

KARTA KOEFICIJENTA DODATNOG TERETA OD LEDA NA NADZEMNIM ELEKTRIČNIM VODOVIMA

Melita Perčec Tadić, Renata Sokol Jurković
melita.percec.tadic@cirus.dhz.hr

Državni hidrometeorološki zavod
Sektor za meteorološka istraživanja i razvoj
Služba za klimatologiju

UVOD

Procjena rizika od katastrofa za RH, 2015.

- Bolesti bilja
- Bolesti životinja
- Ekstremne temperature (DHMZ partner)
- Epidemije i pandemije
- Industrijske nesreće
- Poplave izazvane izlivanjem kopnenih voda (DHMZ partner)
- Potres
- Požari otvorenog tipa (DHMZ partner)
- **Snijeg i led (DHMZ koordinator)**
- Suša (DHMZ partner)
- Zasljenost kopna (DHMZ partner)
- Složeni rizik: potres i poplava na području Grada Zagreba

Procjena rizika od katastrofa za Republiku Hrvatsku, 2015.
[Procjena rizika od katastrofa za Republiku Hrvatsku, 2019.](#)
[Portal](#)

Štete - događaj s najgorim mogućim posljedicama

- 1-2. veljače 2014., ledena kiša
- procijenjena šteta: 350 mil. EUR (2.6 milijardi HRK)
- deset godišnjih budžeta P-g županije
- 10 cm leda na električnim vodovima debljine 16 mm
- ekvivalentno koeficijentu dodatnog tereta od leda 9-39
- uobičajeni koeficijent u ovoj regiji je 4
- 1.7 mil. HRK direktna šteta na elektroenergetsku infrastrukturu P-g županije



