022, Dragi Kocev, sopredsednik programskega odbora

Patent

1. Jihed Khiari, Luis Moreira-Matias, Sašo Džeroski, Bernard Ženko, Method and system for model integration in ensemble learning, US11423336 (B2), US Patent Office, 23. 8. 2022

Nagrade in priznanja

1. Nada Lavrač je prejela Zoisovo nagrado za vrhunske znanstvene dosežke na področju strojnega učenja.
2. Doktorska študentka Hanh Thi Hong Tran je s sodelavci in mentorico dr. Senjo Pollak dosegla prvo mesto na tekmovanju TextGraphs-16 Natural Language Premise Selection Task, ki se uvršča na področje razumevanja naravnega jezika na področju matematične logike. Cilj naloge je bil avtomatsko luščenje relevantnih premis za dokazovanje danih matematičnih trditev. Pristop s kontekstualnimi predstavitvami besedil in modeli arhitekture transformer se je izkazal za učinkovitejšega od statističnih pristopov. Povezava na članek: <https://aclanthology.org/2022.textgraphs-1.12/>
3. V prispevku *Tracking Changes in ESG Representation: Initial Investigations in UK Annual Reports* so prof. dr. Matthew Purver, doc. dr. Senja Pollak in sodelavci projekta Kvantitativna in kvalitativna analiza nereguliranih delov finančnega poročanja podjetij analizirali besedila angleških letnih poročil z vidika okoljskih, socialnih in upravljaljskih dejavnikov. Prejeli so priznanje za najboljši prispevek delavnice The First Computing Social

Responsibility Workshop-NLP Approaches to Corporate Social Responsibilities v okviru konference LREC 2022.
Vir: <https://aclanthology.org/2022.csrnlp-1.2>

4. Boshko Koloski je skupaj z Ilijo Tavchioskim osvojil prvo mesto na tekmovanju DragonHack 2022 v splošni kategoriji in kategoriji Best Google Cloud Hack. Zmagala sta s predstavitvijo kreativne rešitve za problem odvoza kosovnih odpadkov. Vir: <https://sta.si/3040708/razglaseni-zmagovalci-tekmovanja-v-uporabi-programske-in-strojne-opreme-dragonhack>
5. Boshko Koloski se je z mednarodno ekipo evropskega projekta EMBEDDIA na tekmovanju SemEval-2022 pri nalogi večjezičnega zaznavanja podobnosti novic uvrstil na 5. od 33 mest, v kategoriji angleških novic pa je dosegel odlično 2. mesto. Vir: <https://aclanthology.org/2022.semeval-1.156.pdf>
6. Biljana Mileva Boshkoska je dobila *2022 IFIP Service award for outstanding contributions to the IFIP and the informatics community*
7. Marjan Stoimchev je prejel nagrado za najboljši prispevek na ICT-programu na dogodku *The 14th Jožef Stefan International Postgraduate School Students Conference (IPSSC)* v Kamniku.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. INEA/CEF - MaCoCu; Obsežno zbiranje in kuriranje eno- in dvojezičnih podatkov s poudarkom na manj podprti jezikih
Innovation and Networks Executive Agency (INEA)
dr. Nikola Ljubešić
2. ParlaMint II - K primerljivim parlamentarnim korpusom
Jan Metal, d. o. o.
prof. dr. Tomaž Erjavec
3. COST CA18237; Evropska zbirka talnih bioloških podatkov za varstvo tal
COST Association AISBL
prof. dr. Marko Debeljak
4. H2020 - NARSIS; Nov pristop za varnostne izboljšave reaktorjev
European Commission
prof. dr. Marko Bohanec
5. H2020 - RESILO; Odporna evropska družba z inovativnimi lokalnimi skupnostmi
European Commission
dr. Aljaž Osojnik
6. H2020 - FNS-Cloud; Računalniški oblak in storitve za obdelavo podatkov iz področja ved o hrani, prehrani in varnosti
European Commission
prof. dr. Nada Lavrač
7. H2020 - HECAT; Uporaba prebojnih tehnologij za podporo pri upravljanju s trgom dela
European Commission
prof. dr. Biljana Mileva Boshkoska
8. H2020 - TAILOR; Temelji umetne inteligence vredne zaupanja, vključno z učenjem, optimizacijo in sklepanjem
European Commission
prof. dr. Sašo Džeroski
9. H2020 - COCOREADO; Uravnoveženje povezav med pridelovalci in potrošniki s pomočjo ambasadorjev izobraževanja
European Commission
prof. dr. Marko Debeljak
10. H2020 - RADIANT; Vpeljava dinamičnih verig vrednosti pridelave redko gojenih poljščin
European Commission
prof. dr. Marko Debeljak
11. RobaCOFI; H2020 - AI4Media; Robustno in prilagodljivo filtriranje komentarjev
European Commission
Matthew Richard John Purver, PhD.
12. H2020 - ELEXIS; Evropska likesikografska infrastruktura
European Commission
prof. dr. Tomaž Erjavec
13. H2020 - EMBEDDIA; Medjezikovne vektorske vložitve za manj zastopane jezike v evropskih medijih
European Commission
doc. dr. Senja Pollak
14. H2020 - IMSyPP; Inovativno spremljanje sovravnega govora na spletu in smernice za njegovo preprečevanje
European Commission
doc. dr. Petra Kralj Novak
15. Evalvacija jezikovnih modelov obsega na osnovi delovnega spomina
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
doc. dr. Senja Pollak
16. OE - PARC; Partnerstvo za oceno tveganj zaradi kemikalij
European Commission
prof. dr. Sašo Džeroski

17. OE - INQUIRE; Prepoznavanje kemičnih in bioloških determinant, njihovih virov in strategij za promocijo bolj zdravih domov v evropskem prostoru
European Commission
prof. dr. Sašo Džeroski
18. OE - ASSAS; Umetna inteligenca za simulacijo hudih jedrskih nesreč
European Commission
prof. dr. Sašo Džeroski
19. PRIMA; WEFE4MED - Za sredozemsko skupnost prakse WEFE Nexus
PRIMA Foundation - Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area
prof. dr. Marko Debeljak
20. Družine virov CLARIN (Secondment Agreement za izr. prof. dr. Darjo Fišer za leto 2022)
CLARIN ERIC
prof. dr. Darja Fišer
21. Družine virov CLARIN (Secondment Agreement za dr. Jakoba Lenardiča za leto 2022)
CLARIN ERIC
dr. Jakob Lenardič

PROGRAMA

1. Tehnologije znanja
prof. dr. Sašo Džeroski
2. Fizika kvantnih tehnologij
Jure Brence, mag. fiz.

PROJEKTI

1. Jezikovna krajina sovravnega govora na družbenih omrežjih
prof. dr. Tomaž Erjavec
2. Restavriranje plesnih slik na platnu: izboljšanje ali poslabšanje?
prof. dr. Sašo Džeroski
3. Kvantitativna in kvalitativna analiza nereguliranih delov finančnega poročanja podjetij
doc. dr. Senja Pollak
4. Tradicionalne paremiološke enote v dialogu s sodobno rabo
prof. dr. Tomaž Erjavec
5. Ciljana mutagenza s CRISPR/CAS9 za odpornost vinske trte in krompirja proti fitoplazmam
prof. dr. Nada Lavrač
6. Določanje izvora jetrnih zasevkov iz tekočinskih biopsij
prof. dr. Sašo Džeroski
7. Aplikacija sekvenciranja posameznih celic in strojnega učenja v biologiji mlečne žleze
prof. dr. Sašo Džeroski
8. Sovražni govor v sodobnih konceptualizacijah nacionalizma, rasizma, spola in migracij
doc. dr. Senja Pollak
9. Kombinatorika besedotvornih obrazil v slovenščini
doc. dr. Senja Pollak
10. Investicije kot ključ do izgradnje trajnostnega podjetja: izgradnja teoretičnega modela in multi-metodološka empirična analiza
prof. dr. Biljana Mileva Boshkoska
11. Temeljno razumevanje reakcije tvorbe vodika za novo generacijo elektrokatalizatorjev na osnovi niklja v alkalni in kloralkalni elektrolizi
prof. dr. Sašo Džeroski
12. Temeljne raziskave za razvoj govornih virov in tehnologij za slovenščino
dr. Nikola Ljubešić

13. Avtomatizirana sinteza in analiza znanstvenih modelov
prof. dr. Sašo Džeroski
14. Napovedno razvrščanje na podatkovnih tokovih
prof. dr. Sašo Džeroski
15. Računalniško podprta večjezična analiza novičarskega diskurza s kontekstualnimi besednimi vložitvami
doc. dr. Senja Pollak
16. Inovativne izotopske tehnike za identifikacijo virov in biogeokemijskega kroženja živega srebra na kontaminiranih območjih – IsoCont
prof. dr. Sašo Džeroski
17. Inteligentni sistem sklepanja za biološka odkritja in njegova uporaba pri raziskavah raka
prof. dr. Sašo Džeroski
18. Auto-OPT: Avtomatizirana izbira in konfiguracija eno-kriterijskih zveznih optimizacijskih algoritmov
prof. dr. Sašo Džeroski
19. Napovedovanje patogenosti in perzistence bakterij *Listeria monocytogenes* na osnovi značilnosti njihovih biofilmov in surfaktoma s pomočjo strojnega učenja
dr. Blaž Škrlič
20. 4D STEM energijsko učinkovitih materialov do kvantne ravnini
prof. dr. Sašo Džeroski
21. Klinični potek in izid Covid-19
prof. dr. Sašo Džeroski
22. CLARIN
Institutt "Jožef Stefan"
prof. dr. Tomaž Erjavec
23. RSDO: Razvoj slovenščine v digitalnem okolju
Ministrstvo za kulturo
prof. dr. Tomaž Erjavec
24. SmartMOVE-Pametne rešitve za trajnostno mobilnost v Sloveniji
Ljubljanski urbanistični zavod
prof. dr. Marko Bohanec
25. Klinični potek in izid Covid-19
Ministrstvo za zdravje
prof. dr. Sašo Džeroski
26. SLOKIT: Nadgradnja CLARIN.SI: Korpusni informator in besedilni analizator
Ministrstvo za kulturo
dr. Nikola Ljubešič
27. Prva Evropska poletna šola iz umetne inteligence in Dvajseta napredna šola iz umetne inteligence (ESSAI & ACAI 2023), Ljubljana, Slovenija, 24. - 28. 07. 2023
Lancaster University
prof. dr. Sašo Džeroski

OBISKI

1. Sintija Stevanovska, Faculty of Computer Science and Engineering, Ss. Cyril and Methodius University, Skopje, Severna Makedonija, od 1. 3. do 31. 8. 2022
2. dr. Syrielle Montariol, INRIE, Pariz, Francija, od 1. 6. do 31. 7. 2022
3. dr. Kristijan Armeni, Johns Hopkins University, Department of Psychological and Brain Sciences, Baltimore, ZDA, od 3. 7. do 30. 7. 2022
4. dr. Morgane Bourdonnais, Institut Paris Brain, Pariz, Francija, od 23. 8. do 27. 8. 2022
5. dr. Benoît Sagot, INRIA, Pariz, Francija, od 15. 9. do 16. 9. 2022
6. ddr. Djordjija Petkoski, The Wharton School, University of Pennsylvania, ZDA, od 24. 11. do 25. 11. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. Andrej Traven (Student na E8): MLC benchmark system, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 20. 1. 2022
2. Sebastian Mežnar: Tree variational autoencoder for arithmetic expressions, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 20. 1. 2022
3. Nina Omejc: Characterization of neurons in the Zebrafish oculomotor region IJS, Odsek za tehnologije znanja, 3. 2. 2022
4. Andrejana Andova (E9): Optimization of COVID-19 models, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 10. 2. 2022
5. Boštjan Gec: Integer sequences connectivity via Machine Learning, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 7. 4. 2022
6. Lidija Jovanovska (Studentka na E8): Semantic representation of machine learning and data mining algorithms, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 14. 4. 2022
7. Marko Bohanec: DEX Software: Past, Present & Future. IJS, Odsek za tehnologije znanja, 3. 8. 2022
8. Klemen Kenda (E3): Online Multi-target Regression on Electricity Consumption Streams, IJS, Odsek za tehnologije znanja, 3. 11. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Marko Bohanec: NARSIS Final Workshop Progress in Probabilistic Safety Assessment for Nuclear Installations. 16.-17. 2. 2022 (virtualno, vabljeno predavanje)
2. Tanja Dergan: Dan odprtih podatkov – Z učinkovito rabo odprtih podatkov do večje inovativnosti. Ljubljana, Slovenija, 4. 3. 2022 (virtualno, pasivno)
3. Sašo Džeroski: Delavnica OpenML meeting. Dagstuhl, Nemčija, 20.-25. 3. 2022 (pasivno)
4. Sašo Džeroski: Third Polish Conference on Artificial Intelligence. Gdansk, 25.-27. 4. 2022 (virtualno, vabljeno predavanje)
5. Jure Brence: Konferenca Quantum Eastern Europe. 5. 5. 2022 (virtualno, 1 referat)
6. Sašo Džeroski: Young Researcher Workshop on Machine Learning for Materials. Trst, Italija, 11.-13. 5. 2022 (vabljeno predavanje, 4 referati)
7. Sašo Džeroski: First Serbian International Conference on Applied Artificial Intelligence. Kragujevac, Srbija, 18.-20. 5. 2022 (vabljeno predavanje)
8. Marko Bohanec: ICDSST 2022, 8th International Conference on Decision Support System Technology. Thessaloniki, Grčija, 23.-25. 5. 2022 (virtualno, poster in videopredstavitve)
9. Taja Kuzman, Katja Meden: The third European Language Resource Coordination (ELRC) workshop in Slovenia, Institut "Jožef Stefan". Ljubljana, Slovenija, 27. 5. 2022 (pasivno)
10. Ana Kostovska: Workshop Benchmarked: Optimization Meets Machine Learning 2022, Amsterdam, Nizozemska, 29. 5.-3. 6. 2022 (1 referat)
11. Jurij Marinko, Nina Omejc, Marjan Stoimchev: The 15th Jožef Stefan International Postgraduate School Students' Conference (IPSSC). Kamnik, Slovenija, 1.-3. 6. 2022 (3 referati)
12. Ana Kostovska: ELIXIR All Hand 2022. Amsterdam, Nizozemska, 7.-10. 6. 2022 (1 referat)
13. Ana Kostovska 40. slovenska delavnica Algoritmi po vzorih iz narave (AVN). Žvarcarjev vrh, Slovenija, 15. 6. 2022 (pasivno)
14. Taja Kuzman, Senja Pollak: Language Resources and Evaluation Conference 2022 (LREC 2022). Marseille, Francija, 21.-23. 6. 2022 (3 referati)
15. Dragi Kocev: ESA GSTP Industry Working Days 2022. 22.-24. 6. 2022, Dunaj, Avstrija (1 referat)
16. Nada Lavrač, Martin Žnidaršič: Thirteenth International Conference on Computational Creativity (ICCC'22). Bolzano, Italija, 27. 6.-1. 7. 2022 (1 referat)
17. Ana Kostovska, Nina Omejc: FENS Forum 2022. Pariz, Francija, 8.-14. 7. 2022 (virtualno, pasivno)
18. Jure Brence: Poletna šola Qalypso School on Quantum Computation and Open Quantum Systems. Gozo, Malta, 5.-9. 9. 2022 (pasivno)
19. Sašo Džeroski, Dragi Kocev, Panče Panov: 2nd TAILOR conference. 13.-14. 9. 2022, Praga, Češka (1 referat)
20. Jurij Marinko: Novosti na področju ekološke pridelave in predelave živil v Sloveniji, Ljubljana Slovenija, 13. 9. 2022 (pasivno)
21. Taja Kuzman, Katja Meden: Jezikovne tehnologije in digitalna humanistika 2022. Ljubljana, Slovenija, 15.-16. 9. 2022 (2 referata)
22. Sašo Džeroski, Dragi Kocev: ECML PKDD 2022 (European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of Knowledge Discovery in Databases). 19.-23. 9. 2022, Grenoble, Francija (1 referat)
23. Nada Lavrač, Sebastian Mežnar, Matej Petkovič: Udeležba na konferenci IJCLR 2022. Windsor, Velika Britanija, 27.-30. 9. 2022 (2 referata)
24. Taja Kuzman: Literary Machine Translation as a Human-Machine Dialectic 2022. Liège, Belgija, 6. 10. 2022 (vabljeno predavanje)
25. Sašo Džeroski, Boštjan Gec: Discovery Science 2022. Montpellier, Francija, 9.-12. 10. 2022 (1 referat)
26. Taja Kuzman, Katja Meden: Slovenian KDD Conference (SiKDD), v sklopu multikonference Informacijska družba IS2022. Ljubljana, Slovenija, 9.-13. 10. 2022 (virtualno, 2 referata)
27. Tomaž Erjavec, Katja Meden: CLARIN Annual Conference 2022. Praga, Češka, 10.-12. 10. 2022 (2 referata)
28. Marija Chaushevska, Martin Žnidaršič: Informacijska družba 2022, Slovenska konferenca o umetni inteligenci. Ljubljana, Slovenija, 11. 10. 2022 (3 referati)
29. Marko Bohanec: EIT Open Day Slovenia 2022: Surovinske potrebe za zagotavljanje prehoda na trajnostno in pametno mobilnost. 24. 10. 2022 (pasivno)
30. Igor Mozetič: Complex Networks 2022, The 11th International Conference on Complex Networks and their Application. Palermo, Italija, 8.-10. 11. 2022 (2 referata)
31. Sašo Džeroski: The 10th International Conference on Bioinspired Optimization Methods and Their Applications (BIOMA) 2022. Maribor, Slovenija, 17.-18. 11. 2022 (pasivno)
32. Sašo Džeroski: Inteligentna in robotizirana avtonomnost. Idrija, Slovenija, 17. 11. 2022 (vabljeno predavanje)
33. Jurij Marinko: Regenerativno kmetijstvo - tla so temelj. Biotehniška fakulteta. Ljubljana Slovenija, 23. 11. 2022 (pasivno)
34. Senja Pollak: From born-physical to born-virtual: augmenting intelligence in digital libraries: 24th International Conference on Asian Digital Libraries (ICADL) 2022. Hanoi, Vietnam, 30. 11.-2. 12. 2022 (1 referat)
35. Ana Kostovska: IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (IEEE SSCI) 2022, Singapur. 2.-19. 12. 2022 (1 referat)
36. Nina Omejc: Thirty-sixth Conference on Neural Information Processing Systems (NeurIPS) 2022. New Orleans, Louisiana, 5.-9. 12. 2022 (virtualno, pasivno)

37. Tanja Dergan: 6. spletna konferenca: Nove tehnologije v kmetijstvu. Spletni dogodek, 9. 12. 2022 (virtualno, pasivno)

RAZISKOVALNO DELO V TUJINI

1. Ana Kostovska: LIP6, Univerza Sorbona, Pariz, Francija, 31. 1. 2022–28. 4. 2022 (raziskovalni obisk)

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Marko Bohanec, znanstveni svetnik - strokovni sekretar odseka
2. Michelangelo Ceci, PhD., Italija
3. prof. dr. Bojan Cestnik*
4. prof. dr. Marko Debeljak
5. **prof. dr. Sašo Džeroski, znanstveni svetnik - vodja odseka**
6. prof. dr. Tomaž Erjavec
7. prof. dr. Darja Fišer*
8. *doc. dr. Aneta Ivanovska, odšla 1. 11. 2022*
9. dr. Dragi Kocev
10. doc. dr. Petra Kralj Novak
11. prof. dr. Nada Lavrač, znanstveni svetnik
12. prof. dr. Zoran Levnjacič*
13. dr. Nikola Ljubešič
14. prof. dr. Biljana Mileva Boshkoska
15. prof. dr. Igor Mozetič
16. doc. dr. Panče Panov
17. dr. Vid Podpečan
18. doc. dr. Senja Pollak
19. Matthew Richard John Purver, PhD. Združeno kraljestvo
20. prof. dr. Ljupčo Todorovski*, znanstveni svetnik
21. prof. dr. Tanja Urbančič*, znanstveni svetnik
22. doc. dr. Ana Zwitter Vitez*
23. doc. dr. Bernard Zenko
24. doc. dr. Martin Žnidaršič

Podoktorski sodelavci

25. dr. Martin Breskvar
26. *dr. Janez Kranjc, odšel 1. 4. 2022*
27. *dr. Vladimir Kuzmanovski, odšel 1. 12. 2022*
28. dr. Jakob Lenardič*
29. dr. Jurica Levatič
30. dr. Matej Martinc
31. dr. Aljaž Osojnik
32. dr. Matej Petkovič*
33. dr. Nikola Simidjievski
34. dr. Blaž Škrlič*
35. dr. Jovan Tanevski
36. dr. Anita Valmarska*

Mlajši raziskovalci

37. Jure Brence, mag. fiz.
38. Tanja Dergan, mag. agr. ekon.
39. Boštjan Gec, mag. mat.
40. Ana Kostovska, mag. inf. kom. tehnol.
41. Taja Kuzman, mag. prev.
42. Jurij Marinko, mag. inž. agr.
43. *Martin Marzidovšek, Msc., začasna prekinitev 14. 5. 2022*
44. Katja Meden, mag. bibl., inf. in zal. stud.
45. Sebastian Mežnar, mag. inž. rač. in inf.
46. Nina Omejc, M.Sc., ZR Nemčija
47. Andraž Pelicon, mag. prev.
48. Marko Pranič, Msc., Hrvaška
49. Andraž Repar*, univ. dipl. prev.
50. Sintija Stevanoska, Msc., Makedonija
51. *Tadej Škvorc, mag. inž. rač. in inf., odšel 1. 6. 2022*

Strokovni sodelavci

52. Živa Antauer, univ. dipl. prim. jez. in prim. slov. jez.
53. *Tina Anžič, Bolonjski študij II. stopnja, odšla 16. 9. 2022*
54. Peter Rupnik, dipl. fiz. (UN)

Tehniški in administrativni sodelavci

55. Milica Bauer, dipl. ekon.
56. Lenka Trdina, univ. dipl. fil.

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aalto University, Aalto, Finska
2. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, Slovenija
3. Autorità per le Garanzie nelle Comunicazioni, Neapelj, Italija
4. Burgundy school of business, Dijon, Francija
5. BVL, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
6. Center za šport, turizem, informiranje in kulturo Laško, Slovenija
7. Central European University, Dunaj, Avstrija
8. CER – Partnerstvo za trajnostno gospodarstvo, Ljubljana, Slovenija
9. Cracow University of Technology, Krakov, Poljska
10. Czech Technical University, Praga, Češka republika
11. Delphy, Wageningen, Nizozemska
12. Entia, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
13. ESEIA, Graz Office, Gradec, Avstrija
14. Fakulteta za informacijske študije, Novo mesto, Slovenija
15. GoOpti, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
16. Groningen University, Groningen, Nizozemska
17. Queen Mary, University of London, London, Velika Britanija
18. INRIA, Pariz, Francija
19. Institut for Agrookologi, Tjele, Danska
20. Institut Rudjer Bošković, Zagreb, Hrvaška
21. Inštitut za novejšo zgodovino, Ljubljana, Slovenija
22. Inštitut za kriminologijo pri Pravni fakulteti v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
23. IPOP – Inštitut za politike prostora, Ljubljana, Slovenija
24. Kliping, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
25. Kmetijsko gozdarska zbornica Slovenije, Ljubljana, Slovenija
26. LUZ – Ljubljanski urbanistični zavod, Ljubljana, Slovenija
27. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija
28. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana, Slovenija
29. Nordland Research Institute, Bodø, Norveška
30. Norwegian institute of bioeconomy research, Akershus, Norveška
31. Občina Laško, Laško, Slovenija
32. Petrol, d. d., Ljubljana, Slovenija
33. Prompsit, Elche, Španija
34. RRA LUR – Regionalna razvojna agencija Ljubljanske urbane regije, Ljubljana, Slovenija
35. RSK ADAS, Združeno Kraljestvo
36. Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg & Universitätsklinikum Heidelberg, Institute for Computational Biomedicine, Heidelberg, Nemčija
37. Sapienza University of Rome, Rim, Italija
38. Senso4s, d. o. o., Trzin, Slovenija
39. Temida, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
40. TextGain BVBA, Antwerpen, Belgija
41. Universitaet, Zurich, Švica
42. Université Catholique de Louvain, Luven, Belgija
43. University of Alacant, Alicante, Španija
44. University of Antwerp, Antwerpen, Belgija
45. University of Bari, Department of informatics, Bari, Italija
46. University of Belgrade, School of Electrical Engineering, Beograd, Srbija
47. University of Bologna, Italija
48. University of Cambridge, Cambridge, Velika Britanija
49. University of Cyprus, Nikozija, Ciper
50. University of Skopje, Faculty of Computer Science and Engineering, Faculty of Electrical Engineering, Skopje, Severna Makedonija
51. University of Venice, Ca' Foscari, Benetke, Italija
52. Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica, Slovenija
53. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija
54. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
55. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Ljubljana, Slovenija
56. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
57. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija
58. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
59. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za upravo, Ljubljana, Slovenija
60. Univerza Maribor, Fakulteta za kmetijstvo in biosistemske vede Maribor, Slovenija
61. Uprava za varno hrano veterinarstvo in varstvo rastlin, Ljubljana, Slovenija
62. Vrije Universiteit, Faculty of Humanities, Amsterdam, Nizozemska
63. ZDS – Združenje delodajalcev Slovenije, Ljubljana, Slovenija
64. ZRC SAZU, Ljubljana, Slovenija
65. XLAB, d. o. o., Ljubljana, Slovenija

Odsek za inteligentne sisteme se posveča razvoju naprednih metod in pristopov za ustvarjanje inteligentnih računalniških sistemov z uporabo v realnem svetu. Raziskovalna področja odseka vključujejo umetno inteligenco, ambientalno inteligenco, agentne in multiagentne sisteme, računalno inteligenco, tehnologije jezika in govora, elektronsko in mobilno zdravje ter pametna mesta. V sodelovanju s Fakulteto za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani je odsek del skupnega raziskovalnega programa Umetna inteligenca in inteligentni sistemi, ki je namenjen raziskovanju najnovejših dosežkov na področju umetne inteligence in inteligentnih sistemov.



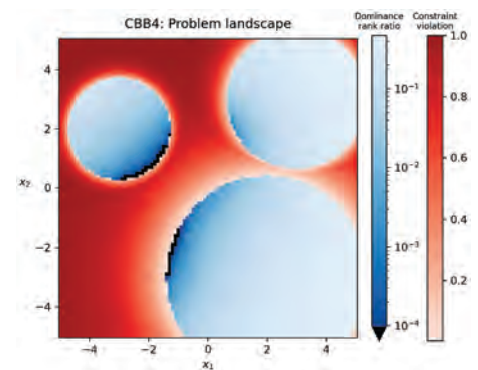
Vodja:
prof. dr. Matjaž Gams

Inteligentni sistemi s svojimi zmožnostmi zaznavanja, učenja, sklepanja, ukrepanja in interakcije z uporabniki posnemajo naravno inteligenco. Ti sistemi uporabljajo zapletene mehanizme, implementirane v računalniških programih na vse zmogljivejši strojni opremi. Področje inteligentnih sistemov je širše od področja umetne inteligence, obe pa se razvijata z veliko hitrostjo in sta ključni za razvoj informacijske družbe.

Ambientalna inteligenca je raziskovalno področje, ki vnaša tehnologijo v človekovo okolje na prijazen in za uporabnika nezahteven način. Glavno področje uporabe ambientalne inteligence na odseku je zdravje. Zaključili smo flamsko-slovenski projekt STRAW o stresu na delovnem mestu. V zbranih podatkih smo odkrili zanimive povezave med stresom, delovno zagnanostjo ter konflikti med delom in zasebnim življenjem. Analizo podatkov nadaljujemo z namenom razviti modele strojnega učenja za zaznavanje stresa. Končali smo tudi projekt programa AAL CoachMyLife, katerega cilj je starostnikom, ki jim peša spomin, pomagati pri vsakdanjih opravilih. Razvili in uspešno ovrednotili smo metode za pomoč pri kuhinjskih dejavnostih, ki uporabljajo računalniški vid in senzorsko zapestnico. Pri projektu Obzorja 2020 WideHealth se ukvarjamo z izobraževanjem in mreženjem na področju vseprisotnega zdravstva in sorodnih tematik. Posebno pozornost si zaslužita dve tematski šoli, ki ju je projekt organiziral: ena o vseprisotnem zdravstvu nasploh, druga pa o človeških dejavnikih na tem področju. Pri projektu Obzorja 2020 COVIRNA razvijamo diagnostični test, ki lahko napove izide bolnikov s covidom-19 iz izraženosti dolgih nekodirajočih molekul RNK v njihovi krvi. V aplikativnem projektu smo z Zavodom za šport Republike Slovenije Planica razvili mobilno aplikacijo Zmorem, ki spremlja in s pomočjo poigravitve spodbuja telesno dejavnost. Ukvarjamo se z **doktorskimi raziskavami** o brezstičnem zaznavanju fizioloških signalov in stanj, posebej z analizo fotopletizmograma (optičnega odčitka količine krvi v koži) v več valovnih dolžinah svetlobe. V drugi doktorski študiji razvijamo metode za izbiranje vprašanj v prehranskih vprašalnikih na način, ki zagotovi čim več informacij s čim manj vprašanji. V najnovejši doktorski študiji pa raziskujemo, ali je mogoče iz fizioloških signalov med uporabo navidezne resničnosti ugotoviti stopnjo empatije.

Na področju **agentov in večagentnih sistemov** sta glavni raziskovalni področji usmerjeni v razvoj inteligentnih avtonomnih sistemov za upravljanje pametnih mest in razvoj inteligentnih sistemov za podporo v zdravstvu – razvoj novih algoritmov, metod in pristopov z vpeljavo umetne inteligence v računalniške sisteme. V projektu Interreg Italija-Slovenija **Insieme** smo razvili platformo za elektronsko in mobilno zdravstvo (EMZ), ki slovenskim in italijanskim uporabnikom ponuja vrsto storitev prek spleta, vključno z možnostjo spletnega pogovora s specialisti na področju EMZ. Razvijali smo tudi več novih in inovativnih rešitev za podporo starejšim in kroničnim bolnikom na domu. V preteklosti smo med drugim razvili pametno uro za starejše, zdaj pa smo algoritme prilagodili in prenesli na mobilne telefone. Poleg izboljšav sistema za avtonomno reakcijo po padcu smo uvedli tudi sistem za napovedovanje padcev, ki s pomočjo zapestnice ugotavlja stabilnost hoje in v primeru poslabšanja opozori na nevarnost padca. Za projekt pametnih mest Obzorja 2020 **Urbanite** razvijamo sistem,

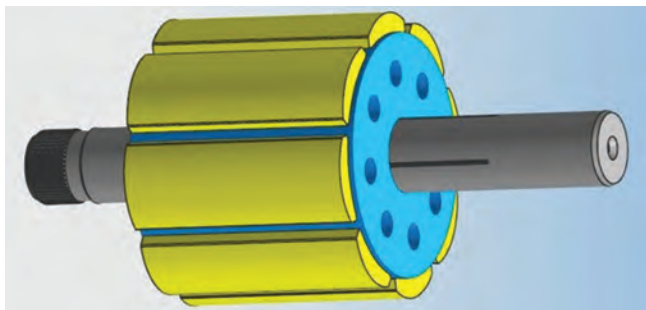
Končali smo projekt STRAW, v katerem smo zbrali veliko zbirko podatkov iz senzorjev in pametnih telefonov, povezanih z vprašalniki o stresu na delovnem mestu. Ugotovili smo povezave med stresom, delovno zagnanostjo ter konflikti med delom in zasebnim življenjem; v prihodnjih mesecih pa se nadejamo, da nam bo bogata zbirka podatkov omogočila še več zanimivih rezultatov.



Slika 1: Raziskujemo, kako omejitve spreminjajo problemsko pokrajino večkriterijskih optimizacijskih problemov.

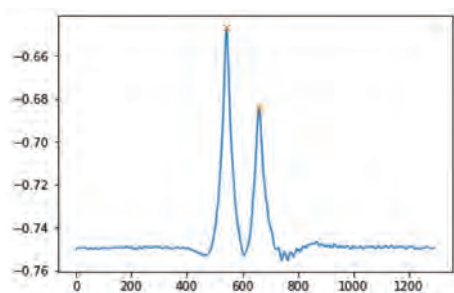
Pri projektu Urbanite za štiri pomembna evropska mesta razvijamo platformo in nabor orodij za pametna mesta. Naš glavni prispevek je razvoj prometnih simulacij z uporabo skupnega pristopa za različna mesta in razvoj uporabniku prijaznega vmesnika za preprosto ustvarjanje novih simulacij. S pomočjo rezultatov simulacij smo razvili sistem za podporo odločanju in priporočilni sistem za izboljšanje kakovosti življenja občanov.

ki simulira promet ter ugotavlja in potrjuje najboljše mobilnostne politike in ukrepe. V projekt so vključena štiri evropska mesta: Amsterdam, Helsinki, Bilbao in Messina. V okviru evropskega projekta ERA PerMed BATMAN, kjer se ukvarjamo z raziskavo bolezni Acne Inversa, smo razvili in namestili sistem, ki omogoča zbiranje, prikaz in obdelavo podatkov. Sistem uporabljajo zdravniki, partnerji pri projektu in njihovi bolniki. Namen je ustvariti dovolj veliko



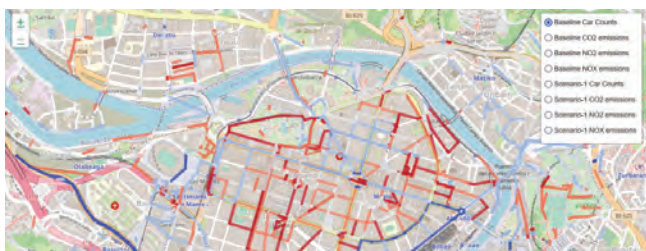
Slika 2: V sodelovanju z Odsekom za računalniške sisteme izvajamo optimizacijo elektromotorjev za podjetje Mahle Electric Drives Slovenija.

S temeljnimi raziskavami v okviru projekta Weave, ki ga izvajamo v sodelovanju s Tehniško univerzo v Ostravi, prispevamo k teoretičnim osnovam večkriterijske optimizacije z omejitvami in razvijamo novo generacijo metahevrstik za tovrstne probleme.



Slika 3: Sodelujemo s podjetjem Cestel, ki nam je priskrbelo podatke o signalih iz različnih mostov. Iz signala ugotavljamo, koliko vrhov ima krivulja, kolikšna je medosna razdalja in kolikšna je teža vozila. Število vrhov pomeni število osi, ki jih ima vozilo. Na sliki oranžen križec predstavlja vrh. Skupno sta na sliki zaznana 2 vrhova.

Razvili smo učinkovito programsko rešitev za razporejanje delavcev po terenskih nalogah za podjetje Comland.



Slika 4: Primer vizualizacije prometne simulacije zaprtja centralnega trga v Bilbao za promet. To je le eno od mnogih orodij, ki jih ponuja platforma, razvita med projektom URBANITE.

zbirko podatkov za obdelavo z metodami umetne inteligence. Uspešno smo končali projekt PlatformUptake.eu. V sklopu tega projekta smo razvili metodo za razvrščanje odprtih platform na področju aktivnega in zdravega staranja ter objavili znanstveni članek v reviji MDPI Healthcare. Začeli smo projekt Cestel, kjer na podlagi signalov iz mostov napovedujemo število osi, medosne razdalje in težo vozil. Pri projektu Valence z mednarodnimi partnerji sodelujemo pri modernizaciji učenja računalništva s poudarkom na poučevanju modernih metod umetne inteligence v srednjih šolah. Z veseljem sledimo, predavamo in sodelujemo pri razvoju generalne, generativne in superinteligence v programih, kot je ChatGPT.

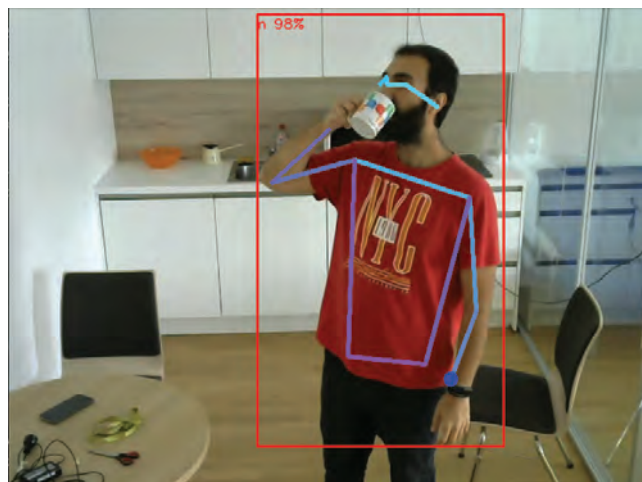
Računska inteligenca proučuje stohastične metode preiskovanja, optimiranja in učenja, ki se zgledejo po bioloških in fizikalnih sistemih. Poudarek raziskav na tem področju na Odseku za inteligentne sisteme je na evolucijskem računanju in optimizaciji. Proučujemo evolucijske algoritme za večkriterijsko optimizacijo, njihove pohitritve z vzporednim računanjem in nadomestnimi modeli, obravnavanje omejitev v večkriterijski optimizaciji, vizualizacijo rezultatov optimizacije, metodologijo primerjave algoritmov ter njihovo uporabnost v znanosti in tehniki. V letu 2022 smo v sodelovanju s Tehniško univerzo v Ostravi na Češkem začeli izvajati temeljni raziskovalni projekt *Večkriterijska optimizacija z omejitvami na osnovi analize problemske pokrajine*, ki ga v okviru raziskovalne sheme Weave sofinancirata ARRS in Češka znanstvena fundacija. Namen teh raziskav

je prispevati k teoretičnim osnovam večkriterijske optimizacije z omejitvami in razviti novo generacijo evolucijskih metahevrstik za reševanje tovrstnih problemov. To bomo dosegli z novimi metodami vzorčenja in modeliranja problemske pokrajine, tehnikami za njeno vizualizacijo in mehanizmi za obravnavanje omejitev. V prvem letu je bil poudarek projekta na vzorčenju prostora rešitev in določanju problemskih značilnk na podlagi vzorcev. Pridobili in izvedli smo tudi projekt Inovacijskega sklada IJS z naslovom *Orodje za analizo industrijskih optimizacijskih problemov in njihovih rešitev*. Z njim smo raziskovalne dosežke Skupine za računsko inteligenco v obliki eksperimentalno potrjenih konceptov in posamičnih metod nadgradili v programsko orodje, ki s pomočjo karakterizacije problemov in vizualizacije omogoča boljše razumevanje in učinkovitejše reševanje zahtevnih optimizacijskih problemov. Orodje je osnova za hitrejši prenos naprednih optimizacijskih metod v prakso. Za podjetje Mahle Electric Drives Slovenija v sodelovanju z Odsekom za računalniške sisteme izvajamo **Optimizacijo samodržnega momenta pri načrtovanju elektromotorja s pomočjo simulacij**. Cilj tega projekta je določiti geometrijske in materialne značilnosti izbranega elektromotorja za avtomobilsko industrijo tako, da bodo izpolnjene številne tehnične zahteve za njegovo delovanje in stroški izdelave minimalni. Zaradi visoke računske zahtevnosti simulacij, na katerih temelji optimizacija, je poudarek na razvoju postopka, ki pri čim manj ovrednotenih rešitvah najde čim bolj ugodno. Pri projektu *Inteligentno in okolju prijazno razporejanje terenskega dela (MF-Scheduler)* za podjetje Comland se ukvarjamo z zahtevno težavo razporejanja delavcev po terenskih nalogah. Težavo rešujemo s trinivojskim optimizacijskim algoritmom, ki združuje evolucijsko računanje, hevrstike in mešano celoštevilsko linearno programiranje, da najde dobre rešitve obsežnih težav v razumnem času. V sodelovanju z Odsekom za tehnologije znanja smo za podjetje Senso4S oblikovali pristop za **optimirano dobavo plinskih jeklenk**. Razviti optimizacijski algoritem na podlagi podatkov s tehtnic za daljinsko merjenje in spremljanje ravni plina v plinskih jeklenkah predlaga dobavo novih jeklenk tako, da ta poteka v času, ko je plin potreben, in se izogiba dobavi odvečnih jeklenk.

Na področju **govornih in jezikovnih tehnologij** se ukvarjamo s sintezo slovenskega govora, pomensko analizo besedila in odgovarjanjem na

vprašanja. V sodelovanju s podjetjema Alpineon in Amebis smo razvili kakovosten sintetizator slovenskega govora eBralec (<http://ebralec.si/>). Programski paket ima več tisoč naročnikov in je nepogrešljiv pripomoček slepih in slabovidnih (uradni sintetizator govora Zveze društev slepih in slabovidnih Slovenije) ter oseb z motnjami branja (društvo Bravo). Zanje je brezplačen in ga lahko naročijo v Knjižnici slepih in slabovidnih (<http://www.kss-ess.si/ebralec-sintetizator-govora-slovenskega-jezika/>). eBralec je med drugim vgrajen v aplikacijo DarsPromet+ za potrebe varnega podajanja prometnih informacij, strežniško različico sistema eBralec pa od leta 2017 uporablja tudi Narodna in univerzitetna knjižnica (NUK). Na prenovljeni Delovi spletni strani eBralec prebira aktualne novice. Uspešno smo končali delo pri projektu *AudiBook: Education accessibility through a digital audio library for the blind and visually-impaired*.

