



Utjecaj meteoroloških parametara na nastanak kvarova u elektroenergetskom sustavu

Amalija Božiček, mag. phys.-geophys.

izv. prof. dr. sc. Božidar Filipović-Grčić

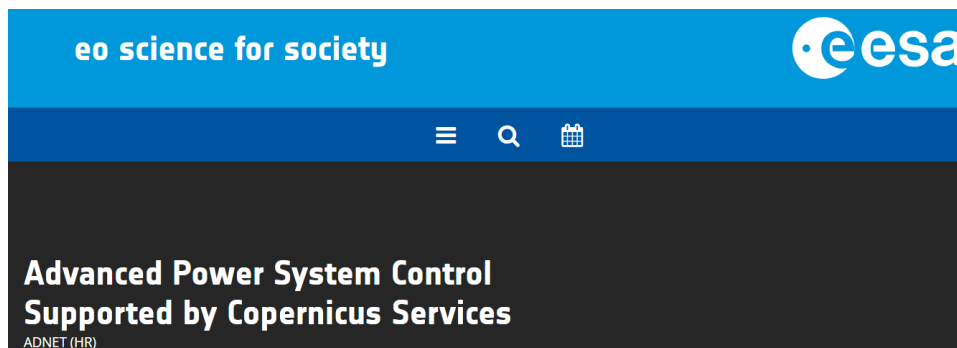
Frano Tomašević, dipl. ing.



11.11.2025.

Projektni put

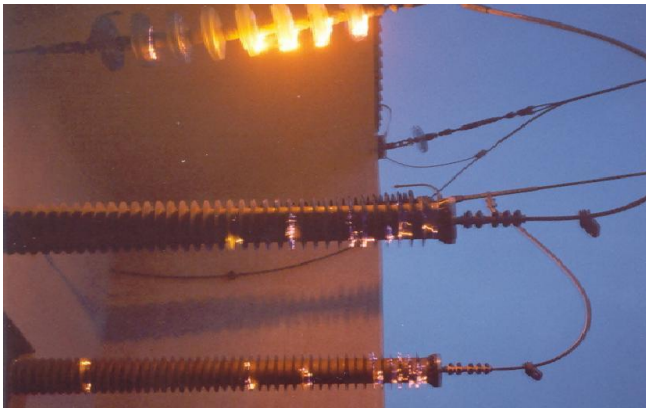
- Provedeni projekti:
 - Odlučivanje u upravljanju elektroenergetskim sustavom u uvjetima nesigurnosti uvjetovanih klimatskim promjenama – AACES (IRI2, 2020.-2023.)
 - Advance Power System Control supported by Copernicus Services (ESA, 2022.-2024.)
 - <https://eo4society.esa.int/projects/power-fires/>



- Projekti u tijeku:
 - Istraživanje meteoroloških i klimatoloških utjecaja atmosfere na elektroenergetski sustav (MZO, 2024.-2026.)
 - Aerosol Contamination Challenges for Power System Control (ESA, 2025.-2027.)

Zašto?

- Pouzdana i neprekinuta opskrba električnom energijom
 - Jedan od osnovnih zahtjeva koji se očekuje u radu elektroenergetskog sustava
- Na pouzdanost opskrbe utječu:
 - Učestalost i vrsta kvarova u elektroenergetskoj mreži
 - Mogu biti uzrokovani različitim meteorološkim uvjetima i dr.
 - Vjetar
 - Oborina i relativna vlažnost
 - Temperatura zraka



Zašto je važno?

- Proizvođači opreme – dizajn
 - Projektiranje trasa dalekovoda i odabir izolatora
 - Zahtjevi na ispitivanja u međunarodnim normama
 - Određivanje stanja opreme i održavanje
-
- Lokalni meteorološki uvjeti?!





