

# OCENA NEPOSREDNE IN POVEZANE ŠKODE NA ENERGETSKI INFRASTRUKTURI ZARADI IZREDNIH VREMENSKIH DOGODKOV – PRIMER ŽLEDA

## ASSESSMENT OF DAMAGE TO ELECTRIC TRANSMISSION AND DISTRIBUTION GRID DUE TO EXTREME WEATHER EVENTS – A CASE STUDY OF GLAZE ICE

UDK 504.4:551.574.42(497.4)  
621.311.1:504.4(497.4)

### Maruša Matko

Institut Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana, marusa.matko@ijs.si

### Mojca Golobič

Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za krajinsko arhitekturo, Jamnikarjeva 101, Ljubljana, mojca.golobic@bf.uni-lj.si

### Branko Kontić

Institut Jožef Stefan, Jamova 39, Ljubljana, branko.kontic@ijs.si

### Povzetek

Na primeru ocene neposredne in povezane škode na prenosnem in distribucijskem elektroenergetskem omrežju zaradi žleda je bila razvita metoda za ocenjevanje tveganj zaradi izrednih vremenskih dogodkov za energetska infrastrukturo. Karte tveganj z rezultati ocene tveganja je mogoče uporabiti pri umeščanju nove infrastrukture na območja, kjer bo škoda zaradi izrednih vremenskih dogodkov manjša, za infrastrukturo na območjih večjih tveganj pa je treba izbrati dodatne tehnične ukrepe za povečanje odpornosti.

### Abstract

A risk assessment method for energy infrastructure due to extreme weather events was developed and tested on a case study of damage to electric transmission and distribution grid due to glaze ice. The results of the risk assessment – risk maps – can be used in the spatial planning process for the allocation of planned infrastructure in areas where damage due to extreme weather events is expected to be smaller. For the existing infrastructure in high risk areas, additional technical measures for enhancement of resilience can be proposed.

## Uvod

Električna energija je ena najpomembnejših osnovnih dobrin, ki jo sodobna družba nujno potrebuje za nemoteno delovanje gospodarstva in družbenih servisov, kot so zdravstvo, izobraževanje, javni prevoz itn. Konstantno in zanesljivo oskrbo z električno energijo odjemalcem zagotavlja elektroenergetski sistem, ki ga sestavljajo proizvodne enote – elektrarne in prenosno ter distribucijsko omrežje. Izredni vremenski dogodki, kot so močan veter, toča, močan dež ali sneg, žled in drugo ali različne kombinacije teh dogodkov lahko elektroenergetskemu sistemu povzročijo različno škodo. Pri tem gre lahko za neposredno fizično škodo na infrastrukturi in posredno škodo, kot je finančna škoda zaradi izgubljene proizvodnje oziroma škoda za odjemalce zaradi nedobavljene električne energije. Gospodarstvo in servisi imajo lahko še druge posledice [Auld

in sod., 2006; Wilbanks in sod., 2008; Abi-Samra in Malcolm, 2011; McColl in sod., 2012; Schaeffer in sod., 2012; IAEA, 2013; Patt in sod., 2013; Sieber, 2013]. Analiza letnih poročil o prekinitvah dobave električne energije v ZDA od leta 2002 dalje je pokazala, da so izredni vremenski dogodki povzročili 54 odstotkov vseh izpadov (The United States Department of Energy [DOE], National Energy Technology Laboratory [NETL], 2014) in 62 odstotkov vseh večjih izpadov (DTE Energy company, 2014). Do večjih prekinitev dobave je v Sloveniji prišlo oktobra 2012 zaradi poplav v kombinaciji s sneženjem, ko je brez elektrike ostalo 40 tisoč odjemalcev [Dnevnik, 2012], julija 2013, ko je bila zaradi močnega vetra prekinjena dobava električne energije 65 tisočim odjemalcem [Elektro Ljubljana, 2013; 24ur, 2013], ter konec januarja in v začetku februarja 2014, ko je zaradi žleda ostalo brez električne energije 250 tisoč ljudi [Vovk in sod., 2014].

Po navedbah Medvladnega foruma za podnebne spremembe (IPCC, 2012; IPCC, 2013) sta se v zadnjih letih povečali pogostost in intenziteta izrednih vremenskih dogodkov, v prihodnosti pa naj bi se ta trend nadaljeval. Energetska infrastruktura ima dolgo življenjsko dobo, zato bodo imele odločitve o njenih lokacijah in izvedbi, ki jih sprejemamo v sedanjosti, dolgoročne posledice. Pri načrtovanju bo zato treba upoštevati tudi postopne spremembe podnebja in izredne vremenske dogodke ter preučiti morebitne varstvene in prilagoditvene ukrepe (Auld in sod., 2006; Wilbanks in sod., 2008; Rübhelke in Vögele, 2011; Schaeffer in sod., 2012; IAEA, 2013).

Znana sta dva pristopa k zmanjševanju in preprečevanju škode na energetske infrastrukturi zaradi izrednih vremenskih dogodkov. Prvi obsega tehnične izboljšave mehanskih komponent, da so odpornejše na fizični stres, pri drugem pa gre za umeščanje infrastrukture tja, kjer je ranljivost zaradi izrednih vremenskih dogodkov manjša (Auld et al., 2006; IAEA, 2013).