Od 10. do 14. oktobra 2022 je na Institutu "Jožef Stefan" potekala 25. mednarodna multikonferenca Informacijska družba – IS 2022 (ijs.si). Sestavljalo jo je 11 samostojnih konferenc, na katerih so udeleženci predstavili več kot 100 referatov. Na multikonferenci so bila podeljena štiri priznanja: Nagrado Michie-Turing za izjemen življenjski prispevek k razvoju in promociji informacijske družbe je prejel prof. dr. Jadran Lenarčič. Priznanje za dosežek leta je pripadlo NIJZ za elektronsko zdravstveni portal zVEM. Informacijsko limono za najmanj primerno informacijsko potezo je prejela cenzura na družbenih omrežjih in spletu, informacijsko jagodo za najboljšo informacijsko potezo pa nova biometrična osebna izkaznica.



Slika 5: Končali smo projekt programa AAL CoachMyLife, katerega cilj je starostnikom, ki jim peša spomin, pomagati pri vsakdanjih opravilih. Razvili in uspešno ovrednotili smo metode za pomoč pri kuhinjskih dejavnostih, ki uporabljajo računalniški vid in senzorsko zapesnico.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. Brockhoff, D., Auger, A., Hansen, N., Tušar, T., Using well-understood single-objective functions in multiobjective black-box optimization test suites, *Evolutionary Computation*, 2022, 30, 2, 165–193
2. Gams, M., Kolar, Ž., Vuk, Z., Samuelsson, C., Jäger, B., Dovgan, E., Similarities and differences between EU platforms in the AHA and AAL domains from a software viewpoint, *Healthcare*, 2022, 10, 2, 401-1-401-21
3. Hansen, N., Auger, A., Brockhoff, D., Tušar, T., Anytime performance assessment in blackbox optimization benchmarking, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 2022, 26, 6, 1293–1305
4. Reščič, N., Mayora, O., Echer, C., Luštrek, M., Food frequency questionnaire personalisation using multi-target regression, *Nutrients*, 2022, 14, 19, 3943
5. Susič, D., Pogljajen, G., Gradišek, A., Identification of decompensation episodes in chronic heart failure patients based solely on heart sounds, *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 2022, 9, 1009821
6. Vodopija, A., Stork, J., Bartz-Beielstein, T., Filipič, B., Elevator group control as a constrained multiobjective optimization problem, *Applied Soft Computing*, 2022, 115, 108277-1-108277-14
7. Vodopija, A., Tušar, T., Filipič, B., Characterization of constrained continuous multiobjective optimization problems: A feature space perspective, *Information Sciences*, 2022, 607, 244–262

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. WideHealth Winter School on e-Health & Pervasive Technologies, Skopje, Severna Makedonija, 14.–17. 2. 2022
2. 40. slovenska delavnica Algoritmi po vzorih iz narave, AVN, Žavcarjev vrh, 15. 6. 2022
3. 18th International Conference on Intelligent Environments, Biarritz, Francija, 20.–23. 6. 2022
4. Delavnica BBOB (Blackbox Optimization Benchmarking) na konferenci Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO 2022, Boston, ZDA, 9. 7. 2022
5. Sekcija Evolutionary Computation in Practice (ECiP) na konferenci Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO 2022, Boston, ZDA, 11. 7. 2022 (virtualno)
6. Srečanje GECCO Job Market na konferenci Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO 2022, Boston, ZDA, 11. 7. 2022
7. 25. Mednarodna multikonferenca Informacijska družba, IS 2022, Ljubljana, 10.–14. 10. 2022, samostojne konference:
 - Slovenska konferenca o umetni inteligenci
 - Izkopavanje znanja in podatkovna skladišča
 - Demografske in družinske analize
 - Kognitivna znanost

- Kognitonika
- Legende računalništva in informatike
- Vseprisotne zdravstvene storitve in pametni senzorji
- Mednarodna konferenca o prenosu tehnologij
- Vzgoja in izobraževanje v informacijski družbi
- Študentska konferenca o računalniškem raziskovanju
- Matcos 2022

Nagrade in priznanja

1. Martin Gjoreski, Mitja Luštrek: 2020 Best Paper Runner-up Award for IEEE Pervasive Computing, virtualno, IEEE Computer Society, za članek *Veljko Pejovič, Martin Gjoreski, Christoph Anderson, Klaus David, Mitja Luštrek. Toward Cognitive Load Inference for Attention Management in Ubiquitous Systems. IEEE Pervasive Computing 19, 2020*
2. Anton Gradišek: Anja Pogačnik Krajnc, Luka Pirker, Maja Remškar: Prometej znanosti, Ljubljana, Slovenska znanstvena fundacija, za obsežno strokovno neoporečno seznanjanje javnosti o rezultatih testiranja zaščitnih mask različnih proizvajalcev
3. Anton Gradišek: član uredniškega odbora spletne revije Alternator: Prometej znanosti, Ljubljana, Slovenska znanstvena fundacija, za človeku prijazno predstavljanje raziskovalnih dosežkov v spletni obliki revije za znanost in o znanosti izdajatelja ZRC SAZU
4. Gašper Slapničar: najboljši referat, Ljubljana, Slovenska konferenca o umetni inteligenci, za članek *Gašper Slapničar, Peter Us, Erna Alukič, Nejc Mekiš, Miha Mlakar, Janez Žibert. IMF Quality Assurance of Mammograms Using Deep Convolutional Neural Networks and Transfer Learning*

MEDNARODNI PROJEKTI

1. ERASMUS+; Audio Library for Visually Impaired; Dostopnost do izobraževanja s pomočjo digitalne zvočne knjižnice za slepe in slabovidne
European Commission
dr. Tomaž Šef
2. ERASMUS+; VALENCE - Napredno strojno učenje v poklicnem izobraževanju
European Commission
prof. dr. Matjaž Gams
3. COST CA17129: CardioRNA - Spodbujanje raziskav transkriptomike v povezavi s srčno-žilnimi boleznimi
COST Association AISBL
dr. Mitja Luštrek
4. H2020 - PlatformUptake.eu; Analiza in podpora odprtih platform in storitev za aktivno in zdravo staranje
European Commission
prof. dr. Matjaž Gams
5. H2020 - URBANITE; Odločitvena podpora v urbani transformaciji z uporabo prelomnih tehnologij
European Commission
prof. dr. Matjaž Gams
6. H2020 - COVIRNA; Diagnostični test za boljšo oskrbo bolnikov s COVID-19
European Commission
dr. Mitja Luštrek
7. H2020 - WideHealth; Širjenje raziskav o vseprisotnem in e-zdravstvu
European Commission
dr. Mitja Luštrek
8. EIT Health - SafeStep; Naslednja generacija rešitve za preprečevanje padcev za starejše
EIT Health e.V.
prof. dr. Matjaž Gams
9. ERASMUS+; TSAAI - Transverzalne veščine uporabne umetne inteligence
European Commission
doc. dr. Anton Gradišek

PROGRAM

1. Umetna inteligenca in inteligentni sistemi
dr. Mitja Luštrek

PROJEKTI

1. Personalizirano zdravljenje s presaditvijo matičnih celic pri bolnikih s srčnim popuščanjem
doc. dr. Anton Gradišek
2. Ugotavljanje virov in kontesta dnevnega stresa na delovnem mestu: celostno modeliranje na podlagi stalnega zaznavanja z nosljivimi napravami in drugo tehnologijo
dr. Mitja Luštrek
3. Večkriterijska optimizacija z omejitvami na osnovi analize problemske pokrajine
prof. dr. Bogdan Filipič
4. ISE-EMH:Italijansko-slovenski ekosistem za elektronsko in mobilno zdravstvo
Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione
prof. dr. Matjaž Gams
5. SI4CARE - Socialne inovacije za celostno zdravstveno oskrbo starajočega se prebivalstva v regijah ADRION-SI4CARE
The Emilia-Romagna region
dr. Mitja Luštrek
6. CoachMyLife; OrganizirajMojeŽivljenje
Ministrstvo za javno upravo
dr. Mitja Luštrek
7. BATMAN: Biomolekularne analize za personalizirano zdravljenje acne inversa
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
prof. dr. Matjaž Gams
8. 25. mednarodna konferenca Informacijska družba 2022, IS 2022, Ljubljana, Slovenija, 10.10.2022 - 14.10.2022
prof. dr. Matjaž Gams
9. XPRIZE: IJS proti COVID-u
XPRIZE
dr. Mitja Luštrek

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Inteligentno in okolju prijazno razporejanje terenskega dela - MF-Scheduler
Comland, d. o. o.
prof. dr. Bogdan Filipič
2. DIH4AI-Senso4S
Senso4s, d. o. o.
doc. dr. Tea Tušar

- Optimizacija samodrznega momenta pri načrtovanju elektromotorja s pomočjo simulacij
MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o.
prof. dr. Bogdan Filipič
- Izvajanje meritev gibalne aktivnosti
ZŠ RS Planica
dr. Mitja Luštrek
- Razvoj programske opreme za napredovanje števila in obremenitev osi vozil z uporabo algoritmov umetne inteligence
Cestel, d. o. o.
prof. dr. Matjaž Gams

OBISKI

- Luc Le Fessant, Adrien Vigreux, Univerza Paris-Sud, Pariz, Francija, 25. 4.-22. 7. 2022
- Stefan Krsteski, Matea Tashkovska, Fakulteta za elektrotehniko in informacijske tehnologije (FEET), Univerza sv. Cirila in Metoda, Skopje, Severna Makedonija, 4. 7.-2. 9. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- Andrejaana Andova: seminar II na MPSŠ, 3. stopnja informacijsko komunikacijske tehnologije: Characterizing constrained multiobjective optimization problems using problem landscape analysis, 29. 9. 2022
- Andrejaana Andova, Tea Tušar: poročilo s poletne šole Species Summer School 2022, 19. 9. 2022
- Matjaž Gams: Civilizacije, 24. 1. 2022
- Emilija Kizhevska: Poročilo s poletne šole WideHealth v Lizboni, 11.-15. 7. 2022, 27. 9. 2022
- Gašper Slapničar: Brief Summary and Review of IEEE BHI-BSN 2022 Conference, 14. 11. 2022
- David Susič: Seminar II na MPSŠ, 3. stopnja informacijsko komunikacijske tehnologije: Identification of Decompensation Episodes in Chronic Heart Failure Patients Based Solely on Heart Sounds, 5. 9. 2022
- David Susič: predstavitev članka Predicting Performance Improvement of Human Activity Recognition Model by Additional Data Collection, 22. 11. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Andrejaana Andova, Gašper Slapničar, David Susič, 14th Jožef Stefan International Postgraduate School Students' Conference, IPSSC, Kamnik, 1.-3. 6. 2022 (3)
- Andrejaana Andova, Bogdan Filipič, Tea Tušar, 40. slovenska delavnica Algoritmi po vzorih iz narave, AVN, Zavarjevalni vrh, 15. 6. 2022
- Andrejaana Andova, Bogdan Filipič, Tea Tušar, Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO 2022, Boston, ZDA, 9.-13. 7. 2022 (1)
- Andrejaana Andova, Tea Tušar, Species Summer School 2022, Moraira, Španija, 25. 8.-1. 9. 2022
- Andrejaana Andova, Bogdan Filipič, Matjaž Gams, Anton Gradišek, Emilija Kizhevska, Primož Kocuvan, Žiga Kolar, Junoš Lukan, Mitja Luštrek, Nina Reščič, Gašper Slapničar, Maj Smerkol, David Susič, Tomaž Šef, Tea Tušar, Jakob Valič, Aljoša Vodopija, 25. mednarodna multikonferenca Informacijska družba, IS 2022, Ljubljana, 10.-14. 10. 2022 (20)
- Bogdan Filipič, Aljoša Vodopija, IEEE World Congress on Computational Intelligence, WCCI 2022, Padova, Italija, 18.-23. 7. 2022 (1)
- Bogdan Filipič, 10. mednarodna konferenca Bioinspired Optimization Methods and Their Applications, BIOMA 2022, Maribor, 17.-18. 11. 2022
- Bogdan Filipič, The 2022 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2022, Las Vegas, ZDA, 14.-16. 12. 2022 (virtualno) (1)
- Matjaž Gams, Maj Smerkol, projektni sestanek Urbanite, Bilbao, Španija, 14.-17. 6. 2022
- Matjaž Gams, 31st International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI 2022, Dunaj, Avstrija, 22.-30. 7. 2022
- Matjaž Gams, Maj Smerkol, projektni sestanek Urbanite, Messina, Italija, 25.-27. 10. 2022
- Matjaž Gams, Maj Smerkol, projektni sestanek Urbanite, Amsterdam, Nizozemska, 13.-16. 12. 2022
- Anton Gradišek, 28th International Liquid Crystal Conference, ILCC 2022, Lizbona, Portugalska, 24.-29. 7. 2022 (1)
- Anton Gradišek, COST Training School, Practicing protocols of dairy product analysis from A to Z for industry members, Cesena, Italija, 24.-27. 10. 2022 (1) (virtualno)
- Anton Gradišek, Hidradenitis Suppurativa Meeting, Milano, Italija, 28. 10. 2022 (1) (virtualno)
- Anton Gradišek, 12. konferenca fizikov v osnovnih raziskavah, Čatež, 11. 11. 2022 (1)
- Anton Gradišek, A Workshop on Recent Advances in Artificial Intelligence for Biomedical Applications, Rourkela, Indija, 1.-7. 12. 2022 (1) (virtualno)
- Emilija Kizhevska, Mitja Luštrek, Nina Reščič, WideHealth Summer School on Human Factors in Pervasive Health, Lizbona, Portugalska, 11.-15. 7. 2022
- Emilija Kizhevska, 21st International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia, Lizbona, Portugalska, 27.-30. 10. 2022 (1)
- Žiga Kolar, Maj Smerkol, projektni sestanek Valence, Skopje, Severna Makedonija, 29.-30. 9. 2022
- Mitja Luštrek, WideHealth Winter School on e-Health & Pervasive Technologies Skopje, Severna Makedonija, 14.-17. 2. 2022
- Mitja Luštrek, David Susič, 18th International Conference on Intelligent Environments, Biarritz, Francija, 20.-23. 6. 2022 (1)
- Mitja Luštrek, 2022 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing, UbiComp 2022, Cambridge, Velika Britanija, 11.-15. 9. 2022 (1)
- Nina Reščič, znanstvena in strokovna mednarodna konferenca Zdravje otrok in mladostnikov, Portorož, 16. 9. 2022 (1)
- Maj Smerkol, projektni sestanek Urbanite, 15.-17. 2. 2022 (virtualno)
- Gašper Slapničar, International Workshop on Computer Vision for Physiological Measurement, CVPM 2022, 19. 6. 2022 (virtualno)
- Gašper Slapničar, IEEE Conference on biomedical and health informatics, BHI-BSN 2022, Ioannina, Grčija, 27.-30. 9. 2022 (1)
- Tea Tušar, Benchmarked: Optimization Meets Machine Learning, Leiden, Nizozemska, 30. 5.-3. 6. 2022
- Tomaž Šef, strokovno srečanje partnerjev projekta ERASMUS+ KA204, Education accessibility through a digital audio library for the blind and visually-impaired, Zagreb, Hrvaška, 24. 2. 2022
- Tomaž Šef, strokovno srečanje partnerjev projekta ERASMUS+ KA204, Education accessibility through a digital audio library for the blind and visually-impaired, Berlin, Nemčija, 24.-30. 3. 2022
- Tomaž Šef, strokovno srečanje partnerjev projekta ERASMUS+ KA204, Education accessibility through a digital audio library for the blind and visually-impaired, Izola, 11.-12. 5. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

- dr. Erik Dougan, odšel 1. 9. 2022
- prof. dr. Bogdan Filipič, pomočnik vodje odseka
- prof. dr. Matjaž Gams, znanstveni svetnik - vodja odseka**
- doc. dr. Anton Gradišek
- dr. Mitja Luštrek
- dr. Miha Mlakar, odšel 1. 5. 2022
- dr. Tomaž Šef
- doc. dr. Tea Tušar

Podoktorski sodelavci

- dr. Carlo Maria De Masi*
- dr. Vito Janko*
- dr. Aleš Tavčar*

Mlajši raziskovalci

- Andrejaana Andova, mag. inf. in kom. tehnologij
- Emilija Kizhevska, MSc., Makedonija
- Tine Kolenik, mag. kog. zn., odšel 1. 11. 2022

- dr. Jana Krivec*
- Gašper Slapničar, mag. inž. rač. in inf.
- David Susič, mag. fiz.
- Aljoša Vodopija*, mag. mat.

Strokovni sodelavci

- Ana Arnež, mag. farm.
- Gregor Bajt, dipl. inž. rač. in inf., odšel 21. 9. 2022
- Marko Jordan, dipl. fin. mat. (UN)
- Primož Kocuvan, mag. inž. el.
- Žiga Kolar, dipl. inž. rač. in inf. (UN)
- Anže Marinko, mag. inž. rač. mat., odšel 1. 5. 2022
- Maj Smerkol, dipl. inž. rač. in inf. (UN)
- Jakob Valič, mag. teol.
- Zdenko Vuk, dipl. inž. rač. in inf. (VS)

Tehniški in administrativni sodelavci

- Jani Bizjak*, mag. inž. rač. mat.
- Vesna Koricki, dipl. org. tur.
- Mitja Lasič
- Liljana Lasič
- Junoš Lukan, MSc, Združeno kraljestvo VB in Severne Irske

33. Blaž Mahnič, dipl. inž. rač. in inf.
34. Nina Reščič, univ. dipl. mat.
35. Lana Zemljak

Opomba

* delna zaposlitev na IJS

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Alma Digit SRL, Messina, Italija
2. Alpineon, raziskave in razvoj, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
3. Amebis, d. o. o., Kamnik, Slovenija
4. Arctur d. o. o., Nova Gorica, Slovenija
5. Asociacion Clúster de Movilidad y Logística, MLC ITS Euskadi, Bilbao, Španija
6. Audibook, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
7. Ayuntamiento de Bilbao, Bilbao, Španija
8. Brlo Garofolo, Trst, Italija
9. Canary Tech, Prehova, Romunija
10. Caretronic, d. o. o., Kranj, Slovenija
11. Carol Davila University of Medicine and Pharmacy from Bucharest, Bukarešta, Romunija
12. Centre national de la recherche scientifique (CNRS), Pariz, Francija
13. Cestel cestni inženiring, d. o. o., Trzin, Slovenija
14. CoronaSurveys Team, Madrid, Španija
15. Cologne University of Applied Sciences (TH Köln), Gummersbach, Nemčija
16. Comland, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
17. Comune di Messina, Messina, Italija
18. ConnectedCare, Dieren, Nizozemska
19. Elea iC, projektiranje in svetovanje, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
20. Elektrotehniška šola Mihajlo Pupin, Novi Sad, Srbija
21. Engineering Ingeneria Informatica Spa, Rim, Italija
22. European Health Management Association, Bruselj, Belgija
23. Evropska komisija, Bruselj, Belgija
24. FCIências.ID – Associação para a Investigação e Desenvolvimento de Ciências, Lizbona, Portugalska
25. Firalis, Huningue, Francija
26. Fondazione Bruno Kessler, Trento, Italija
27. Fondazione IRCCS Ca' Granda-Ospedale Maggiore Policlinico, Milano, Italija
28. Forum Virium Helsinki OY, Helsinki, Finska
29. Forschung E. V., München, Nemčija
30. Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung, München, Nemčija
31. Fundacion Tecnalia Research & Innovation, Bilbao, Španija
32. Gemeente Amsterdam, Amsterdam, Nizozemska
33. Ghent University, Gent, Belgija
34. Gorenje Gospodinjski Aparati, d. d., Velenje
35. Hasso Plattner Institute Für Digital Engineering gGmbH, Potsdam, Nemčija
36. Health Insurance and Reinsurance Intitute of Federation of Bosnia and Herzegovina, Sarajevo, Bosna in Hercegovina
37. Heinrich-Heine Universität Düsseldorf, Düsseldorf, Nemčija
38. IMDEA Networks Institute, Madrid, Španija
39. Imperial College of Science, Technology and Medicine, London, Združeno kraljestvo
40. INEA – Informatizacija, energetika, avtomatizacija, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
41. INRIA Saclay – Île-de-France, Saclay, Francija
42. Institut de Recerca de l'Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona, Španija
43. Internacionalni Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, Bosna in Hercegovina
44. IRISA – Institut de Recherche en Informatique et Systèmes Aléatoires, Rennes, Francija
45. IRCCS Burlo Garofolo – Istituto di Ricovero e Cura a Carattere Scientifico, Trst, Italija
46. Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije, Ljubljana, Slovenija
47. Klinik für Dermatologie und Venerologie, Uniklinik Köln, Nemčija
48. Luxembourg Institute of Health, Luksemburg
49. Mahle Electric Drives Slovenija d. o. o., Šempeter pri Gorici, Slovenija
50. Mednarodna podiplomska šola Jožefa Stefana, Ljubljana, Slovenija
51. Medical University Innsbruck, Avstrija
52. Municipality of Miglierina, Miglierina, Italija
53. Nacionalni inštitut za javno zdravje, Ljubljana, Slovenija
54. National and Kapodistrian University of Athens, Atene, Grčija
55. Onkološki inštitut, Ljubljana, Slovenija
56. Open University in the Netherlands, Heerlen, Nizozemska
57. Policlinico San Donato SpA, San Donato Milanese, Italija
58. Pharmacie Principale, Ženeva, Švica
59. Pharmahungary 2000 Kiserletes es Klinikai Kutatasfejlesztési Korlatoltfelelossegu, Budimpešta, Madžarska
60. Plamtex INT, Trgovina in proizvodnja, d. o. o., Komenda, Slovenija
61. POLO tecnologico park, Milano, Italija
62. Poznań Supercomputing and Networking Center, Poznań, Poljska
63. Public Health Institution Health Center Tivat, Tivat, Crna gora
64. Result računalniški sistemi, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
65. Regional Development Fund of Central Macedonia, Thessaloniki, Grčija
66. Robotina, d. o. o., Kozina, Slovenija
67. SenLab, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
68. Senso4S, d. o. o., Trzin, Slovenija
69. Special hospital for treatment and rehabilitation Merkur, Vrnjačka Banja, Srbija
70. Sredno opštinsko struchno uclilishite Iilinden, Skopje, Severna Makedonija
71. Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Skopje, Severna Makedonija
72. Sveučilište u Rijeci, Odjel za informatiku, Reka, Hrvaška
73. Stichting Waag Society, Amsterdam, Nizozemska
74. Šolski center Kranj, Kranj, Slovenija
75. Store Steel, d. o. o., Štore, Slovenija
76. Taipei Medical University, Tajvan
77. Teaching Institute for Public Health Split–Dalmatia County, Split, Hrvaška
78. terzStiftung, Berlingen, Švica
79. Unior Kovaska industrija, d. d., Zreče, Slovenija
80. Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugalska
81. Università Ca' Foscari, Venezia, Italija
82. Università della Svizzera Italiana, Lugano, Švica
83. Università degli studi di Trieste, Italija
84. Universität Leipzig, Leipzig, Nemčija
85. Université Paris-Est Créteil, Francija
86. Université du Luxembourg, Luksemburg
87. Universiteit Maastricht, Maastricht, Nizozemska
88. University of Geneva, Ženeva, Švica
89. University of Applied Sciences, Campus Hagenberg, Avstrija
90. University of Edinburgh, Edinburgh, Združeno kraljestvo
91. University of Porto & INESC TEC, Porto, Portugalska
92. University of Piraeus Research Centre, Pirej, Grčija
93. University of Southern California, Los Angeles, ZDA
94. University of Split School of Medicine, Split, Hrvaška
95. University Medical Center Ljubljana, Slovenija
96. Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
97. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
98. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
99. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana, Slovenija
100. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
101. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
102. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana, Slovenija
103. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
104. Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
105. Univerza v Ljubljani, Veterinarska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
106. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, Slovenija
107. Univerza v Novi Gorici, Poslovno-tehniška fakulteta, Nova Gorica, Slovenija
108. Univerzitetna klinika Golnik, Ljubljana, Slovenija
109. Univerzitetni klinični center Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
110. Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije Soča, Ljubljana, Slovenija
111. XLAB, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
112. Zveza društev slepih in slabovidnih Slovenije, Ljubljana, Slovenija

V Odseku za reaktorsko tehniko potekajo osnovne in aplikativne raziskave s področja jedrske tehnike in varnosti. Raziskave zajemajo: teoretične in eksperimentalne raziskave osnovnih termohidrodinamičnih pojavov, varnostne analize fisijskih in fuzijskih reaktorjev ter trdnostne varnostne analize. Večina raziskav je vključena v različne oblike mednarodnega sodelovanja. Rezultate raziskav vključujemo v projekte za industrijo in Upravo RS za jedrsko varnost ter v dodiplomsko in podiplomsko izobraževanje. Znanje s področja jedrske energije smo uporabili tudi za modeliranje razvoja epidemije covid-19 v Sloveniji.

Modeliranje osnovnih termohidrodinamičnih pojavov

Pri raziskavah dvofaznih tokov plin-kapljevina smo s programom za računsko dinamiko tekočin (Computational Fluid Dynamics – CFD) OpenFoam simulirali Taylorjev mehur (oblike naboja, ki zavzema skoraj ves prerez cevi) v turbulentnem protitoku. Uporabljena je bila metoda velikih vrtincev (Large Eddy Simulation – LES) skupaj z metodo VOF (volume of fluid) in izboljšano metodo geometrične rekonstrukcije medfazne površine PLIC (Piecewise Linear Interface Capturing). Rezultati so bili validirani z meritvami, opravljenimi v lastnem laboratoriju THELMA. Simulacije so izboljšale napovedi hitrosti razpadanja mehurja v laminarnem toku, medtem ko še vedno precenjujejo hitrost razpadanja v turbulentnem toku. Zato razvijamo dodatne modele, ki bodo bolje napovedali tvorjenje in združevanje majhnih mehurčkov za repom mehurja.

V okviru projekta CROSSING skupaj z raziskovalci sorodnega odseka inštituta Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (Nemčija) razvijamo napredne metode za simuliranje večfaznih tokov z uporabo računske knjižnice OpenFoam. S hibridnim dvofluidnim modelom smo simulirali delni obrat toka kapljevine zaradi protitoka plina v turbulentnem razslojenem režimu v kanalu eksperimenta WENKA (Water Entrainment Channel, Karlsruhe, Nemčija). Razumevanje pojava omejitve protitoka (ang. counter-current flow limitation) je pomembno za varnostne analize jedrskih elektrarn (JE) v primeru nezgode z izgubo hladila. Pri tem smo sodelovali tudi pri razvoju naprednih modelov za prenos gibalne količine prek medfazne površine med plinom in kapljevino, ki lahko natančnost popisa toka prilagajajo lokalnemu režimu glede na resolucijo računske mreže.

Sodelujemo pri mednarodnem testu DEBORA Benchmark, ki poteka v okviru francoskega projekta NEPTUNE s podporo organizacij iz Francije: CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives), EDF (Electricité de France), Framatome in IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire). Namen testa je vzpostavitev poenotnih metod in meril za testiranje in potrjevanje modelov podhlajenega vrenja v računski dinamiki tekočin. Sodelujoči v projektu se osredotočamo na simulacije vrenja pri visokem tlaku v cevi eksperimentalne naprave DEBORA (CEA). V prvi fazi testa smo udeleženci napovedali in primerjali rezultate odprtih eksperimentov, medtem ko smo v drugi fazi izvedli simulacije t. i. zaprtih eksperimentov, kjer bodo eksperimentalni rezultati razkriti naknadno.

Do parne eksplozije ali problema hladljivosti razbitkov taline med težko nesrečo v JE bi lahko prišlo, če bi staljena reaktorska sredica prišla v stik s hladilom. Nadaljevali smo študije parnih eksplozij v razslojenih razmerah, ko se plast taline nahaja pod plastjo hladila. Razviti model nastanka mešalne plasti, ki smo ga vgradili v program MC3D (IRSN), smo uporabili za simulacijo nastanka mešalne plasti in parnih eksplozij v reaktorskih razmerah. Na podlagi preteklih raziskav, ki so nakazovale potencialen prispevek k mešanju taline in hladila (poleg mešalne plasti) tudi zaradi razpadanja curka taline, smo začeli raziskovati interakcije taline s hladilom v kombinaciji curka taline in razslojenih razmer. Za izboljšanje razumevanja prenosa toplote med eksplozijsko fazo smo nadaljevali s simulacijami plastnega uparjanja v eksperimentu TREPAM (CEA), pri čemer razvijamo in preizkušamo dinamični model uparjanja. Pri raziskavah hladljivosti razcepov taline, hlajenih z zgornje strani, smo s programom MC3D izvedli preliminarne 2D- in 3D-simulacije eksperimentov, opravljenih na napravi FLUAT (IKE, Univerza Stuttgart, Nemčija).

Pri raziskavah porazdelitve vodika v zadrževalnem hramu JE smo zaključili simulacije poskusov erozije razslojene atmosfere hrama z navpičnim curkom, izvedene v napravah PANDA (Paul Scherrer Institute, Švica) in SPARC (Korea Atomic Energy Research Institute). Predlagano modeliranje z dinamičnima Prandtlovim in Schmidtovim številom predstavlja razširitev obstoječega modeliranja na pogoje, ki jih lahko pričakujemo med nesrečo po oksidaciji reaktorske sredice in izpustu vodika v zadrževalni hram.

Pri bazenskem filtriranju, ki se lahko uporablja za dekontaminacijo plina pri težki nesreči, se plin v obliki mehurčkov pretaka skozi bazen kapljevine, pri čemer cepitveni produkti v obliki trdnih delcev (aerosolov in večjih)



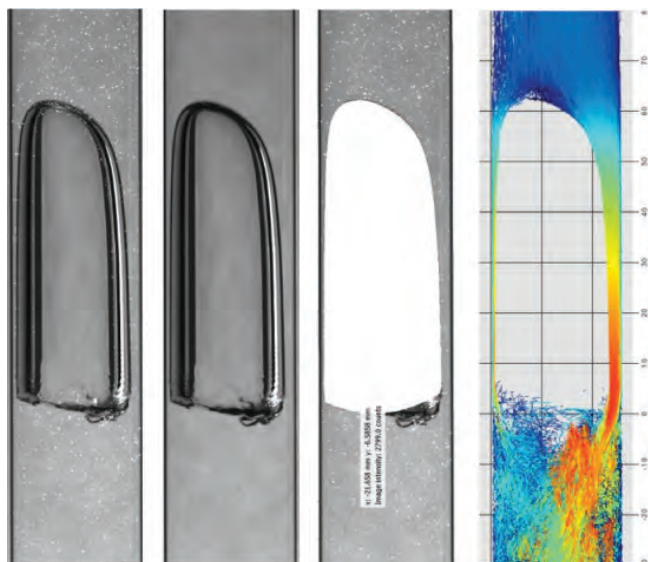
Vodja:

prof. dr. Leon Cizelj

prehajajo iz mehurčkov v kapljevino. Z večfluidnim modelom (zrak, kapljevita voda, delci v mehurčkih in delci v vodi) in programom OpenFoam smo simulirali poskus, opravljen na eksperimentalni napravi PECA (CIEMAT, Španija) ter napovedali dekontaminacijski faktor.

Eksploimentalne raziskave v laboratoriju THELMA

V laboratoriju za termohidravliko večfaznih tokov (THELMA) smo nadaljevali z eksperimenti konvektivnega vrenja v geometriji, ki predstavlja del gorivne palice v svežnju lahkovodnega jedrskega reaktorja. Opravljene so



Slika 1: Taylorjev mehur v turbulentnem toku. Od leve proti desni: PIV slika; slika brez osvetlitve z laserjem; oblika mehurja, odstranjena z algoritmom za prepoznavanje medfazne površine; izračunano hitrostno polje.

bile prve meritve v navpičnem položaju sekcije. V dvofaznem režimu toka smo s hitro kamero opazovali mehurčkasto vrenje pri dveh režimih obratovanja, pri katerem spreminjamo bodisi pretok hladila pri konstantni grelni moči bodisi temperaturo stene pri konstantnem pretoku hladila. Iz slik smo pridobili informacijo o porazdelitvi plinaste faze po različnih velikostih mehurčkov, pri čemer smo uspešno uporabili strojno učenje oz. nevronske mreže.

Raziskave čepastih dvofaznih tokov smo nadaljevali s proučevanjem Taylorjevih mehurjev v laminarnem in turbulentnem toku v skupnem projektu s CEA. Obnašanje medfazne površine plin-kapljevina smo opazovali v režimu turbulentnega protitoka. Razvili smo natančen algoritem za prepoznavanje medfazne površine in ga uporabili za analizo slik Taylorjevih mehurjev, posnetih s hitrotekočo kamero. Ugotovili smo, da je v turbulentnem toku bolj ugodna oblika mehurja asimetrična, medtem ko je v laminarnem toku oblika vedno simetrična. Poleg tega sta bila analizirana dinamika drobnih motenj, ki potujejo vzdolž medfazne površine mehurja, in izmerjena hitrost širjenja valov s pomočjo navzkrižne korelacije časovno odvisnih nihanj medfazne površine na različnih mestih. Izkazalo se je, da so za dovolj dolge intervale časovno povprečne hitrosti širjenja valov enake konveksijski hitrosti medfazne površine. Hitrost kapljevite faze smo izmerili tudi z metodo sledenja delcev (ang. Particle Image Velocimetry) v kombinaciji z uporabo tehnike LIF (ang. Laser Induced Fluorescence). Poleg tega so bile izvedene tudi meritve hitrosti razpada Taylorjevega mehurja in tlačnih padcev vzdolž mehurja pri različnih temperaturah in tlakih. Te meritve se uporabljajo za validacijo zgoraj omenjenih simulacij Taylorjevih mehurjev v režimu turbulentnega protitoka.

Raziskovali smo dinamiko drobnih motenj, ki potujejo vzdolž medfazne površine Taylorjevih mehurjev v navpičnih ceveh.

Varnostne analize fisijskih in fuzijskih reaktorjev

Evropski projekt SEAKNOT obravnava težke nesreče v lahkovodnih JE z naslednjimi nameni: identifikacija pojavov med nesrečami, za katere je nadaljevanje raziskav nujno; ustvarjanje imenika baz obstoječih eksperimentalnih podatkov; razvoj mreže eksperimentalnih infrastruktur; širjenje obstoječega in novo ustvarjenega znanja. Leta 2022 smo začeli z aktivnostmi v okviru projekta, pri čemer je IJS nosilec nalog na področju pojavov v zadrževalnem hramu JE.

Namen Evropskega projekta ASSAS je uporaba metod umetne inteligence za simulacije težkih nesreč. Ker so zaradi zapletenosti nekaterih pojavov simulacije na osnovi fizikalnih zakonitostih preveč dolgotrajne, da bi bilo mogoče razviti ustrezni simulator za težke nesreče, je osnovna zamisel nekatere tovrstne modele nadomestiti s t. i. surogatnimi modeli, ki ne temeljijo na osnovnih fizikalnih zakonitostih, vendar so sposobni izračunati dovolj podobne rezultate v občutno krajšem času. V letu 2022 smo v sodelovanju z Odsekom za tehnologije znanja zastavili ustrezne metodologije za začetni razvoj surogatnih modelov.

V okviru raziskovalnega programa CAMP smo s sistemskim termohidravličnim programom RELAP5 simulirali različne scenarije nesreče izgube vse napajalne vode v tlačnovodnem reaktorju. Namen študije je bil določiti razpoložljivi čas pred začetkom degradacije sredice in potrebne varnostne mere za preprečitev njenega segrevanja.

Proučevali smo štiri vrste scenarijev: z razpoložljivimi sistemi za normalno obratovanje; brez teh sistemov; s temi sistemi razen reaktorskih hladilnih črpalk; s temi sistemi in alternativno črpalko za pomožno napajalno vodo. Analiza je pokazala, da z upoštevanjem zgolj varnostnih sistemov dobimo manj konservativne rezultate kot z upoštevanjem sistemov za normalno obratovanje ter da segrevanje sredice preprečimo zgolj s pravočasnim vbizgavanjem nadomestne črpalke za pomožno napajalno vodo.

Izvedli smo pomanjševalno analizo za neugodne pogoje v tlačnovodnem reaktorju, ki je bila uporabljena za izvedbo eksperimenta v podporo konceptu pasivnega izolacijskega kondenzatorja.

Evropski projekt PIACE je obravnaval koncept pasivnega izolacijskega kondenzatorja, ki je primeren za samodejno omejevanje hitrosti hlajenja reaktorske sredice med nesrečo. V primeru vodno hlajenih reaktorjev je koncept primeren za preprečevanje termičnih šokov v stenah posod in cevovodov. V letu 2022 je bil na podlagi pomanjševalne analize IJS za nezgodne pogoje tlačnovodnega reaktorja izveden ustrezen poskus na eksperimentalni napravi SIRIO (SIET, Italija). Poskus smo pred izvedbo in po njej simulirali s programom RELAP5.

Evropski projekt AMHYCO obravnava ukrepanje za preprečitev zgorevanja vodika in ogljikovega monoksida v zadrževalnem hramu JE v primeru težke nesreče. S sistemskim programom ASTEC (IRSN) smo začeli s simulacijami razporeditve omenjenih plinov v generičnem modelu hrama. Končni cilj projekta je izboljšanje smernic za obvladovanje težkih nesreč.

Za demonstracijski fuzijski reaktor DEMO smo izvedli analizo toplotnih obremenitev aktiviranih notranjih komponent vakuumске posode med predvideno menjavo komponent zaradi vzdrževanja. Za oceno temperaturne porazdelitve pasivnih komponent zaradi zaostale toplote vsled naravne konvekcije okoliškega zraka v transportni komori smo izvedli nestacionarne CFD-simulacije, s katerimi smo umerili enotočkovni model, ki je v primerjavi z računsko zahtevnimi CFD-simulacijami učinkovitejši. V parametrični študiji z razvitim modelom smo proučili vpliv učinkovitosti zunanjega hlajenja transportne komore na trend ohlajanja aktiviranih oplodnih oblog. Delo je potekalo v okviru Evropskega fuzijskega projekta WPDES.

Za novi fuzijski Divertor Tokamak Test Facility (DTT), ki bo zgrajen v Frascatiju (Italija), smo izvajali termohidravlične analize komponent, ki so v neposrednem stiku s plazmo. Temperaturne porazdelitve v trdnih strukturah in toku kapljevine smo simulirali s CFD-programom ANSYS CFX. Izračunana tlačna in temperaturna polja smo uporabili kot robne pogoje za nadaljnje termomehanske analize. Delo je potekalo v tesnem sodelovanju z ENEA (Italija).

V okviru Evropskega fuzijskega projekta DIV-W7X razvijamo vodno hlajeni element diverterja za stelarator W7-X v Greifswaldu (Nemčija). Izvedli smo CFD-simulacije konvektivnega vrenja v hladilnih kanalih diverterjskega elementa. Model konvektivnega vrenja smo najprej preverili z razpoložljivimi eksperimenti pri nižjih hitrostih in toplotnih tokovih, kjer se je izkazalo, da se rezultati simulacij dobro ujemajo z eksperimenti. Vendar smo ugotovili, da pri obratovalnih pogojih W7-X (visoki toplotni tokovi in visoke hitrosti toka) model vrenja, za razliko od enofaznega modela, napove previsoko temperaturo sten kanala. Pokazali smo, da glavni vzrok leži v napačnih fizikalnih predpostavkah modela razdelitve toplotnega toka na steni.

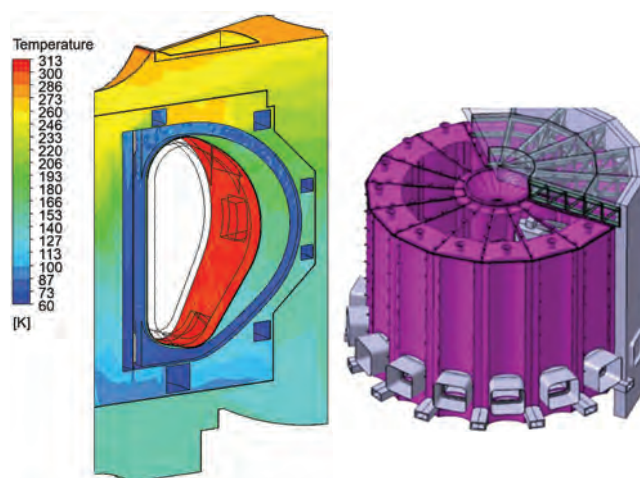
Za fuzijski reaktor DEMO smo s sistemskim programom MELCOR for Fusion izvedli analizo izgube vakuum v kriostatu zaradi večjega vdora helija. Izvedli smo parametrično študijo, s pomočjo katere smo določili velikost razbremenilnega diska tako, da niso bili preseženi projektni tlaki za kriostat. Delo je potekalo v okviru Evropskega fuzijskega projekta WPSAE.

Trdnostne varnostne analize

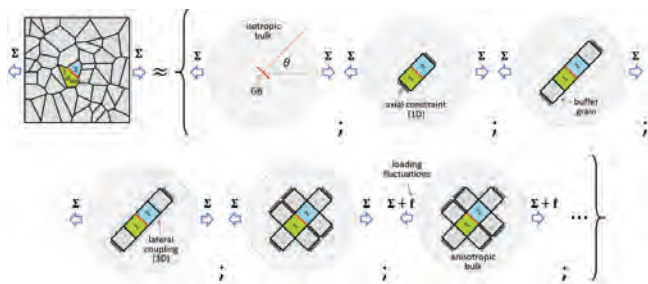
Aktivnosti so bile usmerjene v študij nastanka medkristalnih napetostno korozijskih razpok, še zlasti na mikromehanski vidik. Pri tem smo predpostavili, da je vpliv lokalnega napetostnega polja mogoče ločiti od vpliva zunanjega okolja tako, da se mejam med kristalnimi zrnji pripiše ustrezen tip v skladu z njihovo mehansko trdnostjo. Na mejah posameznega tipa smo nato proučevali porazdelitve normalnih napetosti, s katerimi lahko določimo verjetnost za nastanek medkristalne razpoke.

