

# ŽLEDNA UJMA 2014 IN NJENE POSLEDICE NA SLOVENSKEM DALJNOVODNEM OMREŽJU

## ICING 2014 AND ITS IMPACT ON THE SLOVENIAN OHL NETWORK

dr. Branko Zadnik, univ. dipl. inž. grad.

branko.zadnik@ibe.si

IBE, Ljubljana, Hajdrihova 4

Strokovni članek

UDK 621.311.1:624.144.2(497.4)

**Povzetek** | Žledolom, ki je prizadel naše kraje v začetku februarja 2014, je povzročil zelo veliko škodo na elektroenergetskem prenosnem omrežju vseh napetostnih nivojev, na železniški infrastrukturi in v gozdovih, tako da lahko govorimo o naravni katastrofi. Porušeni so bili številni daljnovodni stebri, mestoma pa celotni odseki daljnovodov in nizkonapetostnega omrežja. V članku podajamo informacijo o obsegu škode na prenosnih objektih, o vzrokih nastopa žledenja, projektno predvidenih dodatnih obtežbah na daljnovodih in rangu njihovih prekoračitev. Ilustrirane so posledice rušitev stebrov in informativno so predstavljena sanacijska dela, ki so bila opravljena v rekordno kratkem času. Podan je tudi predlog za obravnavo žlednih obtežb v daljnovodni tehniki v prihodnosti.

Ključne besede: daljnovod, žled, projektni parametri, rekonstrukcija

**Summary** | The icing that hit our region in early February 2014 caused catastrophic damage to the electricity transmission network of all voltage levels, to the railway infrastructure as well as to the forests. Thus, we can speak of a natural disaster. A large number of transmission towers collapsed, partly also the whole segments of transmission lines and low-voltage grid. The paper provides the information on the extent of damage to the transmission facilities; it discusses the causes of the icing, the designed additional loads on transmission lines and the exceeding of them. Illustrated are the consequences of demolition of towers and the information on refurbishment work which was carried out in record time. The proposal for the future treatment of ice loads in OHL technique is given.

Key words: overhead line, icing, design parameters, reconstruction

### 1 • UVOD

Zaradi izjemnih vremenskih razmer in posledično velikih mehanskih obremenitev daljnovodov z žledom so od 31. januarja do 5. februarja letos nastale hude poškodbe na celotni elektroenergetski prenosni infrastrukturi v Sloveniji. Zelo je bilo prizadeto nizko in srednje napetostno omrežje, prav tako so bile obsežne poškodbe na visokonapetostnih (VN) daljnovodih 110, 220 in 400 kV (slika 1). Čeprav smo bili v preteklosti v Sloveniji večkrat priča tovrstnim naravnim nesrečam,

ponovnega nastopa do dvanajstkrat večje dodatne obtežbe daljnovodov z žledom, ki ga doslej ne pomnimo v takem geografskem obsegu, ni pričakoval in predvideval nihče, niti nacionalna tehnična regulativa za področje načrtovanja prenosnih objektov.