Kot poudarjajo Auld in sod. (2006), je ocena tveganja za energetske infrastrukturo pomemben del zagotavljanja odpornosti v okviru prilagajanja energetskega sektorja na podnebne spremembe in bi morala biti vključena v načrtovanje nove infrastrukture. V članku je predstavljena metoda za ocenjevanje tveganj za energetske infrastrukturo zaradi izrednih vremenskih dogodkov, ki je uporabna pri prostorskem načrtovanju. Predlagani pristop pomeni prispevek k preprečevanju in/ali zmanjšanju strukturne škode na energetske infrastrukturi zaradi izrednih vremenskih dogodkov, kar vodi k večji zanesljivosti oskrbe z električno energijo. Večja razpoložljivost in zanesljivost dobave električne energije prinaša koristi vsem družbenim sistemom – energetiki, industriji in drugim sektorjem; pričakovati je torej koristi za družbo kot celoto.

## Metoda

Metodo za ocenjevanje tveganja za energetske infrastrukturo zaradi izrednih vremenskih dogodkov sestavljajo štiri koraki:

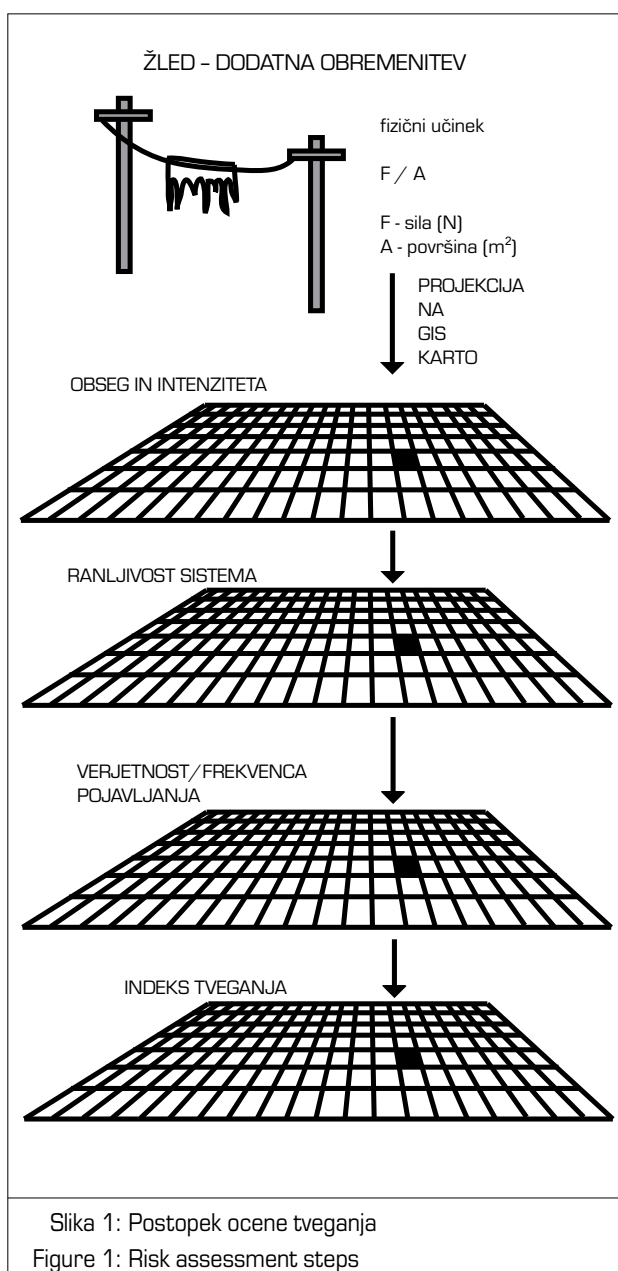
1. **Določitev prostorskega obsega in intenzitete izrednega vremenskega dogodka na podlagi podatkov o pojavljanju teh dogodkov v preteklosti**  
Nivo intenzitete različnih tipov izrednih vremenskih dogodkov (npr. temperatura, dodatna obremenitev zaradi žleda, vetra, snega, poplave itn.) je prenesen na karte v GIS-okolju, kjer je vsaki celici pripisana ocena na lestvici od 1 (nizka obremenitev energetske infrastrukture) do 4 (visoka obremenitev energetske infrastrukture). Podatki so pridobljeni iz arhivov o preteklih izrednih vremenskih dogodkih. Pri kartiranju lokacij dogodkov smo se oprli na lokacijske podatke o poškodovanih daljnovodih in na podatke o pasovih nadmorskih višin, kjer je nastala škoda.

2. **Analiza ranljivosti energetske infrastrukture oziroma območja, kjer je infrastruktura, na določen tip izrednega vremenskega dogodka**

Ugotavljalo se je, ali energetska infrastruktura na izbranem območju lahko prenese določeno intenziteto izrednega vremenskega dogodka. Ranljivost je izražena kot razmerje med pričakovano stopnjo škode in maksimalno škodo na lestvici od 1 do 4. Pri tem so upoštevani inženirski standardi. Rezultati so predstavljeni na GIS-karti.

3. **Določitev verjetnosti/frekvence pojavljanja izrednih vremenskih dogodkov na območju, kjer je že energetska infrastruktura oziroma bo tja umeščena v prihodnosti**

Na podlagi arhivskih podatkov o izrednih vremenskih dogodkih je izračunana frekvenca ali verjetnost pojavljanja različnih tipov izrednih vremenskih dogodkov. Rezultati so preneseni na karto.