V okviru teorije motenj smo razvili preprost analitičen model za napovedovanje napetosti na mejah zrn v poljubnem linearno-elastičnem polikristalnem materialu, na kateremkoli tipu meje in za kakršnokoli uniformno zunanjo obremenitev. Bikristalni model, ki je služil kot začetni približek, smo razširili v 3D-strukturo, sestavljeno iz petih 1D verig, ki so bile vložene v homogen in izotropen elastičen medij. Pri tem smo uporabili 1D Reussov in Voigtov približek na različnih dolžinskih skalah. Tako dobljene napetostne porazdelitve smo preverili z numeričnimi simulacijami metode končnih elementov na različnih Voronojevih mikrostrukturah. Dodaten uvid je prinesla analitična rešitev posplošenega bikristalnega modela, pri čemer izpostavljamo eksplicitno obravnavo ustreznosti peljave parametra efektivne togosti meje in analizo vpliva kota zavrtitve bikristalnih zrn okoli normale na mejo.

V okviru metode končnih elementov smo predlagali nov model kristalne plastičnosti, s katerim smo simulirali mehanski odziv avstenitnega nerjavnega jekla, ki je izpostavljeno hkratnim vplivom vodika in nevtronskega sevanja. Model smo implementirali v program Abaqus.



Slika 2: Desno: kriostat in biološki ščit reaktorja DEMO; levo: izračunana temperatura helija med nesrečo vdora v kriostat.



Slika 3: Strategija za računanje normalne napetosti na meji kristalnega zrna, ki temelji na teoriji motenj.

Razvili smo preprost semi-analitičen model za napovedovanje lokalnih napetosti na mejah kristalnih zrn in pripadajočih statističnih porazdelitev v linearno-elastičnih polikristalnih materialih.

V okviru kristalne plastičnosti majhnih deformacij smo razvili lasten program, ki temelji na hitri Fourierjevi transformaciji. Program smo nadgradili z metodo Andersonovega pospeševanja ter ga uspešno testirali na materialih z nelinearno elastičnimi lastnostmi.

Na področju termičnega utrujanja zaradi mešanja toka tekočine smo zaključili z aktivnostmi v okviru Evropskega projekta ATLAS+. S pomočjo termomehanskih analiz in analiz lomne mehanike smo določili življenjsko dobo utrujanja cevne T-spoja, ki je vseboval razpoke. Poleg tega je v sklopu vzpostavljenega sodelovanja z North China Electric Power University kitajski partner z metodo CFD opravil študijo toplotnega razslojevanja toka za kolenom cevi, medtem ko smo na IJS dobljene temperature tekočine v bližini cevi uporabili v poznejših analizah.

Evropski projekt APAL je namenjen razvoju naprednih metod za študij toplotnega šoka pod tlakom (ang. Pressurized Thermal Shock) in ovrednotenju varnostnih rezerv za dolgoročno obratovanje jedrskih elektrarn. Definirali smo deterministične in verjetnostne referenčne modele v lomni mehaniki. S pomočjo termohidravličnih vhodnih podatkov programa RELAP5 smo izvedli termomehanske izračune in izračune lomne mehanike.

V okviru fizijskih raziskav smo s pomočjo toplotnih obremenitev iz simulacij CFD izvedli termomehanske analize, s katerimi smo določili deformacije in napetosti v kalorimetru za sistem vbrizgavanja nevtralnih žarkov novega fuzijskega tokamaka DTT. Izvedli smo termomehanske analize na komponenti v diverterju, ki je v neposrednem stiku s plazmo, in sicer za konfiguracijo plazme enojne ničle (ang. single-null configuration). Z analizami lastnih nihajnih načinov sistema cevi v zgornji vhodni odprtini reaktorja DEMO smo določili preliminarno konfiguracijo cevnih podpor.

Modeliranje razvoja epidemije covid-19 v Sloveniji

Ker so enačbe širjenja okužb podobne enačbam verižne reakcije v jedrskem reaktorju, smo aktivno sodelovali pri obvladovanju epidemije covid-19. Model tipa SEIR (Susceptible, Exposed, Infectious, Recovered) je bil uporabljen za napovedovanje naraščanja in upadanja števila okuženih. Model, uglasen z javno dostopnimi podatki, omogoča upoštevanje odziva prebivalcev na sprejete ukrepe za preprečevanje širjenja.

V modelu sklopljeno upoštevamo večino razpoložljivih podatkov: število potrjenih primerov, število hospitaliziranih primerov in primerov v enotah intenzivne nege, število umrlih, starostne strukture ter prekuževanje in cepljenje. Primerjalno obravnavamo štiri različne poteke bolezni ter računamo devet specifičnih reprodukcijskih števil širjenja okužbe, na podlagi katerih ugotavljamo trend razvoja epidemije. Začetni del napovedi preverjamo s tem, kar že imamo v »čakalnici«, to je znano število pozitivnih testov v zadnjem obdobju po starostnih kategorijah, ki se bodo z določenim časovnim zamikom in z določeno verjetnostjo pojavili v bolnišnicah, v enotah intenzivne nege in na koncu umrli. Pri modelu ustrezno upoštevamo tudi kvalitativne informacije.

Za strokovno vladno Svetovalno skupino smo v letu 2022 še naprej vsakodnevno pripravljali analizo stanja epidemije ter napoved števila hospitaliziranih (ločeno za enote intenzivne nege) in umrlih.

Strokovno sodelovanje, svetovanje in izobraževanje

Tudi v letu 2022 smo raziskovalci Odseka za reaktorsko tehniko sodelovali pri projektih za industrijo. Na podlagi pooblastila Uprave RS za jedrsko varnost smo sodelovali pri izdelavi strokovnega mnenja o remontnih aktivnostih v JE Krško. Poleg tega smo v okviru 3. občasnega varnostnega pregleda JE Krško zaključili pregled varnostnih faktorjev s področja varnostnih analiz.

Raziskovalci odseka predstavljamo jedro Katedre za jedrsko tehniko na Fakulteti za matematiko in fiziko (FMF) Univerze v Ljubljani in smo vključeni v izvajanje dodiplomskega študija prve stopnje programa Fizika, druge stopnje programa Jedrska tehnika ter doktorskega študija Jedrska tehnika. IJS je prek navedenih študijskih programov vključen v asociacijo ENEN (European Nuclear Education Network). Jeseni 2022 je FMF sprejela tretjo generacijo študentov mednarodnega programa magistrskega študija jedrske tehnike SARENA, pri katerem je odsek aktivno udeležen.

Najpomembnejše objave v preteklem letu

1. B. Zajec, L. Cizelj, B. Končar, Experimental analysis of flow boiling in horizontal annulus: the effect of heat flux on bubble size distributions, *Energies*, 2022, 15, 6, 2187-1-2187-12

- B. Končar, J. Sotošek, I. Bajsič, Experimental verification and numerical simulation of a vortex flowmeter at low Reynolds numbers, *Flow Measurement and Instrumentation*, 2022, 88, 102278
- B. Mikuž, F. Roelofs, Flow and heat transfer simulation in a complete pressurized water reactor fuel assembly using wall-modeled RANS, *Journal of Nuclear Engineering and Radiation Science*, 2022, 8, 4, 041402-1-041402-21
- M. Kunšek, L. Cizelj, I. Kljenak, New multi-fluid model of pool scrubbing in bubble rise region, *Nuclear Engineering and Design*, 2022, 395, 111873-1-111873-13
- T. Holler, E. M. J. Komen, I. Kljenak, 2022, The role of CFD combustion modelling in hydrogen safety management – VIII : Use of eddy break-up combustion models for simulation of large-scale hydrogen deflagration experiments, *Nuclear Engineering and Design*, 2022, 388, 111627-1-111627-16

Nagrade in priznanja

- Leon Cizelj, Matjaž Leskovar: Spominski znak za požrtvovalnost v boju proti COVID-19, Vlada Republike Slovenije
- Benjamin Krull, Ronald Lehnigk, Richard Meller, Fabian Schlegel, Matej Tekavčič: nagrada za najboljši prispevek OpenFOAM hybrid – a morphology adaptive multifield two-fluid model, 19th International Meeting on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics – NURETH19

MEDNARODNI PROJEKTI

- H2020 - NARSIS; Nov pristop za varnostne izboljšave reaktorjev
European Commission
dr. Andrej Prošek
- H2020 - PIACE; Pasivni izolacijski kondenzator
European Commission
doc. dr. Ivo Kljenak
- H2020 - sCO₂-4-NPP; Inovativno odvajanje zaostale toplote na podlagi sCO₂ tehnologije za povečano raven varnosti jedrskih elektrarn
Electricite de France S.A.
dr. Andrej Prošek
- H2020 - EURAD; Evropski skupni program za obvladovanje radioaktivnih odpadkov
European Commission
prof. dr. Leon Cizelj
- H2020 - ECC-SMART; Evropsko-Kanadsko-Kitajski razvoj tehnologije malega modularnega reaktorja
European Commission
prof. dr. Leon Cizelj
- H2020 - AMHYCO; K izboljšanjem obvladovanju nezgode pri tveganju zgorevanja vodika in CO
European Commission
doc. dr. Ivo Kljenak
- H2020 - APAL; Napredna analiza toplotnega šoka pod tlakom za dolgoročno obratovanje
European Commission
dr. Oriol Costa Garrido
- Eksperimentalne in numerične raziskave vertikalnih čepastih tokov
Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS
prof. dr. Iztok Tiselj
- HE - EUROfusion; WP12: DIV_HE-FU
European Commission
doc. dr. Boštjan Končar
- HE - EUROfusion; WP08: DES-1_HE-FU
European Commission
dr. Martin Draksler
- HE - EUROfusion; WP19: SAE-1_HE-FU
European Commission
dr. Mitja Uršič
- HE - EUROfusion; WP25: PMU_HE-FU, RU-Mgmt-1_HE-FU
European Commission
doc. dr. Boštjan Končar
- HE - EUROfusion; WP24: TRED_HE-FU, EDU_HE-FU
European Commission
doc. dr. Boštjan Končar
- HE - HARMONISE; Harmonizacija zahtev za pridobivanje dovoljenj za prihodnje jedrske tehnologije v Evropi
European Commission
prof. dr. Leon Cizelj

- HE - SEAKNOT; Raziskovanje in upravljanje znanja na področju težkih nesreč za lahkovodne reaktorje
European Commission
doc. dr. Ivo Kljenak
- HE - ENEN2plus; Razvoj evropskih jedrskih znanj s stalnimi in strukturiranimi aktivnostmi izobraževanja in usposabljanja
European Commission
prof. dr. Leon Cizelj
- HE - OFFERR; Evropska platforma za dostop do naprav za jedrske raziskave in razvoj
European Commission
prof. dr. Leon Cizelj
- HE - ASSAS; Umetna inteligenca za simulacijo hudih jedrskih nesreč
European Commission
doc. dr. Ivo Kljenak

PROGRAMA

- Reaktorska tehnika
prof. dr. Leon Cizelj
- Fuzijske tehnologije
doc. dr. Boštjan Končar

PROJEKTI

- Simulacija izbranih razširjenih projektnih nesreč brez taljenja sredice
doc. dr. Boštjan Končar
- Razumevanje stratificiranih parnih eksplozij v reaktorskih razmerah
dr. Matjaž Leskovar
- Negotovosti v naprednih varnostnih analizah jedrskih objektov
dr. Andrej Prošek
- Interakcija taline s hladilom v kombinaciji razslojenih razmer in curka taline
dr. Janez Kokalj
- CROSSING - Prehajanje mej in velikostnih redov - interdisciplinarni pristop
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e.V.
dr. Matej Tekavčič

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

- Sodelovanje v mednarodnih raziskovalnih programih CAMP in CSARP
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
dr. Andrej Prošek
- Sofinanciranje L2-1827 „Simulacija izbranih razširjenih projektnih nesreč brez taljenja sredice“
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
doc. dr. Boštjan Končar

3. Sofinanciranje L2-1828 „Razumevanje stratificiranih parnih eksplozij v reaktorskih razmerah“
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
dr. Matjaž Leskovar
4. NEK PSR3 Projektna naloga „Varnostna analiza“
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
dr. Mitja Uršič
5. Strokovna ocena remontnih del, posegov in preiskov med zaustavitvijo Nuklearne elektrarne Krško in menjavo goriva med Remontom 2022
Elektroinštitut Milan Vidmar

- dr. Mitja Uršič
6. Sofinanciranje L2-4432 „Negotovosti v naprednih varnostnih analizah jedrskih objektov“
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
dr. Andrej Prošek
7. Sofinanciranje Z2-4436 „Interakcija taline s hladilom v kombinaciji razslojenih razmer in curka taline“
Nuklearna elektrarna Krško, d. o. o.
dr. Janez Kokalj

OBISKI

1. Clayton Scott, Business development NuScale Power, Portland, Oregon, ZDA, 24. 3. 2022
2. Wadié Joseph Habboush, Habboush Group, New York, ZDA, 24. 3. 2022
3. dr. Mario J. Müller, Emerald Horizon AG, Gradec, Avstrija, 6. 5. 2022
4. Derek Schlickeisen, Advocacy Center, ZDA, 23. 9. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

1. prof. dr. Leon Cizelj: Some remarks on the operation on nuclear facilities under war conditions, 17. 10. 2022
2. prof. dr. Mihael Sekavčnik, Fakulteta za strojništvo, Univerza v Ljubljani: Zamenjava visokotlačne turbine v NEK; termo-ekonomski, konstrukcijski in sistemski vidiki, 19. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Leon Cizelj, Martin Draksler, Samir El Shawish, Ivo Kljenak, Tanja Klopčič, Janez Kokalj, Boštjan Končar, Jan Kren, Rok Krpan, Amirhossein Lame Jouybari, Matjaž Leskovar, Timon Mede, Blaž Mikuz, Andrej Prošek, Nina Rehar, Andrej Sušnik, Matej Tekavčič, Iztok Tiselj, Mitja Uršič, Boštjan Zajec, Mednarodna konferenca NENE 2022, Portorož, Slovenija, 12.–15. 9. 2022 (17)
2. Leon Cizelj, pripravljali sestanki za konferenco FISA 2022 (virtualno): 24. 1. 2022, 21. 2. 2022, 21. 3. 2022
3. Leon Cizelj, konferenca FISA 2022, SNETP Forum 2022 in generalna skupščina ENS, Lyon, Francija, 30. 5.–3. 6. 2022
4. Leon Cizelj, sestanek ETSON TBRS, 25. 1. 2022 (virtualno)
5. Leon Cizelj, ETSON Board of the full members, 4. 4. 2022 (virtualno)
6. Leon Cizelj, seja upravnega odbora ETSON, 6. 5. 2022 (virtualno)
7. Leon Cizelj, seja upravnega odbora in generalna skupščina ETSON, 7. 7. 2022 (virtualno)
8. Leon Cizelj, seja upravnega odbora in generalna skupščina ETSON, Garching, Nemčija, 9.–11. 10. 2022
9. Leon Cizelj, seja upravnega odbora SNETP, 1.–2. 2. 2022 (virtualno)
10. Leon Cizelj, generalna skupščina SNETP, Bruselj, Belgija, 3.–4. 5. 2022
11. Leon Cizelj, seja upravnega odbora SNETP, 4. 7. 2022 (virtualno)
12. Leon Cizelj, upravni odbor SNETP, konferenca SET Plan in forum ENEF, Praga, Češka, 7.–12. 11. 2022
13. Ivo Kljenak, SNETP/NUGENIA TA2 Coordination team meeting, 20. 12. 2022 (virtualno)
14. Leon Cizelj, seja upravnega odbora združenja ENEN, 10. 2. 2022 (virtualno)
15. Leon Cizelj, sestanek upravnega odbora in generalna skupščina združenja ENEN, Bruselj, Belgija, 2.–4. 3. 2022
16. Leon Cizelj, generalna skupščina projekta EURAD, 15. 2. 2022 (virtualno)
17. Leon Cizelj, sestanek projekta OFFER, 8. 3. 2022 (virtualno)
18. Leon Cizelj, začetni sestanek projekta OFFER, Bruselj, Belgija, 6.–8. 9. 2022
19. Leon Cizelj, seja upravnega odbora projekta ECC-SMART, 11. 2. 2022 (virtualno)
20. Leon Cizelj, sestanek projekta ECC-SMART, 5. 4. 2022 (virtualno)
21. Leon Cizelj, sestanek projekta ECC SMART, Alkmaar, Nizozemska, 22.–25. 5. 2022
22. Leon Cizelj, seja upravnega odbora ENS, 5. 5. 2022 (virtualno)
23. Leon Cizelj, seja upravnega odbora in skupščina ENS in EU-ES delavnica o malih in modularnih reaktorjih, Bruselj, Belgija, 5.–8. 12. 2022
24. Iztok Tiselj, sestanek High scientific council of ENS, Bruselj, Belgija, 24.–25. 11. 2022
25. Leon Cizelj, sestanek programskega odbora Euratom (Fisija), 13. 5. 2022 (virtualno)
26. Leon Cizelj, Mitja Uršič, 13th International Conference of the Croatian Nuclear Society – Nuclear Option for CO₂ Free Energy Generation, Zadar, Hrvaška, 5.–8. 6. 2022 (1)
27. Leon Cizelj, Ivo Kljenak, delovno srečanje EAES, Oslo, Norveška, 11.–16. 6. 2022
28. Leon Cizelj, konferenca ICONNE 2022, 9.–12. 8. 2022 (virtualno)
29. Leon Cizelj, Mitja Uršič, začetni sestanek projekta HARMONISE in redni sestanek projekta ECC-SMART, Bruselj, Belgija, in Praga, Češka, 18.–23. 9. 2022
30. Leon Cizelj, seja izvršnega odbora projekta HARMONISE, 20. 12. 2022 (virtualno)
31. Leon Cizelj, generalna konferenca IAEA, Dunaj, Avstrija, 26.–28. 9. 2022
32. Leon Cizelj, konferenca Španskega jedrskega društva, Cartagena, Španija, 28.–30. 9. 2022

33. Leon Cizelj, konferenca VVER2022, Praga, Češka, 11.–13. 10. 2022
34. Oriol Costa Garrido, Andrej Prošek (virtualno), delavnica in sestanek projekta APAL, Villigen, Švica, 28. 3.–1. 4. 2022
35. Oriol Costa Garrido, drugi sestanek projekta APAL, Praga, Češka, 12.–15. 9. 2022
36. Martin Draksler, letno znanstveno-strokovno srečanje End-of-year DEMO technical workshop, 7.–8. 12. 2022 (virtualno)
37. Samir El Shawish, delovni obisk v CEA, Saclay, Francija, 22.–25. 5. 2022 (1)
38. Ivo Kljenak, Rok Krpan, Matjaž Leskovar, Mitja Uršič, konferenca ERMSAR, Karlsruhe, Nemčija, 15.–20. 5. 2022 (2)
39. Ivo Kljenak, sestanek projekta ASSAS Core Group Meeting, 16. 9. 2022 (virtualno)
40. Ivo Kljenak, začetni sestanek projekta SEAKNOT, Madrid, Španija, 2.–6. 10. 2022
41. Ivo Kljenak, Rok Krpan, IAEA Technical Meeting on Advanced Technologies and Systems for Containment Preservation, 11.–13. 10. 2022 (virtualno)
42. Ivo Kljenak, delavnica Data Science and Artificial Intelligence for Nuclear Safety Assessments, Villigen, Švica, 19.–22. 10. 2022
43. Ivo Kljenak, Matjaž Leskovar, sestanek konzorcija projekta AMHYCO, Aachen, Nemčija, 26.–29. 10. 2022
44. Ivo Kljenak, Rok Krpan, delavnica in splošni sestanek projekta PIACE, Rim, Italija, 7.–11. 11. 2022 (1)
45. Ivo Kljenak, začetni sestanek projekta ASSAS, Aix-en-Provence, Francija, 27. 11.–1. 12. 2022
46. Janez Kokalj, seminar ESFR-SMART, Pertuis, Francija, 4.–9. 4. 2022
47. Janez Kokalj, Boštjan Zajec, 9. konferenca mladih jedrskih strokovnjakov, Reaktorski center IJS, 5. 5. 2022 (2)
48. Boštjan Končar, Meeting of the PC of the Research and Training Programme EURATOM for the period 2021–2025, Fusion Configuration, 20. 1. 2022 (virtualno)
49. Boštjan Končar, DEMO Program Board meeting, 24. 3. 2022 (virtualno)
50. Boštjan Končar, delovni sestanek DEMO_PB04, Garching, Nemčija, 24.–25. 10. 2022
51. Boštjan Končar, WPDIV-IDTT Kick-off Meeting for AWP 2022, 6. 4. 2022 (virtualno)
52. Boštjan Končar, WPDIV-IDTT Midterm Meeting, 22.–24. 6. 2022 (1) (virtualno)
53. Boštjan Končar, WPDIV-IDTT Final Monitoring Meeting, 5.–7. 12. 2022 (1) (virtualno)
54. Boštjan Končar, WPDIV-DIV-IDTT.S.06-T016 Monitoring Meeting, 22. 12. 2022 (1) (virtualno)
55. Boštjan Končar, 38. generalna skupščina EUROfusion, 25.–26. 4. 2022 (virtualno)
56. Boštjan Končar, 39. generalna skupščina EUROfusion in HORIZON EUROfusion event, Bruselj, Belgija, 3.–5. 7. 2022 (1)
57. Boštjan Končar, 40. generalna skupščina EUROfusion, 11.–12. 10. 2022 (virtualno)
58. Boštjan Končar, 41. generalna skupščina EUROfusion, 13.–14. 12. 2022 (virtualno)
59. Boštjan Končar, Mid-term monitoring meeting W7X and JT-60SA, 21. 7. 2022 (1) (virtualno)
60. Boštjan Končar, sestanek projekta W7X, Garching, Nemčija, 27.–28. 11. 2022 (1)
61. Boštjan Končar, SOFT 32 Symposium on Fusion Technology, Dubrovnik, Hrvaška, 18.–23. 9. 2022
62. Jan Kren, konferenca DLES 13 2022, Udine, Italija, 26.–29. 10. 2022
63. Jan Kren, Matej Tekavčič, Iztok Tiselj, konferenca NURETH-19, 6.–11. 3. 2022 (3) (virtualno)
64. Rok Krpan, izobraževanje na napravi SIRIO, Piacenza, Italija, 1.–7. 5. 2022 (1)
65. Matjaž Leskovar, sestanek CSARP/MCAP, 6.–10. 6. 2022 (1) (virtualno)
66. Andrej Prošek, delavnica projekta sCO₂-4-NPP: End-user Workshop - Advisory Board, 25. 1. 2022 (1) (virtualno)
67. Andrej Prošek, delavnica projekta sCO₂-4-NPP: End-user Workshop - Public, 25. 1. 2022 (1) (virtualno)
68. Andrej Prošek, končni simpozij projekta sCO₂-4-NPP, Essen, Nemčija, 7.–9. 6. 2022 (1)
69. Andrej Prošek, sestanek projekta sCO₂-4-NPP, Bruselj, Belgija, 24.–26. 10. 2022 (1)
70. Andrej Prošek, končna delavnica projekta NARSIS, 16.–17. 2. 2022 (1) (virtualno)
71. Andrej Prošek, spomladanski sestanek programa CAMP, 17.–19. 5. 2022 (1) (virtualno)
72. Andrej Prošek, jesenski sestanek programa CAMP, 15.–17. 11. 2022 (1) (virtualno)
73. Andrej Prošek, North American Advanced Reactor Codes & Standards Workshop, 1. 12. 2022 (virtualno)
74. Matej Tekavčič, Boštjan Končar (virtualno), 1. delavnica DEBORA Benchmark, Saclay, Francija, 13.–15. 6. 2022
75. Aljoša Gajšek, Matej Tekavčič, Boštjan Končar (virtualno), 2. delavnica DEBORA Benchmark, Saclay, Francija, 12.–15. 12. 2022 (1)
76. Iztok Tiselj, XI. konferenca slovenskih znanstvenikov in gospodarstvenikov iz sveta in Slovenije, Brdo pri Kranju, 16.–17. 6. 2022 (1)
77. Iztok Tiselj, Sestanek partnerjev mednarodnega magistrskega študijskega programa jedrske tehnike SARENA, Madrid, Španija, 19.–21. 9. 2022
78. Mitja Uršič, Seminar Radiological protection consideration for fusion reactors, Luksemburg, 29.–30. 11. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **prof. dr. Leon Cizelj, znanstveni svetnik - vodja odseka**
2. dr. Oriol Costa Garrido
3. dr. Martin Draksler
4. dr. Samir El Shawish
5. doc. dr. Ivo Kljenak, znanstveni svetnik
6. doc. dr. Boštjan Končar
7. dr. Matjaž Leskovar
8. dr. Blaž Mikuž
9. dr. Andrej Prošek
10. *Mohit Pramod Sharma, PhD., Indija, odšel 7. 5. 2022*
11. prof. dr. Iztok Tiselj, znanstveni svetnik
12. dr. Mitja Uršič

Podoktorski sodelavci

13. dr. Janez Kokalj
14. dr. Timon Mede
15. *dr. Jure Oder, začasna prekinitev 1. 2. 2021*
16. dr. Matej Tekavčič

Mlajši raziskovalci

17. Aljoša Gajšek, mag. jedr. teh.
18. Jan Kren, mag. jedr. teh.
19. dr. Rok Krpan
20. *Matic Kunšek, mag. jed. teh., odšel 18. 9. 2022*
21. Amirhossein Lame Jouybari, MSc.
22. Boštjan Zajec, mag. jed. teh.

Strokovni sodelavci

23. *Anil Kumar Basavaraj, Bachelor of Engineering, Indija, odšel 21. 7. 2022*
24. Andrej Sušnik, dipl. inž. str.

Tehniški in administrativni sodelavci

25. Tanja Klopčič
26. Zoran Petrič, univ. dipl. fiz.
27. Nina Rehar, prof. lik. umet.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. ASCOMP GmbH, Zürich, Švica
2. American Society of Mechanical Engineers, ZDA
3. Becker Technologies GmbH, Eschborn, Nemčija
4. Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), Pariz, Francija
5. CEA – Institut national des sciences et techniques nucléaires (CEA-INSTN), Gif-sur-Yvette, Francija
6. Electricité de France (EDF), Francija
7. Elektroinstitut Milan Vidmar, Ljubljana
8. European Nuclear Education Network (ENEN), Bruselj, Belgija
9. European Technical Safety Organisations Network (ETSON)
10. GEN energija, d. o. o., Krško
11. Harbin University of Technology, Harbin, Kitajska
12. Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Nemčija
13. Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN), Francija
14. Institute for Nuclear Technology and Energy Systems (IKE), Stuttgart, Nemčija
15. International Atomic Energy Agency (IAEA), Dunaj, Avstrija
16. ITER-Consult, Rim, Italija
17. Joint Research Centre (JRC), Institute of Energy, Petten, Nizozemska
18. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Nemčija
19. Korea Atomic Energy Research Institute (KAERI), Daejeon, Južna Koreja
20. Nuclear Research and Consultancy Group (NRG), Petten, Nizozemska
21. Nuklearna elektrarna Krško
22. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)/Nuclear Energy Agency (NEA), Pariz, Francija
23. Paul Scherrer Institute (PSI), Villigen, Švica
24. Royal Institute of Technology (KTH), Nuclear Reactor Technology Division, Stockholm, Švedska
25. Studiecentrum voor Kernenergie, Centre d'Etude de l'Energie Nucléaire (SCK - CEN), Mol, Belgija
26. Sustainable Nuclear Energy Technology Platform (SNETP)
27. Texas A&M University, ZDA
28. U.S. Nuclear Regulatory Commission (US NRC), Washington D.C., ZDA
29. Università degli Studi di Pisa, Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale, Pisa, Italija
30. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Oddelek za fiziko, Ljubljana
31. Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana

REAKTORSKI INFRASTRUKTURNI CENTER

RIC

Reaktorski infrastrukturni center (RIC) vključuje raziskovalni reaktor TRIGA Mark II in Objekt vročo celico (OVC). Reaktor, ki obratuje že od leta 1966, se uporablja kot vir nevtronov za raziskave, za izobraževanje in usposabljanje ter za proizvodnjo radioaktivnih izotopov. Podrobnejši tehnični podatki o reaktorju so na spletni strani ric.ijs.si. OVC je namenjen delu z radioaktivnimi snovmi in radioaktivnimi odpadki za potrebe raziskovalnih, razvojnih in tržnih programov ter projektov. V njem se izvajajo tudi redne meritve radiološkega nadzora reaktorja. Osebe RIC upravlja in vzdržuje reaktor in OVC, poleg tega pa sodeluje tudi pri drugih delih, ki zahtevajo usposobljene strokovnjake na sevalnem in jedrskem področju, npr. vzdrževanje zaprtih radioaktivnih virov, sodelovanje pri remontu NE Krško ter karakterizacijo, obdelavo in pripravo radioaktivnih odpadkov.



Vodja :
prof. dr. Borut Smodiš

Reaktor je v letu 2022 obratoval 153 dni oziroma 661 ur. Pri tem je proizvedel 89,7 MWh toplote. Narejenih je bilo tudi 188 pulzov. Obsevanih je bilo 465 vzorcev v obsevalnih kanalih.

Operaterji reaktorja podpirajo uporabnike z izvajanjem dejavnosti in storitev, za katere raziskovalci niso usposobljeni in pooblašeni, kot so upravljanje reaktorja, izvajanje obsevanj in eksperimentov ter rokovanje z obsevanimi vzorci.

Reaktor TRIGA Mark II se je v letu 2022 večinoma uporabljal kot vir nevtronov za raziskave na področju odpornosti na sevanje, za nevtronsko aktivacijsko analizo in za izobraževanje ter usposabljanje. Za izobraževalne namene ga je največ uporabljal Odsek za reaktorsko fiziko (F8), za usposabljanje Izobraževalni center za jedrsko tehnologijo (ICJT), za obsevanje vzorcev Odsek za znanosti o okolju (O2) in Odsek za eksperimentalno fiziko osnovnih delcev (F9), za eksperimente iz reaktorske fizike pa Odsek za reaktorsko fiziko (F8). Zaustavljen reaktor je močan vir sevanja gama, kar je bilo uporabljeno za preizkušanje odpornosti različnih elektorskih komponent in drugih materialov proti sevanju. V OVC so redno izvajali dejavnosti O2, Služba za varstvo pred ionizirajočim sevanjem (SVPIS) in Agencija za radioaktivne odpadke (ARAO) – obdelava in priprava radioaktivnih odpadkov za potrebe skladiščenja.

Raziskave, pri katerih se je uporabljal reaktor, vključujejo:

- reaktorsko fiziko in nevtroniko,
- aktivacijske analize,
- raziskave sevalnih poškodb v polprevodnikih,
- nevtronsko dozimetrijo in spektrometrijo,
- aktivacijo materialov, raziskave jedrskih odpadkov in razgradnjo,
- študije odpornosti proti sevanju,
- obsevanje materialov fuzijskih reaktorjev,
- obsevanje elektronskih komponent,
- obsevanje medicinskih komponent,
- razvoj in preizkušanje novih detektorjev,
- razvoj novih metod za merjenje profilov moči, nevtronskih spektrov itd.,
- verifikacijo in validacijo metod za račun transporta nevtronov, fotonov in elektronov,
- razvoj metod za izobraževanje s področja reaktorske fizike.

V januarju smo obsevali različne organske spojine za Kemijski inštitut.

Namen obsevanja je študija, ali bi lahko nekatere organske spojine uporabili za proizvodnjo vodika ob izpostavitvi sevanju. Sledila sta dva naporna tedna raziskovalne kampanje s CEA (*Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives*). Naredili smo skoraj 150 pulzov za namene razvoja računalniškega modela, ki bi dobro opisoval reaktor TRIGA med pulznim obratovanjem.

Februarja smo gostili prvi tečaj ENEEP (*European Nuclear Experimental Education Platform*). ENEEP je združenje petih evropskih institucij, ki ponujajo eksperimentalno izobraževanje in usposabljanje v svojih laboratorijih (večinoma raziskovalni reaktorji). Še dva tečaja v okviru platforme ENEEP smo izvedli jeseni.

Februarja, aprila in novembra smo obsevali vzorce FT-TIMS (*Masna spektrometrija s pomočjo termične ionizacije*) za CEA. Vsak vzorec zahteva 20-urno obsevanje na polni moči. Vzorci se obsevajo v prilagojeni termalni koloni, kjer je razmerje termični nevtronski fluks proti preostalemu 500:1.



Slika 1: Gasilska vaja na Reaktorskem centru, 6. december 2022.
Foto: Jure Jazbec.



Slika 2: Operaterjem reaktorja TRIGA (od leve proti desni: Marko Rosman, Andraž Verdir, Sebastjan Rupnik, Anže Jazbec) je 7. marca 2023 direktor Uprave za jedrsko varnost (URSJV) Igor Sirc (skrajno desno) slovesno podelil obnovljena dovoljenja za opravljanje z reaktorjem, ki so jih pridobili v letih 2020, 2021 in 2022 (podelitev vmes ni bilo zaradi covid-19). Čestital jim je tudi direktor IJS prof. dr. Boštjan Zalar (skrajno levo) in jim podelil zlate značke v obliki zgradbe reaktorja. Foto: Marjan Verč.

Marca smo izvedli tri raziskovalne kampanje v sodelovanju s CEA in Odsekom F8. V prvi je bil poudarek na kalorimetriji. Raziskovalci so opazovali, kako se različni materiali grejejo med obsevanjem zaradi izpostavitve nevtronom. V drugi kampanji smo opravljali natančne meritve z različnimi detektorji nevtronov – mikrofisijske celice, samonapajalni detektorji in večje fizijske celice. Tretja kampanja je bila posvečena meritvam doznih polj s termoluminiscenčnimi detektorji (TLD).

V marcu smo izvedli obsevanje nevtronskih TLD za Odsek F2 v suhi celici zaradi kalibracije z nevtronskim detektorjem SVPIS.

V začetku aprila smo za Odsek F8 izvedli več sprememb konfiguracije reaktorske sredice. Namen je bil določitev izgorelosti določenih gorivnih elementov. Priložnost smo izrabili tudi za pregled gorivnih elementov, ki se jih je odstranjevalo iz sredice. Po koncu meritev je bila sredica povrnjena v prvotno konfiguracijo.

Konec aprila reaktor ni več obratoval, da smo čim bolj zmanjšali aktivnost sredice, saj smo v začetku maja načrtovali čiščenje horizontalnega kanala št. 1. Kanal se je odprl in odstranili smo ves tuj material, ki je bil v njem. Predvidoma gre za ostanke eksperimenta, ki se je izvajal pred več kot tridesetimi leti. Material smo odvrgli med radioaktivni odpad.

Dva tedna v maju je potekala raziskovalna kampanja v sodelovanju s CEA in Odsekom F8. Med gorivne elemente so vstavljali TLD in tako

eksperimentalno določevali aksialni profil nevtronskega fluksa.

V začetku junija smo en teden opravljali teste SiC detektorja nevtronov v sklopu projekta *e-SiCure 2*, ki ga financira NATO. V začetku poletnih počitnic smo gostili tečaj za študente Aix Marseille University.

Med poletnimi počitnicami smo skupaj s podjetjem Q-Techna, d. o. o., pregledali reaktorski tank in oba bazena za izrabljeno gorivo. Vsi bazeni so brezhibni in primerni za nadaljnjo uporabo.

Zadnji teden septembra smo že tradicionalno gostili študente iz Uppsale. V oktobru smo gostili tečaj v okviru združenja EERRI (*East European Research Reactor Initiative*). V jesenskem obdobju so se začele tudi priprave na zagonske teste Nuklearne elektrarne Krško. Skupina raziskovalcev iz Odseka F8, ki izvaja zagonske teste NEK, se je nanje pripravljala na našem reaktorju. Tukaj testirajo opremo in še enkrat preverijo vse postopke.

V oktobru se je naš reaktor za en teden prelevil v Nuklearni Institut Vinča za potrebe snemanja filma *Lančana reakcija*. Režiser filma je Dragan Bjelogrič in nastaja v sodelovanju slovenske in srbske produkcijske hiše.

V novembru smo gostili študente Politecnico di Milano, ki vsako leto pri nas izvedejo vajo Pulzno obratovanje.

Decembra smo sodelovali pri dogodku *80 let prve verižne reakcije*, ki ga je organiziral ENEN (*European Nuclear Education Network*). Dogodek je potekal v živo na spletu. Nekaj dni pozneje so naš reaktor zavzeli raziskovalci CEA in zaposleni na Instrumentation Technologies, d. d. Skupaj so naredili še zadnje teste na *sistemu Monaco*, preden gre na tržišče.

6. decembra smo na Reaktorskem centru organizirali gasilsko vajo. Sodelovali so: poklicna enota Gasilske brigade Ljubljana, Mobilna enota ekološkega laboratorija (ELME), ki deluje v okviru IJS, in dve prostovoljni gasilski društvi, Podgorica Šentjakob in Vižmarje Brod. Simulirali smo nesrečo v Objektu vroča celica (OVC); vključena je bila tudi radioaktivna snov. Z vajo smo preverili naše postopke za izredne dogodke in odzivnost služb na IJS, ki sodelujejo pri izrednih dogodkih. Zunanje posredovalce (gasilce in ELME) smo seznanili z našimi objekti, potencialnimi nevarnostmi in organiziranostjo naših enot (SVPIS, RIC, SVZD, TS, služba za odnose z javnostmi in varnostna služba).

Skozi vse leto smo gostili študente FMF (*Fakulteta za matematiko in fiziko*) na skoraj tedenskih vajah pri različnih predmetih. Sodelovali smo na *Dnevu odprtih vrat IJS* in na dogodku *Noč raziskovalcev*. Na slednjem so si obiskovalci lahko ogledali reaktor TRIGA med obratovanjem.

