

Melita Perčec Tadić¹, Branka Ivančan-Picek i Alica Bajić
melita.percec.tadic@cirus.dhz.hr, branka.ivancan-picek@cirus.dhz.hr, alica.bajic@cirus.dhz.hr
Državni hidrometeorološki zavod

METEOROLOŠKA PODLOGA PROCJENI RIZIKA OD SNIJEGA I LEDA U REPUBLICI HRVATSKOJ

SAŽETAK

Gotovo svake godine u zimskom razdoblju pojavljuju se štete na građevinama, prometne nesreće i prekidi u odvijanju prometa, kao i prekidi u opskrbi uslugama (struja, telekomunikacije) uzrokovani iznenadnim ili velikim količinama snijega i leda. U razdoblju 1996–2014. u Republici Hrvatskoj su prijavljene godišnje štete od snijega i leda u rasponu od 0.8 mil. kn do 2.6 mlrd. kn, koliko su iznosile štete od ledene kiše u Gorskom kotaru u veljači 2014. godine. U svrhu kvalitetne pripreme za reakciju na poteškoće koje ove prirodne nepogode mogu izazvati u društvu, ali i kako bi se moglo pristupiti financijskim sredstvima EU dodijeljenima za ove svrhe, Vlada RH je krajem 2013. donijela odluku o izradi Procjene rizika od katastrofa gdje je ocjena rizika od snijega i leda sastavni dio.

Ključne riječi: snijeg, led, rizik, građevine, elektroenergetska postrojenja, vodovi

Meteorological background for snow and ice risk assessment for Croatia

Almost every year in the winter period there are damages on buildings, traffic accidents and traffic disruptions as well as breaks in energy or telecommunication service due to sudden or severe snow or ice loads. In 1996–2014 period annual damages in Republic of Croatia from snow and ice were ranging from 0.8 million to 2.6 billion kunas, the last one was the ice load damage in Gorski kotar in February 2014. To prepare for severe pressure to society caused by this type of natural disasters, but also to be legitimate to apply for the EU funds, the Croatian Government decided that the Risk assessment from natural disasters has to be prepared where risk assessment from snow and ice is integral part.

SUMMARY

Key words: Snow, ice, risk, buildings, electric power and transmission system

1. UVOD

Više državnih i javnih službi u Hrvatskoj sudjeluje u izradi Procjene rizika od prirodnih i industrijskih katastrofa. Najopasnijima se smatraju katastrofe izazvane: a) poplavama i sušom, b) bolestima biljaka i životinja i epidemijama, c) snijegom i ledom, d) ekstremnim temperaturama, e) industrijskim nesrećama, f) potresima i g) požarima. Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ) sudjeluje u izradi Procjene rizika od katastrofa [1] koju koordinira Državna uprava za zaštitu i spašavanje i vodi grupu za procjenu rizika od snijega i leda. Procjena se sastoji od nekoliko komponenata. Temeljem meteoroloških podataka koje DHMZ prikuplja i analizira moguće je ocijeniti vjerojatnosti uzroka pojedinih rizika. Druga komponenta u procjeni rizika su posljedice elementarnih nepogoda na gospodarstvo, poljoprivredu i infrastrukturu. Posljedice su procijenjene iz podataka Registra prijavljenih šteta od

¹ Stavovi izneseni u referatu su osobna mišljenja autora, nisu obvezujući za poduzeće/instituciju u kojoj je autor zaposlen te se ne moraju nužno podudarati sa službenim stavovima poduzeća/institucije.

elementarnih nepogoda za razdoblje 1996–2014. Ministarstva financija. Raspolagali smo također novinskim izvještajima o posljedicama na gospodarstvo i ljude za dva pojedinačna scenarija: prvi koji se može očekivati češće, te za drugi, izuzetno rijedak događaj s ekstremnim posljedicama, kao što je bila ledena kiša u Gorskom kotaru u veljači 2014. Za ove analizirane scenarije raspolagali smo i informacijama o posljedicama od niza šteta pogođenih gospodarskih djelatnosti, kao što su proizvodnja i distribucija energije, cestovni i željeznički promet, šumarstvo i dr. Kombiniranjem vjerojatnosti uzroka i stupnja posljedica ocijenjen je rizik od snijega i leda.

Rizik od snijega i leda od posebnog je interesa za elektroenergetski sektor u području proizvodnje, a posebno distribucije električne energije zbog velikih šteta koje mu snijeg i led mogu nanijeti. Važno je ocijeniti geografski rizična područja, moguće trajanje pojave, očekivani intenzitet kao i ranjivost društva: ljudi i materijalnih dobara.

2. PODACI

Za ocjenu vjerojatnosti pojave snijega koji može predstavljati prijetnju gospodarstvu i stanovništvu korištena je modificirana karta karakterističnog opterećenja snijegom [5] koja je izrađena kao podloga nacionalnog dodatka HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2012 [2] za procjenu opterećenja snijegom na građevine. Smatramo da je ovaj parametar značajan i kod procjene rizika jer se koristi pri procjeni djelovanja snijega na građevine i uvažava se pri projektiranju građevina s dužim vijekom trajanja.