Led na elektro infrastrukturi

Smetnje u elektro sustavu i prometu



10 cm leda na električnim vodovima.
Photo: S. Vinter



Lom stupa

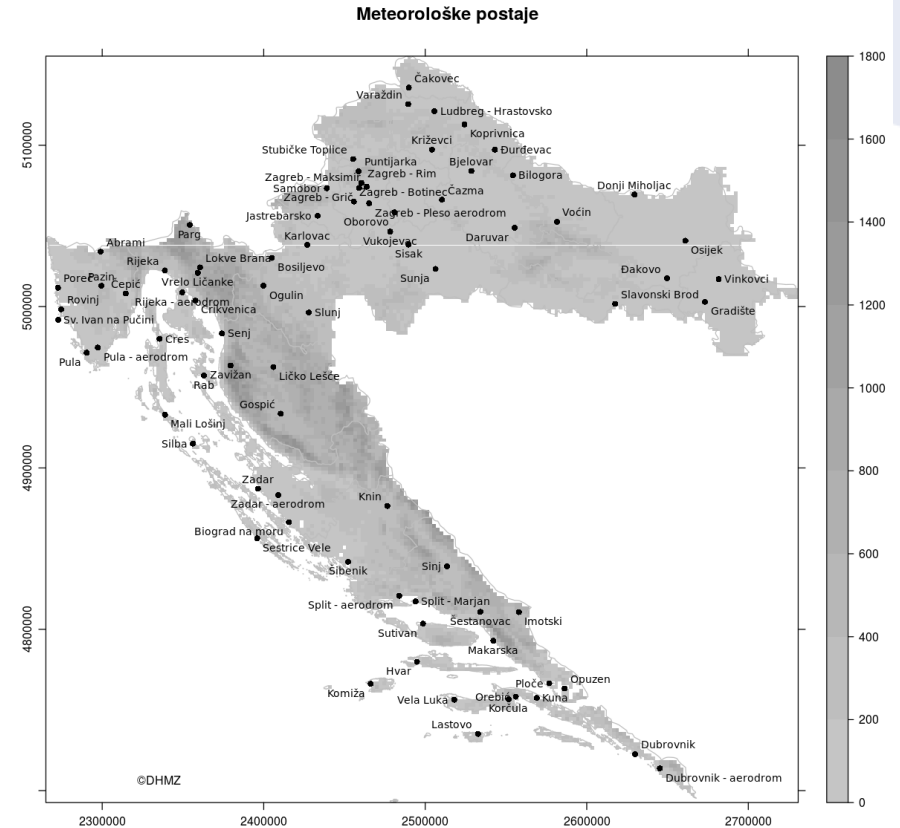
Novi Nacionalni dodatak

- u normi “HRN EN 50341-1:2012 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV - 1. Dio: Opći zahtjevi – Uobičajene specifikacije”
- objedinjuje prethodno važeće norme za dalekovode iznad 45 kV i od 1 kV do 45 kV (EN 50341-1:2001 i EN 50423-1:2005)
- europska norma EN 50341-1:2012 „Overhead electrical lines exceeding AC 1 kV - Part 1: General requirements – Common specifications“
- specifični klimatski uvjeti koji predstavljaju opterećenja za funkcioniranje sustava, a to su vjetar i led, definiraju se donošenjem nacionalnog dodatka
- direktna mjerenja tereta od leda ne postoje

PODACI

Podaci za procjenu uvjeta za zaleđivanje

- 80 klimatoloških postaja
- kombinirani parametar: dan s $t_{e_n} \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ i $ob \geq 10 \text{ mm}$
- kombinirani parametar: dan s $t_{e_n} \leq 0 \text{ } ^\circ\text{C}$ i $ob \geq 25 \text{ mm}$
- srednji broj dana u razdoblju 1981.-2010. u kojima je zadovoljen uvjet za zaleđivanje
- 98 percentil broja dana s uvjetima za zaleđivanje za ocjenu ekstrema



Klimatološka polja, projektni koeficijenti dodatnog tereta od leda i havarije

Dio raspoloživih klimatoloških polja

godišnji broj dana sa snježnim pokrivačem ≥ 1 cm

godišnji broj dana s količinom oborine ≥ 1 mm

godišnji broj hladnih dana

godišnji broj dana s toplim noćima

godišnja ukupna dozračena sunčana energija [MJ/m²]

godišnja naoblaka [1/10]

količina oborine za jesen [mm]

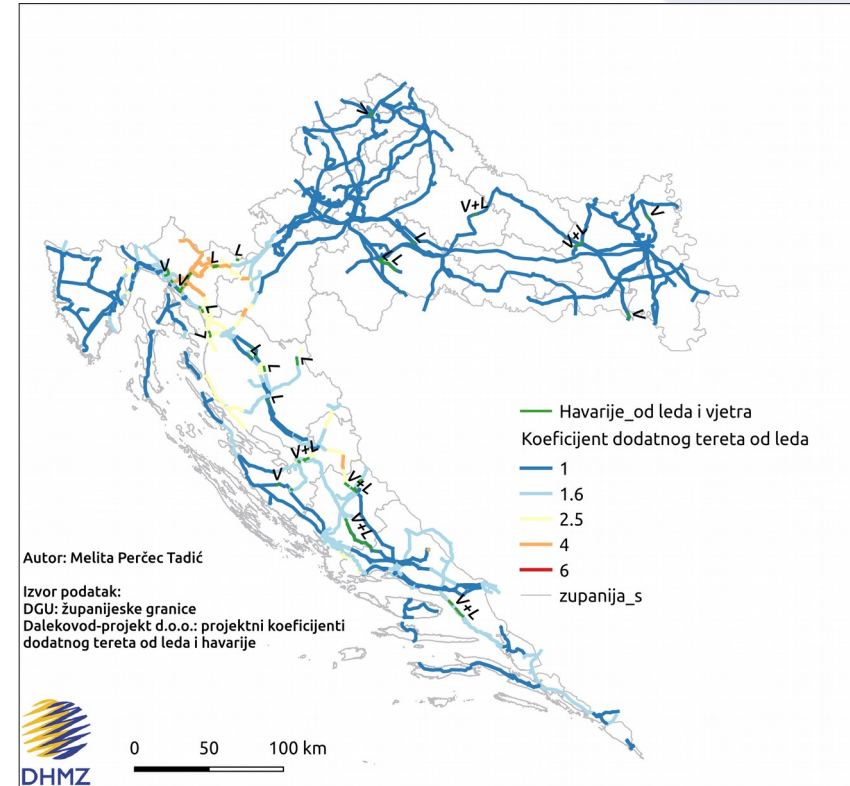
količina oborine za proljeće [mm]