Na reaktorju je bilo več različnih krajših obiskov (skupine iz osnovnih in srednjih šol ter univerz v Sloveniji in v zamejstvu, udeleženci tečajev, raziskovalci iz tujine ...), v skupnem številu približno 1300 obiskovalcev.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Obsevanja za podjetje Rolls-Royce Civil Nuclear SAS
Rolls-Royce Civil Nuclear SAS; prof. dr. Borut Smodiš
2. H2020 - ENEEP; Evropska jedrska eksperimentalna izobraževalna platforma
European Commission; prof. dr. Borut Smodiš
3. OE - EURO-LABS; Evropski laboratoriji za znanost na pospeševalnikih EVRO-LZP
European Commission; prof. dr. Borut Smodiš

4. Strokovno izpopolnjevanje IAEA študentov g. Abdula Mutaliba Ridzuan & Ab Rahima Ahmad (EVT2002569-MAL9018), 14.11.2022 - 18.11.2022
IAEA - International Atomic Energy Agency; prof. dr. Borut Smodiš

PROJEKTI

1. Uporaba objekta vroča celica – OVC
ARAO, Ljubljana; prof. dr. Borut Smodiš

- Obsevanja na reaktorju TRIGA
prof. dr. Borut Smodiš
- Obsevanje kapsul FI-TIMS na reaktorju TRIGA za 2020-2023
CEA - Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives
prof. dr. Borut Smodiš
- Prenovljen vrtiljak „Lazy Susan“
University of Pavia; prof. dr. Borut Smodiš
- SiC kampanja v okviru pogodbe med CEA/AMU in FRAMATOME
CEA Saclay; prof. dr. Borut Smodiš
- Eksperimentalno testiranje akvizicijskega sistema MONACO na reaktorju IJS TRIGA
CEA Saclay; prof. dr. Borut Smodiš

OBISKI

- Loïc Barbot, Gregoire de Izarra, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, 17.-28. 1. 2022
- Martyna Araszkievicz, Filippo Arlotti, Sara Božnik, Ksenija Dizdar, Afrida Fairuz, Jiri Kralik, Laura Laghi, Jakub Luley, Marco Montanini, Manuel Navarro, Jeremy Rebaud, Luka Stančev, tečaj ENEEP (European nuclear experimental education platform), 14.-18. 2. 2022
- Hubert Carcreff, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, 8.-11. 3. 2022
- Loïc Barbot, Damien Fourmentel, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, 14.-25. 3. 2022
- Elsa Dupin, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, 14.-18. 3. 2022
- Vincent Chaussonnet, Adrien Gruel, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, 21.-25. 3. 2022
- Robert Bernat, Ivana Capan, Tihomir Knezevič, Takahiro Makino, NATO SPS projekt e-SiCure 2, 30. 5. 2022-3. 6. 2022
- Noella Atsemani, Ahmed Bellebia, Christelle Reynard Carette, Michel Carette, Christelle Reynard Carette, Salah-Eddine Eliman, Khalid Khouali, Loris Kieffel, Abdallah Lyoussi, Bonzom Nicolas, Alexis Roussel, Alexandre Stoltz, Arien Volte, Amokrane Ziane, Aix-Marseille University, Francija, 21.-30. 6. 2022
- Robert Galamb, Maria-Ioana-Petruta Iliescu, Gawet Madejowski, Andrea Napolitano, Pavel Novotny, Koviljka Stankovič, tečaj ENEEP (European Nuclear Experimental Education Platform), 5.-9. 9. 2022
- Chadi Al-Kafri, Morteza Inberg, Gustaf Krotler, Willy Ohlsson, Theodor Gunnberg Querat, Gustav Robertson, Arvid Sandstrom, Anreas Solders, Johan Uggla, Loke Wallstrom, Esa Ylitalo, Elham Zeinvand, Univerza v Uppsali, Uppsala, Švedska, 26.-28. 9. 2022
- Rashdan Talal Atallah Al Malkawi, Safija Aliyu, Derrick Cheriberi, Ahmed Fadaili, Abdub Huri, Vinh Ho, Baraka Shaban Kajubu, Ashabir Keno, Bertha Mumba, Rustam Nigmanov, Cheikh Senghor, tečaj EERRI (East European Research Reactor Initiative), 5.-7. 10. 2022
- Snemalna ekipa (slovenske in srbske produkcijske hiše) pri snemanju filma Lančana reakcija, režiserja Dragana Bjelogličić, 19. 10.-22. 11. 2022
- Erik Backlund, Elias El Haber, Lorenzo Fleres, Nikola Kurucova, Ivan Gabriel Pančičak, Paulina Pronska, Tomas Svoboda, Pavel Špišek, Hannah Tipping, Ylenia Žiber, tečaj ENEEP (European nuclear experimental education platform), 24.-28. 10. 2022
- Loïc Barbot, Gregoire de Izarra, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, in Danilo Bisiach, Instrumentation Technologies, d. d., Solkan, 14.-15. 11. 2022
- Ab Rahim Ahmad Nabil, Abdul Mutalib Ridzuan, Malezijska štipendista IAEA, 14.-18. 11. 2022
- Loïc Barbot, Gregoire de Izarra, Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) Cadarache, Saint-Paul-lez-Durance, Francija, in Danilo Bisiach, Instrumentation Technologies, d. d., Solkan, 5.-8. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Sebastjan Rupnik, delavnica IAEA NMAC for Practitioners International Training Course, Los Alamos National Laboratory, New Mexico, Združene države Amerike, 28. 2. 2022-10. 3. 2022 (1)
- Anže Jazbec, RROG 2022, Organisation of experiments, access conditions and interface to regulatory bodies, Praga, Češka, 20. 4. 2022-23. 4. 2022 (1)
- Anže Jazbec, Sebastjan Rupnik, Vladimir Radulović, Borut Smodiš, Luka Snoj, 31st International Conference Nuclear Energy for New Europe, NENE2022, Bled, 12.-15. 9. 2022 (1)
- Borut Smodiš, 31st International Conference Nuclear Energy for New Europe, NENE2022, Bled, 12.-15. 9. 2022
- Andrej Gyergyek, Technical meeting on preparation of decommissioning for Research Reactors, Dunaj, Avstrija, 18. 7. 2022-22. 7. 2022 (1)
- Anže Jazbec, tehnični sestanek Technical Meeting on Utilization Related Design Features of Research Reactors, Garching, Nemčija, 31. 10. 2022-3. 11. 2022 (1)
- Anže Jazbec, tehnični sestanek Technical Meeting on Operation, Maintenance and Ageing Management for Research Reactors, Dunaj, Avstrija, 21. 11. 2022-25. 11. 2022 (1)
- Sebastjan Rupnik, regijsko koordinacijsko srečanje Regional Coordination Meeting; event under the IAEA technical cooperation project RER1022, Enhancing Utilization and Safety of Research Reactors, Tashkent, Uzbekistan, 21. 11. 2022-25. 11. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

- prof. dr. Borut Smodiš, znanstveni svetnik - vodja samostojnega centra**

Podoktorski sodelavci

- dr. Anže Jazbec

Tehniški in administrativni sodelavci

- Andrej Gyergyek, univ. dipl. fiz.
- Jasna Kopač, dipl. ang. (UN) in dipl. šp. jez. in knjiž. (UN), odšla 1. 9. 22
- Marko Rosman
- Sebastjan Rupnik, dipl. inž. fiz.
- Nina Udir, univ. dipl. inž. graf. tehnol.
- Andraž Verdir, dipl. inž. el.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

- ADDSSEN, s. r. o., Malacky, Slovaška
- Agencija za radioaktivne odpadke - ARAO, Ljubljana
- CERN, the European Organization for Nuclear Research, Ženeva, Švica
- Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, St Paul lez Durance Cedex, Francija
- DITO, d. o. o., Gorica pri Slivnici
- EHAG, Gradec, Avstrija
- ETH Zürich, Švica
- European Atomic Energy Community (Euratom), Bruselj, Belgija
- European Commission, Directorate-General for Research and Innovation, Fission Energy, Bruselj, Belgija
- INETEC, Lučko, Hrvaška
- Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien, Strasbourg, Francija
- Instrumentation Technologies, d. d., Solkan
- International Atomic Energy Agency, Dunaj, Avstrija
- ITER Organization, Saint Paul Lez Durance, Francija
- Joint Research Centre (JRC)/Institute for reference materials and measurements (IRRM), Geel, Belgija
- Laboratoire de Physique de Clermont-Ferrand, Aubiere, Francija
- Lancaster University, Lancaster, Združeno kraljestvo
- L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Milano Bicocca, Milano, Italija
- L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Perugia, Perugia, Italija
- L'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Torino, Torino, Italija
- Michigan State University, Dept. of Physics and Astronomy, East Lansing, ZDA
- Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana
- Mk team elektro - strojni inženiring, d. o. o., Raka
- Nanocut, d. o. o., Hrastrnik
- National Nuclear Research Centre, Baku, Azerbajdžan
- Nuklearna Elektrarna Krško, Krško
- Precision Acoustics Ltd, Dorchester, Združeno kraljestvo
- Rolls Royce Civil Nuclear SAS, Meylan, Francija
- Rosatom Central Europe, s. r. o., Budimpešta, Madžarska
- Thermocoax SAS, Flers Cedex, Francija
- TWI Ltd, Cambridge, Združeno kraljestvo
- University of Liverpool, Liverpool, Združeno kraljestvo
- University of Oxford, Združeno kraljestvo
- University of Pavia, Pavia, Italija
- Univerza Aix-Marseille, Faculty of Sciences, Marseille, Francija
- Univerza Clermont Auvergne, Laboratoire de Physique de Clermont, Clermont-Ferrand, Francija
- Univerza v Hamburgu, Institute of Experimental Physics, Hamburg, Nemčija
- Univerza v Lancashireu, Združeno kraljestvo
- Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana
- Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana
- Univerza v Milanu (Politecnico di Milano), Milano, Italija
- Univerza v Uppsali, Uppsala, Švedska
- Univerza v Zürichu, Physik-Institut, Zürich, Švica

CENTER ZA MREŽNO INFRASTRUKTURO

CMI

Center za mrežno infrastrukturo (CMI) upravlja računalniško omrežje in osrednje računalniško-komunikacijske storitve Instituta "Jožef Stefan", skrbi za razvoj in vzdrževanje računalniške, komunikacijske, podatkovne in varnostne infrastrukture odsekov, centrov in služb Instituta "Jožef Stefan" ter sodeluje v nacionalnih in mednarodnih pobudah.

Poglavitna naloga CMI je vzdrževanje računalniškega omrežja, storitev in naprav, ki jih uporabljajo pri svojem delu uporabniki IJS ter njihovi sodelavci, projekti in skupine, center pa deluje tudi v širšem nacionalnem in mednarodnem prostoru z vključevanjem v mednarodne pobude ter razvojem podpornih storitev. Center skrbi za vključenost v lokalno in svetovno komunikacijsko omrežje, vzdrževanje računalniško-informacijske raziskovalne infrastrukture ter podporo raziskovalnemu delu na IJS z razvojem in vzdrževanjem ustreznih informacijsko-komunikacijskih in računalniških storitev, tehnologij in infrastrukture. To zagotavlja z delom na štirih osnovnih področjih: omrežju, storitvah, varnosti ter podatkovni in superračunalniški infrastrukturi.

Omrežje

CMI z razvojem omrežne hrbtenice IJS, odsečnih omrežij, brezžičnega omrežja ter namenskih omrežij za storitve, projekte in dejavnosti, kot so namenske povezave do tujih centrov, varne povezave do Rektorskega centra Podgorica in enot uprave na Tržaški cesti 134 ter povezave v namenska širokopasovna znanstvena omrežja omogoča izvajanje osnovnih dejavnosti in posameznih projektov IJS.

Fizično omrežje: V letu 2022 so bile najobsežnejše naloge centra razširitev omrežja IJS na Tržaško cesto 134 ob selitvi enot uprave, posodobitev opreme enot uprave ter začetek predelave omrežja v stavbi C na Jamovi cesti. Te naloge so diktirale ritem posodabljanja in nadgrajevanja aktivne opreme, brezžičnih postaj in ključnih aktivnih komponent (usmerjevalnikov hrbteničnega omrežja) ter zasnovo preoblikovanja omrežja. Enote uprave so bile vključene v postopek optimizacije hrbteničnega omrežja in uvajanja navideznih omrežij enote. Sočasno je center zagotovil podporo za širokopasovne povezave v mednarodnih pobudah, kot so EuroHPC, EOSC, WLCG, Belle2, ter povezave za uporabnike EGI in PRACE prek omrežja ARNES/GÉANT v okviru uporabe namenskih znanstvenih zasebnih omrežij LHCONe in PRACE.

Nadzorni sistemi: Ob razširitvi in preoblikovanju omrežja je bila priložnost za prilagoditev sistemov za spremljanje prometa in storitev, nadzor nad napravami in odzive na omrežne dogodke ter integracijo novih senzorjev za nadzor nad fizičnimi pogoji v prostorih, kjer so nameščeni posamezni sistemi in naprave. Osnovno spremljanje in analizo uporabe in dogodkov na različnih področjih, npr. spletnih storitev, varnostnih politik, požarnega zidu, sistemov za overjanje in avtorizacijo, sistemov za točen čas, za dostavo, analizo in obdelavo e-poštnega prometa, fizičnega stanja naprav, strojne opreme, temperature ter pogojev v prostoru in obremenitve električnih vodov je bilo nadgrajeno z novimi mehanizmi za varnost in odzive na nenačrtovane dogodke.

Brezžično omrežje: S pomočjo sodobne opreme in izboljšanja osrednjega nadzora smo nadaljevali z zgoščanjem omrežja in optimizacijo brezžične pokritosti na področjih povečane uporabe. Na lokaciji Tržaška cesta 134 smo vpeljali institutsko brezžično omrežje, prenovili del brezžičnega omrežja na Jamovi ter z zamenjavo dotrajanih starejših brezžičnih dostopovnih točk posodobili omrežje in povečali prepustnost.

Varnost omrežja

CMI skrbi za varnost na zunanjem robu omrežja, varnost notranjega omrežja ter varnost programske opreme in storitev. Za varnost na zunanjem robu omrežja center skrbi s požarnimi pregradami ter pasivnimi sredstvi (nastavitve, omejitve in nadzor). Dinamični nadzor, spremljanje



Vodja:

dr. Jan Jona Javoršek

Hrbtenično omrežje z več 10-gigabitnimi povezavami, sodobnimi protokoli in fleksibilno IKT infrastrukturo z naprednimi storitvami ter številnimi fiksnimi in brezžičnimi odjemalci ter hitrimi zunanji povezavami se je raztegnilo vse do Tržaške ulice 134.



Slika 1: Nove omare za nova omrežja in nove prostore

Razvoj varnostnih sistemov za elektronsko pošto, dinamični aktivni požarni zid, varni oddaljen dostop, virtualna omrežja ter napreden sistem za nadzor in analitiko ter vključevanje v pobude kibernetike varnosti za ohranjanje akademskega omrežja v dobi vse bolj grozečega omrežja.

prometa in delovanja ter upravljanje z nadzornimi mehanizmi so nujni za zagotavljanje ustrezne stopnje varnosti, saj je treba v omrežju IJS ob relativni odprtosti akademskega omrežja zagotoviti tudi visoko stopnjo varnosti, razpoložljivosti in prepustnosti. To zahteva uporabo vse zmogljivejše strojne in programske opreme ter sistemov za zajemanje in analitiko metrike dogodkov. Zaradi zahtev preoblikovanja omrežja, selitev ter večnamenske uporabe, saj v raziskovalnem delu omrežja potekajo tudi projektne dejavnosti, ta naloga zahteva veliko časa za nadzor in dinamično

prilagajanje varnostnih ukrepov ter predstavlja ob vse težjih varnostnih pogojih vse večji izziv in dejavnik tveganja.

CMI dejavno sodeluje z nacionalnim odzivnim centrom SI-CERT, spremlja FIRST (Forum of Incident Response and Security Teams), je vključen v EGI CSIRT (odzivni center za varnost v evropskih infrastrukturah za mrežno računalništvo) ter sodeluje v odzivnem centru slovenskega nacionalnega konzorcija za mrežno superračunalništvo SLING, v varnostni skupini superračunalnika EuroHPC Vega, kot izdajatelj certifikatov SiGNET CA pa je vključen v EU Grid PMA (forum za oblikovanje varnostnih pravilnikov za mrežno računalništvo v Evropi) in IGTF (Interoperable Global Trust Federation), posamezni člani sodelujejo v slovenski skupini mrežnih operaterjev SINOG.

Elektronska pošta: Na področju zaščite elektronske pošte pred neželenimi sporočili smo nadaljevali razvoj rešitev za zaščito poštnih komunikacij ter začeli pripraviti na okrepitev sistemov za hrambo in obdelavo poštnih pošiljk, saj se zaradi širitve lokacij in prehoda na digitalno poslovanje kritična uporaba elektronske pošte povečuje.

Kriptografija in certifikati: Z uporabo DNSSEC in avtomatskim preverjanjem pravilnosti zapisov DNS, sistemom DANE (povezava elektronskih potrdil TLS s sistemom DNS) pri prenosu elektronske pošte ter objavo zapisov SSHFP prek domenskih strežnikov zagotavljamo varnost in avtentičnost komunikacijskih sistemov. Še vedno se povečuje število izdanih elektronskih potrdil za strežnike v institutnem omrežju, med katerimi je vse več splošno sprejetih elektronskih potrdil, ki jih podpirajo vsi pomembnejši brskalniki in operacijski sistemi, izdajamo pa jih v okviru dogovora z Arnesom prek GÉANT. Uporaba protokola TLS z uporabo elektronskih potrdil velja za večino strežnikov, zato tudi na požarnem zidu dajemo prednost dostopu prek protokola HTTPS. S posodobitvijo sistemov za varno oddaljeno povezavo (VPN), ki omogoča varen šifriran oddaljeni dostop do omrežja IJS, smo omogočili široko uporabo sistema za delo od doma, ki je vse od epidemije pomembno za vsakdanje delo. Nenehno spodbujanje uporabnikov za uvajanje posodobljenih in varnejših kriptografskih orodij in protokolov je pomemben element te dejavnosti.

Osrednje storitve

CMI vzpostavlja, razvija in vzdržuje vrsto osrednjih informacijsko-komunikacijskih storitev. Najpomembnejše so storitve elektronske pošte (upravljanje usmerjanja pošte, poštnih nabiralnikov, poštnih imenikov), storitve spletne podpore (osrednji spletni strežnik, spletno gostovanje za posameznike, odseke, službe in projekte) in spletne storitve (sistemi za urejanje vsebine, domače strani, spletni imenik). Ob njih CMI izvaja še vrsto informacijskih storitev, ki so pomembne za izvajanje osnovnih storitev ali za posamezne dejavnosti, kakršne so spletne predstavitve, spletni sistemi za organizacijo konferenc, nadzor omrežja ipd. Na nekaterih področjih CMI sodeluje pri razvoju tehnologije in infrastrukture, zlasti na področjih zagotavljanja točnega časa in zaščite pred neželeno in nevarno pošto. Tretja kategorija so storitve za informacijsko podporo delavcem, kjer sta najbolj uporabljani storitvi NextCloud (koledarji, rokovniki, imeniki, izmenjava datotek, sočasno urejanje) ter GitLab (razvoj izvorne kode, sistemi za preverjanje,

integracijo in prevajanje programske opreme), skrbimo pa tudi za podporo razvoju mobilnih aplikacij (Apple Appstore ter Google Play). Med osrednje storitve spada tudi gostovanje in upravljanje strežnikov v računskem centru CMI, ki je namenjeno zlasti večjim sistemom in projektom, upravljanje informacijskih sistemov za podporo osebnega računalništva (podpora in upravljanje odsečnih sistemov enotne prijave) ter upravljanje s kritičnimi osebni računalniki in komponentami.

Infrastrukturo za intenzivno računanje, ki jo razvijamo v Računalniškem centru IJS Teslova od leta 2015, smo v letu 2022 upravljali na meji zmogljivosti trenutne električne infrastrukture. Superračunalnik Arnes, ki deluje v centru od leta 2020, je skupaj s sistemi IJS močno povečal možnosti za intenzivne računske obdelave, promocijo superračunalništva in izobraževanje, vendar nas omejitve infrastrukture omejujejo pri nadaljnjem razvoju.

V računalniškem centru CMI na Jamovi smo od lani, ko smo sprejeli še dodatne sisteme, nadaljevali z gostovanjem računsko manj intenzivne strojne opreme in storitev v urejenem okolju z ustreznim hlajenjem, sodobnim omrežjem in brezprekinitvenim napajanjem. Razširili smo tudi



Slika 2: Mednarodna vaja kibernetike varnosti v jedrskih objektih KIVA, Ljubljana, 17. 5. 2022

storitev spletnega gostovanja (več kot 180 virtualnih spletnih strežnikov) in jo posodobili z novo strojno premo ter prenovili električno napeljavo, da bi se izognili tveganjem ob posegih v infrastrukturo na Jamovi ulici.

Sistem enotne prijave za spletne storitve, vključen v nacionalno federacijo Arnes AAI ter evropsko federacijo eduGAIN, ima vse več uporabnikov, saj omogoča dostop do številnih storitev v Sloveniji in v tujini, zato upamo, da bo še naprej omogočal preprostejše upravljanje z uporabniki, razvijalcem in vzdrževalcem storitev pa olajšal upravljanje s podatki o uporabnikih.

Mrežno superračunalništvo

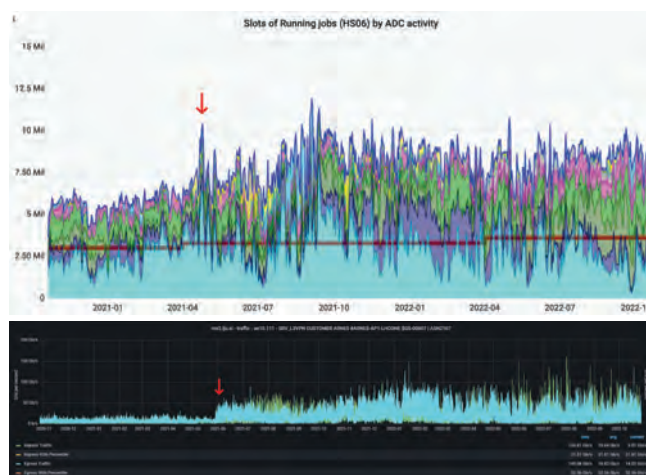
Na področju tehnologije in infrastrukture mrežnega superračunalništva je Slovenija ob vzpostavitvi slovenskega superračunalnika Vega kot prvega sistema v evropski pobudi EuroHPC postala močno vidna. Od zagona aprila 2021 je Slovenija v ospredju evropskega razvoja na tem področju. IJS je s tradicijo in znanjem sodelavcev CMI in Odseka za eksperimentalno fiziko delcev F9 sodeloval pri prijavi, načrtovanju, arhitekturi, razpisnem postopku ter postavitvi sistema Vega, ki deluje na IZUM v Mariboru. V okviru sodelovanja v konzorciju SLING ter v okviru projekta Nacionalnega kompetenčnega centra EuroHPC EUROCC, ki ga je vodil Arnes, je center v letu 2022 še naprej intenzivno sodeloval pri upravljanju in razvoju sistema ter pri podpori uporabnikov, saj je sistem ostal najbolj zaseden in uporablja sistem iniciative EuroHPC, uporabniki pa ga še vedno hvalijo zaradi odlične podpore. Nekatere inovacije, npr. odlična mrežna povezljivost ter veliko podatkovno polje, so se izkazale kot izredno koristne. Hkrati je IJS v okviru EUROCC že drugo leto podpiral program izobraževanja in podpore na visoki ravni, ki je povečal uporabo in izkoristek sistemov v Sloveniji. V okviru te dejavnosti CMI skrbi tudi za službo za izdajanje elektronskih potrdil za znanost za Slovenijo, sodeluje pri razvoju osrednjih storitev slovenskega omrežja SLING in koordinira delo v mednarodnih infrastrukturnih projektih in pobudah.

V letu 2022 smo tako že drugo leto zapored beležili veliko povečanje domačih uporabnikov ter številne mednarodne uporabnike. V prostorih računalniškega centra IJS Teslova smo skupno gručo še naprej posodabljali, večino dela pa je vendarle opravila Arnesova superračunalniška gruča, nameščena v istem centru. V okviru dela gruča je CMI nadaljeval s podporo uporabnikom in integracijo gruč v omrežje SLING z vmesno programsko opremo ARC, poenoteno uporabo in prijavo v SLURM ter podporo za uporabo vsebnikov in modulov za prednameščenost programske opreme.

Na področju podpore mrežnega superračunalništva je center intenzivno sodeloval pri Slovenski iniciativi za nacionalni grid SLING ter EuroHPC, Evropski iniciativi za grid (EGI in projekt EGI ACE), Partnerstvu za napredno računalništvo v Evropi PRACE, v okviru projektov EuroHPC Leonardo (odprtje novembra 2022, produkcijski zagon v 2023) ter v konzorciju NorduGrid za razvoj vmesne programske opreme ARC. Center je bil vključen tudi v podporo vrste mednarodnih projektov in omrežij (ATLAS – upravljanje namenske povezave, Belle2 – upravljanje z računskimi kapacitetami, CLARIN – podpora pri vzpostavitvi različnih storitev slovenskega vozlišča, ELIXIR – sodelovanje pri vzpostavljanju slovenskega vozlišča in oblikovanju evropskega omrežja).

Na infrastrukturi SLING so v tem času potekali številni raziskovalni projekti in naloge s področij fizike osnovnih delcev, medicinske sensorike ter obdelave slik, teoretske fizike, jezikovnih modelov, astrofizike, biokemije, simulacije proteinov, analize kristalov, tehnologije znanja, statističnih analiz, računalniškega vida, umetne inteligence, fluidne dinamike, računalniškega jezikoslovja itd. Pri številnih projektih je bila podporna skupina SLING, katere člani so administratorji CMI, vključena v paralelizacijo programske opreme, pripravo nalog in vzpostavljanje delovnega okolja za naloge. Člani CMI so kot strokovni svetovalci sodelovali tudi pri mednarodnih aktivnostih, npr. v okviru EuroHPC ter Evropskega oblaka za odprto znanost EOSC, mag. Barbara Krašovec tudi kot članica Posvetovalnega komiteja za raziskovalno in inovacijsko dejavnost EuroHPC (RIAG – Research and Innovation Advisory Group), pri vzpostavitvi EuroHPC Vega kot slovenskega superračunalnika v sistemu EuroHPC ter v konzorciju EuroHPC Leonardo.

Repozitoriji za programsko opremo, datoteke in podatke, podpora za organizacijo dogodkov, skupinsko delo, razvoj programske opreme ter projektno vodenje so nujne osnove za sodobno napredno znanstveno delo. Dostop do velikih podatkovnih shramb in najsodobnejših superračunalnikov, kakršni so HPC Vega, HPC Leonardo in drugi novi evropski sistemi, spada med nepogrešljiva orodja mnogih raziskovalcev.



Slika 3: 21. septembra 2022 je Sebastiano Buscaglione kot član skupine za spremljanje omrežja GÉANT opozoril na veliko povečanje prometa na hrblenični liniji med Ženevo in Milanom. Šlo je za promet med omrežjem Arnes po virtualnem omrežju LHCONE VRF (virtual routing and forwarding), ki se je dvignil z 20 Gbit/s na 150 Gbit/s že maja 2021. GÉANT je dobil odgovor oktobra na sestanku skupine za omrežje CERN, kjer je David Cameron pokazal sovpadajoč graf računskih nalog projekta ATLAS s porastom v maju 2021, ko je eksperiment dobil dostop do superračunalnika HPC Vega. (Prim. GÉANT CONNECT Magazine, št. 42.)

Nagrade in priznanja

1. dr. Alja Prah: Preglova nagrada Kemijskega inštituta za izjemno doktorsko delo z naslovom *Raziskovanje vloge elektrostatskih interakcij pri encimski katalizi monoamin-oksidad s pomočjo večnivojskega računskega modela* pod mentorstvom izr. prof. dr. Jerneja Stareta in somentorstvom prof. dr. Marije Sollner Dolenc

MEDNARODNI PROJEKTI

1. EACEA: B-AIR; Zvočna umetnost za dojenčke, malčke in ranljive skupine na umetniškem spletnem radijskem kanalu, podprtem z inovativno tehnologijo
EACEA - European Education and Culture Executive Agency
dr. Jan Jona Javoršek
2. H2020 - EUROCC; Nacionalni kompetenčni centri v okviru EuroHPC
European Commission
dr. Jan Jona Javoršek
3. H2020 - EGI-ACE; Napredno računalništvo za Evropski odprti oblak EOSC
European Commission
dr. Jan Jona Javoršek

PROJEKT

1. Sofinanciranje projekta B-AIR: Zvočna umetnost za dojenčke, malčke in ranljive skupine na umetniškem spletnem radijskem kanalu, podprtem z inovativno tehnologijo
Ministrstvo za kulturo
dr. Jan Jona Javoršek

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJIH

1. KIVA 2022: Mednarodna vaja kibernetike v jedrskih objektih, Ljubljana, 17. 5. 2022

2. US³ Izmenjava dobrih praks v jedrski kibernetiki varnosti (US³ Nuclear Cyber Best Practices Exchange), 22.-23. 8. 2022
3. tCSC Security 2022 - Tematska šola računalništva CERN: varnost: 19.-25. 6. 2022, Split
4. Varnost e-infrastruktur, EGI/BSUN, september 2022, Bukarešta

SODELAVCI

Podoktorski sodelavci

1. dr. Alja Prah

Strokovni sodelavci

2. Jan Ivanjko, dipl. posl. inf. (VS)
3. **dr. Jan Jona Javoršek, vodja centra**

4. mag. Barbara Krašovec

5. Mark Martinec, univ. dipl. inž. rač. in inf.

Tehniški in administrativni sodelavci

6. Ivan Ivanjko
7. Janez Jezeršek
8. Matjaž Levstek
9. Janez Srakar
10. Matej Wedam

Znanstvenoinformacijski center IJS je ena največjih specialnih knjižnic v Sloveniji. Sodelavcem omogoča dostop do literature, ureja njihove bibliografije v sistemu SICRIS in jim ponuja podporo pri izpolnjevanju zahtev odprtega dostopa.

Znanstveno komuniciranje temelji na izmenjavi spoznanj prek recenziranih objav v znanstveni periodiki. Redno spremljanje teh objav je nujno potrebno za zagotovitev konkurenčnosti in relevantnosti raziskovalnega dela. Informacijska doba je korenito spremenila načine dostopa do informacij, a velika večina člankov je še vedno dostopna le naročnikom. Inflacija objav in revij, ki smo ji priča v zadnjih letih, nas usmerja v paketno naročanje revij velikih založb. Znanstvenoinformacijski center sodeluje pri konzorcijalni nabavi paketov revij založb Elsevier, Springer, Wiley, IEEE, RSC in ACS, ki so temeljnega pomena za uspešnost raziskovalnega dela v Sloveniji. S tem zmanjšujemo stroške in slovenskim raziskovalcem omogočamo branje več kot 4.000 znanstvenih revij. Spletne izdaje dopolnjuje naša knjižnična zbirka, ki obsega približno 100.000 publikacij s področja fizike, kemije, biokemije, elektronike, informatike, umetne inteligence, jedrske tehnologije, energetike in znanosti o okolju. Uporabnikom omogočamo dostop do baze podatkov Reaxys in do evalvacijskega orodja SciVal.

Informacijski sistem o raziskovalni dejavnosti v Sloveniji, SICRIS, je osnova za vse razpise in izvolitvene postopke ARRS. Podatke sistema hrani bibliografska baza COBISS, ki med drugim beleži tudi ustvarjalno delo IJS od njegove ustanovitve leta 1949. Naši katalogizatorji redno dopolnjujejo in urejajo podatke o objavah približno 700 raziskovalcev; leta 2021 smo dodali več kot 3000 zapisov. Ti podatki se uporabljajo pri evalvacijskih procesih ARRS in pri izvolitvah sodelavcev IJS v raziskovalne in razvojne nazive; ena od naših nalog je tudi priprava ocen objav sodelavcev, ki se uporabljajo pri izvolitvenih postopkih.

Vse več financerjev v svoje pogodbe vključuje tudi zahteve po odprtem dostopu do objav. Slovenija je sprejela strategijo odprtega dostopa in tudi ARRS, kot podpisnik Plana S, v svojih razpisih že vključuje zahteve po objavah v skladu s to strategijo. Ena od zahtev strategije je objava zadnje avtorjeve različice članka v mednarodno povezljivem repozitoriju. Znanstvenoinformacijski center v ta namen na željo avtorjev vnaša članke v repozitorij DIRROS, ki ustreza vsem zahtevam Evropske komisije in ARRS.

Pomemben del našega dela pa je tudi zbiranje, preverjanje in urejanje podatkov, ki so del tega poročila, oblikovanje prispevkov, ki predstavljajo delo IJS v preteklem letu, in priprava poročila za tisk. Elektronski arhiv letnih poročil je dostopen na spletnem naslovu <https://www.ijs.si/ijsw/Informacije%20javnega%20zna%C4%8Daja>.



Vodja:
dr. Luka Šušteršič

PROJEKT

1. Konzorcijska pogodba o nabavi elektronskih publikacij za leto 2022
Centralna tehniška knjižnica Univerze v Ljubljani
dr. Luka Šušteršič

SODELAVCI

Strokovni sodelavci

1. **dr. Luka Šušteršič, vodja centra**
2. mag. Marjan Verč

Tehniški in administrativni sodelavci

3. Anja Blažun, univ. dipl. prev.
4. *Tamara Debeljak, univ. dipl. lit. komp. in soc. kul., odšla 1. 9. 2022*
5. Suzi Korošec, inž. rač.
6. Jasna Malalan
7. *Katarina Modic, univ. dipl. inž. kem. inž., odšla 1. 4. 2022*
8. *Alenka Ana Stante, mag. lik. um., upokojitev 9. 5. 2022*
9. Jože Škulj
10. Branka Štrancar
11. Saša Žnidar, prof. angl. in univ. dipl. bibl.

CENTER ZA ENERGETSKO UČINKOVITOST

CEU

Osnovna usmerjenost delovanja Centra za energetske učinkovitosti je področje učinkovite rabe energije, dolgoročnega načrtovanja v energetiki ter dejavnosti za zmanjšanje emisij toplogrednih plinov (TGP) in drugih onesnaževal zraka. Center danes predstavlja mesto zbiranja in prenosa znanj za učinkovito rabo energije na stičišču porabnikov energije, države, ponudnikov energije, opreme in storitev ter drugih zainteresiranih javnosti, hkrati pa zajema okoljske vplive rabe in pretvorbe energije. Najpomembnejši del delovanja Centra za energetske učinkovitosti v zadnjem obdobju je tako sodelovanje z državnimi institucijami pri pripravi strateških dokumentov in zakonodaje na področju učinkovite rabe energije, načrtovanja v energetiki, razpršene proizvodnje električne energije, emisij toplogrednih plinov ter drugih onesnaževal zraka, pri čemer pa s svetovalno in izobraževalno vlogo na področju energetike še vedno ostaja trdno povezan z industrijskimi podjetji in drugimi ustanovami ter zelo vpet tudi v evropske raziskovalne projekte.

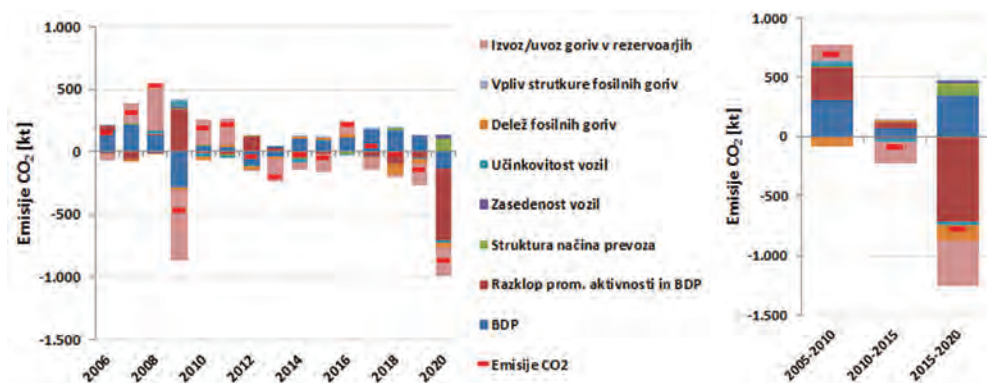


Vodja:
mag. Stane Merše

Energetika in okolje

Tudi v letu 2022 je center s svojim strokovnim delom zagotavljal kakovostno podporo ministrstvom pri pripravi razvojnih strateških dokumentov in prenosu zakonodaje EU. Učinkovita raba energije je za doseganje podnebno energetskih ciljev prednostno področje. Skladno z Direktivo o energetske učinkovitosti (2012/27/EU), Direktivo o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov (2018/2001) in Uredbo o upravljanju energetske unije (2018/1999) je bilo izdelano poročilo o doseganju ciljev in izvajanju ukrepov v letu 2020. Nadaljevala se je priprava strokovnih podlag za razvoj ukrepov za boj proti energetske revščini, začela posodobitev Celovitega nacionalnega energetskega podnebnega načrta (NEPN) ter priprava strokovnih podlag za novo podporno shemo za proizvodnjo električne energije in toplote iz obnovljivih virov energije (OVE).

Pri strokovni podpori Ministrstva za okolje in prostor so bile dejavnosti usmerjene v pripravo petega Podnebnega ogledala, ki predstavlja tudi poročilo o izvajanju Operativnega programa ukrepov zmanjšanja emisij TGP za obdobje 2013–2020 ter Lokalni semafor podnebnih aktivnosti občin. Nadaljevalo se je izvajanje Celostnega integralnega projekta LIFE IP CARE4CLIMATE s ciljem učinkovitejšega doseganja ciljev Slovenije pri zmanjševanju emisij TGP do leta 2030 in hitrejšega prehoda v podnebno nevtralno družbo, kjer CEU vodi več pomembnih dejavnosti na področju usposabljanja, lokalnega načrtovanja in razvoja naprednih instrumentov za trajnostno prenovo stavb. CEU je sodeloval tudi pri pripravi analitičnih podlag za mednarodno poročanje v okviru mehanizma MMR ter nadaljeval pripravo strokovnih podlag za izpolnitev nacionalnih, evropskih in mednarodnih obveznosti poročanja s področja blaženja podnebnih sprememb.



Slika 1: Dekompozicijska analiza spremembe emisij CO₂ v potniškem prometu glede na preteklo leto (levo) oziroma v petletnem obdobju (desno)

CEU sodeluje s Statističnim uradom Republike Slovenije, kjer za potrebe nacionalne energetske statistike pripravlja modelski izračun rabe goriv in energije v gospodinjstvih, nadaljevali pa sta se raziskava rabe energije v storitvenem sektorju in analiza izkoriščanja odvečne toplote. Tudi v letu 2022 je CEU nadaljeval aktivnosti državnega referenčnega središča za energijo s pripravo razširjenega nabora kazalcev za področje energije in okolja. CEU je za Agencijo za energijo za podporno shemo za proizvodnjo električne energije iz OVE in soproizvodnje določil referenčne stroške električne energije za leto 2022.



Slika 2: Program usposabljanja energetskega pogodbeništv in obiski energetskih lokacij v okviru projekta LIFE IP CARE4CLIMATE.

Your solution for creating community energy systems



Slika 3: Metodološki pristop spodbujanja razvoja energetskih skupnosti v okviru projekta Creators



Slika 4: Izvedba pilotne naprave za izkoriščanje odvečne toplote Allino peči v podjetju SIJ Metal Ravne, d. o. o., v okviru projekta ETEKINA

Spodbujanje učinkovite rabe energije in energetske svetovanje

CEU je v letu 2022 nadaljeval svoje izobraževalne dejavnosti, kjer se je v okviru projekta LIFE IP CARE4CLIMATE nadaljeval širok program usposabljanj na področju upravljanja z energijo v industriji in javnem sektorju ter energetskega pogodbeništv. Začel se je že štirinajsti cikel izobraževanja energetskih managerjev v okviru evropskega programa EUREM. Glede na zelo pozitiven odziv slušateljev in izkazan interes (v Sloveniji je že več kot 250 energetskih managerjev z licenco EUREM) se kaže velika potreba po tovrstnem izobraževanju, saj je kakovostno znanje na tem področju ključno za izvedbo učinkovitih rešitev v praksi.

V letu 2022 je CEU nadaljeval intenzivno razvojno delo na področju lokalnega energetskega načrtovanja z razvojem GIS-orodja za prostorsko analizo rabe toplote v stavbah (heat map) – toplotne karte Slovenije, ki je bilo uporabljeno za pripravo Ocene potencialov učinkovitega ogrevanja in hlajenja v Sloveniji ter Strategijo ogrevanja in hlajenja ter nadgradnjo metodologije za pripravo lokalnih energetskih konceptov. Za Agencijo za energijo je bila izdelana metodologija za izračunavanje dejavnikov primarne energije in izpustov ogljikovega dioksida za sisteme daljinskega ogrevanja.

CEU je nadaljeval izdelavo ocen okoljskih učinkov projektov iz sredstev Zelene obveznice SID banke ter izdelal izračun ogljičnega odtisa za NLB skupino. CEU je začel pripravo okoljske študije in energetske podnebni načrt podjetja Luka Koper, d. d., do leta 2030 s pogledom do leta 2050 ter izvedbo energetskih pregledov v podjetjih Koto, d. o. o., in Ljubljanske mlekarnar, d. o. o. Nadaljevalo se je strokovno sodelovanje s podjetjem SIJ Metal Ravne na področju izkoriščanja odvečne toplote.

CEU je programsko vodil pripravo izvedbe 24. konference *Dnevi energetikov*, letnega srečanja energetskih managerjev z več kot 200 udeleženci, kar potrjuje kakovost in prepoznavnost strokovnega dela CEU v javnosti.

Mednarodno sodelovanje

V letu 2021 je CEU sodeloval pri izvedbi 10 mednarodnih projektov, ki se financirajo iz sredstev Evropske unije v okviru programa Life, Horizon 2020, ERASMUS+ ter programa EUKI. Projekti zajemajo dejavnosti na naslednjih področjih:

- podpora učinkovitejšemu doseganju ciljev Slovenije pri zmanjševanju emisij TGP (Celostni integralni projekt LIFE IP CARE4CLIMATE),
- tehnologija toplotnih cevi za izkoriščanje odvečne toplote v industriji (ETEKINA),
- spremljanje kazalcev rabe energije in energetske učinkovitosti v EU (ODYSSEE MURE),

- uvajanje učinkovitega, ekonomsko odpornega, čistega in podnebno prijaznega ogrevanja in hlajenja pri evropskih potrošnikih (REPLACE),
- razvoj aplikacij in storitev za ustvarjanje poslovno uspešnih razvoj lokalnih energetskih skupnosti (CREATORS),
- razvoj inovativnih metod za energetska certificiranje stavb (TIMEPAC),
- podpora vrednotenju prihrankov energije – (streamSAVE),
- uvajanje shem refinanciranja za pospešitev izvajanja projektov energetske učinkovitosti – (REFINE),
- EU podnebni dialog (EUKI, Climate Recon 2050),
- strokovnjaki za energetska učinkovitost (EEE),
- izvajanje EU direktive o energetska učinkovitosti (CA – EED2).

Projekti vključujejo sodelovanje z raziskovalno-razvojnimi organizacijami iz Evrope z močnim poudarkom na konkretnih aplikativnih primerih in promociji energetske učinkovitosti. V okviru vsakega od projektov so sodelavci CEU sodelovali pri številnih tujih strokovnih srečanjih, obiskih in sestankih.

Raziskovalno-razvojno delo sodelavcev Centra za energetska učinkovitost pomembno prispeva k pripravi ključnih strateških dokumentov v Sloveniji na področju razvoja energetike, energetske učinkovitosti, izrabe obnovljivih virov energije in prehoda Slovenije v podnebno nevtravno družbo, z izobraževalnimi dejavnostmi in podporo industriji pa pomembno prispeva k povečevanju konkurenčnosti in uspešnemu zelenemu tehnološkemu prehodu.

Najpomembnejši dosežki centra v preteklih treh letih

1. **Izdelava več ključnih podpornih dokumentov za Vlado Republike Slovenije na področju energetska podnebne politike:** Celoviti nacionalni energetska in podnebni načrt – NEPN, Dolgoročna podnebna strategija Slovenije do leta 2050, Dolgoročna strategija energetske prenove stavb do leta 2050 idr. ter vzpostavitev celovitega sistema spremljanja izvajanja podnebno energetske politike (Podnebno ogledalo, Kazalci okolja ARSO idr.).
2. **Izvajanje izobraževanja energetska managerjev** v okviru evropskega programa EUREM in novega širokega programa usposabljanj za prehod v nizkoogljično družbo projekta LIFE IP CARE4CLIMATE.
3. **Strokovna podpora industriji in drugim ustanovam za uspešno izvedbo zelenega tehnološkega prehoda:** Strategija energetske in snovne učinkovitosti ter trajnostnega razvoja (DARS, d. d.), izvedbe energetska pregledov in strokovnega svetovanja (Luka Koper, Ljubljanske mlekarne, BTC, AMZS idr.), razvoj naprednih modelov energetskega pogodbenišva (priprava Evropskega kodeksa ravnanja za energetska pogodbenišvo, razvoj novih instrumentov z EKO Skladom idr.).