Ocjena vjerojatnosti pojave poledice temelji se na broju dana s poledicom koji se procjenjuje iz istovremene pojave oborine i temperature zraka pri tlu $\leq 0^{\circ}\text{C}$ Temperatura zraka pri tlu, na 5 cm visine, mjeri se na malom broju postaja, ali utvrđeno je da temperatura zraka na 2 m visine $\leq 3^{\circ}\text{C}$ (standardno mjerenje) i pojava oborine stvaraju uvjete povoljne za nastanak poledice na tlu te su ovi podaci korišteni kao alternativa temperaturama pri tlu.

Ocjena posljedica dana je na temelju podataka iz Registra šteta od elementarnih nepogoda, ali i na temelju novinskih izvještaja koje prikuplja DHMZ, a odnose se na događaje vezane uz meteorološke uvjete. Dio podataka o štetama prikupljen je od službi koje su imale štete na objektima u svojoj nadležnosti.

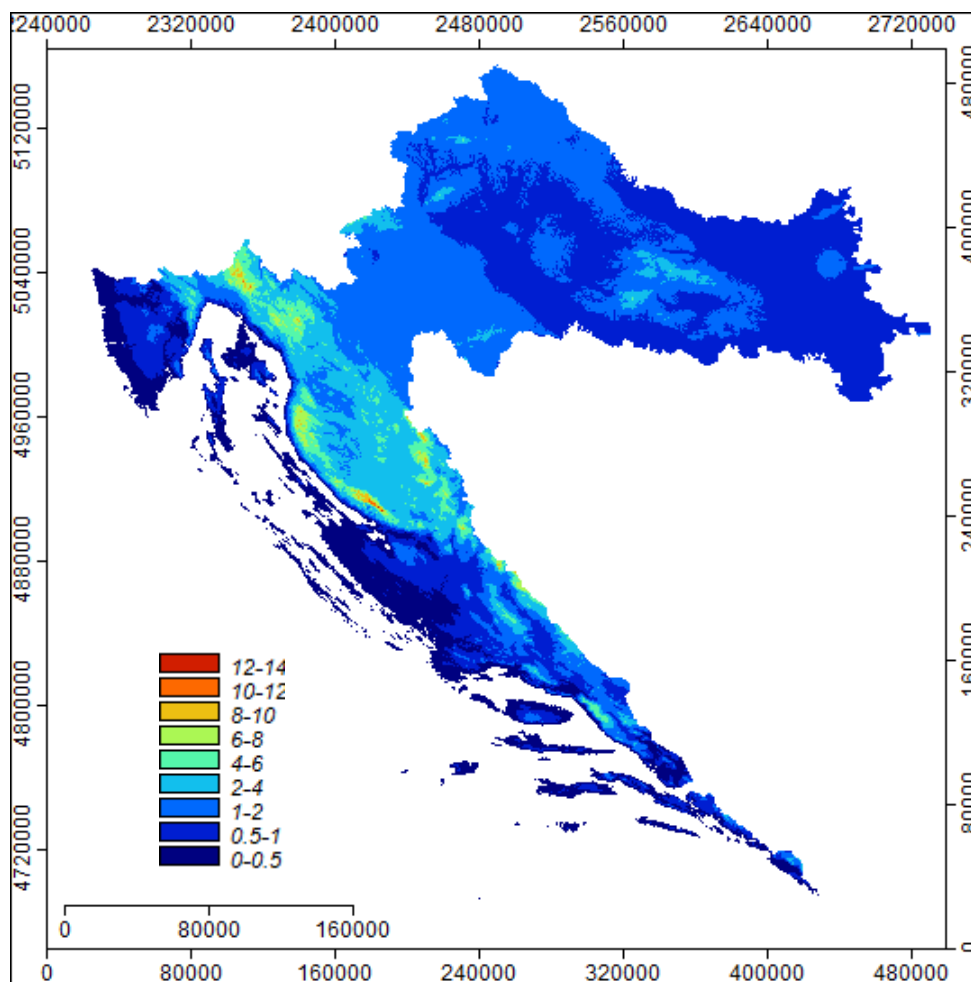
2.1. Karta karakterističnog opterećenja snijegom