2. Inozemna iskustva

- Energetika i meteorologija
- Kvaliteta meteoroloških podataka



Inozemni primjeri: **ENTSO-E WG PRA**

- PRA – engl. Probability Risk Assessment

- Podaci

- Reanaliza ERA 5
 - Prognoza vremena
 - Podaci o kvarovima na nadzemnim vodovima

- VAFFEL metodologija

- Stopa pojave kvara
 - Za svaku naponsku razinu
 - Za svaki nadzemni vod
 - Krivulja krhkosti/osjetljivosti
 - Satna vjerojatnost pojave kvara

➡ Sličnost s N-1 analizom?!

- Nije zamjena za N-1 analizu
 - **Dodana vrijednost N-1 analizi**

- Aktualnost i prepoznatljivost problematike

- CIGRE JWG C4-A3-B2-B4.75 „Guide to procedure for the creation of contamination maps required for outdoor insulation coordination”
- CIGRE JWG B2.95 „Impact of extreme weather events under climate change on high voltage overhead line design standards”



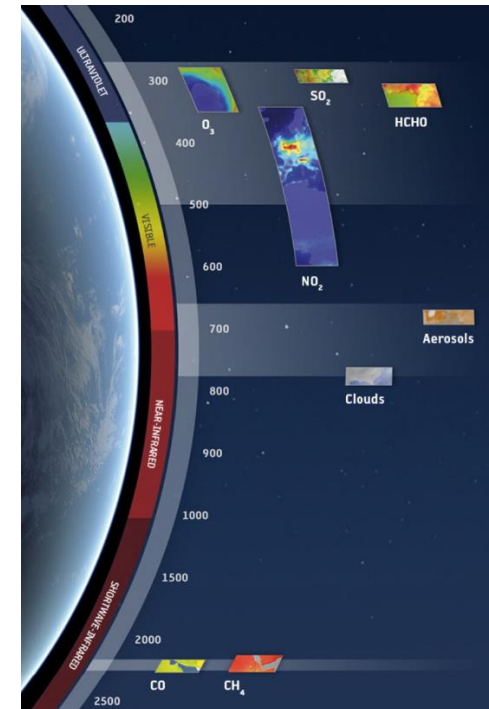
- Izazovi u istraživanju i prevenciji kvarova uzrokovanih meteorološkim uvjetima:

- Prilagodba davno postavljenih preporuka trenutnim i budućim vremenskim uvjetima
- Osiguranje točnih, pouzdanih i pravovremenih meteoroloških podataka



Meteo podaci

- Meteorološke postaje instalirane prema CIGRE preporukama
- Prizemna meteorološka mjerenja
- Satelitski podaci
- Reanalize -> ERA 5



- Guide to Instruments and Methods of Observation, WMO, vol. 1, 2023
- Meteorological data for assessing climatic loads on overhead lines, CIGRE 645, 2016