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Energetska revščina zahteva celovit pristop, prvo srečanje deležnikov s področja energetske revščine v okviru projekta *Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetska revščini*, 11. 1. 2022 (virtualno)
2. Metodološki izzivi reševanja energetske revščine, diskusijski seminar v okviru projekta *Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetska revščini*, 5. 4. 2022 (virtualno)
3. 24. Dnevi energetikov, Srečanje energetska menedžerjev Slovenije, Portorož, 11.–12. april 2022
4. Pripravljalna delavnica za Podnebno ogledalo 2022, delavnica v okviru projekta Strokovne podlage za izpolnitev nacionalnih, evropskih in mednarodnih obveznosti poročanja ter pripravo stališča s področja blaženja podnebnih sprememb, Ljubljana, 17. 5. 2022
5. Oblikovanje ukrepov za zmanjševanje energetske revščine, delavnica v okviru projekta *Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetska revščini*, Ljubljana, 13. 10. 2022

Nagrade in priznanja

1. Ana Marija Udovič: Würdigungspreis 2022 – nagrada za najboljša diplomska in magistrska dela, Dunaj, Avstrija, podeljuje avstrijsko zvezno ministrstvo za izobraževanje, za študijski uspeh in magistrsko delo *The Role of Bicycling for the Resilience and Sustainability of Transport in Urban Areas in the Post-COVID-19 World*

MEDNARODNI PROJEKTI

1. Prva SEIF nacionalna okrogla miza, Ljubljana, maj 2022
Pracsis s.r.l.
mag. Damir Staničič
2. Life IP Care4Climate - podpora izvajanju operativnega programa za zmanjševanje emisij toplogrednih plinov do 2020 s pogledom do 2030
European Commission
mag. Stane Merše
3. European Climate Initiative (EUKI) - EU Podnebni akcijski dialogi
Europäische Klimaschutzinitiative (EUKI)
Katarina Trstenjak, M. Sc., univ. dipl. geog.
4. ERASMUS+; EEE - Strokovnjak za energetske učinkovitost
INAPP - Istituto Nazionale per l'Analisi delle Politiche Pubbliche
dr. Boris Sučić
5. H2020 - ETEKINA; Uporaba tehnologije toplotnih cevi za izkoriščanje odvečne toplote v industriji
European Commission
dr. Fouad Al-Mansour
6. H2020 - REPLACE; Narediti ogrevanje in hlajenje evropskim potrošnikom bolj učinkovito, ekonomsko prilagodljivo, čisto in podnebju prijazno
European Commission
dr. Gašper Stegнар
7. H2020 - REFINE; Vključevanje shem refinanciranja v podporo izvajanju projektov storitev energetske učinkovitosti
European Commission
mag. Damir Staničič
8. H2020 - streamSAVE; Podpora vrednotenju prihrankov energije
European Commission
dr. Matevž Pušnik
9. H2020 - CREATORS; Razvoj aplikacij in storitvenih paketov za ustvarjanje poslovnih uspešnih lokalnih energetskih skupnosti
European Commission
dr. Boris Sučić
10. H2020 - TIMEPAC; Razvoj inovativnih metod za ocenjevanje stanja energetske stanja energetske učinkovitosti in certificiranje stavb
European Commission
dr. Boris Sučić
11. LIFE21-CET-POLICY-OdysseeMure fit-4-55; Odyssee-MURE - Spremljanje stebra energetske učinkovitosti za podnebno nevtralnost
CINEA - European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency
dr. Fouad Al-Mansour
12. LIFE21-CET-POLICY-ENSMOV Plus; Vrednotenje, kvantifikacija in krepitev izvajanja politik varčevanja z energijo, v skladu s 7. členom Direktive o energetske učinkovitosti
CINEA - European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency
dr. Matevž Pušnik
13. Usklajena dejanja na področju direktive URE (CA-EED 2) - Neposredna pogodba
Ministrstvo za infrastrukturo
mag. Stane Merše
3. GeoCOOL FOOD - Hladno skladiščenje hrane z rabo plitve geotermalne energije
dr. Gašper Stegнар
4. Vzpostavitev in razvoj modelske infrastrukture za ekonomsko vrednotenje učinkov podnebno-energetskih ukrepov na gospodarstvo in družbo
Inštitut za ekonomska raziskovanja
dr. Matevž Pušnik
5. Sodelovanje nacionalnih strokovnjakov za področje direktive o energetske učinkovitosti v CA EED 2
Ministrstvo za infrastrukturo
mag. Stane Merše
6. Sofinanciranje projekta LIFE17 IPC7SI/000007 - LIFE IP CARE4CLIMATE
Ministrstvo za okolje in prostor
mag. Stane Merše
7. osvežitev kazalcev okolje-energija 2021-2023
Ministrstvo za okolje in prostor
Matjaž Česen, univ.dipl.meteorol.
8. Energy statistics: support to the Energy Union and further disaggregation of final energy consumption
Statistični urad Republike Slovenije
Matjaž Česen, univ.dipl.meteorol.
9. Strokovne podlage za izpolnitev nacionalnih, evropskih in mednarodnih obveznosti poročanja ter pripravo stališča s področja blaženja podnebnih sprememb
Ministrstvo za okolje in prostor
Matjaž Česen, univ.dipl.meteorol.

VEČJA NOVA POGODBENA DELA

1. Izvedba ocene okoljskih učinkov
SID banka, d. d., Ljubljana
mag. Stane Merše
2. Izhodišča za izvedbo okoljske analize
NLB, d. d.
mag. Tomaž Fatur
3. OctaGen_Lek
M4M INVEST, d. o. o.
doc. dr. Marko Matkovič
4. Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetske revščini
Ministrstvo za infrastrukturo
mag. Barbara Petelin Visočnik
5. Priprava strokovnih podlag glede podporne sheme in izvedba drugih strokovnih nalog ter ukrepov iz področja energetske učinkovitosti in obnovljivih virov energije
Ministrstvo za infrastrukturo
mag. Stane Merše
6. Strokovne podlage in izbira najprimernejšega načina za izračunavanje faktorjev primarne energije in izpustov ogljikovega dioksida za sisteme daljinskega ogrevanja in hlajenja
Agencija za energijo
mag. Stane Merše
7. Presoja vplivov zakonodajnega svežnja „Pripravljeni na 55“ („Fit for 55“) na sektor prometa in stavb v Republiki Sloveniji
Ministrstvo za infrastrukturo
Matjaž Česen, univ. dipl. meteorol.
8. Strokovna in tehnična podpora pri Celovitem nacionalnem poročanju o napredku pri izvajanju Celovitega nacionalnega energetskega in podnebnega načrta in pripravi njegove posodobitve
Ministrstvo za infrastrukturo
mag. Stane Merše
9. Energetski in podnebni načrt z oceno okoljskih vplivov podjetja Luka Koper, d.d. do leta 2030 s pogledom do leta 2050
Luka Koper, d. d.
dr. Boris Sučić

PROGRAM

1. Modeliranje in ocene posegov v okolju in energetiki
dr. Fouad Al-Mansour

PROJEKTI

1. Eko inovacije in krožno gospodarstvo - pot do bolj trajnostne in vključujoče prihodnosti: vloga demografskih sprememb in digitalizacije
dr. Boris Sučić
2. Priprava strokovnih podlag, zasnova baze podatkov in razvoj simulacijskega modela vozila za energetskega in okoljskega odtisa za namen optimizacije izvajanja gospodarske javne službe javnega potniškega prometa
dr. Marko Kovač

OBISKI

1. Ambasador kraljevine Nizozemske v Sloveniji g. Johan Verboom, 19. 10. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

1. Fouad Al-Manosur, Matevž Pušnik, sestanek projekta ETEKINA, Arraste- Mondragón, Španija, 9.–10. 3. 2022
2. Fouad Al-Mansour, Jure Čizman, Tomaž Fatur, Edvard Košnjek, Stane Merše, Marko Peckaj, Matevž Pušnik, Boris Sučić, Katarina Trstenjak, 24. Dnevi energetikov, Srečanje energetskih menedžerjev Slovenije, Portorož, 11.–12. april 2022 (1)
3. Fouad Al-Mansour, Jure Čizman, Marko Đorić, Tomaž Fatur, Tadeja Janša, Edvard Košnjek, Stane Merše, Barbara Petelin Visočnik, Matevž Pušnik, Katarina Trstenjak, Andreja Urbančič, Pripravljalna delavnica za Podnebno ogledalo 2022, delavnica v okviru projekta Strokovne podlage za izpolnitev nacionalnih, evropskih in mednarodnih obveznosti poročanja ter pripravo stališča s področja blaženja podnebnih sprememb, Ljubljana, 17. 5. 2022 (5)
4. Fouad Al-Manosur, SEEP 2022, Sustainable Energy and Environmental Protection conference 2022, London, Velika Britanija, 12.–15. 9. 2022 (2)
5. Matjaž Česen, Barbara Petelin Visočnik, Od kje ukrepi in zakaj jih spremljamo ali od projekcij do Podnebnega ogledala, Petrol, redna mesečna srečanja s področja trajnostnih vsebin, 15. 2. 2022, virtualno (1)
6. Matjaž Česen, Barbara Petelin Visočnik, Andreja Urbančič, 14. Seja sosveta za statistiko energetike, 14. 4. 2022, virtualno (1)
7. Jure Čizman, Tomaž Fatur, Tadeja Janša, Stane Merše, Barbara Petelin Visočnik, Damir Staničič, Gašper Stegnar, Katarina Trstenjak: Nacionalna okrogla miza o naložbah v trajnostno energijo v Sloveniji, Ljubljana, 24. 5. 2022, hibridno
8. Jure Čizman, Gašper Stegnar, Boris Sučić, Delavnica in sestanek za projekt TIMEPAC, Torino, Italija, 1.–2. 12. 2022
9. Marko Đorić, Tadeja Janša, Stane Merše, Barbara Petelin Visočnik, Katarina Trstenjak, Energetska revščina zahteva celovit pristop, prvo srečanje deležnikov s področja energetske revščine v okviru projekta *Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetske revščini*, 11. 1. 2022, virtualno
10. Marko Đorić, Tadeja Janša, Stane Merše, Barbara Petelin Visočnik, Katarina Trstenjak, Metodološki izzivi reševanja energetske revščine, diskusijski seminar v okviru projekta *Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetske revščini*, 5. 4. 2022, virtualno
11. Marko Đorić, Boris Sučić, Digital transformation Summit, Funchal Madeira, Portugalska, 24.–28. 10. 2022 (2 + sodelovanje na okrogli mizi)
12. Tomaž Fatur, Ogljični odtis in začetek poti do ogljično nevtralnega podjetja, dogodek SDH *Ogljični odtis in začetek poti do ogljično nevtralnega podjetja*, Ljubljana, 15. 6. 2022
13. Marija Kavčič, Barbara Petelin Visočnik, Ana Marija Udovič, Andreja Urbančič, Oblikovanje ukrepov za zmanjševanje energetske revščine, delavnica v okviru projekta *Preučitev in strokovne podlage za razvoj ukrepov za boj proti energetske revščini*, Ljubljana, 13. 10. 2022 (2)
14. Edvard Košnjek, Stane Merše, Javna predstavitev osnutka poročila o stanju izvajanja NEPN v Sloveniji, Ljubljana, 28. 9. 2022 (1)
15. Edvard Košnjek, Stane Merše, Javna predstavitev osnutka poročila o stanju izvajanja NEPN v Sloveniji, Ljubljana, 28. 9. 2022 (1)
16. Edvard Košnjek, XIV. konferenca Sistemi ciljnega spremljanja rabe energije, Brdo pri Kranju, 26. 10. 2022 (1)
17. Edvard Košnjek, Matevž Pušnik, Boris Sučić, 14th International Conference on Sustainable Energy & Environmental Protection, London, 12.–15. 9. 2022 (1)
18. Edvard Košnjek, sestanek projekta CREATORS, Barcelona, Španija, 16.–17. 11. 2022
19. Stane Merše, 10. plenarno srečanje CA-EED2, Lizbona, 21.–23. 3. 2022 (2)
20. Stane Merše, Energetska podnebni prehod Slovenije – odpiramo javno razpravo, GZS, 9. 5. 2022 (1)
21. Stane Merše, Gozd in les v času in prostoru, znanstveno srečanje, Ljubljana, 25. 5. 2022 (gost na okrogli mizi).
22. Stane Merše, delavnica Podnebno nevtralna mesta, Hiša EU, Ljubljana, 30. 5. 2022 (1)
23. Stane Merše, 9. Konferenca slovenskih izvoznikov, Kongresni center Brdo, 16. 9. 2022 (moderator okrogle mize)
24. Stane Merše, 1. plenarno srečanje CA-EED3, Stockholm, 10.–12. 10. 2022 (2)
25. Stane Merše, 4. Kongres družbe KOTO, Kongresni center Brdo, 20.10. 2022 (vabljen predavanje)
26. Barbara Petelin Visočnik, Človek v pametni in krožni stavbi, strokovna konferenca, Ljubljana, 22. 7. 2022 (1)
27. Matevž Pušnik, 4. plenarni sestanek projekta StreamSAVE, Lizbona, Portugalska, 24.–25. 3. 2022
28. Matevž Pušnik, sestanek na projektu StreamSAVE, Atene, Grčija, 22.–23. 9. 2022
29. Matevž Pušnik, zagonski sestanek projekta ENSMOW PLUS, Bruselj, Belgija, 1.–2. 12. 2022
30. Damir Staničič, sestanek za projekt REFINE, Atene, Grčija, 12.–13. 5. 2022
31. Damir Staničič, dogodek LIFE CLIMAZ, Ponta Delgada, Portugalska, 26.–30. 9. 2022
32. Damir Staničič, plenarni sestanek CA EED, Stockholm, Švedska, 11.–12. 10. 2022
33. Damir Staničič, sestanek na projektu REFINE, Madrid, Španija, 16. 11. 2022
34. Gašper Stegnar, konzorcijski sestanek projekta H2020-TIMEPAC, Barcelona, Španija, 10.–11. 3. 2022
35. Boris Sučić, Luka Tavčar, sestanek na projektu TIMEPAC, Torino, Italija, 5. 5. 2022
36. Boris Sučić, EEE-LTTA (ERASMUS), Brescia, Italija, 21.–23. 9. 2022
37. Boris Sučić, predstavitev projekta LIFE Care4Climate na European Sustainable Energy Week, Bruselj, Belgija, 28. 9. 2022 (1)
38. Boris Sučić, IAEA delavnica, Nikozija, Ciper, 10.–12. 11. 2022
39. Boris Sučić, konzorcijski sestanek TIMEPAC, Nikozija, Ciper 13.–14. 11. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Fouad Al-Mansour
2. doc. dr. Marko Matkovič
3. **mag. Stane Merše, vodja centra**
4. mag. Damir Staničič
5. mag. Andreja Urbančič

Podoktorski sodelavci

6. dr. Matevž Pušnik
7. Matjaž Česen, univ. dipl. meteorol.

Strokovni sodelavci

8. mag. Jure Čizman
9. mag. Tomaž Fatur
10. mag. Edvard Košnjek
11. dr. Marko Kovač
12. Marko Peckaj, univ. dipl. inž. str.
13. mag. Barbara Petelin Visočnik
14. dr. Gašper Stegnar
15. dr. Boris Sučić
16. Luka Tavčar, univ. dipl. inž. str.
17. Ana Marija Udovič, Msc. Avstrija

Tehniški in administrativni sodelavci

18. Marko Đorić, univ. dipl. inž. el.
19. Tadeja Janša, mag. posl. ved.
20. Marija Kavčič, dipl. ekon.
21. Igor Ribič
22. Katarina Trstenjak, univ. dipl. geog.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Agence De L'environnement Et De La Maitrise De L'energie-ADEME, Angers, Francija
2. Agencija RS za okolje, Ljubljana, Slovenija
3. Agencija za energijo, Maribor, Slovenija
4. AMZS d.d., Ljubljana, Slovenija
5. Arbeitsgemeinschaft für Sparsame Energie- und Wasserverwendung (ASEW) im VKU, Köln, Nemčija
6. Austrian Energy Agency, Dunaj, Avstrija
7. ATEE, Association technique energie environnement, Puteaux, Francija
8. Berliner Energie Agentur, Berlin, Nemčija
9. Brunel University London, Velika Britanija
10. BTC, d. d., Ljubljana, Slovenija
11. Center poslovne odličnosti Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani (CPOEF), Ljubljana, Slovenija
12. Circe, Zaragoza, Španija
13. COGEN Europe, Bruselj, Belgija
14. CREA CONSULTORES SL, Madrid, Španija
15. CRES, Pikerim, Grčija
16. Cyprus University of Technology, Ciper
17. Danish Energy Agency, København, Danska
18. DARS-družba za avtoceste, Celje, Slovenija
19. ECI, Bruselj, Belgija
20. Ecologic Institute, Berlin, Nemčija
21. EEVS Insight Limited, Rochester, Velika Britanija
22. Elektrotehniški inštitut Milan Vidmar, Ljubljana, Slovenija
23. Elektrotehniški inštitut Nikola Tesla, Beograd, Srbija
24. EKODOMA, Riga, Latvija
25. ELEK svetovanje, d. o. o., Ljubljana
26. Elektro Slovenija, Ljubljana, Slovenija

27. ENERDATA SAS, Grenoble, Francija
28. Energetische Centrum Bratislava, Bratislava, Slovaška
29. Energetika Ljubljana, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
30. Energetika Maribor, d. o. o., Maribor, Slovenija
31. Energetska zbornica Slovenije (EZS), Ljubljana, Slovenija
32. Energetski inštitut Hrvoje Pozar – EHP, Zagreb, Hrvaška
33. Energy Saving Trust, London, Velika Britanija
34. ENOS, d. d.
35. EPG, energy policy group, Bukarešta, Romunija
36. EUREM Consortium c/o IHK, Nürnberg, Nemčija
37. Euroheat & Power (EHP), Bruselj, Belgija
38. European Federation of Intelligent Energy Efficiency Services, Bruselj, Belgija
39. EVA, Dunaj, Avstrija
40. Evropska komisija, Bruselj, Belgija
41. E7 Energie Markt Analyse, Dunaj, Avstrija
42. Factor 4 BVBA, Duffel, Belgija
43. Finance, Ljubljana, Slovenija
44. FIRE-FEDERAZIONE ITALIANA PER L'USO RAZIONALE DELL'ENERGIA, Rim, Italija
45. Focus, društvo za sonaravni razvoj pri izvedbi treh posvetov o podnebne upravljanju in zakonu
46. Fraunhofer Gesellschaft zur Foerferung dr Angewandten Forschung E.V., Munchen, Nemčija
47. Geološki zavod Slovenije (GeoZS), Ljubljana, Slovenija
48. Geoplín, Ljubljana, Slovenija
49. Goodyear, Kranj, Slovenija
50. Goriška lokalna energetska agencija – GOLEA, Nova Gorica, Slovenija
51. Gospodarska zbornica, Ljubljana, Slovenija
52. Gozdarski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija
53. Gradbeni inštitut ZRMK, Ljubljana, Slovenija
54. Grazer Energie Agentur, Gradec, Avstrija
55. Holding Slovenske elektrarne, Ljubljana, Slovenija
56. IEECP, Amsterdam, Nizozemska
57. IAEA, Dunaj, Avstrija
58. Informa Echo, Ljubljana, Slovenija
59. Institut za ekonomska raziskovanja, IER, Ljubljana, Slovenija
60. Inštitut za ekologijo, Ljubljana, Slovenija
61. IREES GmbH-Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien, Nemčija
62. Irish Energy Centre, Dublin, Irska
63. ISR-Instituto de Sistemas e Robótica, Coimbra, Portugalska
64. Istituto Di STUDI Per L'integrazione Dei Sistemi (I.S.I.S)–Societa'Cooperativa, Roma, Italija
65. Instituto Para La Diversificacion Y Ahorro De La Energia, Madrid, Španija
66. KAPE – Krajowa Agencja Poszanowania Energii S.A., Varšava, Poljska
67. Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija
68. Koto, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
69. LGI Consulting, Paris, Francija
70. Lineal biro za projektiranje, inženiring, storitve in gradbeništvo, d. o. o. (Lineal, d. o. o.)
71. Lithuanian Energy Agency, Vilna, Litva
72. Lokalna energetska agencija Gorenjske, LEAG, Kranj, Slovenija
73. Ljubljanske mlekarne, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
74. Luka Koper, Koper, Slovenija
75. Malaga City Council, Malaga, Španija
76. MEKH, Hungarian Energy and Public Utility Regulatory Authority, Budimpešta, Madžarska
77. Mestna občina Kranj, Slovenija
78. Mestna občina Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
79. Ministerul Energiei-România, Bukarešta, Romunija
80. Ministrstvo za gospodarstvo, Ljubljana, Slovenija
81. Ministrstvo za okolje in prostor, Ljubljana, Slovenija
82. Ministrstvo za infrastrukturo, Ljubljana, Slovenija
83. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ljubljana, Slovenija
84. MOTIVA, Helsinki, Finska
85. NLB, d.d., Ljubljana, Slovenija
86. Odelo Slovenija, d. o. o., Prebold, Slovenija
87. O. Ö. Energiesparverband, Linz, Avstrija
88. Petrol, d. d., Ljubljana, Slovenija
89. PIC – Pravni center za varstvo človekovih pravic in okolja
90. Plinovodi, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
91. PNZ svetovanje projektiranje, Ljubljana, Slovenija
92. Politecnico di Torino, Torino, Italija
93. RAP – The Regulatory Assistance Project, Bruselj, Belgija
94. Resalta, družba za upravljanje energetskih storitev, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
95. RVO Netherlands Enterprise Agency, Nizozemska
96. Salonit, Anhovo, Slovenija
97. Sberbank banka, d. d., Ljubljana, Slovenija
98. Sdruzhenie Chernomorski Izsledovatelski Energien Tsentar, Sofija, Bolgarija
99. SDH – Slovenski državni holding, Ljubljana, Slovenija
100. SEVEN, The Energy Efficiency Center, Praga, Češka
101. SID banka, d. d., Ljubljana, Slovenija
102. SIJ Acroni, d. o. o., Jesenice, Slovenija
103. SIJ Metal Ravne, d. o. o., Slovenija
104. Slovensko-nemška gospodarska zbornica, Ljubljana, Slovenija
105. Statistični urad RS, Ljubljana, Slovenija
106. Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus, Talin, Estonija
107. Sustainable Energy, Dublin, Irska
108. TANIN Sevnica, d. d., Sevnica, Slovenija
109. TEESlab – Technoeconomics of Energy Systems, University of Piraeus, Pirej, Grčija
110. Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Modena, Italija
111. Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Ljubljana, Slovenija
112. Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
113. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za družbene vede, Ljubljana, Slovenija
114. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana, Slovenija
115. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za pomorstvo in promet, Portorož, Slovenija
116. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, Slovenija
117. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Ljubljana, Slovenija
118. Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, Slovenija
119. Univerza v Zagrebu, Fakulteta za strojništvo in ladjedelništvo, Zagreb, Hrvaška
120. Univerzitetni rehabilitacijski inštitut Republike Slovenije – Soča, Ljubljana, Slovenija
121. VITO, Antwerp, Belgija
122. WiseEuropa-Fundacja Warszawski Instytut Studiów Ekonomicznych i Europejskich, Varšava, Poljska
123. Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti

CENTER ZA ELEKTRONSKO MIKROSKOPIJO IN MIKROANALIZO

CEMM

Center za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM) je instrumentalni center IJS, ki združuje analitsko opremo s področja elektronske mikroskopije in mikroanalize. Dostop do raziskovalne opreme centra imajo poleg vseh odsekov IJS tudi druge raziskovalne institucije, univerze in industrijski partnerji. Opremo centra uporabljajo raziskovalci, ki jih zanima strukturna in kemijska karakterizacija materialov na mikrometrski in atomarni ravni. V okviru centra delujejo štirje vrstični elektronski mikroskopi (JSM-7600F, Verios G4 HP, Quanta 650, JSM-5800), dva presevalna elektronska mikroskopa (JEM-2100 (CO NiN) in JEM-2010F) ter oprema za pripravo vzorcev SEM in TEM. V letu 2022 se je začela instalacija novega vrstičnega presevalnega elektronskega mikroskopa Spectre 300. Poleg navedene opreme je IJS solastnik mikroskopa JEM-ARM200F (20 %) s Cs korektorjem za atomarno ločljivost, ki je na Kemijskem inštitutu.

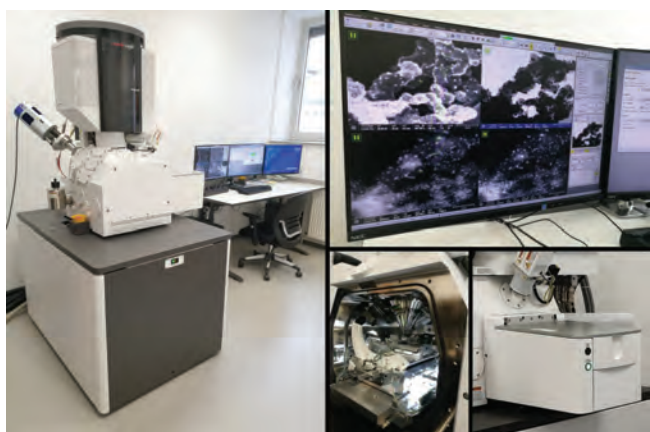


Vodja:
prof. dr. Miran Čeh

Visokoločljivostni vrstični elektronski mikroskop Verios G4 HP (Thermo Fisher Scientific) (slika 3) je edini tovrstni mikroskop v tem delu Evrope in omogoča ultimativno slikovno ločljivost pri nizkih vzbujevalnih napetostih. Zaradi visoke slikovne ločljivosti pri nizkih vzbujevalnih napetostih je možno opazovati neprevodne vzorce. Poleg občutljivega detektorja EDXS je mikroskop opremljen tudi z najsodobnejšim detektorjem za presevalno vrstično elektronsko mikroskopijo (STEM).

Vrstični elektronski mikroskop Quanta 650, Thermo Fisher Scientific (slika 4) je operativen v treh vakuumskih območjih, ki se dosežejo z diferencialnim črpanjem, kar omogoča preiskavo širokega izbora materialov, tako prevodnih kot neprevodnih.

Vrstični presevalni elektronski mikroskop Spectra 300 (Thermo Fisher Scientific) (slika 5) je state-of-the-art raziskovalna oprema zadnje generacije presevalnih elektronskih mikroskopov in omogoča celovito strukturno in kemijsko karakterizacijo materialov na atomski in subatomski ravni. Mikroskop ima FEG izvor elektronov, korektor sferične aberacije in monokromator ter omogoča izvajanje naslednjih tehnik presevalne elektronske mikroskopije: opazovanje s paralelnim elektronskim snopom (TEM, HRTEM), elektronsko difrakcijo (SAED, CBED, PED), 4D STEM ter kvalitativno in kvantitativno kemijsko analizo (EDXS, EELS), vse ob ultimativni slikovni in analizi ločljivosti na atomski in subatomski ravni.



Slika 3: Vrstični elektronski mikroskop Verios 4G HP



Slika 4: Vrstični elektronski mikroskop ESEM Quanta 650



Slika 1: Prostori Centra za elektronsko mikroskopijo in mikroanalizo (CEMM)



Slika 2: Vrstični elektronski mikroskop JSM-7600F



Slika 5: Vrščični presevni elektronski mikroskop Spectra 300

Raziskave materialov, v katere so vključeni operaterji IJS in osebe centra, se razlikujejo glede preiskovanih materialov in glede uporabljenih metod elektronske mikroskopije:

- Vrščična elektronska mikroskopija se uporablja za opazovanje morfologije in strukture površin materialov ter za preiskave mikrostruktur in določevanje kemijske sestave materialov. V okviru CEMM se preiskujejo predvsem keramični materiali (polikristalinični oksidi), številni nanostrukturirani materiali, kovine in zlitine, stekla itd. Vrščični elektronski mikroskopi v centru so opremljeni z energijsko-disperzijskimi (EDXS) in/ali z valovno-disperzijskimi spektrometri (WDXS) rentgenskih žarkov, ki omogočajo nedestruktivno določevanje kemijske sestave preiskovanih materialov. Vrščični elektronski mikroskop JSM-7600F je opremljen tudi s sistemom za detekcijo povratno-sipanih elektronov (EBSD) in z elektronsko litografijo. Mikroskop Verios 4G HP omogoča opazovanje morfologije vzorcev, ki so občutljivi na dozo elektronov ter opazovanje vzorcev v presevnem načinu (STEM).

- Mikroskop Quanta 650 omogoča opazovanje večjih, prevodnih ali neprevodnih vzorcev.
- Presevna elektronska mikroskopija ponuja celovit vpogled v strukturo preiskovanega materiala v nanometrskem merilu (atomarna raven). Omogoča strukturne in kemijske preiskave mej med zrni in študijo raznih vključkov, določitev planarnih napak in dislokacij v materialih. Presevni elektronski mikroskop JEM-2100 je opremljen z energijsko-disperzijskim spektrometrom (EDXS) in kamero CCD, medtem ko je mikroskop JEM-2010F tudi vrščični presevni elektronski mikroskop (STEM), dodatno opremljen s kamero CCD, spektrometrom EDXS in spektroskopijo izgub energije elektronov (EELS). Na presevnih elektronskih mikroskopih je možno izvajati tudi *in-situ* poskuse (segrevanje in hlajenje vzorcev, opazovanje reakcij v tekočinah in zasledovanje elektrokemijskih reakcij, kar vse omogočajo posebne izvedbe nosilcev za vzorce).
- Center upravlja še nujno potrebno opremo za izdelavo in pripravo vzorcev SEM in TEM.

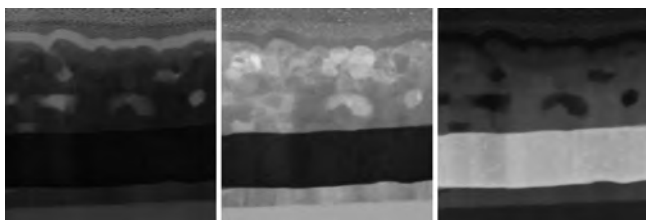
Za delovanje centra skrbi ustrezno usposobljeno osebje. Med njegove dejavnosti spada izvajanje storitev za zunanje naročnike, uvajanje novih analitskih tehnik elektronske mikroskopije, izobraževanje novih operaterjev na opremi CEMM ter organiziranje strokovnih delavnic in srečanj na temo elektronske mikroskopije. Center izvaja tudi akcije za popularizacijo področja elektronske mikroskopije v okviru obiskov, ki jih organizira IJS, ter prek objav v klasičnih in digitalnih medijih.

Primeri mikrostrukturnih in nanostrukturnih analiz materialov, opravljenih na opremi CEMM

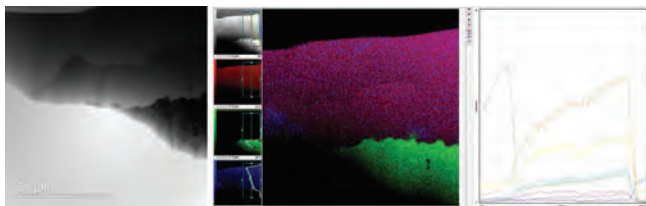
Primere uporabe različnih tehnik elektronske mikroskopije pri strukturni in kemijski karakterizaciji materialov so prispevali operaterji odsekov IJS in zaposleni v CEMM.

1. Analiza plasti $0.5(\text{Ba}_{0.8}\text{Ca}_{0.2})\text{TiO}_3-0.5\text{Ba}(\text{Zr}_{0.1}\text{Ti}_{0.9})\text{O}_3$ na podlagi Pt/TiO₂/SiO₂/Si

STEM-slika, posneta z vrščičnim elektronskim mikroskopom Verios G4 HP, od leve proti desni: način svetlega polja, temnega polja in slika HAADF (Katarina Žiberna, K5, Jitka Hreščak, CEMM, SEM Verios G4 HP).



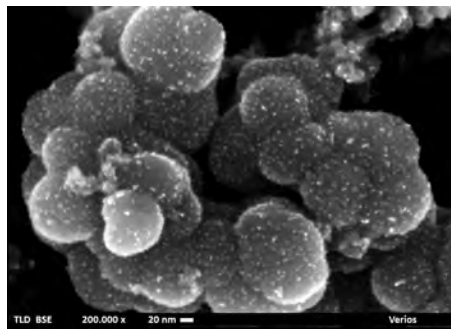
Slika 6: STEM-posnetek od leve proti desni: način svetlega polja, temnega polja in slika HAADF (Katarina Žiberna, K5, Jitka Hreščak, CEMM, SEM Verios G4 HP).



Slika 8: (levo) TEM-slika plasti ZrO₂ in porcelana (levo), (sredina, desno) EDS-spekter prek difuzijske plasti (Drev S., CEMM, Jeol-ARM200CF)

2. Analiza nanodelcev Pt na ogljikovih nanosferah

V vrščičnem elektronskem mikroskopu Verios 4G HP je bila opravljena analiza nanodelcev Pt na ogljikovih nanosferah pri 200.000-kratni povečavi (slika 7).



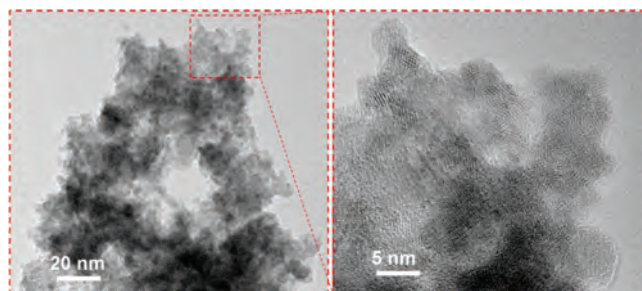
Slika 7: SEM-posnetek nanodelcev Pt na ogljikovih nanosferah (Zoran Samardžija, K7, Kristina Žagar Soderžnik, K7, SEM Verios G4 HP)

3. Študija difuzije kristaliničnega ZrO_2 v porcelanu po deformaciji

EDXS študija ZrO_2 in nanešene plasti porcelana. Vzorec je bil podvržen deformaciji, t. i. ukrivljanju pod pritiskom, kjer se je vzorec vidno deformiral. Študija temelji na predpostavki difuzije prenosa ZrO_2 v sosednjo plast porcelana ali difuziji porcelana v plast ZrO_2 (slika 8).

4. Nanokristalinične prevleke CeO_2

TEM-posnetka nanosa nanokristalinične prevleke CeO_2 prek magnetnih nanodelcev Fe_2O_3 (slika 9)

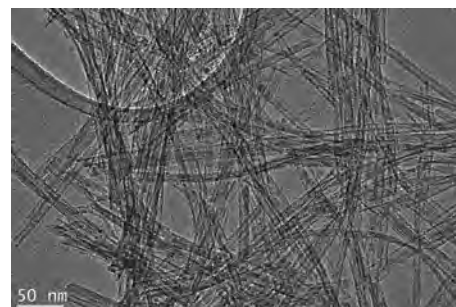


Slika 9: TEM-posnetka nanosa nanokristalinične prevleke CeO_2 (Darko Makovec, K8, JEM-2100)

5. Študija $H_2Ti_3O_7$ nanocevk (TiNT)

TEM-slika $H_2Ti_3O_7$ nanocevk (TiNT), ki so bile uporabljene v študiji doziranja antibiotika Flumekvin za uporabo v ribogojnicah. Notranji premer nanocevk je med 2 in 6 nm (povprečna vrednost 3,2 nm), zunanji pa med 6 in 13 nm (povprečna vrednost 8,3 nm) (slika 10).

Vir: BAATI, Tarek, BRAHIM, Mounir Ben, SALEK, Abir, SELMI, Mouna, NJIM, Leila, UMEK, Polona, AQUANE, Aicha, HAMMAMI, Mohamed, HOSNI, Karim. Flumequine-loaded titanate nanotubes as antibacterial agents for aquaculture farms. *RSC advances*, ISSN 2046-2069, 2022, vol. 12, iss. 10, str. 5953-5963, ilustr., doi: 10.1039/d1ra08533f. [COBISS. SI-ID 102359299], [JCR, SNIP, WoS do 27. 3. 2022: št. citatov (TC): 0, čistih citatov (CI): 0, Scopus do 24. 1. 2023: št. citatov (TC): 1, čistih citatov (CI): 1].



Slika 10: TEM-posnetek $H_2Ti_3O_7$ nanocevk (TiNT) (Polona Umek, F5, JEM-2100)

MEDNARODNA PROJEKTA

1. OE - EUROfusion; WP07: ENR-DeHydroc-1,2,3_OE-FU
European Commission
dr. Andreja Šestan Zavašnik
2. OE - EUROfusion; WP18: MAT_OE-FU, IREMEV-MAT-1_OE-FU, IREMEV-MAT-2_OE-FU, IREMEV-MAT-3_OE-FU
European Commission
dr. Andreja Šestan Zavašnik

PROJEKTI

1. Detekcija napak in vodika v kristalni rešetki s pomočjo ionskih metod v načinu kanaliziranja za fuzijo
dr. Andreja Šestan Zavašnik

2. Načrtovanje in razvoj DT-procesiranih Fe-Al zlitin s samotvornimi preprekami za prepustnost vodika za najzahtevnejša okolja
dr. Andreja Šestan Zavašnik
3. Zunanje storitve (tujina), elektronska mikroskopija in mikroanaliza, priprava vzorcev in mikroskopiranje
prof. dr. Miran Čeh

VEČJI NOVI POGODBENI DELI

1. BIO1-2020
Lek, d. d.
prof. dr. Miran Čeh
2. Karakterizacija primarne ovojnine, nagnjenost primarne ovojnine k delaminaciji stekla, karakterizacije kontaktnih in nekontaktnih materialov pri razvoju bioloških zdravil in karekrizacijo anorganskih in organskih delcev v prisotnih v bioloških formul
Lek, d. d.
prof. dr. Miran Čeh

SODELAVCI

Raziskovalci

1. prof. dr. Miran Čeh, znanstveni svetnik - vodja centra

Podoktorski sodelavci

2. dr. Sandra Drev

Mlajši raziskovalci

3. Andreja Šestan Zavašnik, univ. dipl. inž. kem. inž.
4. Aleksander Učakar, mag. inž. metal. in mater.

Strokovni sodelavci

5. Petra Drnovšek, dipl. graf. med. tehn. (VS)
6. dr. Jitka Hreščak

CENTER ZA PRENOS ZNANJA NA PODROČJU INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJ CT-3

Center za prenos znanja na področju informacijskih tehnologij izvaja izobraževalne, promocijske in infrastrukturne dejavnosti, ki povezujejo raziskovalce in uporabnike njihovih rezultatov. Z uspešnim vključevanjem v evropske raziskovalne projekte se center širi tudi na raziskovalne in razvojne dejavnosti, predvsem s področja upravljanja z znanjem v tradicionalnih, mrežnih in virtualnih organizacijah. Znotraj centra deluje UNESCO katedra o odprtih tehnologijah za prostodostopne izobraževalne vire, v okviru katere izvajamo različne dejavnosti na področju odprtega izobraževanja. Med drugim sodelujemo pri izvedbi magistrskega programa Vodenje in načrtovanje odprtega izobraževanja na Univerzi v Novi Gorici, v sodelovanju z MIZŠ pa smo v letu 2022 ponovno organizirali in izvedli nadaljnje izobraževanje in usposabljanje strokovnih delavcev v vzgoji in izobraževanju ter UNESCO posvet z rektorji visokošolskih institucij na temo prihodnosti visokošolskega izobraževanja. Tako na šolski kot na državni ravni smo spomladi izvedli 17. tekmovanje ACM iz računalništva in informatike. Ekipe videolectures.net (VLN) je letos sodelovala pri organizaciji več kot dvajsetih odmevnih tujih in domačih dogodkov, kot na primer Extended Semantic Web Conference (ESWC 2022), International Conference on Functional Programming (ICFP 2022) in 50. obletnica konference Medicina dela v sodelovanju z UKC Ljubljana.



Vodja:
mag. Mitja Jermol

Center se vključuje v številne mednarodne, EU in druge projekte v Sloveniji. V letu 2022 smo pod okriljem UNESCO že petič izvedli mednarodni mentorski program Odprto izobraževanje za boljši svet ter projekt OER Dinamična koalicija. Uspešno smo izvajali trinajst evropskih projektov, med katerimi so tudi številni projekti iz programa Obzorje: Horizon Elexis, CyberSANE, NAIADES, Infinittech, Factlog, A-Cinch, Star, Odeuropa, Erasmus+ QA Lead in Bridges, EnRichMyData, EU Japan in Evropska statistična nagrada.

Znotraj centra deluje UNESCO katedra o odprtih tehnologijah za prostodostopne izobraževalne vire, v okviru katere izvajamo različne dejavnosti na področju odprtega izobraževanja.

Odprto izobraževanje za boljši svet – mednarodni mentorski program

V letu 2022 smo že petič izvedli mednarodni mentorski program Odprto izobraževanje za boljši svet, ki ga vodita UNESCO katedra o odprtih tehnologijah za prosto dostopne izobraževalne vire ter odprto učenje v okviru Instituta "Jožef Stefan" in Univerze v Novi Gorici. Prejeli smo 62 prijavnin in organizirali delo v tematskih vozliščih; 3 regionalna vozlišča, in sicer Severna in Južna Amerika, Afrika, Slovenija; in sedem tematskih vozlišč – Računalništvo, Učenje prek spleta, Izobraževanje in pedagogika, Usposabljanje učiteljev, Trajnost in naravoslovne znanosti, Družbeni in pravni izzivi ter Mladinsko vozlišče.

