

# Naziv Projekta

---

## Oznaka in naziv projekta

L2-70125: Napovedni modeli za dinamično ocenjevanje toplotnih razmer daljnovodov

L2-70125: Predictive models for Dynamic Thermal Rating of power lines

## Logotipi ARIS in drugih sofinancerjev



Javna agencija za znanstvenoraziskovalno  
in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije

## Projektna skupina

Vodja projekta: Aleksandra Rashkovska Koceva

**Sodelujoče raziskovalne organizacije:** [Povezava na SICRIS](#)

**Sestava projektne skupine:** [Povezava na SICRIS](#)

## Vsebinski opis projekta

V zadnjih letih smo priča izjemno hitremu razvoju trga električne energije in storitev, predvsem zaradi vključitve obnovljivih virov električne energije v omrežje, kar lahko povzroči obsežne in hitre spremembe v obremenitvi. Kot rezultat so obstoječi daljnovodi že pokazali ozka grla, ki so v preteklosti povzročala nestabilnosti in izpade sistema. Operaterji prenosnih sistemov (TSO) si zato prizadevajo povečati prenosno zmogljivost obstoječih nadzemnih vodov brez ogrožanja stabilnosti sistema. Namreč, prenosna zmogljivost, torej največji dovoljeni tok oziroma t.i. tokovna obremenljivost vodnika, je omejena z najvišjo dovoljeno temperaturo vodnika, ki se iz varnostnih razlogov tradicionalno ocenjuje za najneugodnejše vremenske razmere. Ena najbolj obetavnih rešitev za ta problem je dinamično določanje prenosne zmogljivosti glede na trenutne vremenske razmere ali vremensko napoved. Z uporabo takega načina dinamične toplotne ocene (DTR) lahko ocene vodov večino leta znatno presežejo konzervativne statične vrednosti. Ta postopek operativnega načrtovanja zahteva napovedi ocen vodov. Vendar pa je kakovost napovedi ocen močno odvisna od kakovosti vremenskih napovedi.

V zadnjem času se kaže vse večje zanimanje za uporabo verjetnostnih pristopov strojnega učenja za vremenske postopke DTR, da se upošteva negotovost napovedovanja razmer v okolju. Vendar več pomembnih vidikov še ni bilo obravnavanih. Prvič, DTR je močno odvisen od vremenskih fizikalnih lastnosti, ki izkazujejo spremenljivost koncepta, tj. njihove značilnosti se sčasoma spreminjajo. Nadalje, v obstoječem delu o napovedovanju DTR je klasična rešitev naučiti se napovednega modela z enim samim izhodom. Modeli za strukturirano napovedovanje rezultatov doslej še niso bili obravnavani. Poleg tega predhodno delo obravnava napovedne rešitve za posamezne daljnovode (raztežaje) in ignorira informacije, zbrane na drugih vodih/mestih v bližini, tj. prostorsko avtokorelacijo, ki karakterizira geofizikalne pojave. Nadalje so vremenski podatki po naravi sezonski/ciklični. Ker je postopek DTR močno odvisen od vremena, je po naravi prav tako pod vplivom časovne avtokorelacije. Kot zadnje, pri napovedovanju DTR pretvorba vremenskih

parametrov/razmer v tokovno obremenljivost spremeni statistične lastnosti napak napovedi v negaussovske porazdelitve. Študije so pokazale, da so za negaussovske porazdelitve za usposabljanje primernejša entropijska merila.