Kvaliteta meteoroloških podataka

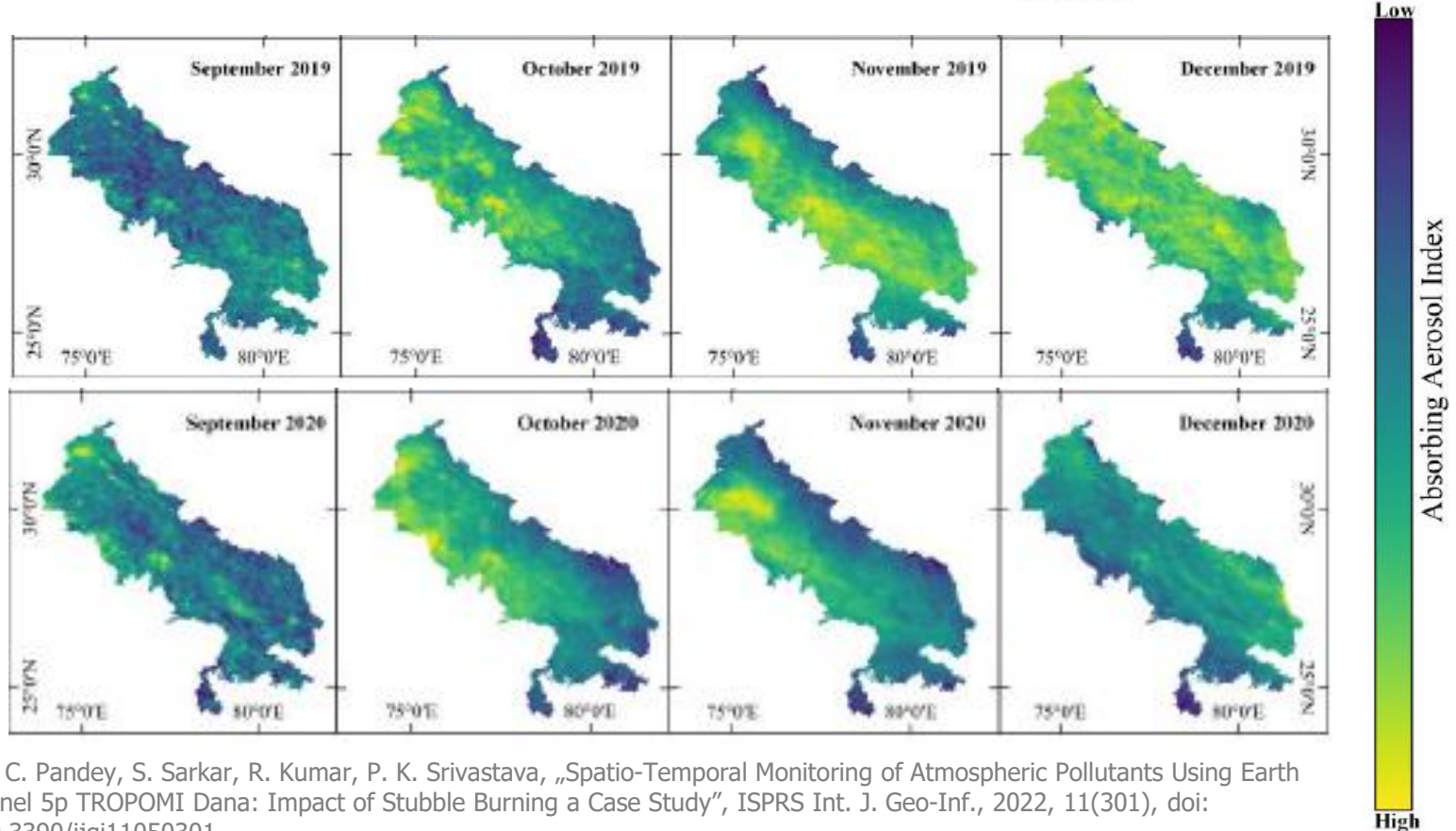
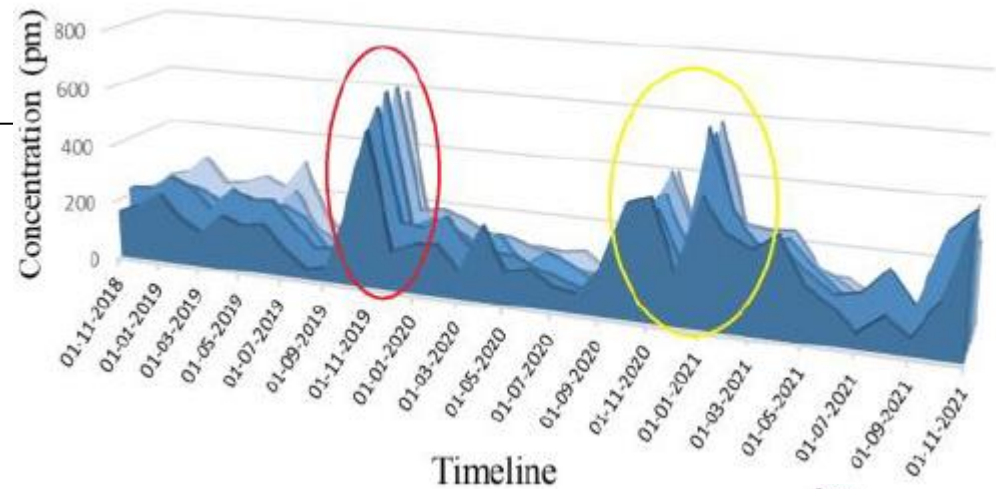
- **Izazovi** upotrebe meteoroloških podataka mjerenih na lokacijama komponenti elektroenergetskog sustava
 - Prostorna rezolucija mjernih postaja
 - Propuštena mjerenja
 - Kontrola kvalitete podataka
- Inozemni primjeri kontrole kvalitete meteoroloških podataka:
 - Skandinavija i Italija
 - Primjena preporuka WMO na standardna mjerenja
 - Belgija
 - Kontrola kvalitete agrometeoroloških podataka
 - ...
 - Primjena u energetici?
 - Praznina koju je potrebno istražiti i pokušati popuniti