	Kategorija intenzitete žleda	Finančna škoda (€)	Število dogodkov v obdobju 1961–2015	Frekvenca	Kategorija frekvence žleda
	Elektroenergetska infrastruktura	1	< 100.000	6	0,111/leto
2		100.000–1 milijon	5	0,0926/leto	3
3		1 milijon–10 milijonov	2	0,037/leto	2
4		> 10 milijonov	1	0,0185/leto	1
Gozd	1	< 1 milijon	16	0,296/leto	4
	2	1 milijon–10 milijonov	3	0,055/leto	3
	3	10 milijonov–50 milijonov	5	0,0926/leto	3
	4	> 50 milijonov	1	0,0185/leto	1

Preglednica 1: Kategorizacija škode na elektroenergetski infrastrukturi in v gozdu zaradi žleda, frekvenca pojavljanja žleda s specifično intenziteto in razvrstitev dogodkov v kategorijo frekvence žleda

Table 1: Categorization of damage to electrical energy infrastructure and forest due to glaze ice, frequency of occurrence of glaze ice with specific intensity and categorization of events into classes of frequency

#### 4. Združitev zgoraj navedenih korakov zaradi določitve fizičnih in drugih (ekonomskih, zdravstvenih) posledic ter določitve indeksa tveganja za določeno območje in energetska infrastrukturo

Indeks tveganja združuje intenziteto izrednih vremenskih dogodkov in ranljivost izbrane energetske infrastrukture na določeno stopnjo intenzivnosti teh dogodkov, frekvenco ali verjetnost pojavljanja izrednih vremenskih dogodkov ter posledice – družbeno škodo zaradi poškodovane infrastrukture. Te kombinacije so podobne matrikam tveganja, ki se uporabljajo za kombiniranje frekvenc/verjetnosti dogodkov s posledicami teh dogodkov.

Opisani štirje koraki so shematično prikazani na sliki 1.

## Ocena tveganja za prenosno in distribucijsko omrežje zaradi žleda – študija primera

Arhivski podatki o pojavljanju žleda Agencije Republike Slovenije za okolje so na voljo od leta 1961. Beleženje škode zaradi žleda se je v slovenskem elektrogospodarstvu začelo leta 1968 (Jakše, 1997), prvi zapisi o škodi v gozdovih pa segajo v začetek 20. stoletja. Najstarejši dostopen podatek o škodi zaradi žleda na območju Slovenije je za leto 1899, ko je prišlo do izjemno močnega žledenja in precejšnje škode v gozdovih in sadovnjakih na Notranjskem (A. D., 1900).

Ocena tveganja za prenosno in distribucijsko omrežje zaradi žleda temelji na podatkih o pretekli škodi na elektroenergetski infrastrukturi in škodi v gozdovih. Na podlagi arhivskih podatkov o žledenju Agencije RS za okolje od leta 1961 do 2014 in poročil o nastali škodi zaradi žleda (Bahun, 2014; Bahun in sod., 2014; Belak in Maruša, 2014; Belak in sod., 2014; Bogataj, 1997; ELES, 2015; Habjan in Bahun, 2009; Habjan, 2010; Jakša, 1997; Jakše, 1997; Kastelec, 1997; Kern in Zadnik, 1987; Lapajne, 1997; Nadižar

	Frekvenca žleda			
	1	2	3	4
Intenziteta žleda	1	1	1	2
	2	2	2	3
	3	3	3	4
	4	3	3	4

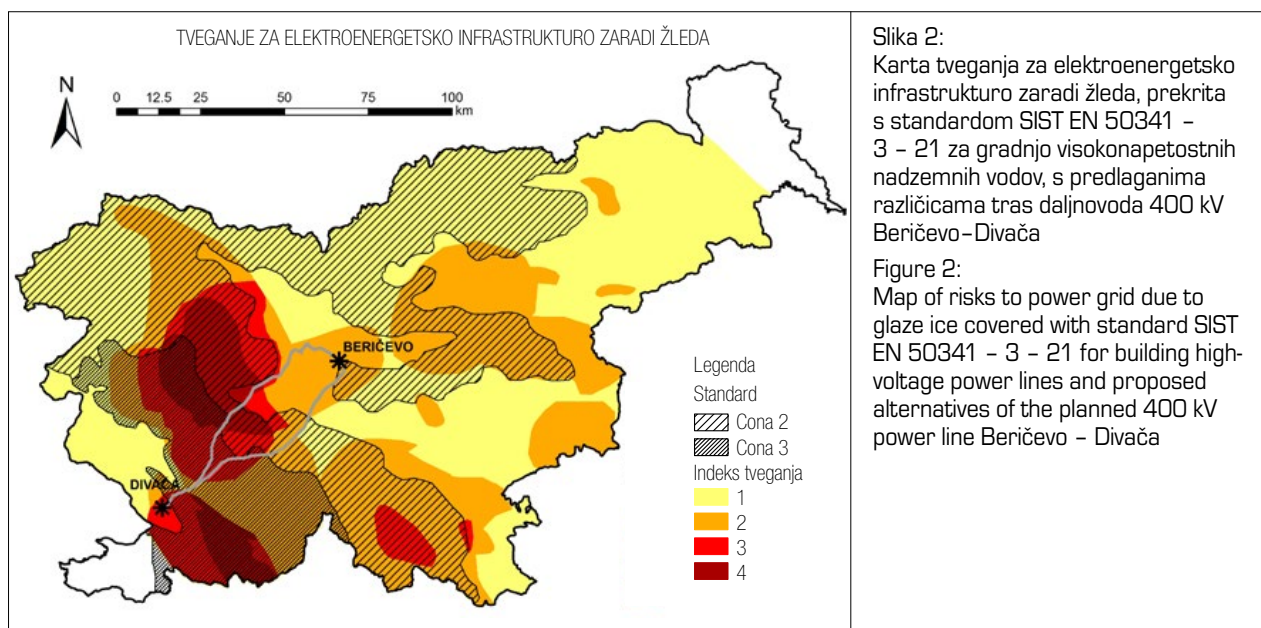
Preglednica 2: Združevanje ocen intenzivnosti žleda in frekvence pojavljanja