Zaključni dogodek Open Education for Better World Eduscope 2022 je potekal v hibridni obliki med 20. in 22. septembrom 2022 v Dvorcu Lanthieri v Vipavi in prek spletne platforme MiTeam. Udeleženci programa so na konferenci predstavili izdelane odprte izobraževalne vire, ki so jih razvili med programom, v panelni razpravi pa so neposredno prejeli povratno informacijo o izdelkih s strani občinstva. Konferenca se je udeležilo 50 udeležencev v živo in 138 prek spleta, skupno 188 ljudi s 6 celin. Dogodek je sofinanciral William and Flora Hewlett Foundation. Konferenca je potekala skupaj s simpozijem BRIDGES, kjer je bilo predstavljenih 24 raziskovalnih in praktičnih prispevkov s področja odprtega izobraževanja.

Več o programu: <https://oe4bw.miteam.si/>

OER Dinamična koalicija

UNESCO projekt OER Dinamična koalicija (OER Dynamic Coalition) smo začeli izvajati leta 2022. Namen projekta je razvoj platforme, ki bo poleg

Center se vključuje v številne mednarodne, EU in druge projekte v Sloveniji. Leta 2022 smo pod okriljem UNESCO že petič izvedli mednarodni mentorski program Odprto izobraževanje za boljši svet ter projekt OER Dinamična koalicija. Uspešno smo izvedli trinajst evropskih projektov, med katerimi so tudi številni projekti iz programa Obzorje: Horizon Elexis, CyberSANE, NAIADES, Infinittech, Factlog, A-Cinch, Star, Odeuropa, Erasmus+ QA Lead in Bridges, EnRichMyData, EU Japan in Evropska statistična nagrada.



Slika 1: OE4BW Eduscope 2022: 20.–22. september 2022, Dvorec Lanthieri, Vipava. (Foto: Simon Marolt)

vsebine in upravljanja znanja ponudila možnosti komunikacije in mreženja. Skladno z načeli UNESCO priporočila o OER bomo na portalu zasledovali odprtost, večjezičnost in dostopnost. Portal bo na enem mestu povezal nacionalne, regionalne in globalne platforme ter mreže in s tem ustvaril dostopno točko za deljenje in promocijo znanja na področju odprtih izobraževalnih virov kot tudi dejavnosti in obstoječe ali nove pobude.

H2020 – CyberSANE

Projekt CyberSANE (CyberSecurity Incident Handling, Warning and Response System for the European Critical Infrastructures) se je začel v letu 2019, končal pa leta 2022. Namen projekta je bil povečanje varnosti in odpornosti kritične evropske informacijske infrastrukture (CII). V okviru projekta smo razvili platformo CyberSANE, ki varnostnim strokovnjakom v organizacijah pomaga pri obravnavi kibernetških incidentov. Platforma je sestavljena iz več komponent, IJS pa je bil v okviru projekta odgovoren za razvoj komponente DarkNET, ki omogoča zajem in analizo strukturiranih in nestrukturiranih podatkov iz t. i. temnega spleta (angl. dark web) in iz medijskih zapisov. Komponenta DarkNET zajete podatke semantično analizira in iz njih izlušči relevantne informacije o kibernetških incidentih. Ti podatki varnostnim analitikom omogočajo vpogled v globalno stanje kibernetške kriminalitete, pa tudi zaznavanje kibernetških groženj na temnem spletu in med novicami. V letu 2022 je bil razvoj platforme končan in uspešno preizkušen v treh pilotnih testih.

V okviru projekta je bila pod prosto licenco izdana tudi knjiga *Crash course on cybersecurity: a manual for surviving in a networked world*. Knjiga poskuša na razumljiv način razložiti kompleksno področje kibernetške varnosti, izpostavlja ključne informacije o tem, kako zaščititi sebe in/ali svoje podjetje pred kibernetškimi napadi ter podaja tehnološko nevtralne nasvete za izvedbo zaščite pred kibernetškimi napadi.

H2020 – Infinitech

Namen evropskega projekta H2020 Infinitech (Prikrojena testna okolja in peskovniki interneta stvari in masovnih podatkov za pametne, avtonomne in prilagojene storitve v evropskem ekosistemu finančnih in zavarovalniških storitev) je lažja implementacija in uporaba t. i. Fintech inovacij (BigData/IoT/umetna inteligenca) ter povečanje skladnosti s predpisi v finančnem in zavarovalniškem sektorju. Skupaj z Odsekom za umetno inteligenco (E3) sodelujemo v pilotu, kjer smo s sodelovanjem Banke Slovenije razvili platformo za izboljšanje učinkovitosti obstoječih nadzornih dejavnosti na področju pranja denarja in boja proti financiranju terorizma (AML/CTF). INFINITECH je vzpostavil tudi tržno platformo, ki omogoča dostop do projektnih rešitev, skupaj z virtualiziranim digitalnim inovacijskim vozliščem (VDIH), ki podpira FinTech/Insurance Tech inovatorje.

H2020 Erasmus+: Bridges

Kot partnerji sodelujemo pri projektu Bridges, Premostitev izrednih razmer v izobraževanju z digitalno pedagogiko, ki je projekt Erasmus +. V okviru projekta smo izvedli raziskovalne intervjuje s pedagogi na področju visokošolskega izobraževanja o potrebah dodatnega usposabljanja s področja odprtega izobraževanja in izobraževanja na daljavo. Skupaj s partnerji smo pripravili sklop izobraževalnih videovsebin, pri čemer je sodelovala ekipa Videolectures.NET. V sklopu dogodka Eduscope 2022 smo organizirali tudi simpozij projekta Bridges, v okviru katerega je bilo predstavljenih 20 raziskovalnih in praktičnih prispevkov s področja odprtega izobraževanja in izobraževanja na daljavo.

H2020 – EU-Japan.AI

Cilj projekta EU-Japan.AI je bil vzpostaviti in spodbuditi dolgoročno sodelovanje med EU in Japonsko na področju inovacij rabe umetne inteligence v proizvodnji in digitalni industriji. V okviru projekta smo tako razvili spletno platformo, prek katere so dostopne vse relevantne informacije o uporabi umetne inteligence v proizvodnji v EU in na Japonskem ter prek katere se lahko povezujejo vsi relevantni deležniki iz obeh regij.

V okviru projekta smo zbrali podatke o dogodkih, projektih, organizacijah in priložnostih za financiranje projektov na področju umetne inteligence v proizvodnji v EU in na Japonskem. IJS je v okviru projekta razvil tudi t. i. AI Observatorij, ki prikazuje različne analize in vizualizacije znanstvenih publikacij s področja umetne inteligence, medijskih poročil o dogodkih, povezanih z umetno inteligenco, analizo trga delovnih mest in povpraševanja po veččinah na področju umetne inteligence, analizo EU raziskovalnih projektov ter odprtih projektov, povezanih z umetno inteligenco. Pripravili smo tudi poročilo, v katerem smo predstavili analizo investicij v tehnologije umetne inteligence ter vizualizacijo in analizo javnih politik umetne inteligence. Za objavo na spletni platformi pa smo pripravili tudi več člankov o priložnostih in pasteh uporabe umetne inteligence v praksi.

Evropska statistična nagrada

Skupaj z Laboratorijem za umetno inteligenco (E3) smo leta 2022 sodelovali pri izvedbi sklopa tekmovanj s področja napovedovanja trenutnih dogodkov (nowcasting) in spletne inteligence (web intelligence), pri čemer

smo skrbeli za promocijo in vizualno podobo obeh tekmovanj. Glavni cilj je odkriti obetavne metodologije in vire podatkov, ki bi jih lahko uporabili za izboljšanje priprave evropske statistike. Novi pristopi, ki temeljijo na naprednem modeliranju (po možnosti z uporabo alternativnih informacij, skoraj v realnem času), imajo velik potencial, da nam dajo natančne ocene ključnih kazalnikov veliko hitreje kot v preteklosti. V okviru programa, ki bo trajal do konca leta 2025, načrtujemo tri izvedbe tekmovanj s področja napovedovanja trenutnih dogodkov (nowcasting) in štiri izvedbe tekmovanj s področja spletne inteligence (web intelligence).

ACM tekmovanje iz računalništva in informatike

Leta 2022 nam je po dveh letih virtualnih izvedb tekmovanja končno omogočilo izvedbo v živo. Tako smo državno stopnjo 17. tekmovanja ACM iz računalništva in informatike izvedli zadnjo marčevsko soboto v prostorih Fakultete za računalništvo in informatiko Univerze v Ljubljani. V panogi programiranje je tekmovalo 125 dijakov in dijakinj iz 27 srednjih šol, v panogi izdelava spletnih aplikacij je tekmovalo 12 dijakov, izziv v off-line nalogi je sprejelo 8 tekmovalcev. V izdelavi izobraževalnih videoposnetkov so se pomerili 4 osnovnošolski prispevki in 14 srednješolskih prispevkov. V panogi programiranje smo podelili 52 srebrnih in 7 zlatih priznanj, medtem ko smo na šolskih tekmovanjih, ki so potekala januarja po šolah, podelili 88 bronastih priznanj. Kot vsako leto smo tudi tokrat najboljšim tekmovalcem v vsaki panogi podarili praktične nagrade.

Rezultati celotnega tekmovanja so dostopni na spletni strani: <https://rtk.ijs.si/2022/rezultati.html>.

Videolectures.net (VLN)

Videolectures.net (VLN) trenutno ponuja več kot 30.000 posnetkov različnih znanstvenih dogodkov. Glavni namen videoportala je zagotoviti brezplačna in odprtodostopna videopredavanja uglednih znanstvenikov in strokovnjakov z najbolj aktualnih dogodkov. Videolectures.net predstavlja brezplačno središče znanja s spletnim izobraževanjem, dostopnim vsem. Cilj VLN je deliti izobraževalne vsebine in promovirati znanost ter občinstvu omogočiti učenje in globalno povezovanje.

Leta 2022 smo sodelovali z več kot 20 slovenskimi institucijami iz javnega in zasebnega sektorja, ki smo jim ponudili tehnično podporo in pomoč pri organizaciji dogodkov. V tujini in doma smo sodelovali z organizatorji številnih priznanih konferenc, ki so bile večinoma izpeljane v hibridni obliki – na fizični lokaciji in na spletu. Od ustvarjanja promocijskih videoposnetkov, učnih gradiv, delavnic, intervjujev do projektov razširjanja EU smo omogočili številne dogodke o več kot 30 najbolj aktualnih in za naše uporabnike najbolj zanimivih temah. Od snemanja fizičnih lokacij do zagotavljanja tehnične podpore številnim organizatorjem dogodkov smo sodelovali s številnimi platformami, kot so Zoom, AirMeet itd. Upoštevajoč tehnične smernice in najbolj aktualne tematike smo objavili številne mednarodne in državne konference ter dogodke, za katere smo zagotovili tudi ustrezna soglasja in omogočili zanesljivost pripravljenih videovsebin.

Nekateri izmed najodmevnejših dogodkov, ki smo jih izpeljali in objavili v letu 2022, so bili: ESWC 2022 – Extended Semantic Web Conference, ISWC 2022 – International Semantic Web Conference, ICFP 2022 – International Conference on Functional Programming, Elexis 2022, Euralex 2022, SIKDD2022, ISOFOOD 2022 itd.

Sodelovali smo tudi s številnimi prepoznavnimi domačimi in tujimi institucijami, kot so:

- UKC (Klinični center Ljubljana) – sodelovanje pri organizaciji 50. obletnice konference Medicina dela,
- Digitalno inovacijsko središče Slovenije in Služba Vlade RS za digitalno preobrazbo – sodelovanje pri organizaciji konference Ženske za digitalizacijo,
- Ministrstvo za visoko šolstvo, znanost in inovacije – sodelovanje pri organizaciji konference ERA Co BioTech,
- Univerza v Novi Gorici – sodelovanje pri organizaciji konference Eduscope 2022 (projekt Odprto izobraževanje za boljši svet),
- Avstrijska akademija znanosti (nemško Österreichische Akademie der Wissenschaften, kratica ÖAW), Dunaj, Avstrija,
- Singular Logic, Atene, Grčija,
- Universitat Politècnica de Valencia, Valencija, Španija.

Od 21. do 26. marca 2022 smo v živo prenašali dogodke ob 31. Dnevh Jožefa Stefana. Uspešno smo sodelovali z IJS Oddekom za znanosti o okolju (O2), še posebej pri organizaciji in izvedbi spletnih mesečnih spletnih seminarjev MetroFood (Infrastruktura za spodbujanje meroslovja v hrani in prehrani).

Nadaljevali smo tudi sodelovanje pri evropskih projektih, kot sta Erasmus+ QA Lead in Bridges, ter gojili dolgoročna partnerstva s Fakulteto za arhitekturo Univerze v Ljubljani, Univerzo v Novi Gorici, prenašali serijo predavanj Znanost na cesti, Pozitivna psihologija ter predavanja za šole in starše. Začeli smo snemati literarne večere s knjižnicami po Sloveniji, nadaljevali snemanje dogodkov na Inštitutu za biologijo in Kemijskem inštitutu v Ljubljani.

Skupaj z univerzo SNDT Women's University of Mumbai, institucijo NCERT – National Council of Educational Research and Training, Digital Infrastructure for knowledge sharing (DIKSHA) in indijskim ministrstvom za

izobraževanje smo uspešno sodelovali pri gostovanju več kot 10.000 izobraževalnih videoposnetkov za osnovno- in srednješolsko izobraževanje, ki temeljijo na spletnem učenju kot del odprtega izobraževanja za boljši svet.

Videopredavanja so služila za uspešno razširjanje številnih projektov ter za potrebe raziskovalnih dejavnosti in usposabljanja na našem centru.

MEDNARODNI PROJEKTI

- ERASMUS+: QALeAD - Opremljanje vodilnega osebja vizobraževanju za zagotavljanje kakovosti procesov
European Commission
mag. Mitja Ovsenek
- ERASMUS+: BRIDGES - Premostitev izrednih razmer v izobraževanju z digitalno pedagogiko
Agenzia nazionale Erasmus+ INDIRE
mag. Anja Polajnar
- COST CA19142; Vodilna platforma za evropske državljanke, industrije, akademijo in oblikovalce politik na področju dostopnosti medijev
COST Association AISBL
Davor Orlič, univ.dipl.prevajalec
- H2020 - NAIADES; Celovit vodni ekosistem za digitalizacijo urbanega vodnega sektorja
European Commission
mag. Mitja Jermol
- H2020 - CyberSANE; Sistem za zaščito, opozarjanje in odzivanje na področju kibernetike varnosti za evropske ključne infrastrukture
European Commission, the Directorate-General
mag. Mitja Jermol
- H2020 - INFINITECH; Prikrojena testna okolja in peskovniki interneta stvari in masovnih podatkov za pametne, avtonomne in prilagojene storitve v evropskem ekosistemu finančnih in zavarovalniških storitev
European Commission
mag. Mitja Jermol
- H2020 - FACTLOG; Energetsko ozaveščena tovarniška analitika za procesno industrijo
European Commission
mag. Mitja Jermol
- H2020 - A-CINCH; Razširjeno sodelovanje pri izobraževanju in usposabljanju na področju jedrske in radiokemije
European Commission
Mihajela Črnko, dipl. prav. (UN)
- H2020 - STAR; Varna zaupanja vredna in na človeka osredotočena umetna inteligenca v proizvodnih linijah prihodnosti
European Commission
mag. Mitja Jermol
- H2020 - ODEUROPA; Uveljavitev olfaktornih in senzoričnih izkušenj v raziskavah kulturne dediščine
European Commission
mag. Mitja Jermol
- H2020 - EU-Japan.AI; Spodbujanje sodelovanja in izmenjave znanja med EU in Japonsko za inoivacije v proizvodnji, ki jih vodi umetna inteligenca
European Commission
mag. Mitja Jermol
- H2020 - ELEXIS; Evropska likesikografska infrastruktura
European Commission
mag. Mitja Jermol
- Dynamic Coalition; Portal dinamične koalicije OER
UNESCO
mag. Mitja Jermol

PROJEKTI

- Snemanje predavanj in obdelava podatkov
mag. Mitja Jermol
- Organizacija tekmovanja za Evropsko statistične nagrade za spletno inteligenco - LOT 1
European Commission
mag. Anja Polajnar
- Upravljanje evropskih statističnih nagrad za napovedovanje trenutkov - LOT 2
European Commission
mag. Anja Polajnar
- TIDES: Connect AI
Tides Foundation
mag. Mitja Jermol

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJH

- Mitja Jermol, sestanek glede partnerstva in sodelovanja pri prijavi novega EU projekta na Horizon Europe, Vipava, Slovenija, 18. 10. 2022
- Mitja Jermol, udeležba na dogodku Global AI Summit, Riad, Savdska Arabija, 12. 9.-17. 9. 2022
- Mitja Jermol, udeležba na dogodku Bled Forum, Bled, Slovenija, 29. 8.-30. 8. 2022
- Mitja Jermol, sestanek s TEŠ za nov EU projekt, Šoštanj, Slovenija, 3. 8. 2022
- Mitja Jermol, obisk Uzbekistana s slovensko delegacijo in predavanje na konferenci o digitalizaciji pravnih in sodnih dejavnosti, Tashkent, Uzbekistan, 14. 6.-19. 6. 2022
- Mitja Jermol, predavanje na dogodku Analysts Conference, part of the EU-US Trade and Technology Council, Bruselj, Belgija, 8. 6.-10. 6. 2022
- Mitja Jermol, sestanki za pripravo novih projektnih predlogov, Atene, Grčija, 11. 5.-13. 5. 2022
- Mitja Jermol, obisk Uzbekistana s slovensko delegacijo in predavanje na dogodku *International conference on combating offenses in the field of digital technologies and issues of organizational and legal support of information security*, Tashkent, Uzbekistan, 3. 4.-10. 4. 2022
- Mitja Jermol, udeležba na slavnostnem dogodku Podpis sporazuma o partnerstvu med SDP in NVIDIA corporation, Maribor, Slovenija, 18. 2. 2022
- Matej Kovacič, razstava izdelkov MyMachine, Ajdovščina, Slovenija, 24. 5.-25. 2. 2022
- Adis Krečo, snemanje SRIP TOP predavanja Innovation day, Ljubljana, Slovenija, 13. 12. 2022
- Adis Krečo, snemanje predstavitev NIB in pogovora z uglednimi strokovnjaki, raziskovalci in zdravniki, Ljubljana, Slovenija, 5. 12. 2022
- Adis Krečo, snemanje ASEF predavanj na SAZU, Ljubljana, Slovenija, 17. 11. 2022
- Adis Krečo, snemanje dogodka Znanstveni večer, Vipava, Slovenia, 9. 11. 2022
- Adis Krečo, snemanje predavanja Črne luknje in holografija, Ljubljana, Slovenija, 13. 10. 2022
- Adis Krečo, snemanje 6. maratona pozitivne psihologije, Maribor, Slovenija, 1. 10.-2. 10. 2022
- Adis Krečo, snemanje dogodka Znanost na cesti, Ljubljana, Slovenija, 21. 9. 2022
- Adis Krečo, snemanje dogodka po naročilu NIB, Pirana, Slovenija, 26. 8. 2022
- Adis Krečo, snemanja za projekt A-CINCH, Podgorica pri Ljubljani, Slovenija, 27. 7.-28. 7. 2022
- Adis Krečo, snemanje dogodka Znanstveni večer, Vipava, Slovenija, 9. 6. 2022
- Adis Krečo, snemanje dogodka Znanstveni večer, Vipava, Slovenija, 19. 5. 2022
- Adis Krečo, snemanje konference ESWC 2022, Heraklion, Grčija, 27. 5.-3. 6. 2022
- Adis Krečo, snemanje predavanj Cikel pozitivna psihologija, Hrovači pri Ribnici, Slovenija, 15. 4. 2022
- Monika Kropce, udeležba na delavnici AI in/for Society, Cerklje, Slovenija, 24. 10.-26. 10. 2022
- Simon Marolt, snemanje dogodka 7. simpozij slovenskih raziskovalcev v tujini, Ljubljana, Slovenija, 21. 12.-23. 12. 2022
- Simon Marolt, snemanje dogodka Tehnologije umetne inteligence za Metaverse aplikacije, Ljubljana, Slovenija, 20. 12. 2022
- Simon Marolt, snemanje dogodka Alternativne tehnologije hlajenja na osnovi kaloričnih učinkov v trdninah, Slovenija, 15. 12. 2022
- Simon Marolt, snemanje 4. posveta platforme znanja Reforma sistema ocenjevanja raziskav, raziskovalcev in raziskovalnih institucij, Ljubljana, Slovenija, 13. 12. 2022
- Simon Marolt, snemanje in prenašanje dogodka Znanost na cesti v živo, Ljubljana, Slovenija, 16. 11. 2022
- Simon Marolt, snemanje dogodka Informativni dan za digitalno področje Grozda 4 in Evropskega inštituta za inovacijo in tehnologijo v programu Obzorja Evropa, Ljubljana, Slovenija, 16. 11. 2022
- Simon Marolt, snemanje dogodka Znanost na cesti, Kranj, Slovenija, 15. 11. 2022
- Simon Marolt, snemanje dogodka Frankfurt po Frankfurtu, Ljubljana, Slovenija, 10. 11. 2022
- Simon Marolt, snemanje delavnice v okviru EU projekta Odeuropa, Ljubljana, Slovenija, 7. 11. 2022
- Simon Marolt, snemanje ISWC 2022, Ljubljana, Slovenija, 22. 10.-23. 10. 2022
- Simon Marolt, snemanje predavanja Znanost na cesti, Ljubljana, Slovenija, 19. 10. 2022
- Simon Marolt, snemanje javnega predavanja Prva fotografija črne luknje, Ajdovščina, Slovenija, 13. 10. 2022

37. Simon Marolt, snemanje dogodka ob 30. obletnici slovenske nacionalne komisije za UNESCO, Bohinj, Slovenija, 6. 10.–7. 10. 2022
38. Simon Marolt, snemanje pogovora Literarno ozvezdje, Kranj, Slovenija, 5. 10. 2022
39. Simon Marolt, snemanje dogodka Eduscope 2022 (OE4BW), Vipava, Slovenija, 19. 9.–21. 9. 2022
40. Simon Marolt, snemanje 3. posveta Platforme znanja Inovacijski ekosistem: Od silosov do sodelovanja, Ljubljana, Slovenija, 21. 9.–22. 9. 2022
41. Simon Marolt, snemanje konference IFCP 2022, Ljubljana, Slovenija, 10. 9.–16. 9. 2022
42. Simon Marolt, snemanje dogodka po naročilu NIB, Piran, Slovenija, 26. 8. 2022
43. Simon Marolt, snemanje na Morski biološki postaji Piran, Piran, Slovenija, 26. 8. 2022
44. Simon Marolt, snemanje dogodka IASWS, Piran, Slovenia, 12. 6.–15. 6. 2022
45. Simon Marolt, snemanje prispevka o Downovem sindromu, Sostro, Slovenija, 25. 5. 2022
46. Simon Marolt, snemanje dogodka ob 50. obletnici Kliničnega centra, Ljubljana, Slovenija, 18. 5. 2022
47. Simon Marolt, snemanje konference ESWC 2022, Heraklion, Grčija, 27. 5.–3. 6. 2022
48. Simon Marolt, snemanje dogodka ELEXIS SHOWCASE EVENT, ELEXIS from A to omega, Firenze, Italija, 6. 6.–9. 6. 2022
49. Simon Marolt, snemanje predavanja Genetsko zdravljenje raka z uporabo elektroporacije, Vipava, Slovenija, 14. 4. 2022
50. Simon Marolt, snemanje dogodka Literarno ozvezdje, Kranj, Slovenija, 16. 3. 2022
51. Simon Marolt, snemanje dogodka Ljubezen v pismih, Nova Gorica, Slovenija, 16. 2. 2022
52. Simon Marolt, snemanje dogodka Slovesnost ob inavguraciji novega rektorja Univerze v Novi Gorici prof. dr. Boštjana Goloba, Vipava, Slovenija, 2. 2. 2022
53. Matija Ovsenek, pridobitev OER video vsebin za vključitev na Videlectures prenovljeni portal na več različnih organizacijah in sestanki za nova sodelovanja, organizacijo dogodkov, snemanja, New Delhi, Mumbai, Indija, 5. 11.–18. 11. 2022
54. Matija Ovsenek, udeležba na delavnici AI in/for Society, Cerkno, Slovenija, 25. 10.–26. 10. 2022
55. Matija Ovsenek, dogovori za nadaljnje sodelovanje in prevajanje podnapisov, Barcelona, Valencija, Španija, 19. 10.–23. 10. 2022
56. Matija Ovsenek, snemanje predavanja ACDH-CH, Dunaj, Avstrija, 4. 10.–5. 10. 2022
57. Matija Ovsenek, organizacija in sodelovanje na dogodku Eduscope 2022 (OE4BW), Vipava, Slovenija, 20. 9.–23. 9. 2022
58. Matija Ovsenek, snemanje konference IFCP 2022, Ljubljana, Slovenija, 10. 9.–16. 9. 2022
59. Matija Ovsenek, snemanje dogodka EURALEX 2022, Mannheim, Nemčija, 11. 7.–17. 7. 2022
60. Matija Ovsenek, snemanje dogodka IASWS, Piran, Slovenija, 12. 6.–15. 6. 2022
61. Matija Ovsenek, snemanje prispevka o Downovem sindromu, Sostro, Slovenija, 24. 5. 2022
62. Matija Ovsenek, snemanje konference ESWC in konference CEMEPE, Heraklion, Mikonos, Grčija, 27. 5.–6. 10. 2022
63. Matija Ovsenek, snemanje na sestanku EU projekta Erasmus + Bridges, Barcelona, Španija, 27. 4. 2022–3. 5. 2022
64. Matija Ovsenek, snemanje dogodkov za potrebe VLN, Kranj, Ljubljana, Slovenija, 8. 3.–9. 3. 2022
65. Matija Ovsenek, snemanje prispevkov za Stefanove dneve, Velenje, Slovenija, 18. 2. 2022
66. Matija Ovsenek, snemanje prispevkov za Stefanove dneve, Logatec, Slovenija, 15. 2. 2022
67. Anja Polajnar, udeležba na delavnici AI in/for Society delavnici, Cerkno, Slovenija, 24. 10.–26. 10. 2022
68. Anja Polajnar, organizacija in sodelovanje na dogodku Eduscope 2022 (OE4BW), Vipava, Slovenija, 19. 9.–23. 9. 2022
69. Anja Polajnar, sestanki za izvedbo dogodka EDUSCOPE 2022, Vipava, Slovenija, 6. 9. 2022
70. Anja Polajnar, udeležba na sestanku EU projekta Erasmus + Bridges, Barcelona, Španija, 27. 4.–30. 4. 2022
71. Joshua Toby Royal, udeležba na simpoziju Breath-holding symposium Lignano Sabbiadoro, Lignano, Italija, 9. 12. 2022
72. Joshua Toby Royal, meritve, Planica, Slovenija, 1. 8. 2022
73. Joshua Toby Royal, prevoz opreme, Planica, Slovenija, 6. 7. 2022
74. Kim Sevšek, pridobitev OER video vsebin za vključitev na Videlectures prenovljeni portal na več različnih organizacijah in sestanki za nova sodelovanja, organizacijo dogodkov, snemanja, New Delhi, Mumbai, Indija, 5. 11.–18. 11. 2022
75. Kim Sevšek, organizacija in sodelovanje na Eduscope 2022 (OE4BW), Vipava, Slovenija, 19. 9.–23. 9. 2022
76. Špela Sitar, udeležba na dogodku Dnevi poslovnih sekretark in sekretarjev, Podčetrtek, Slovenija, 13. 10.–14. 10. 2022
77. Špela Sitar, organizacija in sodelovanje na Eduscope 2022 (OE4BW), Vipava, Slovenija, 19. 9.–23. 9. 2022
78. Špela Sitar, sestanki za izvedbo dogodka EDUSCOPE 2022, Vipava, Slovenija, 6. 9. 2022
79. Tanja Drakšler Zdošek, udeležba na srečanju ERN ITHACA (European reference networks for rare and complex diseases), Budimpešta, Madžarska, 7. 12.–11. 12. 2022
80. Tanja Zdošek Drakšler, sodelovanje na seminarju za mentorje v družinski medicini, Ljubljana, Slovenija, 11. 11. 2022
81. Tanja Zdošek Drakšler, udeležba na delavnici AI in/for Society, Cerkno Slovenija, 24. 10.–26. 10. 2022
82. Tanja Zdošek Drakšler, sestanek glede partnerstva in sodelovanja pri prijavi novega EU projekta na Horizon Europe, Vipava, Slovenija, 18. 10. 2022
83. Tanja Zdošek Drakšler, predavanje na dogodku Na krilih podatkov, Ljubljana, Slovenija, 30. 5. 2022
84. Tanja Zdošek Drakšler, predavanje na dogodku 31. posvet Medicina, pravo in družba, Maribor, Slovenija, 25. 3. 2022

SODELAVCI

Mlajši raziskovalci

1. Anja Polajnar, mag. znanosti

Strokovni sodelavci

2. **mag. Mitja Jermol, vodja samostojnega centra**
3. dr. Matej Kovačič
4. Simon Marolt, inž. mep.
5. dr. Tanja Zdošek Drakšler

Tehniški in administrativni sodelavci

6. Aleš Buh
7. Ana Fabjan, dipl. multimed. prod. (VS)
8. Adis Krečo, prof. fil. in soc.
9. Monika Kropelj, univ. dipl. kult.
10. Matija Ovsenek
11. Kim Sevšek, dipl. org. (UN)
12. Špela Sitar, univ. dipl. inž. živ. tehnol.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Javna agencija za raziskovalno dejavnost RS, Ljubljana, Slovenija
2. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, Ljubljana, Slovenija
3. Ministrstvo za zunanje in evropske zadeve, Ljubljana, Slovenija
4. Univerza v Novi Gorici, Nova Gorica, Slovenija
5. Fakulteta za računalništvo in informatiko, Ljubljana, Slovenija
6. UNESCO, Pariz, Francija
7. William & Flora Hewlett Foundation, Menlo Park, Kalifornija, ZDA
8. Univerza SNDT Women, Mumbai, Indija
9. Univerza Nelson Mandela, Port Elizabeth, Južna Afrika
10. Univerza v Foggi, Italija
11. Založba Editorial Octaedro, Barcelona, Španija
12. Univerza Brasilia, Brasilia, Brazilija

IZOBRAŽEVALNI CENTER ZA JEDRSKO TEHNOLOGIJO MILANA ČOPIČA ICJT

Poslanstvo Izobraževalnega centra za jedrsko tehnologijo Milana Čopiča (ICJT) je izobraževanje o jedrskih tehnologijah in varstvu pred sevanji ter informiranje javnosti o teh dejavnostih.

Začetek leta 2022 je bil še vedno v znamenju epidemije covid-19. Usposabljanja in informativno dejavnost (obiske šolskih skupin) smo izvajali z upoštevanjem zaščitnih ukrepov – maske, prezračevanje, razkuževanje rok, omejeno število udeležencev in povečan razmik med mizami. Ponosni smo, da nismo imeli niti enega primera prenosa okužbe med izobraževalnim procesom na ICJT.

Usposabljanje na področju jedrskih tehnologij je naša primarna dejavnost. Tečaj Tehnologija jedrskih elektrarn (TJE) je začetek usposabljanja bodočih operaterjev jedrske elektrarne Krško in je potekal od septembra 2021 do februarja 2022. Spomladi (maja in junija) smo izvedli tečaj Osnove tehnologije jedrskih elektrarn (OTJE). Poleg teh, že uveljavljenih tečajev smo imeli še štiri tečaje za URSJV (2 tečaja Izbrane vsebine TJE, Osnove jedrske tehnologije in Radioaktivni odpadki).

Na področju varstva pred sevanji smo imeli 26 tečajev za medicinsko, industrijsko in raziskovalno uporabo virov ionizirajočega sevanja, poleg tega pa še 3 tečaje o uporabi merilnikov sevanja v zbirnih centrih.

V sodelovanju z Odsekom za reaktorsko fiziko in RIC smo organizirali štiri mednarodne tečaje.

Informiranje javnosti ostaja zelo pomemben del naših dejavnosti. V začetku leta je potekalo še deloma prek videokonferenčnega sistema, pozneje pa so bili večinoma obiski v živo. Poslušalci so lahko izbirali med predavanji o elektriki iz jedrske elektrarne, virih elektrike v Sloveniji, o fuziji, o izotopih, o energiji na splošno ter o uporabi sevanj v industriji, medicini in znanosti. V letu 2022 smo dodali še predavanje o varnosti jedrskih elektrarn. Za otroke nižjih razredov osnovne šole pa smo pripravili delavnico o energiji. Obiskalo nas je 97 skupin s skupno 4002 udeležencema. Od leta 1993 si je naš informacijski center ogledalo 196.707 učencev, študentov, učiteljev in drugih obiskovalcev. Poleti 2022 smo v stavbi vgradili dvigalo, ki bo omogočalo obisk invalidov, hkrati pa se je začela temeljita obnova stalne razstave o jedrski energiji. Še naprej smo spremljali in analizirali medijske objave na temo jedrske energije.



Vodja:
dr. Igor Jenčič

V letu 2022 so se začela obsežna gradbena dela v stavbi Šolskega centra, ki vključujejo vgradnjo dvigala in temeljito prenovo stalne razstave o jedrski energiji.



Slika 2: Praktične vaje na tečaju Osnove tehnologije jedrskih elektrarn



Slika 1: Delavnica o radioaktivnosti na dnevu odprtih vrat IJS



Slika 3: Tečajniki med pisnim izpitom na tečaju Osnove tehnologije jedrskih elektrarn, junij 2022

Tečaji v Izobraževalnem centru za jedrsko tehnologijo v letu 2022

Datum	Naslov tečaja	Število udeležencev	Število predavateljev	Tednov	Tečajnik tednov
(13. 9. 21)–4. 2.	Tehnologija jedrskih elektrarn – teorija	12	18	5	60
(15. 12. 21)–14. 1.	Osnove tehnologije jedrskih elektrarn, sistemi	7	8	2	14
19.–21. 1.	Usposabljanje delavcev v organizacijskih enotah varstva pred sevanji (RZ1) – obnovitev	4	3	0,6	2,4
28. 1.	Izobraževanje o energetski pismenosti	18	10	0,2	3,6
28. 2.–2. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje merjenja gostote in vlage cestišč	1	3	0,6	0,6
28. 2.–2. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje prenosne XRF-spektroskopije	9	3	0,6	5,4
28. 2.–4. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrijske radiografije	3	3	1	3
7.–8. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje odprtih virov III. razreda	2	4	0,4	0,8
7. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje kontrole prtljage in pošiljk	3	3	0,2	0,6
7. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti	8	3	0,2	1,6
10.–11. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrijske radiografije – obnovitev	6	3	0,4	2,4
10. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti – obnovitev	9	3	0,2	1,8
10. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje merjenja gostote in vlage cestišč – obnovitev	3	3	0,2	0,6
10. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje prenosne XRF-spektroskopije – obnovitev	7	3	0,2	1,4
10. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje odprtih virov III. razreda – obnovitev	3	4	0,2	0,6
23. 3.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje kontrole prtljage in pošiljk	8	2	0,2	1,6
7. 4.	Uporaba merilnikov za odkrivanje radioaktivnih virov v zbirnih centrih	5	0	0,2	1
12. 4.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti	10	2	0,2	2
19.–22. 4.	Osnove jedrske tehnologije	8	7	0,8	6,4
3. 5.–2. 6.	Osnove tehnologije jedrskih elektrarn, teorija	7	14	4,4	30,8
16.–20. 5.	Izbrane vsebine TJE 2022	7	5	1	7
23. 5.	Uporaba merilnikov za odkrivanje radioaktivnih virov v zbirnih centrih	2	1	0,2	0,4
2.–24. 6.	Osnove tehnologije jedrskih elektrarn, sistemi	7	8	3,4	23,8
13. 6.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti	6	2	0,2	1,2
21. 6.–1. 7.	Activities on nuclear instrumentation and research reactor within the framework of the MOBIL-APP project (A*Midex Project) for the virtual mobility period	9	6	1,8	16,2
28. 7.	Izračuni sredice ciklusa 33 glede na spremenjen konec ciklusa 32	3	1	0,2	0,6

Tečajji v Izobraževalnem centru za jedrsko tehnologijo v letu 2022

Datum	Naslov tečaja	Število udeležencev	Število predavateljev	Tednov	Tečajnik tednov
20. 9.	Uporaba merilnikov za odkrivanje radioaktivnih virov v zbirnih centrih	3	2	0,2	0,6
26.–30. 9.	Uppsala University Dedicated Practical Educational Course <i>Experimental reactor physics</i>	11	4	1	11
26.–28. 9.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje prenosne XRF-spektroskopije	4	3	0,6	2,4
26.–28. 9.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje merjenja gostote in vlage cestišč	1	3	0,6	0,6
26.–30. 9.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrijske radiografije	3	3	1	3
26.–28. 9.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje visokoaktivnih virov sevanja	1	3	0,6	0,6
3.–14. 10.	17 th EERRI Research Reactor Group Fellowship Training Course	11	14	2	22
3. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti	10	2	0,2	2
3.–4. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje odprtih virov III. razreda	2	3	0,4	0,8
6. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje prenosne XRF-spektroskopije – obnovev	3	3	0,2	0,6
6. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje odprtih virov III. razreda – obnovev	5	4	0,2	1
6. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti – obnovev	10	3	0,2	2
6.–7. 10.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrijske radiografije – obnovev	1	3	0,4	0,4
8.–10. 11.	Izbrane vsebine TJE 2022/2	6	2	0,6	3,6
11. 11.	Radioaktivni odpadki	22	3	0,2	4,4
18. 11.	Pulse experiment exercise for students	32	6	0,2	6,4
7. 12.	Varstvo pred ionizirajočimi sevanji za področje industrije in ostalih dejavnosti	10	2	0,2	2
14. 12.	Nadgradnja programov FAR in SHUFFLE v sklopu projekta suhega skladiščenja SFDS	1	2	0,2	0,2
Skupaj		303	187	33,6	253,4



Slika 4: Obisk z Ministrstva za finance na razstavi o jedrski tehnologiji v ICJT, marec 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **dr. Igor Jenčič, vodja centra**

Strokovni sodelavci

2. *Sara Gregl, mag. inž. el., odšla 1. 4. 2022*
3. mag. Matjaž Koželj, predavatelj svetnik ICJT
4. Urban Pompe, univ. dipl. fiz.
5. mag. Tomaž Skobe, predavatelj svetnik ICJT
6. Vesna Slapar Borišek, univ. dipl. fiz., vodilni predavatelj ICJT

Tehniški in administrativni sodelavci

7. Saša Bobič
8. mag. Matejka Južnik
9. Borut Mavec, viš. uprav. del.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. Aix-Marseille Université, Marseille, Francija
2. Gen energija, d. o. o., Krško, Slovenija
3. KC Ljubljana, Klinika za nuklearno medicino, Ljubljana, Slovenija
4. Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za jedrsko varnost, Ljubljana, Slovenija
5. Nuklearna elektrarna Krško, Krško, Slovenija
6. Onkološki inštitut, Ljubljana, Slovenija
7. Politecnico di Milano, Milano, Italija
8. Uppsala University, Department of Physics and Astronomy
9. Zavod RS za šolstvo, Ljubljana, Slovenija

SLUŽBA ZA VARSTVO PRED IONIZIRAJOČIM SEVANJEM

SVPIS

SVPIS se z meritvami ionizirajočega sevanja in varstva pred njim ukvarja že vse od izgradnje raziskovalnega reaktorja leta 1966. Osnovna naloga je izvajanje radiološkega nadzora vseh sevalnih dejavnosti na Institutu "Jožef Stefan". Z vidika nadzora sta najpomembnejša raziskovalni reaktor TRIGA MARK II in Objekt vroča celica (OVC), ki sta v okviru Reaktorskega infrastrukturnega centra (RIC) združena v enoten jedrski objekt. SVPIS ima pooblastilo za izvajanje nadzora okolja reaktorja skladno s programom varstva pred ionizirajočim sevanjem, ki je bil potrjen pri upravnih organih.

SVPIS nadzira še 17 laboratorijev ali skupin na IJS, ki pri raziskavah uporabljajo vire ionizirajočega sevanja. V laboratorijih je v uporabi veliko radioaktivnih virov in naprav, ki so vir ionizirajočega sevanja. Naše delo vključuje tudi nadzor nad radioaktivnimi odpadki (RAO), ki nastajajo znotraj IJS.

SVPIS v okviru svojega pooblastila izvaja tudi preglede sevalnih dejavnosti za zunanje naročnike pri uporabi virov v znanosti in industriji. V sklopu pregledov izvajamo meritve hitrosti doze, kontaminacije, spektrometrije gama in koncentracije radona po akreditiranih metodah (LP-022, EN ISO/IEC 17025).



Vodja:
mag. Matjaž Stepišnik

Osebna dozimetrija

V letu 2022 smo z osebni termoluminiscenčnimi dozimetri nadzirali 143 delavcev, ki poklicno redno ali občasno prihajajo v stik z viri ionizirajočega sevanja. Največja izmerjena letna doza zaposlenega je znašala 0,32 mSv, kar je 2 % letne dozne omejitve za poklicnega delavca z viri sevanja (20 mSv na leto). Kolektivna letna doza pri vseh delih na IJS je bila 2,7 človek mSv.

Nadzor raziskovalnega reaktorja in laboratorijev

Redne preglede prostorov nadzorovanega območja Reaktorja TRIGA, Objekta vroče celice (OVC) in Odseka za znanosti o okolju smo izvajali tedensko. Pri nekaterih radiološko zahtevnih delih je bila potrebna stalna prisotnost sodelavcev SVPIS (odpiranje aktiviranih vzorcev, delo z radioaktivnimi odpadki). V okviru nadzora smo izvajali meritve hitrosti doze, kontaminacije površin, predmetov in osebne kontaminacije. Rezultati nadzora kontaminiranosti prostorov so pokazali večinoma nemerljivo ali zanemarljivo kontaminiranost. Lokalno povišane ravni sevanja je bilo mogoče izmeriti le na nekaterih mestih predvsem v nadzorovanem območju reaktorja.