- P. B. Cerlini, L. Silvestri, M. Saraceni: „Quality Control and gap-filling methods applied to hourly temperature observations over central Italy”, *Meteorological Applications*, vol. 27, 2020., doi: <https://doi.org/10.1002/met.1913>
- S. Dendrifosse, A. Jago, J. P. Huart, V. Michaud, V. Planchon, D. Rosillon: „Automatic quality control of weather data for timely decisions in agriculture”, *Smart Agricultural Technology*, vol. 8, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100445>
- F. Vejen, C. Jacobsson, U. Fedriksson, M. Moe, L. Andersen, E. Hellsten, P. Rissanen, P. Palsdottir, P. Arason: „Quality Control of Meteorological Observations”, *NMI*, 8/2002 KLIMA, 2002., ISSN: 0805-9918
- A. Toreti, M. Bratu, E. Muller, G. van der Grijn, I. Oliviera, M. Zampieri, A. Ceglar: „Advancing Near-Real-Time Quality Controls of Meteorological Observations”, *BAMS*, 2022, doi: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-21-0171.1>

Inozemni primjeri: **Indija**

Satelitski podaci

- Usporedba podataka misije Sentinel 5p s prizemnim mjerenjima
 - primjer Delhi, koncentracija PM_{10} , različite mjerne postaje, paljenje strništa