Table 2: Combination of scope and intensity level of glaze with categories of frequency

in Papler, 1997; Papler, 1996; Radinja, 1983; Rebula, 2001; Rebula, 2002; Sinjur in sod., 2010; Šifrer, 1977; Šipec, 1997; Špehar, 1998; Trontelj, 1997a; Trontelj, 1997b; Zadnik, 1997; Zadnik, 2006; Zavod za gozdove Slovenije, 2014) so bili zbrani podatki o osnovnih značilnostih posameznega dogodka (območje, kjer je prišlo do dogodka, škoda v gozdovih (po površini in poškodovani lesni biomasi) in škodi na prenosnem in distribucijskem omrežju (dolžina poškodovanih daljnovodov in število poškodovanih stebrov ter posledično finančna škoda, število odjemalcev brez električne energije). Dostopni podatki za posamezni dogodek, ki je povzročil škodo na elektroenergetski infrastrukturi, so prikazani v preglednici 3.

Finančna škoda na elektroenergetski infrastrukturi je bila iz podatkov o fizični škodi preračunana na podlagi Šifranta F – Povprečna cena po skupinah del v elektroenergetskem omrežju (Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, 2014), ki je bil uporabljen pri izračunu škode zaradi žlednega dogodka leta 2014. Za preračun finančne škode v gozdovih smo uporabili povprečno odkupno ceno lesa v zadnjem desetletju, ki znaša približno 50 €/m<sup>3</sup> (Statistični urad RS, 2015).

Škoda v gozdovih in škoda v energetiki sta bili obravnavani ločeno – za vsak sektor je bila najprej izdelana ocena tveganja in pripravljena karta, nato pa so bili rezultati združeni, kajti tudi poškodbe drevja v gozdovih lahko pomembno vplivajo na škodo na daljnovodih.



Slika 2:  
Karta tveganja za elektroenergetsko infrastrukturo zaradi žleda, prekrita s standardom SIST EN 50341 - 3 - 21 za gradnjo visokonapetostnih nadzemnih vodov, s predlaganimi različicama tras daljnovoda 400 kV Beričevo-Divača

Figure 2:  
Map of risks to power grid due to glaze ice covered with standard SIST EN 50341 - 3 - 21 for building high-voltage power lines and proposed alternatives of the planned 400 kV power line Beričevo - Divača

## Obseg in intenziteta žleda

Dogodki so bili glede na povzročeno fizično škodo na elektroenergetski infrastrukturi in v gozdovih ter posledično glede na finančno škodo razvrščeni v razrede od 1 do 4 (1 - najmanjša škoda, 4 - največja škoda). Merila za razvrstitev škode so bila postavljena ločeno za gozd in energetska infrastrukturo. Kriterije za razvrstitev škode v posamezno kategorijo prikazuje preglednica 1.

## Frekvenca pojavljanja žleda

Za vsak dogodek je bila izračunana frekvenca pojavljanja v obravnavanem obdobju (1961-2015). Tudi po frekvencah so bili dogodki razvrščeni v razrede od 1 (zelo redko) do 4 (pogosto). Kriteriji za razvrstitev v posamezno kategorijo: manj kot 0,02/leto: razred 1; 0,02-0,05/leto: razred 2; 0,05-0,2/leto: razred 3; več kot 0,2/leto: razred 4. Izračunane frekvence žleda s specifično intenziteto in njihova razvrstitev v razrede frekvenc so prikazani v preglednici 1.

## Tveganje za elektroenergetsko infrastrukturo zaradi žleda

Intenziteta žleda in frekvenca pojavljanja sta bili združeni, kot prikazuje preglednica 2. Preglednica 3 za dogodke, pri katerih je prišlo do škode na daljnovodih, poleg podatkov o škodi prikazuje tudi razvrstitev dogodkov v kategorije intenzitete in frekvence ter v razred tveganja.

Dogodke, razvrščene glede na indeks tveganja, smo narisali na karto. Za ugotavljanje ranljivosti nadzemnih vodov je bila karta tveganja za elektroenergetsko infrastrukturo zaradi žleda prekrita s karto con obtežbe zaradi žleda po standardu SIST EN 50341 - 3 - 21 za

gradnjo visokonapetostnih nadzemnih vodov (Slovenski standard SIST EN 50341-3-21, 2009), kot prikazuje slika 2. Standard deli ozemlje Slovenije glede na obtežbo, ki jo je treba upoštevati pri projektiranju daljnovodov, na tri cone. V cono 1 (brez šrafure na sliki 2) nastajajo le majhne žledne obtežbe, ki v preteklosti niso povzročale poškodb nadzemnih vodov. V cono 2 spadajo območja, kjer se pričakujejo visoke žledne obtežbe. Zaradi takšnih obtežb je v preteklosti že prišlo do poškodb nadzemnih vodov. V cono 3 spadajo območja, kjer se na podlagi vremenskih pogojev, geografske lege in potrjeno z dolgoletnimi izkušnjami pričakujejo visoke žledne obremenitve. Tovrstne obremenitve so v preteklosti povzročile precejšnjo škodo na nadzemnih vodih.

Na podlagi zbranih podatkov, opravljenih analiz in izračunov ter izpeljanih sinteznih rezultatov je bila opravljena primerjava predlaganih različic državnega prostorskega načrta za nadgradnjo 400 kV daljnovoda Beričevo-Divača (slika 2, preglednica 4), ki ima za cilj prikaz uporabe ocene tveganja za prostorsko načrtovanje - izbira ustrežnejšega koridorja oziroma trase.

## Rezultati

V opazovanem obdobju je žled povzročil škodo na elektroenergetski infrastrukturi štirinajstkrat. V sedmih primerih je nastala tudi škoda v gozdovih. Poleg tega je od leta 1961 naprej osemnajstkrat prišlo do dogodkov, ko je nastala škoda v gozdovih, na daljnovodih pa ne.