količina oborine za ljeto [mm]

količina oborine za zimu [mm]

godišnja količina oborine [mm]

godišnji broj dana s uvjetima za zaleđivanje



METODE

Metoda za kartiranje uvjeta za zaleđivanje

- statistička analiza podataka na postajama
- regresijski kriging za kartiranje uvjeta za zaleđivanje, RK
- prostorna rezolucija od 1 km
- ocjena uspješnosti regresijskog kriginga
- koeficijent determinacije (R^2) je korišten za procjenu uspješnosti regresijskog modela
- poprečna validacija ispuštanjem po jednog elementa (LOOCV) korištena je za usporedbu mjerenih i procijenjenih vrijednosti modelom regresijskog kriginga
- korijen srednje kvadratne pogreške, RMSE
- pouzdanost, accur

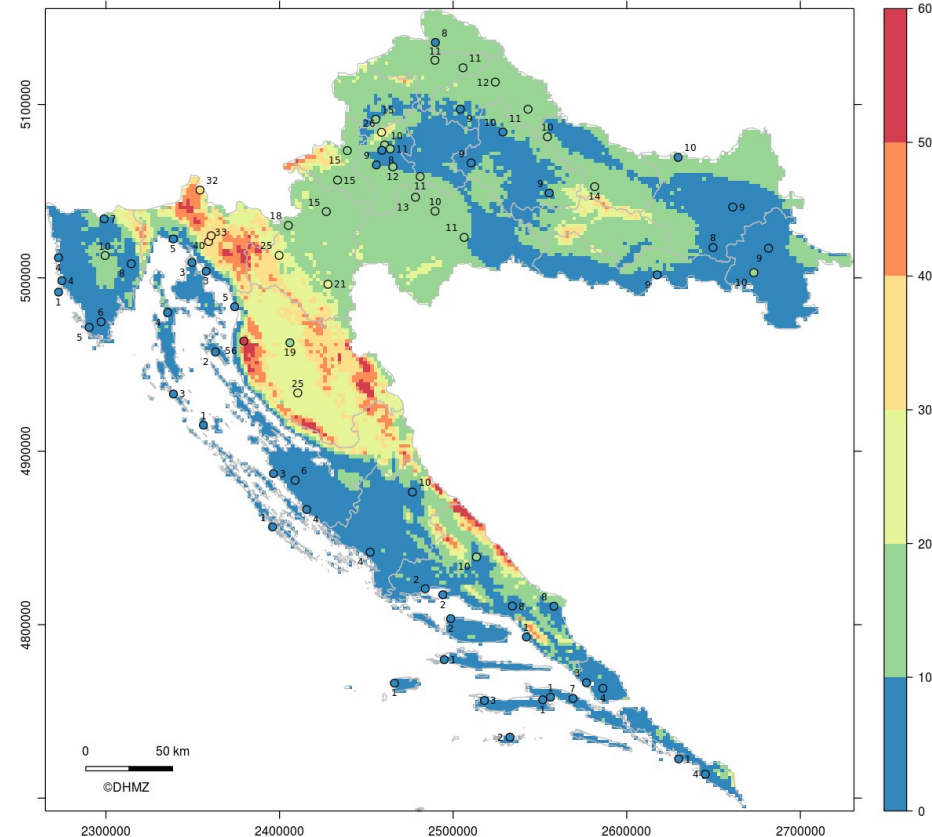
Metode za kartiranje koeficijenta dodatnog tereta

- multilogistička regresija za kartiranje koeficijenata dodatnog tereta od leda, MLR
- MLR je metoda klasifikacije faktorske varijable pri čemu se svaka od vrijednosti klasa (faktora) modelira logističkom regresijom
- rezultat je procjena vjerojatnosti pojavljivanja svakog od faktora, a konačna procjena na pojedinoj lokaciji je vrijednost onog faktora za koji je vjerojatnost pojavljivanja najveća
- prediktori: 6 testiranih setova klimatskih prediktora, projektirani koeficijent dodatnog tereta od leda
- korektori: analiza havarija
- rezultat: modificirana karta koeficijenata dodatnog tereta od leda
- odabir modela temeljem kontingencijske tablice (confusion matrix)