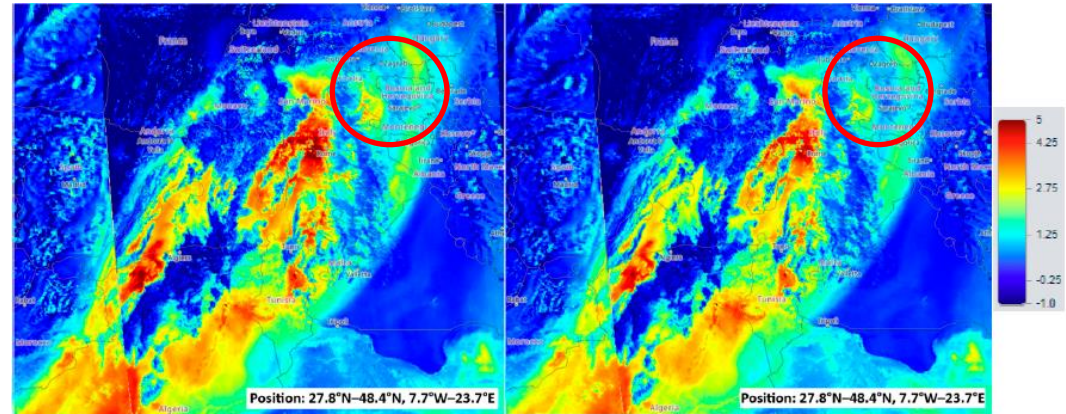


3. Dosadašnja istraživanja

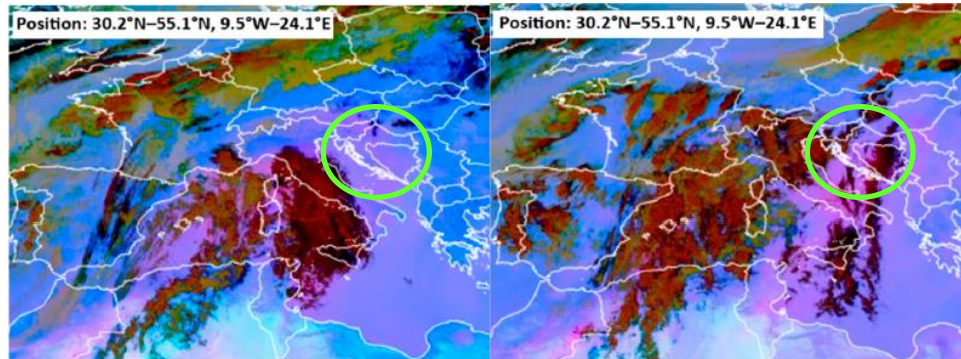
- Mogućnost primjene Sentinel 5p podataka u Hrvatskoj?
- Ugroza elektroenergetskih objekata
 - Požarnom aktivnošću uzrokovanom munjama
 - Olujnim nevremenom

Primjena Sentinel 5p podataka u Hrvatskoj?

- Izazov – skromna mreža mjerenja kvalitete zraka
 - Koncentrirana u industrijskom području
- Analiza poznate situacije visoke koncentracije aerosola
 - Prelazak saharskog pijeska preko Hrvatske
 - Usporedba Sentinel 5p AAI i EUMETSAT Dust RGB produkta, 19.06.2024.



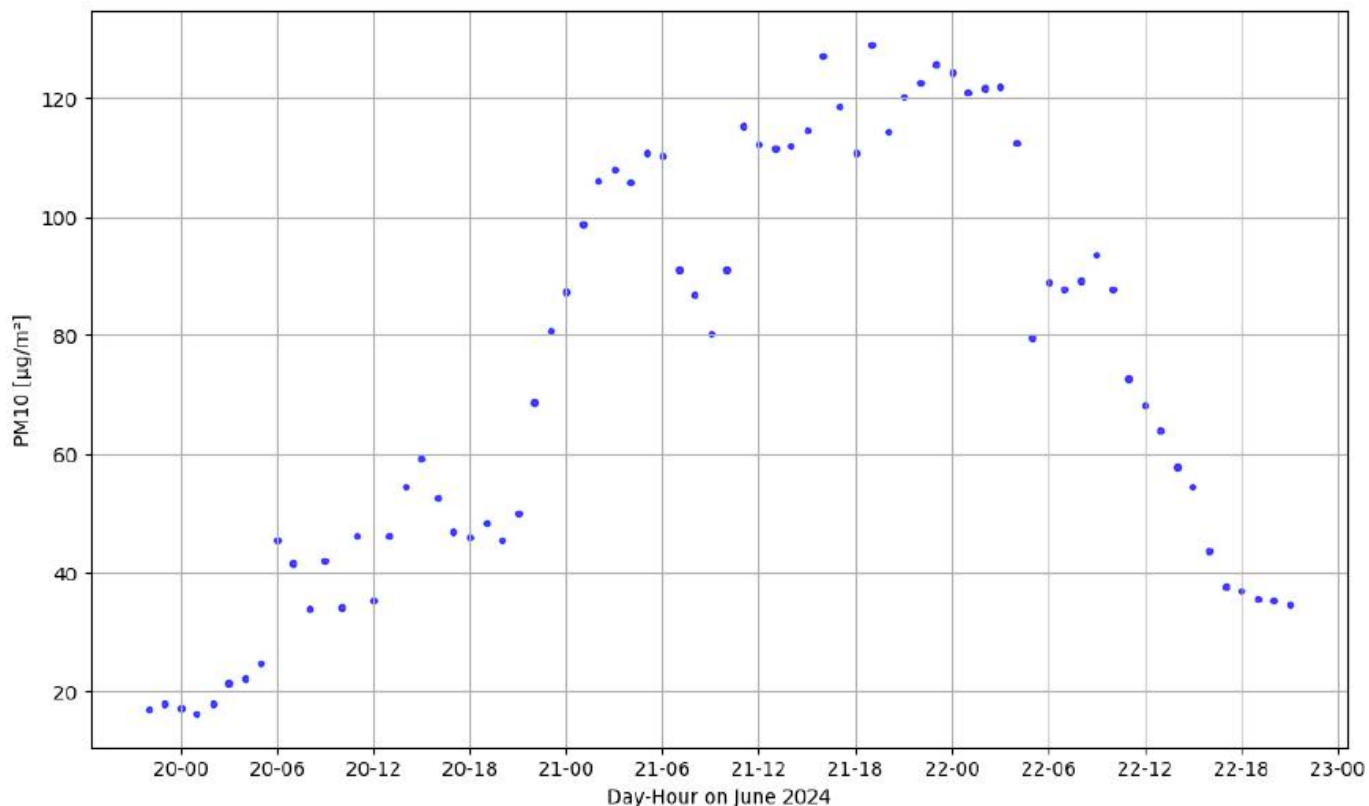
Sentinel 5p, AI340/380, AI354/388, 19.06.2024.