Podatki o štirinajstih žlednih dogodkih, ki so povzročili škodo na energetska infrastrukturi, njihovem obsegu, kategoriji škode in frekvence ter o indeksu tveganja so prikazani v preglednici 3. Slika 2 prikazuje karto tveganja za prenosno in distribucijsko omrežje zaradi žleda, ki je prekrita s standardom

Datum	Lokacija	Površina poškodovanih gozdov (ha)	Volumen poškodovane biomase (m <sup>3</sup> )	Število podrtih stebrov	Število poškodovanih stebrov
19. 11. 1972	Tezno MB	ni podatka	ni podatka	6	ni podatka
4.–6. 11. 1980	Okolica Pivke, Čebulovec, Brkini	12.000	670.000	16 (400 kV), 22 (220 kV), 1 (110 kV)	ni podatka
15.–16. 11. 1984	Idrijsko, Cerkljansko (Bevkov vrh, Cerkljanski vrh, Črni vrh, Vojsko)	ni podatka	110.000	3 (110 kV)	ni podatka
13.–14. 11. 1985	Idrijsko, Cerkljansko (Bevkov vrh)	21.000	500.000	1 (110 kV)	ni podatka
27. 1. 1992	Idrijsko, Cerkljansko (Bevkov vrh)	ni podatka	ni podatka	1 (110 kV)	ni podatka
25.–26. 11. 1993	Idrijsko, Cerkljansko (Bevkov vrh)	ni podatka	ni podatka	ni podatka	1 (manjše poškodbe)
december 1995–januar 1996	Okolica Ljubljane in Celja, Gorenjska, Zasavje, Posavje	87.500	680.000	ni podatka	ni podatka
december 1996–januar 1997	Gorenjska, Kočevje, okolica Ljubljane, Dolenjska, Notranjska (okolica Logatca – Zaplana, Unec, Postojna), Brkini, hribovje nad Vipavsko dolino proti Idriji in Cerknem, Železniki, Škofja Loka, Žiri, okolica Donačke gore	81.800	870.000	3 (400 kV), 1 (220 kV), 17 (SN ali NN):	ni podatka
5. 12. 1998	Rakitna	ni podatka	ni podatka	ni podatka	ni podatka
9.–11. 2. 1999	DV Maribor - Podlog	ni podatka	ni podatka	ni podatka	ni podatka
14. 11. 2004	Gorenjska	ni podatka	ni podatka	ni podatka	ni podatka
9. 1. 2010	Brkini	3700	850	14 distribucijskih DV (ni podatka o dolžini)	ni podatka
25. 11. 2011	Idrijsko, Cerkljansko	ni podatka	ni podatka	ni podatka	ni podatka
30. 1.–8. 2. 2014	Vsa Slovenija razen Prekmurja	500.000	3.500.000	distribucija: 4000/ prenos: 58 porušenih (od tega 29 pri 400 kV DV, 20 pri 220 kV DV in 9 pri 110 kV DV)	prenos: 34 poškodovanih (od tega 6 pri 400 kV DV, 22 pri 220 kV DV in 6 pri 110 kV DV)

Preglednica 3: Škoda zaradi žleda v gozdu in na elektroenergetski infrastrukturi ter razvrstitev dogodkov v kategorije glede na intenziteto, frekvenco in indeks tveganja

Table 3: Damage to forest and energy infrastructure due to glaze ice, and categorization of events into classes of intensity, frequency and risk index

SIST EN 50341 – 3 – 21 za gradnjo visokonapetostnih nadzemnih vodov. Izsledki analize kažejo, da je tveganje za energetska infrastrukturo zaradi žleda največje na območju Brkinov ter Idrijskega in Cerkljanskega hribovja (najtemnejše obarvana območja na sliki 2). Glede na ugotovitve bi bilo smiselno posodobiti standard za gradnjo daljnovodov – razširiti cono 3, kjer je obtežba zaradi žleda največja.

Na sliki 2 sta prikazana tudi predlagana koridorja za gradnjo 400 kV daljnovoda Beričevo–Divača. Za vsako različico smo analizirali, kolikšen del trase leži na območjih s pozameznim indeksom tveganja. Pri tem smo predvidevali, da sta koridorja široka 100 m. Rezultati analize predlaganih različic kažejo, da je z vidika tveganja zaradi žleda ustrežnejša južna trasa (preglednica 4).

## Razprava in sklepne misli

Pristop za ocenjevanje neposredne in posredne škode na energetska infrastrukturi zaradi izrednih vremenskih dogodkov je pregleden in operativen. Karte tveganj, izdelane z opisano metodo, je mogoče uporabiti v fazi načrtovanja energetske infrastrukture tudi kot oporo za izbiro ustrezne lokacije. Na njih temelji posodobitev inženirskih standardov, kot je prikazano na primeru. Opisani primer analizira trasi daljnovoda, ki sta že predlagani, in pomaga izbrati najprimernejšo. Rezultate ocene tveganja pa je mogoče uporabiti že v zgodnejših korakih prostorskega načrtovanja – pri iskanju ustreznih lokacij v okviru analize ustreznosti prostora za določeno dejavnost. Tako se že pri umeščanju objektov v prostor izognemo območjem,