REZULTATI 1: UVJETI ZA ZALEĐIVANJE

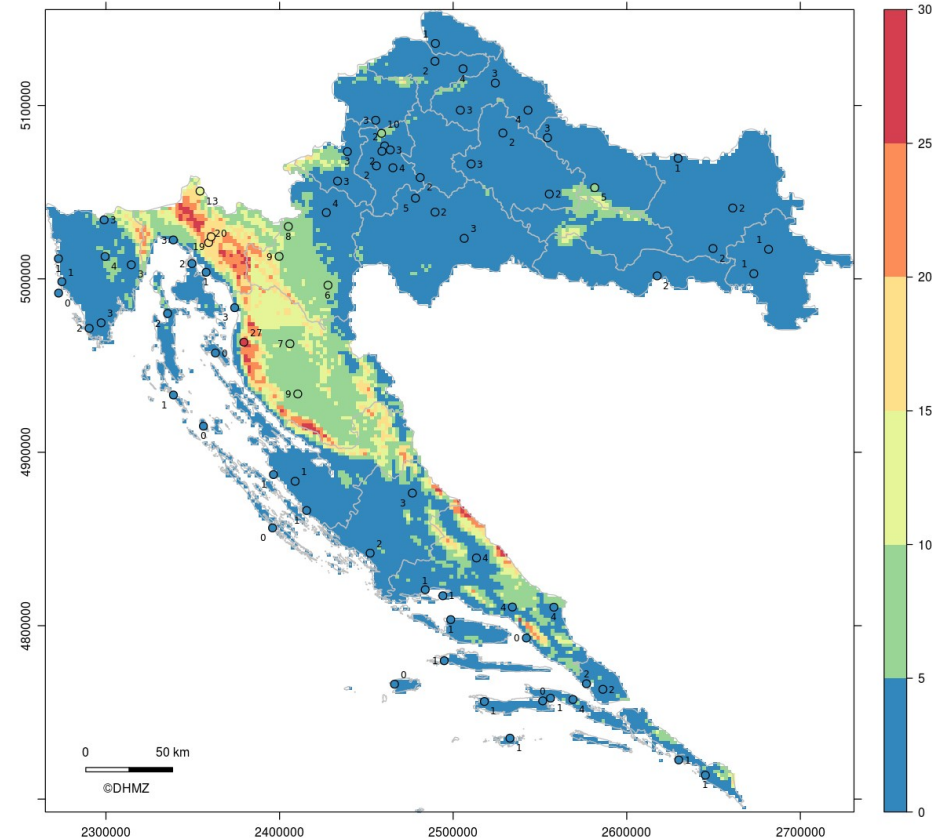
Karta 98 percentila, uvjeti za zaleđivanje, prag oborine 10 mm

- Zavižan, maksimum, 56 dana
- na obali i na visinama manjim od oko 100 m do 10 dana
- iznad 100 m nadmorske visine od 10-20 dana
- brdovita područja, 20 do 40 dana
- najviša planinska i do 60 dana
- $R^2=82\%$
- $accur=82\%$
- $RMSE=4$ dana



Karta 98 percentila, uvjeti za zaleđivanje, prag oborine 25 mm

- Zavižan, maksimum 27 dana s uvjetima za zaleđivanje
- u nizinskoj Hrvatskoj i na obali manje je od 5 dana
- na izoliranim brdima i planinama kontinentalne Hrvatske, Iste i primorja i u Lici 5-15 dana
- u višim planinskim predjelima do 30 dan, npr. vršni dijelovi planina Gorskog kotara, Velebita, Dinare i Biokova
- $R^2=65\%$, $accur=87\%$, $RMSE=2$ dana



Clim4Energy izvještaj

- Odabir pragova oborine usklađen je s preporukama u Clim4Energy izvještaju
- 10 mm oborine: moguće su štete na osjetljivijim električnim vodovima
- 25 mm oborine: štete mogu nastupiti i na otpornijim vodovima i transformatorskim postrojenjima
- “freezing rain indicator” za sadašnju klimu, reanaliza ERA-Interim prognostičkih modela u Clim3energy izvještaju
- za buduću klimu: 6 klimatskih projekcija iz EURO-CORDEX inicijative, 2 emisijska scenarija
- prostorna rezoluciji od 0.75° (~75 km) za sadašnju klimu i 0.44° (~44 km) za šest klimatskih projekcija