EUMETSAT, Dust RGB, 19.06.2024. u 09 i 18 UTC

Prizemna mjerenja: 20.-22.06.2024.

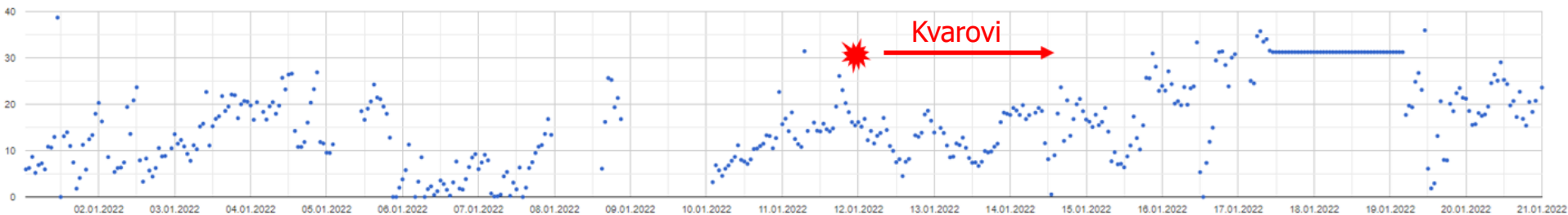
- Koncentracija PM_{10} na području od interesa
 - Analiza pojave kvarova na nadzemnom vodu



Rijeka, 20.-22.06.2024.

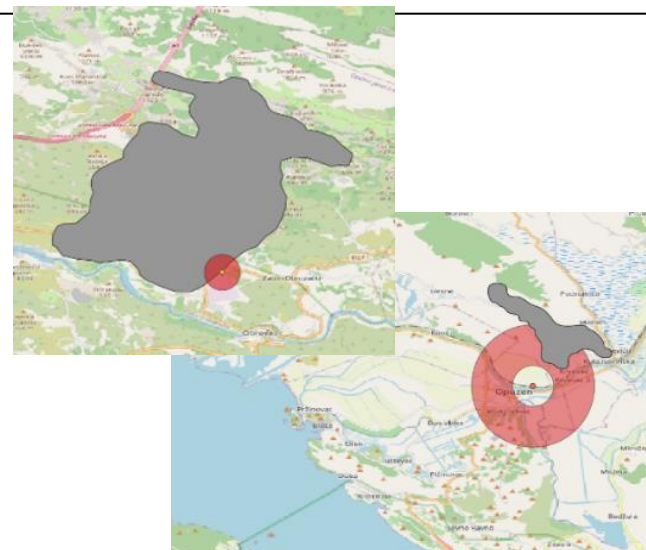
Sentinel 5p i pojava kvarova na nadzemnom vodu

- HŽ kontaktna mreža 25 kV, 50 Hz
 - Kvarovi čiji je uzrok kontaminacija aerosolom
- Visoka koncentracija morske soli u zraku