Opterećenje snijegom računa se iz mjerenja visine snježnog pokrivača i gustoće snijega. Dok se visine snježnog pokrivača mjere na većem broju postaja (118), gustoće snijega za razdoblje 1971-2000. raspoložive su na svega 13 meteoroloških postaja. Stoga bi se opterećenje snijegom na osnovi raspoloživih mjerenja visina snijega i gustoća moglo proračunati samo na 13 postaja koje mjere oba parametra, što je nedovoljno za potrebe kartiranja opterećenja i procjenu njegove vrijednosti za područje Hrvatske. Kako bi se prevladala ova poteškoća, provedena je analiza dnevnih podataka gustoće snijega i visine snježnog pokrivača na 13 postaja koje mjere oba klimatološka parametra kako bi se utvrdilo postoji li veza između ovih parametara. Definiranjem regresijskih jednadžbi kojima se procjenjuje ovisnost gustoće snijega o visini snježnog pokrivača, moguće je iz maksimalnih mjesečnih visina snijega proračunati gustoće snijega i dalje mjesečna opterećenja, a iz nizova mjesečnih opterećenja i najveće godišnje opterećenje snijegom. Time je za 105 postaja (uz 13 postaja na kojima se godišnje opterećenje računa izravno) dobiven dovoljan broj nizova godišnjih opterećenja za procjenu maksimalnog opterećenja za povratni period 50 godina.

Karakteristično opterećenje snijegom (s_k) definira se kao opterećenje snijegom za koje je vjerojatnost premašaja te vrijednosti 0.02, i isključuje izuzetna opterećenja snijegom. Ova vjerojatnost premašaja odgovara maksimalnom opterećenju snijegom koje se može očekivati jednom u 50 godina. Za procjenu opterećenja snijegom koje se može očekivati jednom u 50 godina korištena je generalizirana razdioba ekstremnih vrijednosti (GEV) za sve meteorološke postaje koje raspolažu potpunim nizom podataka maksimalnih godišnjih opterećenja snijegom u 30-godišnjem razdoblju 1971-2000. Budući da je za analizu prostorne raspodjele potrebno raspolagati što gušćom mrežom postaja, broj postaja s potpunim nizom podataka nadopunjen je i postajama koje raspolažu s barem 20-godišnjim nizom podataka, a izuzetno su u analizu uključeni i podaci osam postaja s manje od 20 godina podataka koji su ipak dragocjeni jer se nalaze na područjima gdje nema drugih postaja ili su to postaje na većim nadmorskim visinama kojih također ima malo.

Za procjenu vrijednosti na lokacijama na kojima nema mjerenja korišten je regresijski kriging [4, 5]. Kao prediktori u regresijskom modelu odabrani su nadmorska visina, srednja količina oborine zimi (prosinac, siječanj i veljača razdoblja 1961–1990.) i srednje mjesečne temperature siječnja i travnja uz

postignuti koeficijent determinacije 0.91. Regresijska analiza pokazala je da su sijećanjska temperatura i zimska količina oborine najvažniji prediktori u regresijskoj jednadžbi. Sljedeći korak u prostornoj procjeni s_k je kriging reziduala pri čemu je utvrđeno da variogram reziduala najbolje modelira eksponencijalni izotropni model. Ukoliko statistička razdioba podataka, kao što je slučaj s podacima karakterističnog opterećenja snijegom, odstupa od normalne razdiobe, preporučljivo je podatke prije regresijske analize transformirati korištenjem logaritamske transformacije. Ovo je opravdano i stoga što drugi autori koriste funkciju potencija za definiranje ovisnosti opterećenja o nadmorskoj visini. Logaritmiranjem funkcije potencija dolazi se do jednadžbe u kojoj $\ln(s_k)$ linearno ovisi o nadmorskoj visini. Nakon definiranja regresijskog modela i variograma reziduala, metodom regresijskog kriginga proračunata je prostorna razdioba maksimalnog opterećenja snijegom za povratni period 50 godina, tzv. karakteristično opterećenje snijegom (Sl. 1).