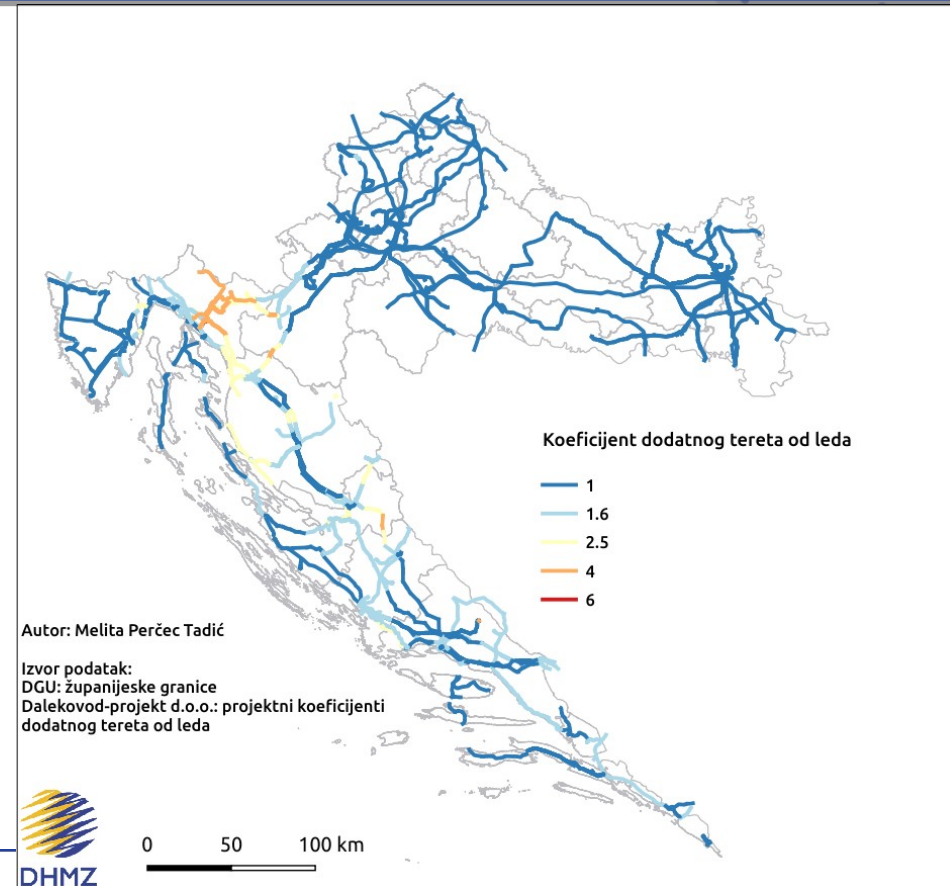
Usporedba Clim4Energy i DHMZ karata s uvjetima za zaleđivanje za Hrvatsku

- uspoređene su maksimalne vrijednosti na kartama
- razdoblje 1981.-2010.
- 10 mm oborine
 - Clim4Energy: 36-55 dana, DHMZ: 40 dana
- 25 mm oborine
 - CLim4Energy: 7-10 dana, DHMZ: do 20 dana
 - smatramo da je DHMZ karta preciznija za ovakve izuzetne događaje koji se na gruboj Clim4Europe karti ne mogu razlučiti
- Vajda, Andrea, and Otto Hyvärinen. 2017. CLIM4ENERGY Documentation of indicator Freezing Rain Impact Indicator. ECMWF COPERNICUS REPORT ISSUED BY FMI AND CEA.