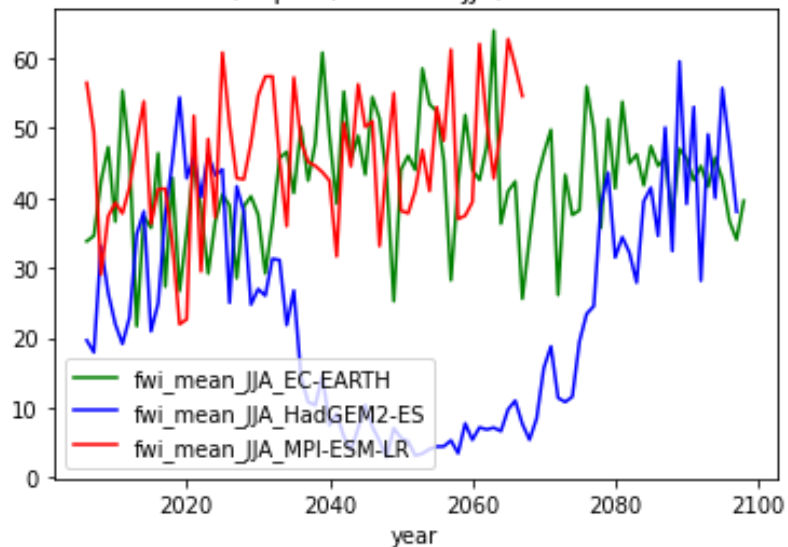


Ugroza elektroenergetskih objekata požarnom aktivnošću

- Požari uzrokovani udarima munja
 - Mali broj požara
 - Velika opožarena površina
 - Broj udara munja po požarnom događaju: 7-21
 - Većina požara
 - 5-10 km od objekata EES-a
- Klimatološke projekcije
 - Klimatološke projekcije vs. Prognoze vremena
 - Klimatološki scenariji i modeli
 - Indeks opasnosti od širenja šumskih požara
 - Engl. Fire Weather Indeks (FWI)