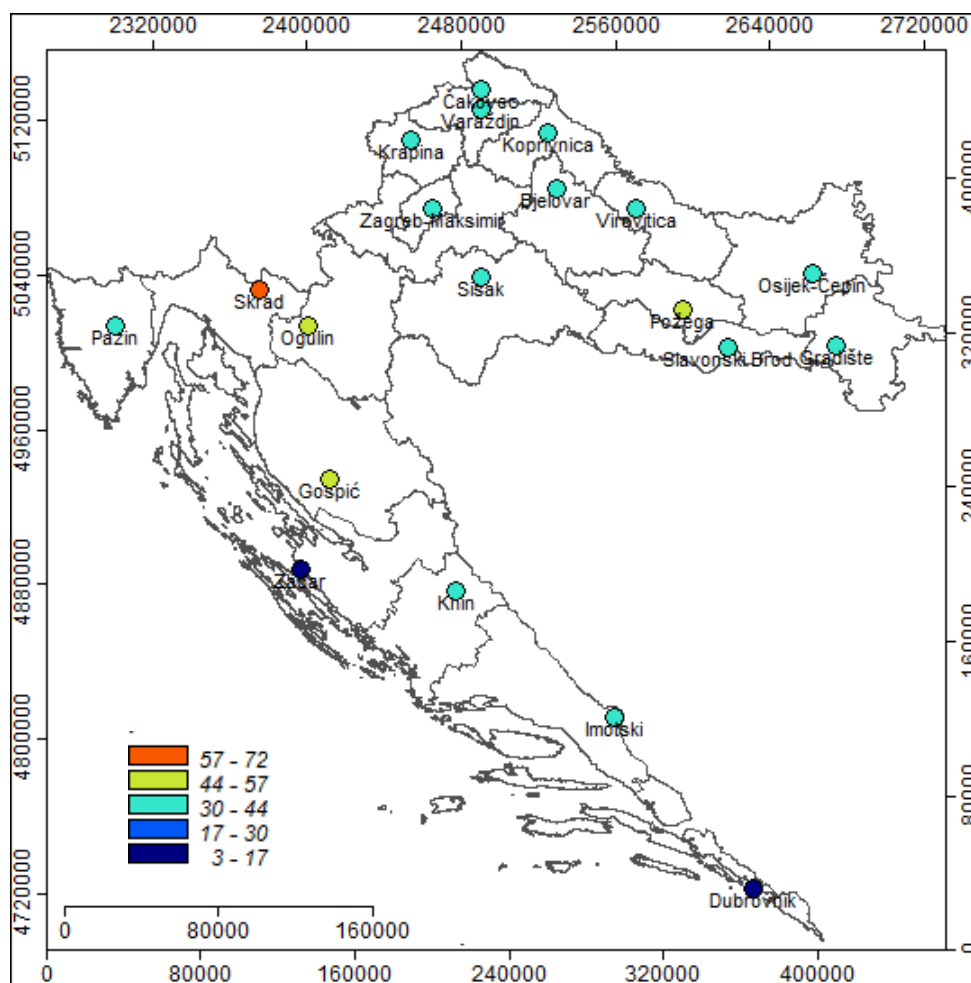
Slika 1. Karakteristično opterećenje snijegom [kNm^{-2}]

Sveukupno je preciznost predviđanja regresijskog kriginga testirana metodom poprečne validacije izostavljanjem po jednog elementa (Leave-one-out cross-validation, LOOCV). Računaju se korijen srednje kvadratne pogreške procjene (RMSE) i pouzdanost ($1 - \text{RMSE}^2$) gdje je RMSEr normalizirana RMSE standardnom devijacijom podataka. Korišteni model daje $\text{RMSE} = 0.68 \text{ kNm}^{-2}$ i pouzdanost do 79% na validacijskim točkama. Pouzdanost modela manja je na područjima bez mjerenja i na većim nadmorskim visinama. Karta karakterističnog opterećenja snijegom pokazuje da je zona najugroženija velikim opterećenjem vezana uz gorsko područje: Gorski kotar, Liku, Velebit i planinske vrhove.

2.2. Srednji godišnji broj dana s poledicom

Srednji godišnji broj dana s poledicom kreće se od tri dana na obali do 72 dana na području Gorskog kotara. Najugroženije su Primorsko-goranska, Karlovačka i Ličko-senjska županija (Sl. 2). I

Požeška kotlina se ističe po opasnosti od poledice. Na najvećem broju meteoroloških postaja broj dana s poledicom je između 30 i 44 dana godišnje.



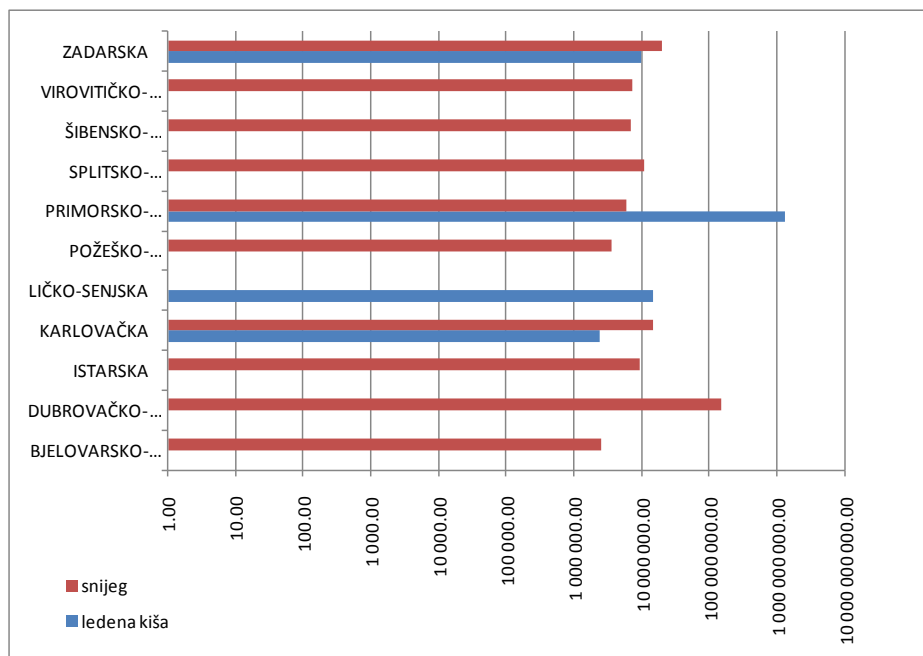
Slika 2: Srednji godišnji broj dana s poledicom. Razdoblje 1981–2010.