Dolžina poškodovanih vodov (km)	Finančna škoda na EI	Število odjemalcev brez EE	Vir	Intenziteta	Pogostost	Indeks tveganja
ni podatka	528.000	ni podatka	ELES, 2015	2	3	2
60 km (SN in NN) 16,7 km (VN)	8.122.200	ni podatka	Radinja, 1983; ELES, 2015; Kern in Zadnik, 1987; ZGS, 2014; Jakše, 1997; Habjan in Bahun, 2009	3	2	3
ni podatka	243.000	ni podatka	ELES, 2015; Kern in Zadnik, 1987; Jakše, 1997	2	3	2
ni podatka	120.000	ni podatka	Kern in Zadnik, 1987; ZGS, 2014; Jakše, 1997; Habjan in Bahun, 2009	2	3	2
ni podatka	40.000	ni podatka	Jakše, 1997	1	3	1
ni podatka	<20.000	ni podatka	Jakše, 1997	1	3	1
ni podatka	ni podatka	Gorenjska: 5000, Primorska 1500, ni podatkov za druge regije	Jakša, 1997; Šipec, 1997; Trontelj, 1997b	2	3	2
ni podatka	1.236.400	18.000 ali več	ELES, 2015; Papler, 1996; Bogataj, 1997; Jakša, 1997; Jakše, 1997; Lapajne, 1997; Nadižar in Papler, 1997; Šipec, 1997; Zadnik, 1997; Zadnik, 2006; Habjan in Bahun, 2009	3	3	3
ni podatka	< 10.000	ni podatka	ELES, 2015	1	3	1
ni podatka	< 10.000	ni podatka	ELES, 2015; Habjan in Bahun, 2009	1	3	1
ni podatka	< 10.000	ni podatka	ELES, 2015	1	3	1
ni podatka	ni podatka	1500–2000	ELES, 2015; Habjan, 2010; Sinjur in sod., 2010	2	3	2
ni podatka	965.18 €	ni podatka	ELES, 2015	1	3	1
prenos: 174 km; distribucija: 2000 km	81.000.000	250.000	Bahun, 2014; Bahun in sod., 2014; Belak in Maruša, 2014; Belak in sod., 2014; Jakomin, 2014; 4 ELES, 2015;	4	1	3

na katerih so tveganja zaradi določenega izrednega dogodka večja.

Za obstoječe objekte je karte tveganj smiselno uporabiti pri načrtovanju investicij v posodabljanje komponent. Tako se na območjih večjih tveganj zagotovi večja mehanska trdnost oziroma odpornost infrastrukture.

Metoda je bila prikazana na primeru tveganj zaradi žleda v Sloveniji, uporabiti pa jo je mogoče tudi za

druge izredne vremenske dogodke in različne kombinacije teh dogodkov ter v drugih regijah. Poleg tega njena uporaba ni omejena le na energetsko infrastrukturo, temveč je mogoče tako ocenjevati tveganja tudi za drugo kritično infrastrukturo in za druge okoljske sestavine – tako naravne kot antropogene. Prilagaja se lahko merilo – velikost obravnavanega območja in podrobnost analize.

Za največjo težavo pri testiranju metode se je pokazala dostopnost podatkov o škodi na elektroenergetski infrastrukturi. Ker je elektroenergetska infrastruktura razmeroma nov pojav v okolju, je bilo obdobje, obravnavano v oceni tveganja, dolgo pol stoletja. Za obdobje pred tem bi se bilo smiselno opreti na podatke o škodi v gozdovih, vendar tudi ti niso zanesljivi. Podatki o škodi na elektroenergetski infrastrukturi so bili v ustreznem obsegu dostopni samo za neposredno fizično škodo, zato rezultati kažejo kategorije tveganja za prenosno podjetje in distribucijska podjetja, odgovorna za prenos in distribucijo električne energije. Če bi bili na voljo tudi podatki o nedobavljeni energiji, bi bilo mogoče

Indeks tveganja za žled	Predlagana alternativa	
	Severna trasa	Južna trasa
1	0 ha	44 ha
2	141 ha	476 ha
3	302 ha	212 ha
4	137 ha	0 ha

Preglednica 4: Površina različice trase, ki leži na območjih z določenim indeksom tveganja  
Table 4: Area of the proposed corridor alternative in the zone of specific risk index

poleg finančne škode za prenosno in distribucijska omrežja izračunati tudi finančno škodo za odjemalce ter posredno gospodarsko škodo. Ti izračuni so vključeni v ocenjevanje ranljivosti in povezanega tveganja za hidroelektrarne na Savi, Dravi in Soči ter so v pripravi za naslednjo objavo.

Če se v preteklosti nekateri izredni vremenski dogodki na določenih območjih niso pojavljali, še ne pomeni, da bo tako tudi v prihodnosti. V prihodnjih raziskavah bi bilo zato oceno tveganja smiselno dopolniti z rezultati klimatološkega modeliranja.

## Zahvala

Raziskava je bila izvedena s podporo Evropskega socialnega sklada, Ministrstva za izobraževanje, znanost in šport RS in Mednarodne agencije za jedrsko energijo (IAEA). Za sodelovanje na delavnicah in posredovanje podatkov se zahvaljujemo predstavnikom iz podjetij Dravske elektrarne Maribor, ELES, Elektro Celje, Elektro Gorenjska, Elektro Ljubljana, Elektro Maribor, Elektro Primorska, Hidroelektrarne na spodnji Savi, Nuklearna elektrarna Krško, Savske elektrarne Ljubljana, SODO in Soške elektrarne Nova Gorica.