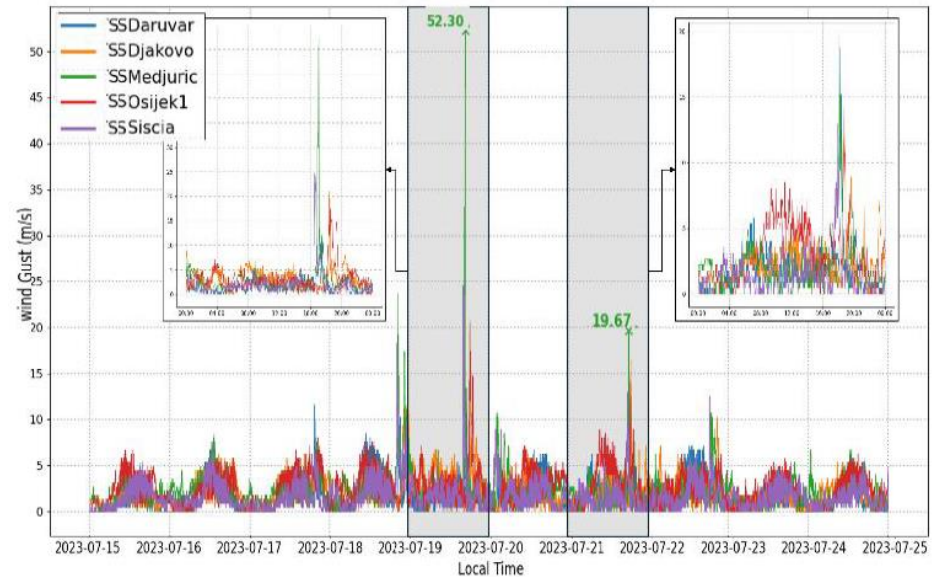


Ploče, rcp4.5, seasons JJA, mean value



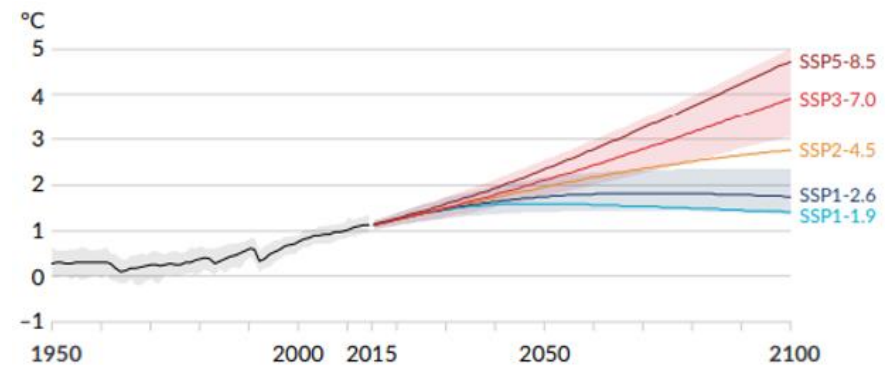
Ugroza elektroenergetskih objekata olujnim nevremenom

- Srpanj 2023.
 - Izrazita grmljavinska aktivnost
 - Oborina → 160 mm/m²
 - Tuča → promjer oko 10 cm
 - Srednja brzina vjetra do 45 m/s
 - Udari vjetra do 52 m/s
 - Oštećenja prijenosne mreže:
 - 110 kV → 40 stupova
 - 220 kV → 5 stupova
 - 400 kV → 6 stupova



Udari vjetra, 15.-25.07.2023.

- Trenutno važeći propisi za projektiranje elektroenergetskih vodova
 - Srednja brzina vjetra 20-25 m/s
 - Maksimalni udari vjetra do 45 m/s
 - Jesu li potrebne dorade?!



Globalna temperatura zraka 1950.-2100.



4. Nastavak istraživanja

- Segmenti istraživanja

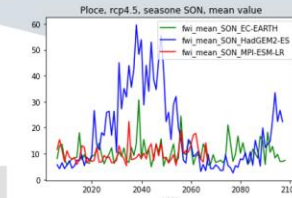
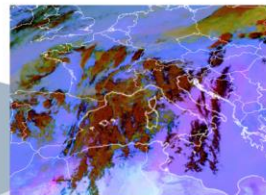
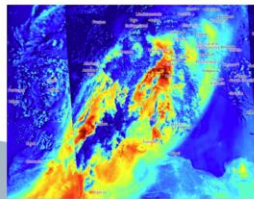
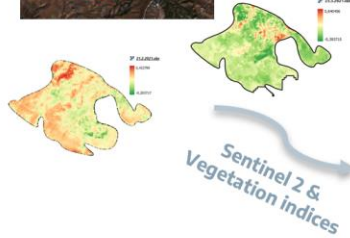


Segmenti istraživanja

- Razvoj metode za osiguranje kvalitete meteoroloških podataka za procjenu stanja nadzemnih vodova
 - Provjera točnosti meteoroloških mjerenja
 - Prilagodba preporuka Svjetske meteorološke organizacije
 - Popunjavanje/nadomjestak nedostajućih mjerenja

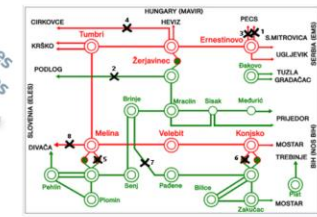
-
- Razvoj metode za procjenu vjerojatnosti nastanka kvara na nadzemnim vodovima obzirom na klimatološke uvjete za područje od interesa
 - Klasifikacija kvarova na nadzemnim vodovima
 - Određivanje
 - Meteoroloških parametara s najvećim utjecajem na nastanak kvarova
 - Ozbiljnosti kvarova obzirom na probrane meteorološke uvjete
 - Pregled pojave kvarova obzirom na
 - Povijesne meteorološke podatke
 - Klimatološke predikcije
 - Usporedba rezultata s aktualnim normama i preporukama za projektiranje nadzemnih vodova

A small step for Earth observation, A giant leap for power system resilience to climate challenges.



Climate projections

Power lines disconnections



Voltage rose



Hvala!

amaliya.bozicek@adnet.hr
www.linkedin.com/in/amalijabozicek