2.3. Posljedice od snijega i leda

Od 21 hrvatske županije štetu od snijega ili leda je u razdoblju 1996–2014. prijavilo samo 11 županija. Prosječno štete od snijega ili leda iznose od 1-10 mil. kn godišnje (Sl. 3).

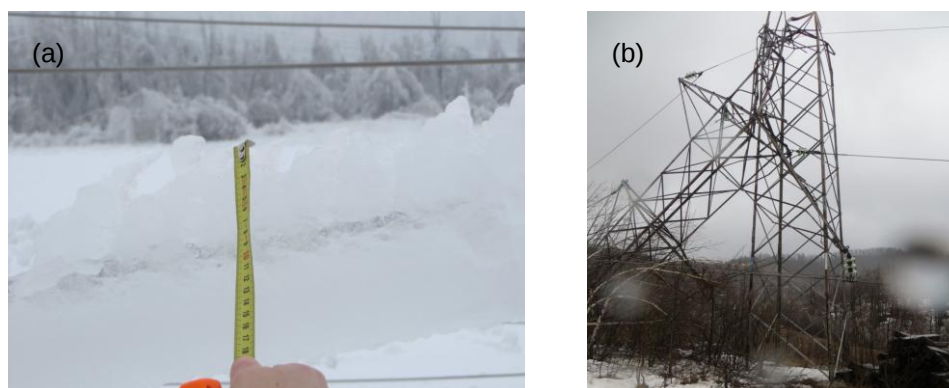
Najveća prosječna šteta od 1.3 mlrd. bila je u Primorsko-goranskoj županiji i to od leda. Ovako visoki iznos posljedica je štete od ledena kiše u veljači 2014. godine koja je iznosila 2.6 mlrd. kn, s najvećim udjelom šteta na elektroenergetskoj infrastrukturi. Analizirana izuzetna situacija s ledenom kišom u veljači 2014. primjer je događaja s najgorim mogućim posljedicama na gospodarstvo, infrastrukturu, a u manjoj mjeri i na zdravlje ljudi. Prema izvješću Ministarstva pomorstva, prometa i infrastrukture (MPPI), uslijed ovog događaja bile su zatvorene dionice autocesta i državnih cesta kroz gorsku Hrvatsku, pretežno zbog polomljenih kablova dalekovoda i srušenih stabala. Također je pet dana u prekidu bio promet prugom Zagreb-Rijeka. Troškovi sanacije šteta na prometnoj infrastrukturi procijenjeni su na 6.5 mil. kn. samo u Primorsko-goranskoj županiji prema podacima MPPI-a. Za Primorsko-goransku i dijelove Karlovačke županije proglašeno je stanje elementarne nepogode. Prema novinskim izvješćima ledena kiša koja je pala na dijelu Gorskog kotara okovala je kraj ledenom korom koja je na električnim vodovima i drveću bila debljine i 10 cm (prema izvještajima HEP-a i Dalekovod-projekta, Sl. 4). Ova debljina leda na užetu promjera 16 mm odgovara koeficijentu dodatnog tereta od 9.5 do 39. Dalekovodi pogođeni havarijom projektirani su za ekstremne klimatske uvjete uz pretpostavljeni koeficijent dodatnog tereta od 4 (maksimalna vrijednost prema Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju elektro-energetskih vodova napona od 1 kV do 400 kV). Kako je stvarni dodatni teret zaleđene užadi bio višestruko veći od maksimalne vrijednosti za koju su dalekovodi projektirani, kao posljedica je

nastupila havarija dalekovoda. Polomljeno drveće je također uzrokovalo daljnje štete na raznim objektima. U prekidu su bile telekomunikacije (telefon i internet), a prema izvješću HOPS-a od 1-5. veljače povremeno je dolazilo do prekida u opskrbi strujom. Štete na dijelovima sustava su bile tolike da je konačna obnova završila tek u studenom 2014. Prema izvješću HEP-a, izvan opskrbe električnom energijom bilo je približno 10-12 tisuća potrošača u razdoblju od 27.1–5.2.2014. Štete za HEP bile su najveće ikad zabilježene.



Slika 3: Prosječne godišnje prijavljene štete od elementarne nepogode (prosjeak za godine u kojima je prijavljena šteta). Uključuju štete u poljoprivredi, građevinarstvu, infrastrukturi, šumama i dr. Razdoblje: 1996–2014. Logaritamska skala. Izvor: Ministarstvo financija.