## Viri in literatura

1. A., D. 1900. Huda nesreča na Notranjskem. Dom in svet, 13: 2.
2. Auld, H., MacIver, D., Klaassen, J., 2006. Adaptation options for infrastructure under changing climate conditions. V: Proceedings of Engineering Institute of Canada Climate Change Technology Conference, Ottawa, Maj 2006.
3. Bahun, P., 2014. Slovenija v ledenem objemu. Črni petek za slovensko elektroenergetsko omrežje. Naš stik: glasilo delavcev Elektrogospodarstva Slovenije, 32: 1, 2-5.
4. Bahun, P., Janjič, B., Habjan, V., Jakomin, M., 2014. Žledolom povzročil za več deset milijonov evrov škode. Naš stik: glasilo delavcev Elektrogospodarstva Slovenije, 32: 2, 2-16.
5. Belak, L., Maruša, R., 2014. Žled 2014 in ukrepi za odpravljanje ledu na vodnikih prenosnih vodov. V: 2. slovenska konferenca o vzdrževanju elektroenergetskih objektov v distribuciji in prenosu električne energije, Nova Gorica, 12. november 2014. Ljubljana, Slovensko društvo elektroenergetikov CIGRÉ – CIREC, CD ROM.
6. Belak, L., Maruša, R., Ferlič, R., Ribič, J., Pihler, J., 2014. Analiza žledoloma 2014 v prenosnem omrežju ELES. V: 23. mednarodno posvetovanje Komunalna energetika, Maribor, 13. do 15. maj 2014. Maribor, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, elektronski vir.
7. Bogataj, F., 1997. Katastrofalne posledice žledu. Logaške novice, 28: 1, 2.
8. Dnevnik, 2012. Zaradi posledic vremena več deset tisoč ljudi ostalo brez elektrike. 28. oktober 2012. <http://www.dnevnik.si/kronika/ponoci-na-stajerskem-brez-elektricne-energije-nekaj-manj-kot-40-tisoc-odjemalcev> (30. januar 2014).
9. DTE Energy Company, 2014. Outage Causes. [https://www2.dteenergy.com/wps/portal/dte/business/problemsafety/details/outage\\_causes!ut/p/b1/jdLLspAE](https://www2.dteenergy.com/wps/portal/dte/business/problemsafety/details/outage_causes!ut/p/b1/jdLLspAE) (31. januar 2014).
10. Elektro Ljubljana, 2013. Orkanski veter povzročil težave pri oskrbi z električno energijo. 29. julij 2013. <http://www.elektroljubljana.si/2/Za-medije/Sporocila-za-javnost/Novice/articleType/ArticleView/articleId/284/2130-Orkanski-veter-povzrocil-tezave-pri-oskrbi-z-elektricno-energijo.aspx> (30. januar 2014).
11. ELES, 2015. Podatki o pretekli škodi na prenosnem omrežju zaradi žleda (osebna komunikacija, junij 2015).
12. Habjan, V., Bahun, P., 2009. Ukrepi ob ujmah, usmerjeni v čimprejšnjo sanacijo razmer. Naš stik: glasilo delavcev Elektrogospodarstva Slovenije, 28: 2, 2-9.
13. Habjan, V., 2010. Žled podiral daljnovodne stebre: Poškodbe distribucijskega omrežja Elektra Primorska. Naš stik: glasilo delavcev Elektrogospodarstva Slovenije, 29: 1, 30.
14. IAEA, 2013. Techno – economic evaluation of options for adapting nuclear and other energy infrastructure to long-term climate change and extreme weather. CRP IAEA, first Research coordination meeting, Vienna, April 2013.
15. IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D. J., Ebi, K. L., Mastrandrea, M. D., Mach, K. J., Plattner, G. K., Allen, S. K., Tignor, M., Midgley, P. M. [ur.]. Cambridge University Press, Great Britain and New York, USA.
16. IPCC, 2013. Summary for Policymakers. V: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T. F., Qin, G., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschum, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P. M. [ur.]. Cambridge University Press, Cambridge, Great Britain and New York, USA.
17. Jakomin, M., 2014. Zimska ujma opozorila na ranljivost in podhranjenost omrežja. Naš stik: glasilo delavcev Elektrogospodarstva Slovenije, 32: 2, 28–29.
18. Jakša, J., 1997. Posledice snegoloma in žledoloma v gozdovih leta 1996. Ujma, 11, 49–62.
19. Jakše, J., 1997. Havarije v slovenski prenosni mreži. V: Jeklene konstrukcije imajo bodočnost. 3. slovenski dnevi jeklenih konstrukcij, Ljubljana, 27.–28. maj 1997. Pregl M. [ur.]. Ljubljana, Inštitut za metalne konstrukcije, 95–103.
20. Kastelec, D., 1997. Pojav žleda v Sloveniji. Ljubljana, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 10.
21. Kern, J., Zadnik, B., 1987. Žledenje in elektrogospodarstvo. Ujma, 1, 31–35.
22. Lapajne, S., 1997. Lomi daljnovodnih stebrov. Gradbeni vestnik 46: 1-3, 7–8.
23. McColl, L., Angelini, T., Betts, R., 2012. Climate change risk assessment for the energy sector. UK Climate change risk assessment. London, UK: Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra), 158. <http://www.defra.gov.uk/environment/climate/government/> (10. marec 2013).
24. Nadižar, M., Papler, D., 1997. Zaradi žleda brez elektrike okrog 15.000 gospodinjstev. Gorenjski glas, 50: 2, 11.
25. Papler, D., 1996. Več kot 5000 gospodinjstev brez elektrike: Žled povsod po Gorenjskem trgal kable, podiral drevje in drogove. Gorenjski glas, 49: 103, 28.
26. Patt, A., Pfenniger, S., Lilliestam, J. 2013. Vulnerability of solar energy infrastructure and output to climate change. Climatic Change 121: 1, 93–102.