REZULTATI 2: KOEFICIJENTI DODATNOG TERETA

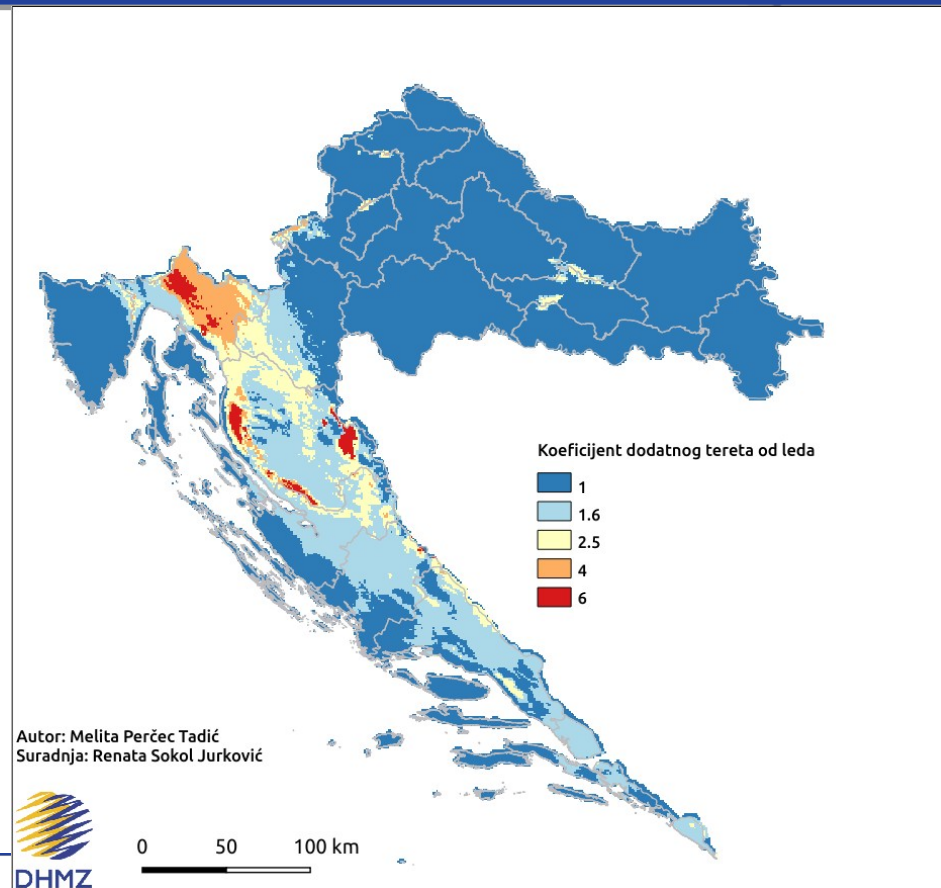
Projektni koeficijenti dodatnog tereta, zavisna v. u MLR

- vektorski format transformiran je u rasterski tako da je svakom pixelu rezolucije 1 km kojim prolazi jedan ili više vodova dodijeljena maksimalna vrijednost postojećeg kdt kako bi se uvažio uvjet maksimalne sigurnosti
- u svakom pixelu pripremljene su vrijednosti prediktora
- od ukupno 7052 pixela na kojima se nalaze vodovi, veći dio nalazi se u klimatskim zonama gdje se ne očekuju značajni tereti od leda i korišten je kdt=1.0 (4903)
- na svega 11 km na području Gorskog kotara korišten je najveći koeficijent kdt = 6