Trenutno je na IJS v uporabi več kot 100 radioaktivnih virov (odprtih in zaprtih) in 15 naprav (RTG-aparatov in pospeševalnik TANDETRON), za katere je potreben upravni nadzor. Dodatno se na IJS uporablja še okoli 450 radioaktivnih virov z manjšo aktivnostjo. V tem letu smo opravili 21 podrobnih radioloških pregledov laboratorijev IJS, kjer uporabljajo vire sevanja. Neodvisna pooblaščenca organizacija je opravila še dodaten nadzor nad SVPIS in dvema laboratorijema na IJS. Pri pregledu ni zaznala pomanjkljivosti, ki bi lahko vplivale na sevalno varnost zaposlenih.

Nadzor okolja reaktorja

Nadzor okolja reaktorja izvajamo skladno s Programom nadzornih meritev sevanja v okolici Reaktorskega centra IJS. Nadzorne meritve sestavljata dva sklopa, in sicer meritve izpustov (emisije) in meritve v okolju (imisije). Koncentracije sevalcev gama v vzorcih vod, filtrov, žlahtnih plinov, zemlje in sedimentov smo redno merili z visokoločljivostno spektrometrijo gama (VLG). SVPIS opravi letno okoli 500 različnih VLG-meritev za potrebe reaktorja in drugih odsekov. Meritve doze zunanjega sevanja z okoljskimi pasivnimi dozimetri smo izvajali v sodelovanju s pooblaščenim dozimetričnim laboratorijem.

Na podlagi emisijskih meritev in konservativnih predpostavk razširjanja radioaktivnih snovi preliminarno ocenjujemo, da je bila letna učinkovita doza prebivalstva v okolici Reaktorskega centra ocenjena na manj kot 1 mikro Sievert.

Sevalna obremenitev prebivalstva zaradi dejavnosti Reaktorskega centra je bila v letu 2022 zanemarljiva.

Izdelava strokovnih mnenj in izvajanje meritev za zunanje naročnike

SVPIS je pooblaščen za izvajanje nadzornih meritev in izdelavo strokovnih mnenj s področja varstva pred sevanji. V letu 2022 smo izvedli več nadzornih pregledov in izdelali nekaj strokovnih mnenj pri zunanjih naročnikih v industriji in znanstvenih organizacijah (skupaj 41).

Sodelavci SVPIS smo sodelovali tudi pri ocenah vpliva Jedske elektrarne Krško, raziskovalnega reaktorja TRIGA in skladišča radioaktivnih odpadkov v Brinju na okolje.

SODELAVCI

Strokovni sodelavci

1. dr. Tinkara Bučar
2. Mitja Eržen, univ. dipl. fiz.

3. **mag. Matjaž Stepišnik, vodja SVPIS**

Tehniški in administrativni sodelavci

4. Thomas Breznik, dipl. inž. rad.
5. *Jasna Kopač, dipl. ang. (UN) in dipl. šp. jez. in knjiž. (UN), odšla 1. 9. 2022*
6. Tanja Murn, mag. prof. pouč. bio. in kem.
7. Nina Udir, univ. dipl. inž. graf. tehnol.

CENTER ZA PRENOS TEHNOLOGIJ IN INOVACIJ

CTT

Pisarna za prenos tehnologij na Institutu "Jožef Stefan" je bila ustanovljena leta 1996 in preoblikovana januarja 2011. Od takrat podpira tretji steber delovanja Instituta "Jožef Stefan" kot samostojni Center za prenos tehnologij in inovacij (CTT). Zagotavljamo pomoč pri prenosu tehnologij in znanja z IJS v gospodarstvo (pogodbeno in projektno sodelovanje z industrijo, licenciranje, ustanavljanje odcepljenih podjetij, povezani postopki zaščite intelektualne lastnine) ter pri prijavljanju in izvajanju projektov. Podjetjem ponujamo pomoč pri povezovanju z raziskovalci in internacionalizaciji. Znanje iz znanosti prenašamo tudi v solski sistem ter skrbimo za pozitivno prepoznavnost znanosti in IJS med mladimi in širšo populacijo.



Vodja (do 31. 3. 2022 in od 1. 6. 2022 do 31. 8. 2022):

dr. Špela Stres, LL.M, MBA

Uspešnost CTT izvira iz dela 13 strokovnjakov, 7 jih ima naravoslovno-tehnično izobrazbo, 6 ekonomsko, 1 pravno, 2 s področja družbenih ved, med nami pa je tudi 1 patentni zastopnik, 1 nosilec naziva Registered Technology Transfer Professional (RTTP), 3 člani imamo tudi pridobljene ameriške certifikate Certified Licensing Professional. Izjemen dosežek je članstvo vodje centra, dr. Špele Stres, v prvem upravnem odboru Evropskega raziskovalnega sveta (European Innovation Council). Smo člani ASTP (Association of Science and Technology Professionals), LES (Licensing Executives Professionals) ter Združenja profesionalcev za prenos tehnologije in Združenja patentnih zastopnikov Slovenije.

Delujemo na področjih prenosa tehnologij in znanja. Naše pomembno sredstvo je ustvarjena mreža stikov s podjetji in drugimi organizacijami v Sloveniji in tujini. Naše stranke so primarno raziskovalci z IJS, sicer pa so bili naši neposredni naročniki v letu 2022 tudi druge raziskovalne in izobraževalne institucije v Sloveniji ter (velika in manjša) slovenska podjetja. Storitve – analizo, pripravo, registracijo, zaščito in trženje intelektualne lastnine (tudi skritega znanja), pripravo pogajalskih izhodišč, izvedbo pogajanj in pripravo ter sklenitev posameznih raznovrstnih pogodb, podporo pri ustanavljanju odcepljenih podjetij, izobraževanje in informiranje, dostop podjetij do raziskovalcev in raziskovalne infrastrukture ter podporo pri vzpostavljanju finančnih ukrepov – prilagodimo individualnim potrebam.

V letu 2022 je Center za prenos tehnologij in inovacij svoje dejavnosti financiral iz evropskih in nacionalnih projektov: Enterprise Europe Network (EEN) Slovenia (shema COSME), Vrednotenje intelektualne lastnine (ARRS CRP), Konzorcija za prenos tehnologij iz JRO v gospodarstvo – KTT (MIZŠ), WASTELESS, INDUSAC, Exsact (ATTRACT – Phase 2), DIGI-SI, SmartFlexCell in AMULET. Dejavnosti projektov so se povezovale in dopolnjevale našo osnovno dejavnost prenosa tehnologij. V projektu KTT koordiniramo Konzorcij za prenos tehnologij iz JRO v gospodarstvo, ki zajema populacijo največjih slovenskih JRO, v projektu EEN pa delujemo kot partner slovenskega dela evropske mreže Enterprise Europe Network.



V. d. vodje (od 1. 4. 2022 do 31. 5. 2022 in od 1. 9. 2022):

dr. Levin Pal

Delo v CTT poteka v petih skupinah, katerih dejavnosti se med seboj dopolnjujejo in prepletajo.

Skupina za zaščito in trženje intelektualne lastnine

Skupina obravnava primere zaščite in trženja intelektualne lastnine na podlagi prvih sestankov z raziskovalci (17), izdeluje ocene patentabilnosti in pripravi poglobljen pregled stanja tehnike (14). Izvaja tudi poglobljene ocene tržnega potenciala (14), pomaga pri pripravi dokumentacije in opisa izuma za razkritje znotraj matične JRO (7), pomaga izpolniti pogoje za vložitev patentnih prijav, pripravlja pogodbe o lastništvu IL (10), svetuje in predlaga ustrezne patentne zastopnike ter pripravlja in vlaga patentne prijave (12), svetuje o strategiji za razširjanje zaščite na mednarodno in nacionalno raven. Skupina je v letu 2022 v bazi Enterprise Europe Network pripravljala in objavljala marketinško izdelane nove tehnološke profile, za katere je prejemala interese podjetij.

Omenjene in druge profile je tudi aktivno tržila (10) več kot 700 podjetjem in drugim organizacijam ter prejela resna zanimanja za sodelovanje (41). Člani skupine so poskrbeli za ustrezno sklenjene pogodbe o nerazkrivanju informacij (26), sodelovali so pri pogajanjih ter pripravili in poskrbeli za sklepanje raziskovalno-razvojnih sodelovanj (32), ki vključujejo izkoriščanje IL (28).

Prav tako znotraj skupine poskrbijo za individualna svetovanja v vseh fazah načrtovanja in ustanavljanja odcepljenih podjetij (7), pomagajo pri oblikovanju izhodiščnega poslovnega modela, opredelitvi interesa in

Priprava, zaščita in trženje 17 tehnologij IJS. Identifikacija 225 novih raziskovalno-razvojnih tem za sodelovanje. Sklenjenih 32 raziskovalno-razvojnih sodelovanj z domačimi in tujimi podjetji, od tega 28 takih, ki vključujejo izkoriščanje IL.

Izvedba Proof of Concept razpisa za pomoč pri dvigu tehnološke pripravljenosti za raziskovalni projekt IJS v vrednosti 20.000,00 EUR.



Slika 1: Dr. Špela Stres in dr. Marko Perdih s prejemniki nagrad za najboljšo inovacijo iz javnih raziskovalnih organizacij iz Slovenije in Poljske: dr. Špela Stres, IJS, Maja Grdadolnik, KI, Paweł Kotakowski, Gdynia Maritime University, dr. Marko Perdih, ARRS (spodaj), Blaž Zdovc, KI, dr. David Pahovnik, KI, dr. Ema Žagar, KI (zgoraj) (foto: M. Verč)

Organizacija mednarodne konference ITTC. Več kot 140 obiskovalcev. Izvedba in podelitev dveh nagrad za najboljše inovacije in dveh nagrad World Intellectual Property Organization: WIPO Medal for Inventors izumiteljem za vlogo pri izboljšanju družbenega blagostanja ter WIPO IP Enterprise Trophy podjetjem za učinkovito uporabo in promocijo intelektualne lastnine.



Slika 2: Nagrada World Intellectual Property Organization (Foto: M. Verč)

Štirinajstič zapored smo raziskovalcem z javnih raziskovalnih organizacij podelili nagrado za izum ali inovacijo z najboljšim tržnim potencialom v skupnem znesku vseh dosedanjih nagrad več kot 60.000 evrov.

možnosti uporabe intelektualne lastnine, opreme in prostorov IJS, pripravi poslovnega načrta, povezovanju z zunanjimi mentorji in podpornimi programi, informiranju in povezovanju z viri financiranja, vodijo dogovore o ureditvi razmerij med IJS in raziskovalci v vlogi ustanovnih podjetniških ekip, pripravijo mnenja in uredijo vso potrebno dokumentacijo za odločanje IJS o izdaji soglasij k ustanovitvi odcepljenega podjetja, poskrbijo za vrednotenje intelektualne lastnine in drugih sredstev, sklepanje pogodb o uporabi opreme in pripravijo licenčne pogodbe za uporabo tehnologije IJS v odcepljenem podjetju.

V skupini aktivno vzpostavljamo in načrtujemo sodelovanje z deležniki, ki vzpostavljajo regionalni sklad tveganega kapitala v vrednosti več kot 40 milijonov evrov, ki ga v sodelovanju s slovensko in hrvaško razvojno banko (SID in HBOR) ustanavlja Evropski investicijski sklad (EIF) in bo pomenil pomembno dopolnitev v zagotavljanju virov financiranja, ki do zdaj v taki obliki še niso bili dostopni odcepljenim podjetjem slovenskih in hrvaških javnih raziskovalnih organizacij.

Ponovno smo sodelovali s programom Ljubljana MBA, v katerem smo z ekipo odcepljenega podjetja IJS, Particulars, d. o. o., sodelovali s skupino 10. generacije študentov MBA in mentorjev Ekonomske fakultete Univerze v Ljubljani, ki so izvedli zaključni konzultantski projekt, v katerem so pripravili poslovni načrt za lansiranje novega izdelka na trg.

Vzpostavili smo sodelovanje z Evro-sredozemsko univerzo – EMUNI, kjer ponujamo podporne in mentorske storitve v Evro-sredozemskem inovacijskem kampusu za mlade kandidate (študente, raziskovalce, inovatorje s poslovnimi idejami) iz evro-sredozemskega prostora. Mlade inovatorje povezujemo z mentorji, raziskovalci Instituta "Jožef Stefan", ki bodo kandidatom pomagali, da v sklopu tekmovanja razvijejo in predstavijo svoje inovacijske in inovativne ideje ter jih povežejo z gospodarstvom.

Skupina je tudi pripravila in razpisala inovacijski sklad Proof-of-Concept CTT na IJS. Lastna sredstva v skupni vrednosti 20.000,00 evrov smo namenili raziskovalnemu projektu IJS, s čimer smo podprli uspešno raziskovalno skupino v razvoju tehnologije k višji stopnji pripravljenosti za trg (TRL).

Skupina za promocijo in izobraževanje

Raziskovalne skupine so svoje inovacije in poslovne modele predstavile na 15. Mednarodni konferenci o prenosu tehnologij (International Technology Transfer Conference, ITTC). Na razpis za inovacijo z največjim komercialnim potencialom se je v letu 2022 prijavilo 6 raziskovalcev oziroma raziskovalnih skupin; poleg slovenskih prijavi sta bili prejeti prijavi tudi iz Poljske in Italije. Prav tako sta bili na omenjeni konferenci že tretjič zapored podeljeni nagradi Svetovne organizacije za intelektualno lastnino (World Intellectual Property Organization, WIPO): (1) WIPO Medal for Inventors kot priznanje raziskovalkam in raziskovalcem na slovenskih javnih raziskovalnih organizacijah, ki s patentno zaščiteni izumi prispevajo k razvoju in blagostanju slovenskega gospodarstva in družbe, (2) WIPO IP Enterprise Trophy kot priznanje slovenskim podjetjem za sistematično rabo sistema intelektualne lastnine, sodelovanje z javnimi raziskovalnimi organizacijami in metodično uporabo intelektualne lastnine pri poslovanju. Konferenca je potekala v hibridni obliki, kar je omogočilo udeležbo in sodelovanje tudi iz držav, kot so Poljska, Litva in Mehika.

Med vidnejšimi dogodki je skupina poleg 15. Mednarodne konference o prenosu tehnologij organizirala tradicionalno delavnico Mladi upi v virtualni obliki, v okviru katere so bili predstavljeni vsi ključni koraki od razvoja ideje in zaščite intelektualne lastnine do priprave poslovnega modela in trženjskih dejavnosti. Zadnje marčevsko soboto je bil po dveh letih znova organiziran Dan odprtih vrat na obeh lokacijah IJS na Jamovi

cesti in na Reaktorju. Medtem ko so obiski šol v začetku leta potekali na daljavo, se je v spomladanskih mesecih znova začelo organizirati obiske v klasični – fizični obliki z obiski raziskovalnih odsekov in laboratorijev. Nadaljevalo se je tudi organiziranje virtualnih sestankov med raziskovalkami in raziskovalci IJS ter mednarodno uveljavljenih raziskovalnih institucij – iz Japonske, Avstrije in Litve.

Med osrednjimi promocijskimi dejavnostmi je bilo organiziranje in izvedba snemanja štirih novih videoposnetkov o priložnostih sodelovanja med podjetji in IJS na področju digitalnih in zelenih tehnologij ter zdravja. Ponatisnjena je bila publikacija Modrosti iz inovacijskega podpornega okolja v javnih raziskovalnih organizacijah. Postavljena je bila baza dela raziskovalne opreme na IJS.

Informiranje o relevantnih dogodkih, izobraževanjih, projektih in drugih relevantnih vsebinah je potekalo s pripravo in pošiljanjem elektronskih novic CTT (Priložnosti za sodelovanje, Spin-out novice), seznamov evropskih, slovenskih in drugih razpisov za projektne prijave po področjih IJS ter drugih obvestil, po raziskovalnih/industrijskih partnerjih, s čimer se je prispevalo k prijavi novih projektov z novimi tujimi partnerji. Skupina je koordinirala tudi pripravo promocijskega videoposnetka o IJS.

Skupina za pogodbeno sodelovanje z gospodarstvom

Skupina obiskuje tako velika kot majhna podjetja (53) ter organizira njihove povratne (virtualne) obiske na IJS (22), organizira sektorske in regijske obiske podjetij na IJS oziroma na daljavo ter sodeluje z drugimi subjekti podpornega okolja. Sodelavci skupine v podjetjih in med raziskovalci iščemo nove teme za sodelovanje v okviru razvojnih projektov (225 identificiranih RR-tem), pripravljamo tehnološke ponudbe, sklepamo sporazume o varovanju informacij in pisna soglasja za nadaljnje sodelovanje (14 sklenjenih mednarodnih dogovorov o konkretnem dolgoročnem sodelovanju v poslovne ali tehnološko-raziskovalne namene) ter skrbimo za podporo pri sklenitvi licenčnih in raziskovalno-razvojnih pogodb.

Sodelavci vseh treh skupin so ob skupnem sodelovanju dosegli sklenitev licenčnih in raziskovalno-razvojnih pogodb z različnimi podjetji oziroma raziskovalnimi organizacijami. Pri sklepanju pogodb so se dejavnosti CTT v zadnjem letu precej povečale, in sicer tako z domačimi kot s tujimi partnerji.

Horizontalna skupina za podporo prijavam in izvajanju projektov

Na Centru za prenos tehnologij in inovacij smo od ustanovitve leta 2011 do danes skupaj s svojimi partnerji oddali številne uspešne prijave na različne nacionalne in evropske razpise. V letu 2022 smo pridobili naslednje projekte: DIGI-SI, WASTELESS, INDUSAC, DIH4AI, ExSACT (Attract) in RITIFI. Smo ocenjevalci slovenskih in mednarodnih projektov. Delujemo v različnih odborih za pripravo smernic in razpisov na različnih ravneh. Tako smo na primer sodelovali v okviru delovne skupine Evropske komisije, ki je postavila smernice za delovanje European Innovation Council. Pozneje smo bili imenovani tudi za EIC National Champion. Pomembno orodje pri delu skupine sta tudi evropski mreži Enterprise Europe Network, katerih člani smo. Tako smo na področju priprave in izvedbe projektov pridobili pomembne in bogate izkušnje, na podlagi katerih lahko kompetentno svetujemo in pomagamo raziskovalcem IJS.

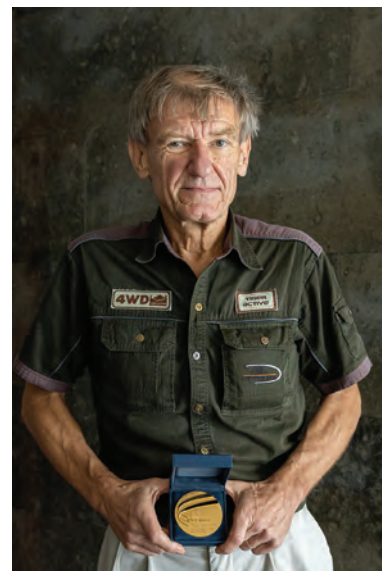
Za zainteresiranim odsekom ponujamo pomoč pri pripravi projektov, tako da mesečno ažuriramo iskalnik razpisov (1800 razpisov v letu 2022); ponujamo pomoč glede posameznih razpisnih shem ter pri razlagi razpisov in iskanju projektov partnerjev (16) ter pomoč pri pripravi posameznih delov projektov (14) (npr. upravljanje/Management, komunikacija in razširjanje/Communication & Dissemination, vpliv/Impact). Na nas se lahko raziskovalci IJS obrnejo tudi, če potrebujejo pomoč pri pripravi pravnih dokumentov, povezanih s projektnimi prijavi, npr. NDA med partnerji, in pri pripravi konzorcijske pogodbe, še posebej pri pregledu predhodne intelektualne lastnine (background IP) in predvidene intelektualne lastnine (foreground IP) ter glede vsebinskih predlogov ravnanja z IL za prilogo konzorcijske pogodbe. Prav tako svetujemo pri pravnih vidikih evropskih raziskovalnih programov (npr. državna pomoč, intelektualna lastnina, odprt dostop, FAIR, Open Science). Pri projektu SmartFlexCell, ki ga sofinancira EIT Manufacturing, smo sodelovali v vlogi pravnega svetovalca in koordinatorja za intelektualno lastnino ter

Sodelavce IJS smo obveščali ter pomagali pri prijavih na domača in mednarodna tekmovanja izumov in inovacij, kjer so prejeli 5 nagrad.



Slika 3: Prejemnika nagrade Svetovne organizacije za intelektualno lastnino WIPO Enterprise Trophy: Matjaž Žagar, Elan, d. o. o. (levo) in mag. Leon Korošec, Elan, d. o. o. (desno) ter Ana Krstov, Urad RS za intelektualno lastnino (foto: M. Verč)

Predstavitev raziskovalnih kapacitet in tehnologij IJS na obiskih 53 podjetij.



Slika 4: Prof. dr. Miran Mozetič, IJS, prejemnik nagrade WIPO Medal for Inventors (foto: M. Verč)

Obveščanje sodelavcev IJS o 1800 razpisih domačih in tujih projektov ter programov. Iskanje partnerjev za 16 projektov prijavi. Pomoč pri vsebinski pripravi 14 projektov prijavi.

podporo ustanovitve odcepljenega podjetja na podlagi intelektualne lastnine partnerjev projekta. Na področju sklepanja pogodb so se dejavnosti CTT v zadnjem letu precej povečale, predvsem zaradi pogodb, sklenjenih tako z domačimi kot s tujimi partnerji.

Horizontalna skupina za raziskave prenosa tehnologij in inovativnost

Delujemo kot ocenjevalci in zunanji eksperti doma in v okviru Evropske komisije ter za različne ugledne mednarodne institucije (EC ERC, EUREKA, RRD). JRC nas je prepoznal kot eno najbolj propulzivnih pisarn za prenos

Smo člani upravnega odbora European Innovation Council (EIC), posvetovalne ekspertne skupine direktorja DG R&I Evropske komisije, Economic and Societal Impact of Research and Innovation; vodimo delovno skupino za vzpostavitev EIC Marketplace za Evropsko komisijo, smo nacionalni delegati v CERN Knowledge Transfer Forum. Sodelujemo z World Intellectual Property Office (WIPO) v okviru njihovih globalnih mednarodnih sodelovanj. Predsedujemo Združenju profesionalcev za prenos tehnologij Slovenije. Za deležnike inovacijskega sistema smo izdelali predlog vzdržnega modela državnih pomoči za spodbujanje sodelovanja znanosti in gospodarstva.

tehnologij v EU in nas umestil v TTO Circle, skupino JRO z najboljšimi dejavnostmi na področju prenosa znanj in tehnologij, skupaj z institutom Max Planck, Weitzman, Fraunhofer, VITO in VTT. Strokovno sodelujemo tudi v okviru Združenih narodov, v 10-članski skupini za podporo mehanizmu za prenos znanja (10MG TFM), ter z World Intellectual Property Office (WIPO) v okviru njihovih globalnih mednarodnih sodelovanj. Sodelujemo v strokovni skupini DG Research & Innovation v European Innovation Council (EIC) Management Group za vzpostavitev upravljanja z mehanizmom European Innovation Council. Sodelovali smo pri pripravi načrta za pametno uporabo IL (Community of practice for the smart use of IP). V letu 2022 smo kot člani evropske podjetniške mreže Enterprise Europe Network (EEN), ki predstavlja podporno okolje za mala in srednja podjetja, aktivno sodelovali kot člani sektorskih skupin na področjih Digital, Electronics, Renewable Energy in Energy Intensive Industries. Sodelujemo tudi v upravnem odboru European Innovation Council ter v HL svetovni skupini direktorja DG R&I Economic and Societal Impact of Research and Innovation. Predsedovali smo Združenju profesionalcev za prenos tehnologij Slovenije ter Komisiji za odcepljena podjetja Instituta "Jožef Stefan". Postali smo ambasadorji inovativnosti projekta inovativen.

si Ministrstva za javno upravo. V letu 2022 smo v okviru projekta CRP (ARRS) v pomoč relevantnim deležnikom inovacijskega ekosistema dokončali predlog dolgoročno vzdržnega modela državnih pomoči za spodbujanje sodelovanja znanosti in gospodarstva na podlagi vrednotenja IL.

Organizacija konferenc, kongresov in srečanj

1. Mladi upi 2022 – podjetniško inovacijska delavnica za mlade raziskovalce, virtualno, 7. 4. 2022
2. Virtualno kooperacijsko srečanje med japonskim RIKEN in IJS, virtualno, 25. 5. 2022
3. Virtualno kooperacijsko srečanje Lakeside Science & Technology Park, Fraunhofer Institute in IJS, virtualno, 9. 6. 2022
4. Zaključna konferenca Konzorcija za prenos tehnologij iz JRO v gospodarstvo (KTT), Ljubljana, 23. 6. 2022
5. Okrogla miza o Evropskem aktu o čipih in priložnostih s polprevodniki v EU in Sloveniji, Ljubljana, 29. 6. 2022
6. 15. Mednarodna konferenca o prenosu tehnologij – 15. ITTC, hibridno, 12. in 14. 10. 2022
7. Sestanek Tehnološki park Ljubljana – Institut "Jožef Stefan", Ljubljana, 21. 10. 2022
8. Virtualno kooperacijsko srečanje Center for Physical Sciences and Technology iz Litve in IJS, virtualno, 1. 12. 2022
9. Infineon Austria na Institutu "Jožef Stefan", Ljubljana, 21. 12. 2022

MEDNARODNI PROJEKTI

1. H2020 - AMULET; Napredni materiali in proizvodnja za LightwEight
European Commission
dr. Levin Pal
2. H2020 - ExSACT; Podpora dodeljevanju državnih pomoči z namenom zmanjševanja in blaženja tveganj pri nastajanju intelektualne lastnine
European Commission
dr. Levin Pal
3. H2020 - SurfBio; Inovacijsko središče za površinske in koloidno biološke raziskave
European Commission
dr. Levin Pal
4. EIT M - Pametna fleksibilna celica
EIT Manufacturing
dr. Špela Stres, LL.M., MBA

5. SMP-COSME-2021-EEN; EEN Slovenia; Podpora slovenskim MSP pri inoviranju, rasti in razvoju z Enterprise Europe Network
European Commission
France Podobnik, univ.dipl.ekon.
6. DIGITAL EU; DIGI-SI - Podpora digitalni preobrazbi Slovenije
European Commission
France Podobnik, univ.dipl.ekon.

PROJEKTI

1. Vrednotenje IL kot podlaga za predlog dolgoročno vzdržnega obrazca državnih pomoči za spodbujanje sodelovanja znanosti in gospodarstva
dr. Špela Stres, LL.M., MBA
2. Konzorcij za prenos tehnologij iz JRO v gospodarstvo (KTT)
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
dr. Špela Stres, LL.M., MBA

- Vrednotenje IL kot podlaga za predlog dolgoročno vzdržnega obrazca državnih pomoči za spodbujanje sodelovanja znanosti in gospodarstva
Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport
dr. Špela Stres, LL.M., MBA
- Delež prihodkov IJS z naslova izkoriščanja izumov - tujina (IJS delež licenčnin - tujina)
dr. Špela Stres, LL.M., MBA
- HEP2023 - Fizika delcev od zgodnjega vesolja do prihajajočih trkalnikov, Portorož, Slovenija, 11. 04. 2023 - 14. 04. 2023
mag. Marjeta Trobec

OBISKI

- Matjaž Skobir, Mitja Mavričin, Teo Zalar, Cestel, d. o. o., Trzin, 10. 3. 2022
- dr. Abdelhamid El-Zoheiry, Evro-sredozemska univerza, Piran, 8. 7. 2022
- Vasja Hramec, Avantpack, d. o. o., Nova Gorica, 27. 7. 2022
- dr. Aljaž Osterman, Le-tehnika, d. o. o., Kranj, 5. 9. 2022
- Francis Uy, Veleposlaništvo Kanade, Ljubljana, 28. 9. 2022
- Marija Gutauskienė in dr. Linas Eriksonas, Center for Physical Sciences and Technology, Litva, 13. 10. 2022
- dr. Jernej Pintar, Lenča Lenčič, Aleš Pevec, Lara Žepič, Majda Potokar, Elvira Basailović, Milan Lazarević, Rebeka Žerovnik, Katja Čenčur, Tehnološki park Ljubljana, Ljubljana, 21. 10. 2022

SEMINARJI IN PREDAVANJA NA IJS

- mag. Robert Blatnik, Tomaž Lutman: Pisanje projektov in prijavi za raziskovalno inovacijske projekte - seminar CTT, na daljavo, 19. 1. 2022
- Robert Premk: Ekonomski vidiki intelektualne lastnine - seminar CTT, na daljavo, 26. 1. 2022
- mag. Marjeta Trobec: Validacija profilov EEN - seminar CTT, na daljavo, 9. 2. 2022
- Tomaž Lutman: Financiranje projektov iz inovacijskega sklada IJS - seminar CTT, na daljavo, 16. 2. 2022
- mag. Robert Blatnik: Priprava poslovnega načrta za komercializacijo razvite tehnologije - seminar CTT, na daljavo, 2. 3. 2022
- Tomaž Lutman: Postopkovnik *Pregledovanje pravnih dokumentov in parafranje* - seminar CTT, na daljavo, 9. 3. 2022
- Urška Mrgole: Aktivnosti skupine PR (promo materiali, promo darila, objave) - seminar CTT, na daljavo, 16. 3. 2022
- Urška Mrgole: Pregled aktivnosti sodelavcev CTT na DOV 2022 - seminar CTT, na daljavo, 23. 3. 2022
- mag. Robert Blatnik: Analiza intelektualne lastnine konkurentov in partnerjev - seminar CTT, na daljavo, 30. 3. 2022
- Matej Mrak: Trženje oziroma iskanje kontaktov (potencialnih strank) s pomočjo programa PatBase - patentna baza - seminar CTT, na daljavo, 6. 4. 2022
- mag. Robert Blatnik: Kako do uspešne(jšega) RR sodelovanja z industrijo? - seminar CTT, na daljavo, 13. 4. 2022
- Matej Mrak: DIH-WORLD: Predstavitve projekta DIH-WORLD s praktičnim primerom sodelovanja med IJS in podjetjem Senso4s, d. o. o. - seminar CTT, na daljavo, 4. 5. 2022
- dr. Levin Pal: Predstavitve izročka CRP D1.1: Pregled kritičnih točk prenosa intelektualne lastnine iz raziskovalne sfere v gospodarstvo - seminar CTT, na daljavo, 11. 5. 2022
- France Podobnik: Statistika Partnership Agreements v obdobju 2020-2021 - seminar CTT, na daljavo, 18. 5. 2022
- dr. Duško Odič: PCR in antigenski testi: kaj testiramo in kaj nam povedo? - seminar CTT, na daljavo, 25. 5. 2022
- Robert Premk: Elektronske novice CTT - seminar CTT, 1. 6. 2022
- Tomaž Lutman, mag. Marjeta Trobec, mag. Robert Blatnik, dr. Marijan Leban: Storitve CTT na področju EU projektov za raziskovalce - seminar CTT, 8. 6. 2022
- dr. Marijan Leban: Razkrivanje računalniških programov delodajalcu, njihova zaščita in nagrajevanje avtorjev - seminar CTT, 15. 6. 2022
- Tomaž Justin: Podpora digitalni transformaciji malih in srednje velikih podjetij v Digitalnem inovacijskem stičišču DIH4JSI ter DIGI-SI (konzorcij slovenskih digitalnih inovacijskih stičišč) - kandidat za EDIH (evropsko digitalno inovacijsko stičišče) - seminar CTT, 22. 6. 2022
- Tomaž Lutman: Predstavitve zanimivih primerov, ki temeljijo na službenih izumih - seminar CTT, 31. 8. 2022
- Urška Mrgole: PR aktivnosti v drugi polovici 2022 - seminar CTT, 7. 9. 2022
- dr. Levin Pal: Zaščita IL in trženje: patent vs. skrito znanje - seminar CTT, 14. 9. 2022
- mag. Marjeta Trobec: ITTC aktivnosti sodelavcev CTT - seminar CTT, 21. 9. 2022
- Tomaž Justin: Videoobiski velikih podjetij za pospeševanje prenosa tehnologij iz JRO v gospodarstvo - študija primerov dobre prakse pri razvoju RR sodelovanja s podjetjem MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o. - seminar CTT, 5. 10. 2022
- dr. Špela Stres, Tomaž Lutman: Project support services of a technology transfer office - na 15. Mednarodni konferenci o prenosu tehnologij - 15. ITTC, 12. 10. 2022
- dr. Levin Pal, mag. Robert Blatnik, dr. Špela Stres: Effective collaboration and state aid - na 15. Mednarodni konferenci o prenosu tehnologij - 15. ITTC, 12. 10. 2022

VEČJE NOVO POGODBENO DELO

- DIH4AI-Senso4S
Senso4s, d. o. o.
dr. Špela Stres, LL.M., MBA
- dr. Urška Florjančič (in drugi avtorji): Advanced 3D sensor system for visual control of geometrically complex products - na 15. Mednarodni konferenci o prenosu tehnologij - 15. ITTC, 12. 10. 2022
- Tomaž Lutman: Priprava pogodb za sodelovalne projekte - seminar CTT, 19. 10. 2022
- Robert Premk: Predstavitve spletne strani EEN - seminar CTT, 26. 10. 2022
- Matej Mrak: Povzetek dogodka: Predstavitve prakse Odborov za pritožbe EUIPO - seminar CTT, 9. 11. 2022
- dr. Levin Pal: Predstavitve izročka projekta CRP D1.2.1: Pregled smernic za upravljanje s pravicami IL v okviru sodelovalnih RR projektov - seminar CTT, 16. 11. 2022
- mag. Marjeta Trobec: Pametna specializacija 2030 - seminar CTT, 23. 11. 2022
- France Podobnik: Pregled zanimivih/dobrih CCR primerov - seminar CTT, 30. 11. 2022
- dr. Marijan Leban: Nekaj primerov patentne zaščite izumov v povezavi s programsko opremo - seminar CTT, 7. 12. 2022
- Matej Mrak: *Vedno zaključuj oziroma Always Be Closing* - kako voditi fokus oziroma rdečo nit (na prodajo) med sestankom (obiska podjetja) - seminar CTT, 14. 12. 2022

UDELEŽBA NA ZNANSTVENIH ALI STROKOVNIH ZBOROVANJIH

- France Podobnik: udeležba na kick-off sestanku Enterprise Europe Network Slovenija, Ljubljana, 19. 1. 2022
- dr. Špela Stres: udeležba na srečanju Slovenija - Vlada Dežele Koroške, Ljubljana, 2. 2. 2022
- dr. Levin Pal: Kaj je izum in kako ga zaščititi in komercializirati odcepljenim podjetjem?, Koper, 1. 3. 2022
- dr. Špela Stres: udeležba na 2. plenarnem sestanku EIC Board, Pariz, 10.-11. 3. 2022
- dr. Marijan Leban: sestanek sektorske skupine Electronics - mreže Enterprise Europe Network, na daljavo, 30. 3. 2022
- Lutman Tomaž: sestanek skupine EEN SG Renewable Energies, Gradec, 4.-5. 4. 2022
- dr. Špela Stres: sestanek EIC Board, Bruselj, 28.-29. 4. 2022
- dr. Marijan Leban: sestanek sektorske skupine Electronics - mreže Enterprise Europe Network, na daljavo, 10. 5. 2022
- dr. Špela Stres: WIRE conference, Pariz, 11.-13. 5. 2022
- Mrak Matej, Tomaž Justin: DIGI-SI Community Days, Maribor, 13. 5. 2022
- dr. Levin Pal, mag. Robert Blatnik: Innovation and Technology Transfer in Central and Southeast Europe, Bratislava, 18.-19. 5. 2022
- dr. Špela Stres: Joint event in Slovenia, Ljubljana, 19. 5. 2022
- Tomaž Lutman: sestanek pilotnih socioekonomskih projektov ATTRACT, na daljavo, 10. 6. 2022
- mag. Robert Blatnik: sestanek SG EEN Digital, Atene, 14.-15. 6. 2022
- mag. Marjeta Trobec, France Podobnik: sestanek mreže EEN, Bled, 3. 6. 2022
- Tomaž Justin, France Podobnik: srečanje slovenskih DIH, Ljubljana, 15. 6. 2022
- mag. Marjeta Trobec: podelitev priznanj za inovacije Osrednjeslovenske regije, Ljubljana, 21. 6. 2022
- dr. Špela Stres: sestanki EIC plug-in mechanism, Bruselj, 5.-7. 7. 2022
- dr. Marijan Leban: sestanek sektorske skupine Electronics - mreže Enterprise Europe Network, na daljavo, 13. 7. 2022
- dr. Špela Stres, Urška Mrgole: sestanek o izkušnjah vodenja kohezijskih projektov, Ljubljana, 10. 8. 2022
- dr. Marijan Leban: sestanek sektorske skupine Electronics - mreže Enterprise Europe Network, na daljavo, 6. 9. 2022
- dr. Levin Pal: Vrednotenje intelektualne lastnine, Nova Gorica, 5. 9.-13. 9. 2022
- mag. Marjeta Trobec, Urška Mrgole: Kick-off meeting projekta INDUSAC, Bruselj, 7.-9. 9. 2022
- Lutman Tomaž, Matej Mrak: Predstavitve razpisov Evropskega obrambnega sklada 2022, Ljubljana, 15. 9. 2022
- dr. Marijan Leban: sestanek sektorske skupine Electronics - mreže Enterprise Europe Network, na daljavo, 30. 9. 2022
- dr. Urška Florjančič, Matej Mrak, Robert Premk: Platforma Connect in Client journey, Ljubljana, 20. 10. 2022
- dr. Urška Florjančič: sestanek SG Energy Intensive Industry, Strasbourg, 9. 11. 2022
- mag. Robert Blatnik: sestanek SG EEN Digital & B2B matchmaking event, Bolzano, 9.-11. 11. 2022
- dr. Urška Florjančič: EU Brokerage Event on KET, Strasbourg, 10. 11. 2022
- France Podobnik, Tomaž Justin: Kick-off sestanek projekta EDIH, Maribor, 26. 10. 2022
- Matej Mrak: Predstavitve prakse Odborov za pritožbe EUIPO, Ljubljana, 25. 10. 2022

32. dr. Marijan Leban: sestanek sektorske skupine Electronics – mreže Enterprise Europe Network, na daljavo, 8. 11. 2022
33. Tomaž Lutman: MicroTech Week SURFBIO – Intellectual Property Management and Fermentation Product Market, Dol pri Ljubljani, 8.-9. 11. 2022
34. dr. Urška Florjančič: Predstavitel novega Enotnega patentnega sistema, Ljubljana, 1. 12. 2022
35. Tomaž Justin, Matej Mrak: EDIH DIGI-SI Community days, Maribor, 9. 12. 2022
36. Tomaž Lutman: delavnica za pripravo projektov na razpis MSCA COFUND 2022, Ljubljana, 13. 12. 2022
37. dr. Levin Pal, mag. Marjeta Trobec, mag. Robert Blatnik, France Podobnik: SEE Regional Conference 2022 EEN, Tuheljske Toplice, 13. 12. 2022
38. mag. Robert Blatnik: Innovation Day Ljubljana – Robotics & Manufacturing, Ljubljana, 13.-15. 12. 2022
39. mag. Robert Blatnik: mreženje s partnerji KTT in LUI, Ljubljana, 20. 12. 2022
40. mag. Robert Blatnik: Predstavitel rezultatov projekta EF za odcepljeno podjetje IJS, Ljubljana, 22. 12. 2022

SODELAVCI

Raziskovalci

1. dr. Urška Florjančič
2. dr. Marijan Leban
3. dr. Duško Odić
4. **dr. Levin Pal, vršilec dolžnosti centra**
5. *dr. Špela Stres, 1. 9. 2022 razporeditev v odsek U1*

Mlajši raziskovalci

6. mag. Robert Blatnik

Strokovni sodelavci

7. Tomaž Justin, univ. dipl. ekon.
8. Tomaž Lutman, mag. biokem.
9. Urška Mrgole, univ. dipl. ekon.
10. France Podobnik, univ. dipl. ekon.
11. mag. Marjeta Trobec