27. Radinja, D., 1983. Žledne ujme v Sloveniji. V: Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost. Ljubljana, 14. oktober 1983. Gams I., Orožen Adamič M., Rupert M., Vivod V. (ur.). Ljubljana, Znanstvenoraziskovalni center SAZU, Geografski inštitut Antona Melika, 107–115.
28. Rebula, E., 2001. Poškodbe zaradi žleda v Hrušici in Nanosu. *Gozdarski vestnik*, 59: 3, 147–154.
29. Rebula, E., 2002. Žled v notranjskih gozdovih in njegove posledice. *Ujma*, 16, 156–166.
30. Rübhelke D., Vögele S. 2011. Impacts of climate change on Europe critical infrastructures: The case of power sector. *Environmental Science and Policy*, 14, 1: 53–63.
31. Schaeffer, R., Szklo, A. S., Lucena, A. F. P., Borba, B. S. M. C., Nogueira, L. P. P., Fleming, F. P., Troccoli, A., Harrison, M., Boulahya, M. S., 2012. Energy Sector Vulnerability to Climate Change: A Review. *Energy*, 38: 1, 1–2.
32. Sieber, M., 2013. Impacts of, and adaptation options to, extreme weather events and climate change concerning thermal power plants. *Climatic Change*, 121: 1, 55–66.
33. Sinjur, I., Kolšek, M., Race, M., Vertačnik, G., 2010. Žled v Sloveniji januarja 2010. *Gozdarski vestnik*, 68: 2, 123–130.
34. Slovenski standard SIST EN 50341-3-21, Nadzemni električni vodi za izmenične napetosti nad 45 kV. Del 3-21, Nacionalno normativna določila (NNA) za državo Slovenijo (na podlagi SIST EN 50341-1: 2002). 2009. Ljubljana, Slovenski inštitut za standardizacijo, 44.
35. Statistični urad Republike Slovenije, 2015. Odkup lesa. [http://pxweb.stat.si/pxweb/Database/Okolje/16\\_gozdarstvo\\_lov/05\\_16564\\_les/05\\_16564\\_les.asp](http://pxweb.stat.si/pxweb/Database/Okolje/16_gozdarstvo_lov/05_16564_les/05_16564_les.asp) [20. julij 2015].
36. Šifrer, M., 1977. Geografski učinki žleda v gozdovih okrog Idrije ter Postojne. *Geografski zbornik*, 16, 195–228.
37. Šipec, S., 1997. Pregled nesreč leta 1996. *Ujma*, 11, 7–14.
38. Špehar, U., 1998. Največ dela povzročil žled: kranjska območna enota zavoda za gozdove o lanskem delu. *Gorenjski glas*, 51: 7, 10.
39. The United States Department of Energy (DOE), National Energy Technology Laboratory (NETL), 2014. Electric disturbance events (OE – 417): Annual summaries. [www.oe.netl.doe.gov/OE417\\_annual\\_summary.aspx](http://www.oe.netl.doe.gov/OE417_annual_summary.aspx) [31. januar 2014].
40. Trontelj, M., 1997a. Kronika izrednih vremenskih dogodkov XX. stoletja: pomembni vremenski dogodki in zgodovini; vreme ob pomembnih dogodkih. Ljubljana: Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije, 136.
41. Trontelj, M., 1997b. Snegolom ob koncu leta 1995 in januarski žled. *Ujma*, 11, 46–48.
42. Uprava Republike Slovenije za zaščito in reševanje, 2014. Šifrant F - Povprečne cene po skupinah del v elektroenergetskem omrežju. [http://www.sos112.si/slo/tdocs/sifrant\\_f.pdf](http://www.sos112.si/slo/tdocs/sifrant_f.pdf) [10. junij 2015].
43. Wilbanks, T. J., Bhatt, V., Bilello, D. E., Bull, S. R., Eckmann, J., Horak, W. C., Huang, Y. J., Levine, M. D., Sale, M. J., Schmalzer, D. K., Scott, M. J., 2008. Effects of climate change on energy production and use in the United States. Report by the U.S. climate change science program and the subcommittee on global change research. Washington, D. C., USA: Department of Energy, Office of Biological, Environmental Research, 96. [http://science.energy.gov/~media/ber/pdf/Sap\\_4\\_5\\_final\\_all.pdf](http://science.energy.gov/~media/ber/pdf/Sap_4_5_final_all.pdf) [15. april 2013].
44. Vovk, T., Jerina, J., Tamše, J., Atelšek, R., 2014. Četrta milijona ljudi v državi brez elektrike. *Planet Siol*, 2. februar 2014. [http://www.siol.net/novice/slovenija/2014/02/vreme\\_2\\_2\\_2014.aspx](http://www.siol.net/novice/slovenija/2014/02/vreme_2_2_2014.aspx) [16. julij 2015].
45. Zadnik, B., 1997. Vpliv žledenja na daljnovode. V: Jeklene konstrukcije imajo bodočnost. 3. slovenski dnevi jeklenih konstrukcij, Ljubljana, 27.–28. maj 1997. *Pregl M.* (ur.). Ljubljana, Inštitut za metalne konstrukcije, 197–206.
46. Zadnik, B., 2006. Fenomen žleda in njegov vpliv na objekte za prenos električne energije. Univerzitetni učbenik. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, 55.
47. Zavod za gozdove Slovenije. 2014. Naravne ujme in požari večjih razsežnosti v Sloveniji. [http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/Novice2014/Naravne\\_ujme2014.pdf](http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/Novice2014/Naravne_ujme2014.pdf) [17. februar 2014].
48. 24 ur, 2013. Brez elektrike ostalo 65.000 odjemalcev Elektra Maribor in Ljubljana. 24 ur, 29. julij 2013. <http://www.24ur.com/ponedeljek-bo-zaznamovan-s-hudo-vrocino-nato-pa-z-neurji-s-toco.html> [30. oktober 2014].