Po prijavljenim štetama od snijega ističe se Dubrovačko-neretvanska županija, gdje su štete većim dijelom bile u poljoprivredi i iznosile su prosječno 153 mil. kn. Prema novinskim izvještajima, štete od snijega u gorskoj Hrvatskoj povezane su s visinama snijega od više desetaka cm. U takvim situacijama dolazi do poteškoća u odvijanju prometa, kašnjenjima i zatvorenim dionicama. Dolazi do šteta na šumama, a uslijed rušenja stabala i lomova grana štete su moguće i na električnim vodovima, željezničkoj i prometnoj infrastrukturi. Uslijed topljenja većih količina snijega postoji i opasnost od poplava. Pojedina gorska naselja ostaju prometno izolirana pri čemu se ističe velika uloga Gorske službe spašavanja u dostavi namirnica i transporta stanovnika, posebno bolesnih. Opasnost za zdravlje ljudi postoji od padova, ali i od snijega koji pada s krovova.



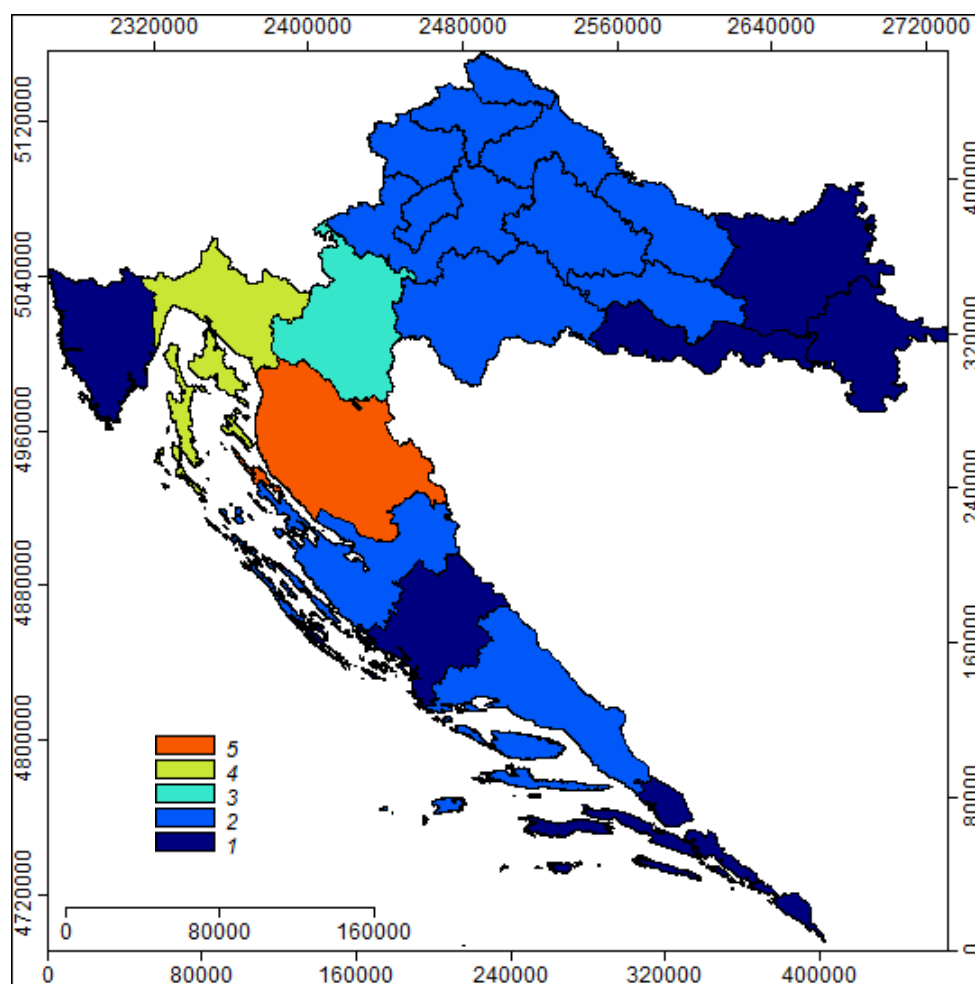
Slika 4. Ledena kiša, veljača 2014. (a) Naslaga leda na vodiču. Izmjereno na OPGW-u dalekovoda 110 KV DV 131 VINODOL - VRATA 2. (b) Nosivi stup, znatna oštećenja čelično rešetkaste konstrukcije. (Izvor podataka: Dalekovod-projekt)

3. REZULTATI

Za potrebe izrade procjene rizika od snijega i leda izrađene su dvije karte prijetnji, prva za prijetnju od snijega te karta prijetnje zbog poledice. Uz karte posljedica one će biti osnova za izradu karata rizika od snijega i leda.