Tehniški in administrativni sodelavci

12. Matej Mrak, dipl. ekon. (VS)
13. Robert Premk, univ. dipl. ekon.

SODELUJOČE ORGANIZACIJE

1. A&R Textilproduktion GmbH, Neukirch, Nemčija
2. AquafilSLO, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
3. ARCONT, proizvodnja bivalnih enot, d. d., Gornja Radgona, Slovenija
4. Arctur, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
5. Atlantic Droga Kolinska, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
6. Automatic servis, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
7. AV SPEKTER, d. o. o., Vrzenec, Slovenija
8. Avantpack, d. o. o., Kromberk, Slovenija
9. BELEKTRON, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
10. BIA SEPARATIONS, d. o. o., Ajdovščina, Slovenija
11. BIAL, d. o. o., Trnovlje pri Celju, Slovenija
12. BLAGOVNO TRGOVINSKI CENTER, d. d., Ljubljana, Slovenija
13. CEA – Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives, Pariz, Francija
14. CESTEL, d. o. o., Trzin, Slovenija
15. CIDETEC, Donostia – San Sebastián, Španija
16. CIMOS, D. D., Koper, Slovenija
17. CINKARNA Metalurško-kemična industrija Celje, d. d., Celje, Slovenija
18. CNRS – Centre national de la recherche scientifique, Aubiere, Francija
19. COSYLAB, Laboratorij za kontrolne sisteme, d. d., Ljubljana, Slovenija
20. Digitalno inovacijsko stičišče Slovenije, Ljubljana, Slovenija
21. Digitalno inovacijsko stičišče, Celje, Slovenija
22. DORNINGER HYTRONICS, d. o. o., Muta, Slovenija
23. Ekten, d. o. o., Krško, Slovenija
24. ELEKTRO CELJE, podjetje za distribucijo električne energije, d. d., Celje, Slovenija
25. ENEA, Rim, Italija
26. Energetika Maribor, d. d., Maribor, Slovenija
27. Eskisehir Technical University, Eskisehir, Turčija
28. ETH Zürich, Zürich, Švica
29. Eurosender, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
30. Fakulteta za informacijske študije v Novem mestu, Novo mesto, Slovenija
31. Fondazione Bruno Kessler, Trento, Italija
32. FRAGMAT TIM, d. o. o., Laško, Slovenija
33. Fraunhofer Austria – Lakeside Labs, Celovec, Avstrija
34. GDI, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
35. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana, Slovenija
36. GEP ŠTALEKAR, d. o. o., Mislinjska Dobrava, Slovenija
37. GKN Driveline Slovenija, d. o. o., Zreče, Slovenija
38. GOPACK, d. o. o., Solkan, Slovenija
39. Gorenje, d. o. o., Velenje, Slovenija
40. Gospodarska zbornica Slovenije, Ljubljana, Slovenija
41. GRAMMER Automotive Slovenija, d. o. o., Slovenj Gradec, Slovenija
42. Grams, d. o. o., Jama, Slovenija
43. Graticules Optics Ltd, Tonbridge, Velika Britanija
44. INETEC – Institut za nuklearno tehnologijo, d. o. o., Zagreb, Hrvaška
45. Instrumentation Technologies, elektronska instrumentacija in produkti za procesiranje signalov, d. o. o., Solkan, Slovenija
46. Institut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana, Slovenija
47. INTERKORN, d. o. o., Beltinci, Slovenija
48. ITC – Inovacijsko tehnološki grozd Murska Sobota, Murska Sobota, Slovenija
49. Izoelktro, d. o. o., Limbuš, Slovenija
50. Izop-K, d. o. o., Hrašče, Slovenija
51. JMW FIRE, d. o. o., Slovenska vas, Slovenija
52. Kaliopa, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
53. Kemijski inštitut, Ljubljana, Slovenija
54. KIG, d. d., Ig, Slovenija
55. KLS LJUBNO, d. o. o., specialist za zobate vence, Ljubno ob Savinji, Slovenija
56. Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija
57. Knauf Insulation, d. o. o., Škofja Loka, Slovenija
58. Lek, d. d., Ljubljana, Slovenija
59. Le-Tehnika, d. o. o., Kranj, Slovenija
60. LOTRIC Meroslovje, d. o. o., Selca, Slovenija
61. MagSpin Transparent Ceramics, Eskisehir, Turčija
62. MAHLE Electric Drives Slovenija, d. o. o., Šempeter pri Gorici, Slovenija
63. Marles hiše Maribor, d. o. o., Limbuš, Slovenija
64. Marles PSP, d. o. o., Podvelka, Slovenija
65. MARMOR HOTAVLJE, d. o. o., Gorenja vas, Slovenija
66. Massachusetts General Hospital, Boston, ZDA
67. MATICA MB, d. o. o., PE Komenda, Komenda, Slovenija
68. MEGP plus, d. o. o., Šenčur, Slovenija
69. MG Rohr, d. o. o., Ravne na Koroškem, Slovenija
70. MICOM ELECTRONICS, d. o. o., Trzin, Slovenija
71. Mlekarna Celeia, d. o. o., Petrovče, Slovenija
72. Nacionalni inštitut za biologijo, Ljubljana, Slovenija
73. NANOTUL, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
74. NINU, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
75. Obrtno-podjetniška zbornica Slovenije, Ljubljana, Slovenija
76. Okna in vrata Nagode, d. o. o., Logatec, Slovenija
77. OMF Elektronika, d. o. o., Komenda, Slovenija
78. Oncovision, Valencia, Španija
79. PETROL, Slovenska energetska družba, d. d., Ljubljana, Slovenija
80. Pladent, d. o. o., Komenda, Slovenija
81. Plurifilter, d. o. o. (PF, d. o. o.), Logatec, Slovenija
82. Polident, d. o. o., Volčja Draga, Slovenija
83. POLYCOM predelava plastičnih mas in orodjarstvo Škofja Loka, d. o. o., Poljana nad Škofjo Loko, Slovenija
84. Provent, d. o. o., Komenda, Slovenija
85. Provida Medical AS, Oslo, Norveška
86. Pullzone, d. o. o., Rogaška Slatina, Slovenija
87. Qmedics AG, Flurlingen, Švica
88. Radian, d. o. o., Podsmreka, Slovenija
89. Rastoder, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
90. Regionalna razvojna agencija za Podravje-Maribor, Maribor, Slovenija
91. RLS Merilna tehnika, d. o. o., Komenda, Slovenija
92. Rudolfovo – znanstveno in tehnološko središče Novo mesto, Novo mesto, Slovenija
93. SIJ METAL RAVNE, d. o. o., Ravne na Koroškem, Slovenija
94. Silicon Austria Labs GmbH, Beljak, Slovenija
95. Spanish National Research Council, Madrid, Španija
96. SPIRIT Slovenija, Ljubljana, Slovenija
97. Surovina, d. o. o., Maribor, Slovenija
98. Tecan Group Ltd., Männedorf, Švica
99. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt, Nemčija
100. Technobell, d. o. o., Koper, Slovenija
101. Tehnološki park Ljubljana, Ljubljana, Slovenija
102. The Institute of Cosmos Sciences of the University of Barcelona, Barcelona, Španija
103. Tik, d. o. o., Kobarid, Slovenija
104. Tina, d. o. o., Potok pri Komendi, Slovenija
105. Tovarna meril Kovine, d. d., Pameče, Slovenija
106. Trelleborg Slovenija, d. o. o., Kranj, Slovenija
107. TRIMO, arhitekturne rešitve, d. o. o., Trebnje, Slovenija
108. Trinity College Dublin, Dublin, Irsko
109. Univerza na Primorskem, Koper, Slovenija
110. Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija
111. Univerza v Mariboru, Maribor, Slovenija
112. VTZ, d. o. o., Ljubljana, Slovenija
113. Zavod za gradbeništvo, Ljubljana, Slovenija
114. Zimicell, d. o. o., Komenda, Slovenija
115. Znanstveno raziskovalno središče Koper, Koper, Slovenija
116. Znanstvenoraziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, Ljubljana, Slovenija

CENTER ZA PAMETNA MESTA IN SKUPNOSTI

CPMiS

Center za Pametna mesta in skupnosti C PMiS je bil ustanovljen na začetku leta 2017. Z dnem 1. 1. 2019 je vodenje centra prevzela dr. Nevenka Cukjati.

Glavna naloga centra je koordiniranje in delovanje Strateško razvojno-inovacijskega partnerstva Pametna mesta in skupnosti (SRIP PMiS). Poleg navedenega center spodbuja tudi medodsečno sodelovanje na Institutu "Jožef Stefan" ter s tem prispeva k podpori partnerstvu na področju najnovejših tehnologij in hkrati aktivno sodeluje pri ustvarjanju nacionalnih razvojno-raziskovalnih politik v prihajajočih letih.

Projekt SRIP PMiS

Strateško razvojno inovacijsko partnerstvo Pametna mesta in skupnosti je oblika partnerstva, v okviru katere smo deležniki združili moči pri razvoju in prodaji rešitev za dvig kakovosti življenja v mestih prihodnosti. Namen SRIP PMiS je povezati podjetja in raziskovalne ustanove na posameznem področju v verige vrednosti, določiti prioritete za razvojna vlaganja in usklajevati raziskovalno-razvojne dejavnosti. Gradimo dobro podporno okolje za izmenjavo znanja in izkušenj v obliki delavnic, seminarjev in skupnih dogodkov, dostop do preizkusnih okolij, laboratorijev, podatkovnih baz; pomoč pri analizi trgov, razvoju kadrov, zaščiti intelektualne lastnine ter pomoč pri internacionalizaciji.

SRIP PMiS trenutno povezuje 96 članov (konec leta 2022) v naslednji sestavi: 26 % mikro podjetij, 31 % majhnih podjetij, 10 % srednjih podjetij, 8 % velikih podjetij, 16 % fakultet oziroma in inštitutov ter 9 % občin oziroma združenj. Članom SRIP PMiS je na voljo odprtokodna spletna platforma SRIP PMiS: Tehnološka igralnica in Tržnica rešitev. V Tehnološki igralnici lahko spoznavajo in preizkušajo različne tehnologije in platforme (igrala) za razvoj inovativnih rešitev na področju pametnih mest in skupnosti. Svoje rešitve pa lahko delijo in promovirajo na skupni digitalni tržnici.

21. 9. 2022 so koordinatorji SRIP-ov na sestanku predali ministru SVRK medsebojno usklajen dokument s predlogom ukrepov, ki bi lahko bistveno pripomogli k še boljšemu delovanju SRIP-ov in sodelovanju s pristojnimi ministrstvi.

Med letom smo v sklopu podjetniškega odkrivanja (EDP) opravili več sestankov s predstavniki SVRK in ministrstvi, na podlagi katerih je bil pripravljen dokument Slovenska strategija trajnostne pametne specializacije S5. Dne 16. 12. 2022 smo od SVRK prejeli potrditev Evropske komisije o uspešno zaključenem usklajevanju Programa Evropske kohezijske politike za obdobje 2021–2027. Hkrati je bil potrjen tudi tematski omogočitveni pogoji, vezan na Slovensko strategijo trajnostne pametne specializacije S5. Njegova potrditev je rezultat uspešnega dela vseh udeležencev v ustvarjanju S5, tudi našega centra v okviru Operacije SRIP PMiS.

Bili smo soorganizatorji **Foruma podatkovne analitike 2022** z naslovom Sodobnim trendom naproti, ki je potekal 21. 4. 2022 v hotelu Four Points by Sheraton Ljubljana Mons in prek spleta. Udeleženci so pridobili vpogled v vsa področja in korake učinkovitega upravljanja podatkov. Z različnimi strokovnjaki in konkretnimi primeri so bile predstavljene možnosti, kako premostiti vrzel med modernimi koncepti in konkretnimi težavami v organizacijah.

Bili smo soorganizatorji **konference Kibernetska varnost – Izzivi uporabnikov digitalnih storitev**, ki je potekala 10. 5. 2022 v Kongresnem centru Brdo. Izkušnje o kibernetiki varnosti so udeležencem zaupali strokovnjaki s tega področja, politiki in tudi predstavnik mednarodno uveljavljenega podjetja Microsoft.

Bili smo partnerji mednarodne **World Future Verse konference**, ki je potekala od 29. 9. do 1. 10. 2022 v Festivalni dvorani na Bledu. Predstavljeno je bilo področje blockchain tehnologij v povezavi z zelenim prehodom in digitalno transformacijo, tehnologije virtualne in obogatene resničnosti, NFT-ji, web3.0 in DAO.

V partnerstvu vključujemo aktualne vsebine nove finančne perspektive Evropa 2021–2027, Misije – področje ogljično nevtralnih mest in smernice dokumenta GREEN DEAL zelenega dogovora. Evropska komisija je s pomočjo finančnega mehanizma misij opredelila pomen ogljično nevtralnih pametnih mest kot eno od petih ključnih področij. Misije EU pomenijo novo pot k reševanju pomembnih družbenih izzivov. V okviru **Horizon Europe (2021–2027)** so bile prepoznane naslednje ključne misije: boj proti raku, prilagajanje podnebnim spremembam, življenje v bolj zelenih mestih, skrb za zdravje tal za zdravo hrano, ljudi, naravo in podnebje, varstvo oceanov. Ministrstvo za izobraževanje, znanost in šport, ki koordinira Misijo Evropske komisije z naslovom **Podnebno nevtralna in pametna mesta**, je na seznam zunanjih strokovnjakov podskupine imenovalo dr. Nevenko Cukjati, vodjo C PMiS, ki je tudi nacionalna delegatka za omenjeno misijo. Na mesečnih srečanjih podskupine so strokovnjaki sodelovali pri pripravi strateških usmeritev EU Misije Podnebno nevtralna in pametna mesta v okviru Horizon Europe 2021–2027.



Vodja:
dr. Nevenka Cukjati

Na podlagi objavljenega razpisa je Evropska komisija 28. 4. 2022 objavila seznam 100 mest EU, ki bodo do leta 2030 sodelovala v **Misiji EU za 100 podnebno nevtralnih mest**. Iz Slovenije so na seznamu Mestne občine Kranj, Ljubljana in Velenje, s katerimi smo se poleg Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport dogovarjali glede izvajanja programa podnebno nevtralnih mest v okviru Operacije SRIP PMiS, ki smo ga obdelali na dveh delavnicah. **Prva delavnica Podnebno nevtralna mesta** – Kaj so, kako jih oblikovati, kakšne so poti do njih je potekala 30. 5. 2022 v Hiši EU v Ljubljani. **Druga delavnica Podnebno nevtralna pametna mesta** – Vloga ministrstev v procesu izvajanja ukrepov za doseganje podnebne nevtralnosti pa 4. 10. 2022 v Vili Bianca v Velenju. Skupaj z relevantnimi deležniki iz Slovenije smo naslovlili potrebe mest in opredelili vlogo ministrstev v procesu podpore mestom pri izvajanju Misij za podnebno nevtralna in pametna mesta. Tretjo delavnico načrtujemo za april 2023.

Projekt SI4CARE

Projekt Interreg ADRION SI4CARE – Socialne inovacije za celostno oskrbo starajočega se prebivalstva v regijah ADRION je začel delovati 1. 12. 2020 in bo trajal do 31. 5. 2023. Projekt sofinancira program Interreg ADRION (Evropski sklad za regionalni razvoj – ESRR) v skupnem znesku nekaj več kot 2 milijona evrov. Vodilni partner projekta je Univerza v Ljubljani z osmimi partnerji iz sedmih držav. V sklopu IJS sodelujemo z odsekoma za Računalniške sisteme (E7) in Inteligentne sisteme (E9).

Cilj projekta je, da bi bilo starajoče se prebivalstvo v ADRION regijah preskrbljeno z zdravstveno oskrbo. Glavni namen projekta je združiti strategije in akcijske načrte v posameznih državah (Slovenija, Italija, Hrvaška, Bosna in Hercegovina, Grčija, Črna gora, Srbija) in jih uporabiti v praksi kot pomoč starostnikom, predvsem na odročnih krajih. V letu 2022 sta potekali srečanja SI4CARE od 23. do 24. 6. 2022 v Atenah in od 30. 11. do 1. 12. 2022 v Sarajevu. Predstavljeni so bili partnerji projekta, pregledane so bile liste želja, najboljše prakse, pilotne aktivnosti, akcijski načrt in transnacionalna strategija.

Sodelovali smo pri organizaciji Posveta o ukrepih za izboljšanje dolgotrajne oskrbe v Sloveniji, ki je potekal 14. 10. 2022 na IJS in prek spleta. Sodelovalo je več strokovnjakov s področja zdravstvene in socialne oskrbe. Predstavljeni so bili potencialni ukrepi za izboljšanje dolgotrajne oskrbe, ki smo jih v projektu do zdaj prepoznali kot pomembne za Slovenijo.

Projekt WEFE4MED

Projekt PRIMA WEFE4MED – Za sredozemsko skupnost prakse WEFE Nexus je začel delovati 1. 10. 2022 in bo trajal do 30. 9. 2026. Projekt je podprt in financiran v okviru Obzorja 2020 – programa Evropske unije za raziskave in inovacije v skupnem znesku nekaj manj kot 2 milijona evrov. Vodilni partner projekta je The Cyprus Institute z 10 partnerji iz 8 držav. V sklopu IJS sodelujemo z odsekoma za Računalniške sisteme (E7) in Tehnologije znanja (E8).

Splošni cilj je spodbujati sprejetje pristopa Nexus voda-energija-hrana-ekosistemi (WEFE) v Sredozemlju prek skupnosti prakse Nexus za soočanje s podnebnimi in okoljskimi izzivi, s katerimi se spoprijemajo družbe in agroekološki sistemi. Skupnost bo združevala prakse, znanstvenike, oblikovalce politik, civilno družbo, medije, podjetnike, inovatorje in investitorje. Zbralo in izmenjevalo se bo znanje, krepile se bodo zmogljivosti z uvajanjem najboljših praks in znanstveno utemeljenih politik ter inovativnih rešitev, ki so jih navdihnili demonstracijska mesta, ter prikazale prednosti celostnega upravljanja naravnih virov za trajnostni in podnebno odporen razvoj v Sredozemlju.

Projekt ReConStruCt-EU

Kot eden od 11 partnerjev smo se prijavi na projekt Interreg Central Europe ReConStruCt-EU, katerega vodilni partner je bil Tehnološki park Ljubljana, član SRIP PMiS. Prijava je vsebovala vso potrebno dokumentacijo, vendar projekt v končni fazi ni bil izbran za financiranje. Z delom na projektu bi se osredotočili na 3 prednostna področja: digitalno modeliranje, novi materiali in recikliranje ter ponovna uporaba.

Še naprej se bomo povezovali z odseki IJS v kontekstu pridobitev uspešnih prijav na projekte.

MEDNARODNI PROJEKT

1. PRIMA; WEFE4MED - Za sredozemsko skupnost prakse WEFE Nexus
PRIMA Foundation - Partnership for Research and Innovation in the Mediterranean Area; dr. Nevenka Cukjati

PROJEKTI

1. SI4CARE - Socialne inovacije za celostno zdravstveno oskrbo starajočega se prebivalstva v regijah ADRION-SI4CARE
The Emilia-Romagna region; dr. Nevenka Cukjati

2. SRIP PMiS: Pametna mesta in skupnosti Podpora strateškim razvojno inovacijskim partnerstvom (SRIP) na prioritetnih področjih pametne specializacije, SRIP Pametna mesta in skupnosti
Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo; dr. Nevenka Cukjati
3. Podpora strateškim razvojno inovacijskim partnerstvom (SRIP) na prioritetnih področjih pametne specializacije, SRIP Pametna mesta in skupnosti (SRIP PMiS)
dr. Nevenka Cukjati

SODELAVCI

Strokovni sodelavci

1. **dr. Nevenka Cukjati, vodja CPMiS**

Tehniški in administrativni sodelavci

2. Mojca Kristl, univ. dipl. ekon.
3. Jan Kunc, dipl. org. (UN)

CENTER TOVARNE PRIHODNOSTI

CToP

Vodenje Centra Tovarne prihodnosti – CToP je 1. januarja 2022, kot vršilec dolžnosti, prevzel doc. dr. Igor Kovač. Center, katerega glavna naloga je koordiniranje Strateško razvojno-inovacijskega partnerstva Tovarne prihodnosti (SRIP ToP), je bil ustanovljen na začetku leta 2017. Poleg navedenega CToP spodbuja sodelovanje in ustvarjanje raziskovalnih in poslovnih sinergij med raziskovalnimi in industrijskimi partnerji znotraj Slovenije, še posebno vključevanje kompetenc in kapacitet na področju najnovejših tehnologij Instituta "Jožef Stefan" in drugih članov SRIP-a ter usmerjanje v internacionalizacijo, podjetništvo in seznanjanje z intelektualno lastnino v sodelovanju z enotami znotraj IJS. S tem Center ToP prispeva k podpori partnerstva ter hkrati aktivno sodeluje pri ustvarjanju razvojno raziskovalnih trendov v prihajajočih letih, v sodelovanju z gospodarstvom in državo.



V. d. vodje:
doc. dr. Igor Kovač

Kaj ponuja Strateško razvojno inovacijsko partnerstvo Tovarne prihodnosti?

Strategija SRIP Tovarne prihodnosti (SRIP ToP) je zbrati in povezati slovenska raziskovalna in inovacijska znanja ter izkušnje iz industrijske in akademske sfere ter izpostaviti prioriteta prebojna področja novih izdelkov, tehnologij in storitev za Tovarne prihodnosti. Vzpostavili smo podporno okolje s strokovnimi službami za industrijo in raziskovalne organizacije s poudarkom na razvijajočih se novih vrhunskih tehnologijah, ki združujejo in nadgrajujejo obstoječe slovenske raziskovalne in inovacijske dosežke.

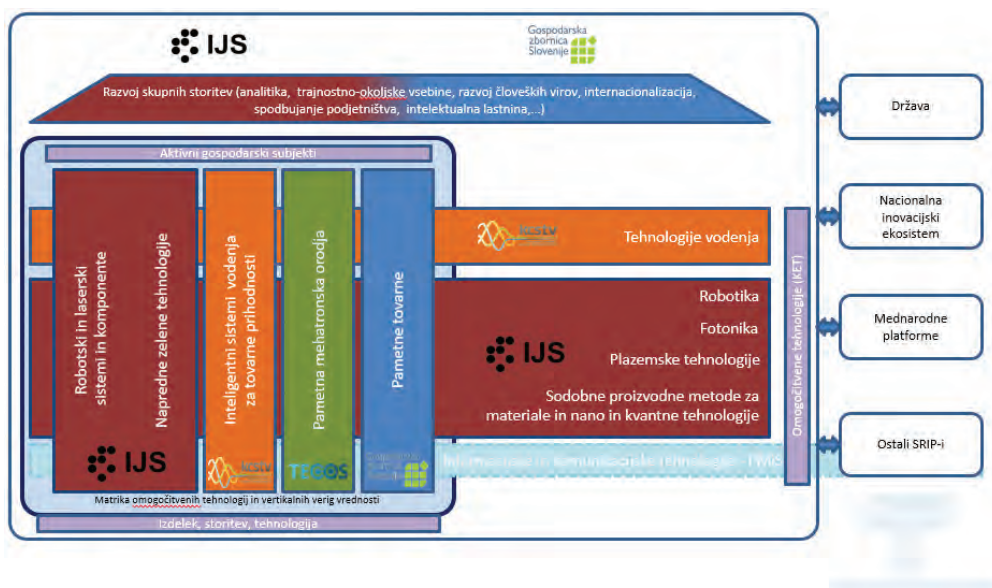
Ključne funkcije strateškega dolgoročnega povezovanja so izdelava in dopolnjevanje strateškega akcijskega načrta za področje ToP, aktivnosti glede razvoja skupnih storitev, internacionalizacija, razvoj človeških virov in podjetništva, zastopanje skupnih interesov do države itd. Del storitev se opravlja tudi v sodelovanju z drugimi institucijami.

SRIP ToP ustvarja in podpira poslovne in raziskovalne sinergije na področju tovarn prihodnosti za nove izdelke, storitve in tehnologije ter pomaga podjetjem pri vstopu na svetovni trg, z osredotočenjem na nišna področja.

Člani SRIP ToP prihajajo iz različnih podjetij, združenj ali ustanov iz Slovenije. Delovanje SRIP ToP se osredotoča na večja povezovanja znanj za skupni nastop deležnikov na domačih in tujih trgih. Primarna cilja sta povečanje deleža visokotehnoloških industrijskih izdelkov v izvozu ter dvig dodane vrednosti in produktivnosti slovenske industrije.

Ključna področja delovanja

Organizacijska shema SRIP ToP je do novembra 2022 vključevala osem področij (vertikalne verige vrednosti – VVV), skozi katere se je prepletalo šest horizontalnih mrež (HOM) s ključnimi omogočitvenimi tehnologijami. Po izvedenem osredotočanju pa se je organizacijska struktura nekoliko spremenila (slika 1).



Slika 1: Shema področij SRIP ToP

V dvodimenzionalni matrični strukturi, kjer se prepletajo omogočitvene tehnologije in vertikalne verige vrednosti, IJS upravlja naslednje: VVV – robotski in laserski sistemi in komponente, napredne zelene tehnologije ter HOM – robotika, fotonika, plazemske tehnologije, sodobne proizvodne metode za materiale ter nano in kvantne tehnologije.

SRIP ToP z učinkovitim usmerjanjem raziskav in razvoja ter uvajanjem znanj in tehnologij posredno prispeva k digitalni preobrazbi ter pospeševanju prehoda v energijsko učinkovito in zeleno gospodarstvo. Prizadevanja so usmerjena v proizvodnjo bolj kakovostnih izdelkov, ob manjši porabi energije in surovin, manjšem onesnaževanju okolja, boljši vključenosti ljudi itd. S tem spodbuja k zmanjšanju izpustov toplogrednih plinov oz. k intenzivnemu prehodu v nizkoogljično družbo ter v zelene tehnologije in digitalno preobrazbo. Bistvo koncepta tovarn prihodnosti se kaže predvsem skozi večje možnosti za vnovično uporabo odpadnih surovin, ki jo omogoča bolj fleksibilna in optimalno vodena visokotehnološka proizvodnja ter energetska in snovna učinkovitost, ki jih omogočajo nove tehnologije in sistemi vodenja.

Na področju **internacionalizacije** smo organizirali odmeven mednarodni dogodek Innovation day in Ljubljana, ki je potekal 13. decembra 2023. Na dogodku smo vsebino predstavili skupaj z evropskim inštitutom EIT Proizvodnja (Manufacturing). Vsebinsko so bili na dogodku udeleženi tudi nekateri člani SRIP ToP, drugi so dogodku prisostvovali kot udeleženci. Sodelovali smo tudi na dogodku s področja krožnega gospodarstva, ki je potekal na Bledu septembra 2022.

Z namenom, da bi razširil in utrdil svoje dejavnosti na področju inovativnosti doma in v tujini, se IJS kot koordinator SRIP ToP aktivno vključuje v različne evropske iniciative. Ena od teh je **Evropski inštitut za inovacije in tehnologijo** (European Institute of Innovation and Technology – EIT), ki inovatorjem in podjetnikom omogoča, da razvijajo rešitve za ustvarjanje rasti in novih delovnih mest.

Tako je SRIP ToP prek IJS na področju proizvodnje (Manufacturing) aktivno prisoten že od začetka kreiranja skupnosti **EIT Manufacturing – EITM** (www.eitmanufacturing.eu), od leta 2021 pa je pravno močen jedrni član. Za podporo izvajanju programa EITM na IJS se je inštitut notranje ustrezno organiziral. Vsem odsekom in centrom na IJS je med nastajanjem poslal informativno vabilo, na katero se je odzvalo sedem odsekov, ki so vsi člani SRIP ToP poleg Centra Tovarne prihodnosti. Pri tem so bila sklenjena in sprejeta pravila včlanitve v EITM. Na podlagi tega je IJS kot član in hkrati koordinator SRIP ToP deloval v inovacijskem ekosistemu EITM, sodeloval pri razvoju ključnih tem v proizvodnih tehnologijah in procesih, se udeleževal pri odločanju glede globalnih vprašanj, izmenjeval industrijske izkušnje na evropski ravni, opredeljeval ključne zahteve ter se prijavljal na razpise za projekte EITM. IJS je kot jedrni član lahko k projektom povabil tudi zunanje partnerje, ki niso člani EITM – pri tem pa so seveda imeli prednost člani SRIP ToP.

V letu 2022 so bile v EITM vključene naslednje enote kot člani SRIP ToP:

- IJS, Odsek za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko (E1),
- IJS, Odsek za Sisteme in vodenje (E2),
- IJS, Umetna inteligenca (E3),
- IJS, Tanke plasti in površine (F3),
- IJS, Tehnologija površin in optoelektronika (F4),
- IJS, Nanostrukturni materiali (K7),
- IJS, Raziskave sodobnih materialov (K9) in
- IJS, Center Tovarne prihodnosti (CToP).

Svetovalnemu odboru EITM smo predstavili svoje delovanje in vključene odseke IJS ter Center ToP. Člani z IJS so se udeleževali mrežnih dogodkov (EITM MatchMaking Events), kratkih predstavitev projektnih idej (Idea Pitch) in delavnic za pomoč pri pripravi projektnih vlog. Bili smo aktivni tudi pri pripravi projektnih vlog. V okviru zadnjega razpisa EITM za inovacijske projekte je IJS kot vodilni partner prijavil en projekt. Naj poudarimo, da gre pri tem za projekte z začetno ravno tehnološke razvitosti (Technology readiness level) – TRL 5 do 6. Zato sta zelo jasno izraženi potreba po komercializaciji rezultatov in strategija go-to-market. V prihodnje želimo k sodelovanju pri projektih privabiti čim več partnerjev, ki so člani SRIP ToP, in pridobiti čim več projektov na področju inovativnosti, poslovnosti in izobraževanja, še posebno na področju razpisov RIS.

Leto 2022 je potekalo v znamenju **3. faze projekta SRIP ToP**, kjer smo naše dejavnosti še dodatno stopnjevali, le da je bilo naše delovanje v prvi polovici leta še vedno zaznamovano z epidemijo covid 19 in z njo povezanimi ukrepi tako doma kot v tujini. Pri izvajanju dejavnosti smo sledili akcijskemu načrtu za 3. fazo operacije SRIP, srečevali smo se s koordinatorji posameznih vertikalnih verig vrednosti in horizontalnih mrež ter jih spodbujali, da se povežejo s člani pri pripravi skupnih projektov ter pri pripravi in izvedbi dogodkov, zanimivih za člane ter raziskovalni sektor in industrijo. Nadaljevali smo sodelovanje z drugimi SRIP-i in s ključnimi ministrstvi, ki so pomembni za naše delo (ministrstvo, pristojno za gospodarstvo, ministrstvo, pristojno za izobraževanje), ter s Službo vlade za razvoj in kohezijsko politiko (SVRK). Za omenjeno službo smo pripravili, predstavili in oddali tudi skupni podpisan dokument Predlog za nadgradnjo ukrepov za podporo raziskavam in razvoju v gospodarstvu ter učinkoviti izvedbi S5, kjer je imel IJS v sodelovanju z obema SRIP-oma, ki jih koordinira IJS, eno glavnih vlog. Z

novimi ekipami na ključnih ministrstvih smo vzpostavili kontakte in se aktivno vključili v razpravo in pripravo operativnih programov za naslednje finančno obdobje.

V sodelovanju s SVRK smo v procesu podjetniškega odkrivanja izvedli spremembe pri določenih produktivnih in razvojnih področjih, ki so vključeni v prenovljeno strategijo pametne specializacije za obdobje 2021–2027. Pri tem smo v ospredje postavili pomen in vključevanje ključnih omogočitev tehnologij, katerih razvoj in financiranje sta ključna za uspešnost tako celotne slovenske pametne specializacije kot za IJS.

Na različnih srečanjih doma in v tujini smo predstavili SRIP ToP in našo dejavnost. Bili smo dejavni pri **zbiranju in pripravi novic za člane**, naša spletna stran pa se stalno obnavlja in je bila dobro obiskana, saj je stičišče novic s področja tehnologij in naših dejavnosti. V kombinaciji s socialnimi omrežji seznanja z našo dejavnostjo vse širši krog sledilcev. Redno smo objavljali tedenske novice, ki so med prejemniki dosegale lepo branost.

Za spodbujanje organizacij k včlanitvi v SRIP ToP smo v letu 2022 izvedli **več predstavitev dogodkov SRIP ToP**. Med najbolj odmevnimi so bili: soorganizacija dogodka *Inteligentna in robotizirana avtonomnost v pametnih tovarnah* s podjetjem Kolektor in v sodelovanju z Gospodarsko zbornico Slovenije. *Dogodek Koraki do pametne tovarne* smo organizirali v sodelovanju s podjetjem Kolektor Sisteh, kjer so strokovnjaki z udeleženci delili svoje izkušnje iz prakse. Dogodek se je izkazal za uspešnega in zanimanje je bilo tako veliko, da smo se odločili, da izpeljemo cel niz dogodkov z obdelavo različnih tematik s področja pametnih tovarn, ki bodo sledili v nadaljnjem letu. Maja 2022 smo izvedli dogodek *Senzorski sistemi za merjenje pretokov in vibracij*. Sodelovali smo na različnih področjih izobraževanja: s Slovenskim inštitutom za kakovost in meroslovje – SIQ smo sodelovali pri izvedbi izobraževanja v sklopu večdnevne Šole Industrija 4.0. Z Razvojnim centrom Novo mesto smo sodelovali pri izvedbi tečaja Robotika za otroke, z Društvom za vakuumsko tehniko Slovenije (DVTS) pa smo izpeljali Tečaj iz osnov vakuumske tehnike.

Ohranjali smo povezavo, ki smo jo v preteklosti razvili s KOC-ToP, s čimer smo našim članom omogočili dostop do delavnic in konferenc, ki jih je organiziral KOC-ToP.

V letu 2022 se je v SRIP ToP včlanilo **11 novih članov**, to so: Airnamics, d. o. o., Elvi, d. o. o., Združenje kemijske industrije pri GZS, Imas, d. o. o., Qlector, d. o. o., Marsi Group, d. o. o., Renn Solutions, d. o. o., Sick, d. o. o., Titus Technologies, d. o. o., Laboratorij za načrtovanje proizvodnih sistemov pri Fakulteti za strojništvo, Univerza v Mariboru, Zlatorog oprema, d. o. o.

Sodelovali smo pri H2020 projektu QU4LITY, katerega cilj je bil demonstrirati na realističen, izmerljiv in ponovljiv način odprt, visoko standardiziran, SME-jem prijazen ZDM (Zero Defects Manufacturing) model produktov in storitev za Tovarno 4.0. SRIP ToP skupaj z IJS odsekom za avtomatiko, biokibernetiko in robotiko deluje kot vodilni partner za T8.1, kjer s projektnimi partnerji sodeluje pri zasnovi virtualizirane platforme za promocijo projektnih rezultatov ter trženje in prodajo produktov, katerih implementacija pripomore k učinkovitejši proizvodnji, ter storitev, ki podjetjem pomagajo k lažji digitalizaciji in vključitvi omenjenih produktov v njihove proizvodne cikle. SRIP ToP je sodeloval pri izvedbi vzpostavitve omenjene platforme. Projekt je bil zaključen v prvem kvartalu 2022.

Vključeni smo bili v Interreg Mediteran **projekt Panoramed**, in sicer kot sovoditelj področja inovacij. Redno smo se dobivali s slovenskimi predstavniki dveh izbranih strateških projektov na področju inovacij. Projekt BlueBioMed je promoviral transformacijo razvoja trajnostnih ciljev na področju inovacij za modre bioekonomije v Sredozemlju. Projekt se je osredotočal na izboljšavo politik na področju inovacij v povezavi s transnacionalnimi programi upravljanja, ki delujejo na območju Sredozemlja, projekt B-Blue pa je deloval na področju povezovanja skupnosti, ki delujejo v Sredozemlju. Oba strateška projekta sta delovala vzporedno in na način, da bi skupaj dosegli boljše rezultate. S predstavitvami preteklega in sodelovanjem pri načrtovanju bodočega dela smo sodelovali na vseh projektnih sestankih. V sodelovanju z vodji strateških projektov smo za področje inovacij pripravili vprašalnike za follow-up ter zbrali podatke in pripravili prvo in drugo follow-up poročilo. Udeležili smo se številnih tujih spletnih dogodkov s področja modrih biotehnologij in dogodkov v organizaciji strateških projektov v okviru inovacij ter na dveh dogodkih predstavili dosedanje delo. Prav tako smo bili v rednem stiku s predstavnikom SVRK, ki je sodeloval pri projektu Panoramed. Projekt smo uspešno zaključili aprila 2022.

CToP je v začetku leta 2020 začel izvajati projekt **Digitalne tehnologije kot spodbuda za prehod v krožno gospodarstvo s strani malih in srednje velikih podjetij v Alpah – CIRCULAR 4.0**. Projekt je bil financiran v okviru programa Interreg Alpine Space. Cilj projekta CIRCULAR 4.0 je bil pospešiti prehod malih in srednje velikih podjetij z alpskega območja iz linearnega v krožni sistem poslovanja s pomočjo digitalizacije in industrije 4.0.

V okviru drugega delovnega sklopa, namenjenega vzpostavitvi orodij za presojo krožnosti in digitalnosti ter programa za usposabljanje podjetij in podpornih organizacij, je bil s strani Centra ToP, ob aktivnem sodelovanju dveh raziskovalnih odsekov IJS in zunanjega izvajalca, pripravljen in testno izveden program usposabljanja za posredniške organizacije, partnerje projekta in testna podjetja za celotno alpsko regijo ter razvoj novih in pregled obstoječih orodij za presojo krožnosti in oceno stopnje digitalizacije podjetij ter s pomočjo članov SRIP ToP tudi testiranje uporabnosti predlaganih orodij.

Projekt se je začel oktobra 2019 in se je zaključil junija 2022. Skupna vrednost projekta je bila 2.560.692 EUR. Sodelovalo je petnajst projektnih partnerjev iz 5 alpskih držav – Avstrije, Italije, Francije, Slovenije, Nemčije: Amt der Salzburger Landesregierung, Associazione Fabbrica intelligente Lombardia, Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft, Auvergne-Rhône-Alpes Enterprises, Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort, poslovni Zgornja Avstrija, BWCON, Camera di Commercio Industria Artigianato e Agricoltura di Venezia Rovigo, Chambre de Commerce et d. Industrie du Var.



V letu 2021 smo bili uspešni s kandidaturo za nov projekt (Go-DIP) v sklopu Horizon Innosup programa za mala in srednja podjetja, na področju **upravljanja z digitalnimi podatki v podjetjih**. Rezultat projekta je priložnik z orodji za upravljanje z digitalnimi podatki v podjetjih in primeri praks podjetij iz treh inovacijskih sistemov. Projekt je trajal 13 mesecev. Sodelujoča partnerja sta HIT – Hub Innovazione Trentino Fondazione, Italija in Haute Ecole Specialisee de Suisse Occidentale / HES-SO- INNOSQUARE Freiburg, Švica.



V letu 2022 smo bili uspešni pri kandidaturi za nov projekt v sklopu Horizon Europe. Oktobra 2022 je CToP začel izvajati projekt **ZOOM – Ozaveščanje o 3O in IP za ekosisteme sodelovanja**. Projekt želi ozaveščati o pomenu **ustvarjanja in upravljanja intelektualne lastnine v sodelovalnih inovacijskih ekosistemih**, ki se zanašajo na tri ključna sredstva: programsko opremo, strojno opremo in podatke. V praksi je zaznan problem pomanjkanja kompetenc pri podjetjih, ki ustvarjajo izdelke na podlagi treh O-jev (open software, open hardware, open data). Podjetja torej želijo ponujati svoje storitve/izdelke odprto (for free), pri tem pa imajo težave pri usklajevanju svojih poslovnih modelov z ustreznimi licencami pravic intelektualne lastnine. To preprečuje nadaljnji razvoj in razmah inovacijskega potenciala. V projektu bodo izdelana orodja (videi, spletne platforme, izobraževalni modeli ipd.) za spodbujanje odprtega licenciranja v industriji. Ti modeli bodo vključevali tako pravni kot poslovni vidik odprtega licenciranja.

Pri projektu sodelujemo z uglednimi evropskimi institucijami. Naši partnerji prihajajo iz Belgije, Finske, Bolgarije, Danske, Avstrije, Nemčije in Italije: Katholieke Universiteit Leuven, Teknologian Tutkimuskeskus VTT OY, Fondatsiya LiBRE, EIT Manufacturing South Srl, AALBORG University, Innovations und Technologietransfer Salzburg GmbH, Free Software Foundation Europe E.V., Hub Innovazione Trentino – Fondazione, Università degli Studi di Trento.

Ob zaključku projekta želimo podati gospodarstvu, predvsem industriji, poslovne rešitve in uporabna orodja za sprejemanje ustreznih odločitev o tem, katere odprte strategije licenciranja se najbolje ujemajo z določenimi poslovnimi modeli.

MEDNARODNI PROJEKTI

1. H2020 - QU4LITY; Digitalna resničnost v proizvodnji brez napak
European Commission
doc. dr. Igor Kovač
2. H2020 - Go-DIP; Upravljanje digitalne intelektualne lastnine v digitalizacijskih procesih proizvodnih MSP
European Commission
doc. dr. Igor Kovač
3. OE - ZOOM; 3Os in IP ozaveščanje sodelujočih ekosistemov
European Commission
doc. dr. Igor Kovač
4. EIT M East - IJS; Sponzorstvo delovanja SRIP FoF
EIT Manufacturing East GmbH
doc. dr. Igor Kovač

PROJEKTI

1. PANORAMED: Spodbujanje trajnostne rasti v sredozemskem območju s spodbujanjem inovativnih konceptov in praks in razumno rabo virov in s podporo socialnega vključevanja na podlagi integriranega in ozemeljskega pristopa sodelovanja
Služba Vlade Republike Slovenije za razvoj
doc. dr. Igor Kovač
2. Circular 4.0: Digitalne tehnologije, kot omogočitelj spodbujanja prehoda h krožnemu gospodarstvu s strani MSP na območju Alp
Government Office of the Land of Salzburg
doc. dr. Igor Kovač
3. SRIP-ToP: Strateška razvojna inovacijska partnerstva - Tovarne prihodnosti
Ministrstvo za gospodarski razvoj in tehnologijo
doc. dr. Igor Kovač

SODELAVCI

Raziskovalci

1. **doc. dr. Igor Kovač, v. d. vodje**

Strokovni sodelavci

2. Živa Antauer, univ. dipl. prim. jez. in prim. slov. jez., 1. 9. 2022 razporeditev v odsek E8
3. Petra Hauschild, mag. tur. man.
4. Bojana Omersel Weeks, univ. dipl. etn. in soc. kult., odšla 16. 5. 2022
5. Nataša Vertot Rakun, univ. dipl. ekon.

Tehniški in administrativni sodelavci

6. Tina Mrak Maržič, mag. manag., odšla 22. 7. 2022
7. Nataša Pibernik, spec.