Karta koeficijenata dodatnog tereta od leda

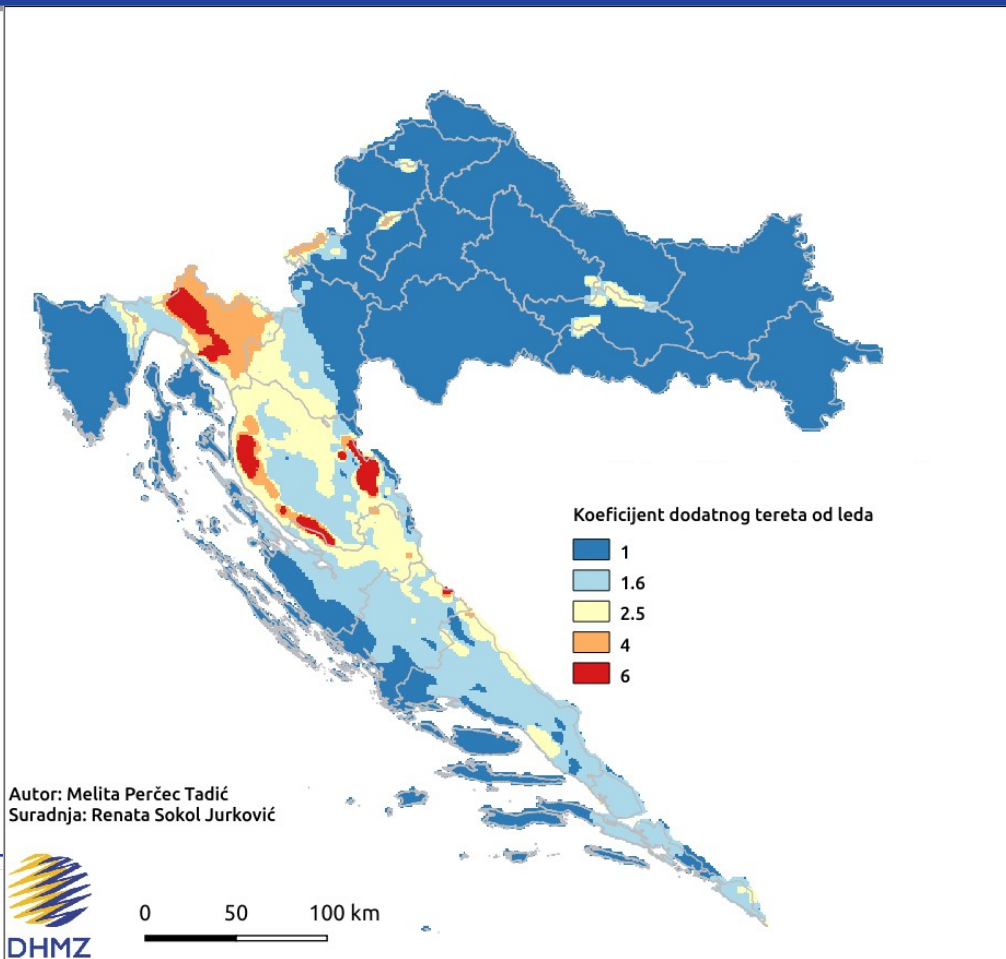
- odabran je MLR sa svim dostupnim klimatskim prediktorima
- jedini model koji donekle uspješno, u 27% slučajeva, procjenjuje najviši $kdt=6$
- modeli koji kao prediktore imaju karte opterećenja snijegom i karte uvjeta za zaleđivanje uspješnije procjenjuju područja najniže vrijednosti $kdt=1$, ali su slabiji u procjeni svih viših klasa



Korekcije uz uvažavanje prošlih havarija

- nakon filtriranja karta je na trasama postojećih dalekovoda uspoređena s podacima o havarijama zbog (1) leda i (2) leda i vjetra
- 57 havarija, samo 18 s izmjerenim teretom
- ukoliko je uz korišteni projektni parametar na dalekovodu došlo do havarije, a na karti je predložen koeficijent iste ili niže vrijednosti, karta je ručno modificirana tako da je vrijednost koeficijenta povećana za klasu više od projektne vrijednosti
- vrijednosti na otocima su na pojedinim pikselima bile više od 1.6 i one su modificirane na 1

Modificirana karta koeficijenata dodatnog tereta od leda



Dodatne napomene

Ovo istraživanje bilo je podloga za izradu nacionalnog dodatka norme “HRN EN 50341-1:2012 Nadzemni električni vodovi izmjenične struje iznad 1 kV - 1. Dio: Opći zahtjevi – Uobičajene specifikacije” prema ugovoru br. B3000-46/18 sklopljenog između naručitelja Hrvatskog operatera prijenosnog sustava i Državnog hidrometeorološkog zavoda.

Dio rezultata objavljen je u zborniku radova:

Perčec Tadić, Melita; Sokol Jurković, Renata

[Karta koeficijenta dodatnog tereta od leda za potrebe izrade nacionalnog dodatka norme HRN EN 50341-1:2013](#)

14. savjetovanje HRO CIGRÉ, Hrvatska, Šibenik, 2019.