3.1. Karta prijetnje snijegom

Osnova za izradu karte prijetnje snijegom je karta karakterističnog opterećenja snijegom (Sl. 1). Vrijednosti karakterističnog opterećenja snijegom [kNm^{-2}] odgovara težini snijega što je parametar povezan sa štetama na građevinama ili njihovim rušenjem. Karakteristično opterećenje prikazano je na karti prostorne rezolucije 1 km, pa je bilo potrebno združiti vrijednosti na razinu županije. Procijenili smo da srednja vrijednost karakterističnog opterećenja najbolje prikazuje vrijednost za cijelu županiju. Karakteristična opterećenja klasificirana su u pet klasa jednake širine kojima su pridružene vrijednosti od 1–5, što odgovara maloj do velikoj prijetnji na razini županija (Tab. I). Ovime su županije klasificirane od onih malo do jako ugroženih ovom prijetnjom (Sl. 5). Karta prijetnje odražava klimatske osobitosti Hrvatske i na njoj su jasno izdvojene županije koje na značajnom dijelu površine imaju planinsku klimu: Ličko-senjska, Primorsko-goranska i Karlovačka županija, a time su i ugroženije intenzivnijim i obilnijim snježnim oborinama.



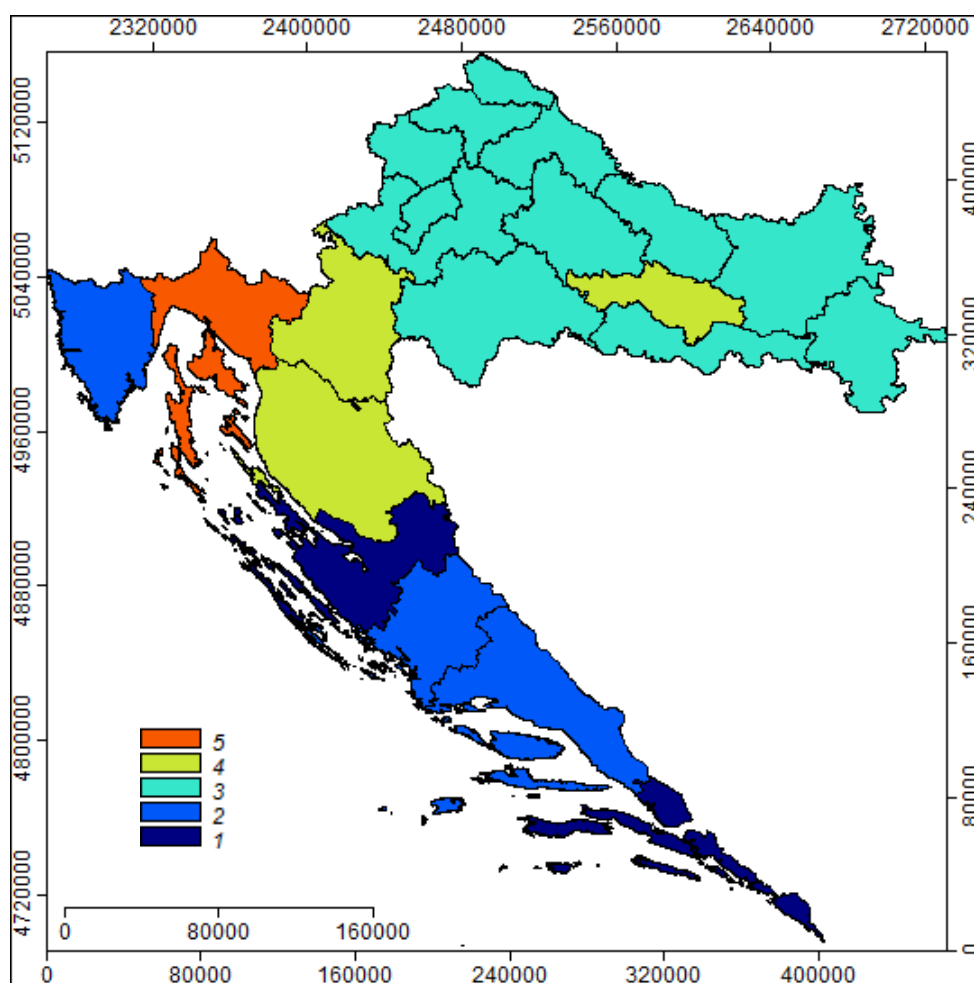
Slika. 5 Karta prijetnje snijegom. Za oznake klasa pogledati Tab. I.

Tablica I: Klase prijetnje snijegom na osnovu srednjeg karakterističnog opterećenja snijegom po županijama, s_k [kNm⁻²]. Klasa 1 odgovara najmanjoj, a klasa 5 najvećoj prijetnji.