Glavni cilj projekta je poglobljena primerjava več različnih napovednih modelov za DTR daljnovodov, ob upoštevanju meritev lokalnih vremenskih postaj, meritev vodnikov in NWP. Ta projekt si prav tako prizadeva vključiti multimodalne učne pristope z integracijo LiDAR podatkov za izboljšano prostorsko karakterizacijo prenosnih okolij in razviti globoke nevronske arhitekture za verjetnostno napovedovanje DTR. Natančneje, cilj projekta je reševanje vseh zgoraj naštetih problemov: (1) z eksplicitnim upoštevanjem prostorske in časovne avtokorelacije ter s preučevanjem njenega učinka ob različnih stopnjah prisotnosti pri napovednem modeliranju DTR, (2) s preučitvijo učinka pristopa strukturiranega napovedovanja rezultatov v prilagodljivem učnem okolju, da se upoštevajo pojavi spreminjanja koncepta; (3) s preiskavo učinka uporabljenega specifičnega učnega algoritma; (4) z vključitvijo multimodalnih učnih tehnik, ki uporabljajo LiDAR podatke, globoko učenje in heterogeno fuzijo podatkov za izboljšano napovedno zmogljivost; in (5) z obsežno eksperimentalno oceno, ki bo ortogonalno raziskala vse te vidike na podatkih o vodnikih, ki se razprostirajo na geografskem območju Slovenije. Kot končni rezultat bodo najučinkovitejši modeli izvedeni kot prototipni modeli za potrjevanje v realnočasnem operativnem okolju DTR.

In the last years, we witness an extremely rapid development of the electricity market and services, mainly due to the inclusion of renewable electricity resources in the network, which can cause extensive and rapid changes in the load. As a result, existing power lines have already exhibited bottlenecks that have caused system-wide instabilities and blackouts in the past. The transmission system operators (TSOs) are thus striving to increase the transmission capacity of existing overhead lines without compromising system stability. Namely, the transmission capacity, i.e., the maximum allowed current, also called ampacity, is limited by the maximum allowed temperature of the conductor, which is, for safety reasons, traditionally assessed for the most unfavorable weather conditions. One of the most promising solutions to this problem is to dynamically determine the transmission capacity considering the current weather conditions or the weather forecast. Using this type of Dynamic Thermal Rating (DTR) approach, line ratings can surpass the conservative static values by a significant margin for the majority of the year. However, the quality of the rating forecast is highly dependent on the quality of the weather forecasts.

Recently, a growing interest has been shown in applying probabilistic machine-learning approaches to weather-based DTR procedures, in order to account for the uncertainty of forecasting ambient conditions. However, several important aspects have not been previously addressed. First, DTR depends highly on the weather physical properties that show the concept drift phenomenon, i.e., their characteristics change over time. Next, in the existing work on DTR forecasting, the classical solution is to learn a single-output predictive model. Structured output prediction models have not been considered so far. Moreover, previous work considers forecasting solutions for single transmission lines (spans) and ignores the information collected from/at other lines/sites in the vicinity, i.e., the spatial autocorrelation that characterizes geophysical phenomena. Furthermore, weather data is inherently seasonal/cyclical. Since the DTR process is highly dependent on the weather, it is inherently also affected by temporal autocorrelation. Finally, when forecasting DTR, the transformation of the weather parameters/conditions into ampacity changes the statistical properties of the prediction errors into a non-Gaussian distribution. Studies have shown that for non-Gaussian distributions, entropy-based measures are more suitable for training.

The main objective of the project is an in-depth comparison of several different predictive models for DTR of power lines, taking into account local weather station measurements, conductor measurements, and NWP. This project also aims to incorporate multimodal learning approaches by integrating LiDAR data to enhance the spatial characterization of transmission environments and developing deep learning architectures for probabilistic DTR forecasting. More specifically, the project aims to address all the issues listed above by: (1) Explicit consideration of spatial and temporal autocorrelation, and the investigation of their effect at different extents in predictive modeling of DTR; (2) Investigation of the effect of the structured output prediction approach in an adaptive learning setting, to account for the concept drift phenomenon; (3) Investigation of the effect of the specific learning algorithm used; (4) Integration of multimodal learning

techniques, leveraging LiDAR data, deep learning models, and heterogeneous data fusion for improved predictive performance; (5) Extensive experimental evaluation that will orthogonally investigate all these considerations on data for conductor lines spread over the geographic area of Slovenia. As a final outcome, the best-performing model(s) will be implemented as prototype model(s) for validation in a real-time operational DTR environment.

Osnovni podatki sofinanciranja so dostopni na spletni strani [SICRIS](#).

## **Bibliografske reference**