klasa	s_k [kNm ⁻²]
1	0.51–1.00
2	1.00–1.49
3	1.49–1.98
4	1.98–2.47
5	2.47–3.96

3.2. Karta prijetnje od leda

Karta prijetnje od leda izrađena je na temelju podataka o srednjem godišnjem broju dana s poledicom za odabranu postaju svake županije pa samim tim procjena ima nesigurnost povezanu s izborom meteorološke postaje, za razliku od karte prijetnje snijegom koja je izrađena korištenjem više postaja s područja pojedine županije. Karta prijetnje ledom (Sl. 6) također je prikazana s pet klasa, od male do velike prijetnje, a klase su dobivene podjelom raspona vrijednosti broja dana s poledicom u pet razreda jednake širine (Tab. II). Prijetnja ledom najveća je za Primorsko-goransku županiju za koju je i izrađen scenarij događaja s najgorim mogućim posljedicama prema situaciji iz veljače 2014. Prijetnji su izložene i Ličko-senjska i Karlovačka županija s planinskom klimom, ali i Požeško-slavonska županija s kontinentalnom klimom gdje je poledica vjerojatnija u Požeškoj kotlini. Ostatak kontinentalne Hrvatske je u klasi prijetnje 3, a obala u klasama 1 i 2. Ova karta usporediva je s kartom šteta od leda na elektroenergetskoj mreži [3] gdje je većina havarija povezanih s rušenjem ili oštećenjima nosivih i zateznih stupova smještena na području Primorsko-goranske, Ličko-senjske i Karlovačke županije.



Slika 6: Karta prijetnje ledom. Za oznake klasa pogledati Tab. II.

Tablica II: Klase prijetnje ledom na osnovu srednjeg godišnjeg broja dana [N] s poledicom. Klasa 1 odgovara najmanjoj, a klasa 5 najvećoj prijetnji.

klasa	poledica [N]
1	3–17
2	17–30
3	30–44
4	44–57
5	57–72

4. ZAKLJUČAK

Meteorološka podloga Procjeni rizika od katastrofa u dijelu rizika od snijega i leda jasno je identificirala geografski najugroženija područja od ovih rizika, a to su županije koje se nalaze u gorskom području RH. Utvrđeni su najočekivaniji (1-10 mil. kn) i maksimalni (oko 2.6 mlrd. kn) iznosi prijavljenih šteta. Također su utvrđeni najugroženiji dijelovi gospodarstva i infrastrukture, a to su od gospodarskih elektroenergetski i prometni sektor te šume.

Osim ovdje predstavljene meteorološke podloge, pri konačnoj procjeni rizika od snijega i leda uključene će biti i informacije o građevinama od posebnog društvenog značaja, važnim infrastrukturnim objektima kao što su elektroenergetska postrojenja, prometnice, pruge, vrsta vegetacije, naselja, zaštićena područja i dr. koje definiraju osjetljivost komponenti sustava kako bi se dala sveobuhvatna procjena rizika od pojedinog uzroka na području Republike Hrvatske. Daljnje analize sustava zaštite i spašavanja omogućit će u konačnici izradu Strategije smanjenja rizika od katastrofa.

Identificirana je potreba za poboljšanjem spremnosti sustava državne uprave da efikasno i brzo pruži sve potrebne informacije u formi baza podataka i prostornih podloga za izradu ovakvih dokumenata. Također se preporučuje preciznije definiranje odgovornih službi za održavanje pojedinih skupova podataka potrebnih za izradu ovakvih i sličnih procjena i planova kao i definiranje načina njihovog financiranja.

U svjetlu štete od samo jedne elementarne nepogode kakva je bila ledena kiša u Gorskom kotaru 2014., gdje je šteta u Primorsko-goranskoj županiji bila deset godišnjih županijskih rashoda ove županije, jasna je važnost pripreme Republike Hrvatske i svih odgovornih službi na ovakve događaje.

Državni hidrometeorološki zavod namjerava se u skoroj budućnosti pridružiti svim zainteresiranim kako bi se procjena opterećenja vodiča od snijega i leda unaprijedila i uvođenjem specijalnih mjerenja tereta od snijega i leda. Karte vjerojatnosti snijega i leda pripremljene u svrhu ocjene rizika od ovakvih elementarnih nepogoda u tome svakako mogu pomoći.

Posebno zahvaljujemo na detaljnim izvještajima o štetama Ministarstvu financija, Ministarstvu pomorstva, prometa i infrastrukture, Dalekovod-projekt-u., HEP-u, HOPS-u i Hrvatskim šumama kao i Državnoj upravi za zaštitu i spašavanje na vođenju izrade Procjene rizika od katastrofa u Republici Hrvatskoj.

5. LITERATURA

- [1] dostupno na poveznici [Smjernice za izradu Procjene rizika.pdf](#)
- [2] HZN, Opterećenja snijegom. Dostupno na poveznici [HRN EN 1991-1-3:2012/NA:2012](#)
- [3] A. Komorski, D. Skejić, D. Dujmović, Reliability assessment of overhead transmission line towers in the Republic of Croatia, Tehnički Vjesnik, 20, 381–390, 2013.
- [4] M. Perčec Tadić, Gridded Croatian climatology for 1961-1990, Theoretical and Applied Climatology, 102-1, 87-103, 2010.
- [5] M. Perčec Tadić, K. Zaninović, R. Sokol Jurković, Mapping of maximum snow load values for the 50-year return period for Croatia, Spatial Statistics, 2015. (prihvaćeno za tisak)