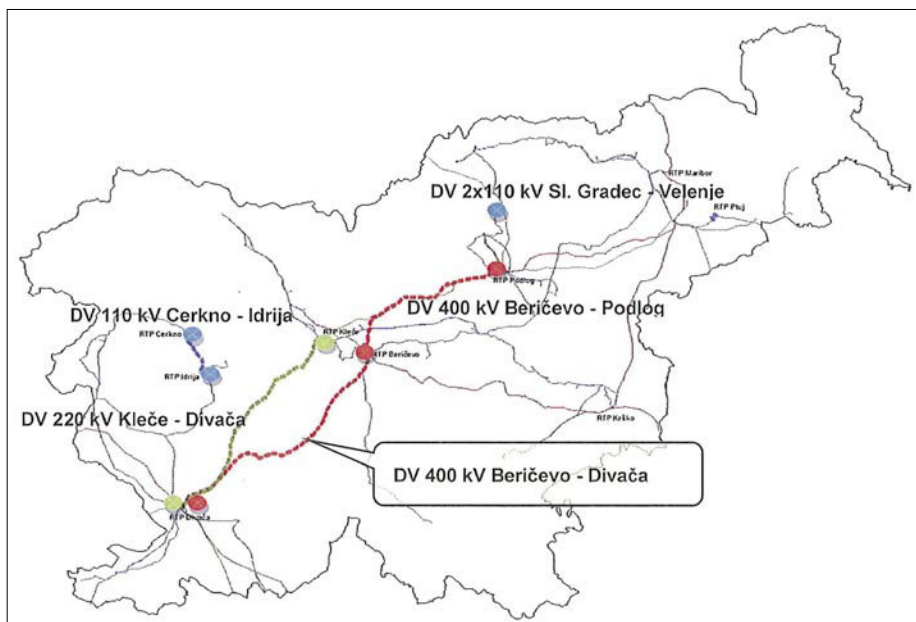
Problematika havarij in odpravljanja njihovih posledic na daljnovodih na način, da jih v bodoče havarije med obratovanjem ne bi prizadele, je zelo široka. Zagotavljanje mehanske varnosti obravnavamo kot skupek in povezano

celoto mnogih aktivnosti. Začenši s primerno, definirano tehnično regulativo, v kateri so upoštevane slovenske specifične vremenske razmere, do uvedbe primernih postopkov za obvladovanje (odstranjevanje) prevelikih dodatnih bremen, ki sicer relativno redko nastopijo v času obratovanja daljnovoda.

V konkretnih vremenskih razmerah, torej že v času dogodka, med samo ujmo, ki načeloma traja tudi več dni, in ko informacije o izpadih posameznih daljnovodov in rušenju daljnovodnih stebrov prihajajo sukcesivno, ima projektant daljnovoda, ki detajlno pozna zasnovo daljnovoda, eno ključnih vlog. Kot pri vsaki havariji je še posebno pri elektroenerget-

skih prenosnih objektih, ki so ožilje delovanja današnje družbe, treba zelo hitro odreagirati, da se fizičen postopek sanacije lahko prične takoj, ko razmere na terenu to dopuščajo. Pri tem je treba upoštevati, da ima vsaka odločitev pomembne posledice, ki so vezane na trajanje izpada delovanja daljnovoda ter s tem neposredno na življenje in delo prebivalstva prizadetega območja. Te posledice se dajo izraziti tudi v obliki bolj ilustrativnih finančnih izgub. Oblika angažiranja projektanta v tej predhodni fazi sanacije je na nivoju neformalnega svetovanja, izmenjave mnenj in sugestij o možnih tehničnih rešitvah. Po preigravanju različnih scenarijev pa je končna odločitev o tem, kako bo sanacija opravljena, vedno od lastnika objekta.

Hude posledice žledenja se kažejo tudi v tem, da je bilo na odseku od Borovnice do Sežane porušeno omrežje energetskega napajanja železniške proge Ljubljana–Koper.



Slika 1 • Porušitve na visokonapetostnem prenosnem omrežju ELES (februar 2014)



Slika 2 • Območja največje poškodovanosti gozdov v Sloveniji (ZGS, 2014)

Da je intenzivnost in obseg žledoloma v slovenskih gozdovih največja katastrofa, odkar pomnimo, se ugotavlja tudi v gozdarskih krogih, kjer predvidevajo, da bo potrebno za odpravo posledic žledoloma več let. Poškodovana je bila skoraj polovica gozdov, na nekaterih območjih na Postojnskem in Pivškem pa so gozdovi celo popolnoma uničeni (slika 2). Cestne povezave med posameznimi kraji so bile prekinjene (slika 3) tako, da je bilo treba za zagotovitev normalnega življenja in saniranje stanja najprej pričeti z odstranjevanjem porušenega drevja in čiščenjem javnih cest, istočasno pa tudi s krčenjem dostopov po gozdnih prometnicah do poškodovanih odsekov elektroenergetskih prenosnih vodov.



Slika 3 • V prvih dneh ujme so bile na prizadetih območjih glavne prometnice neprevozne

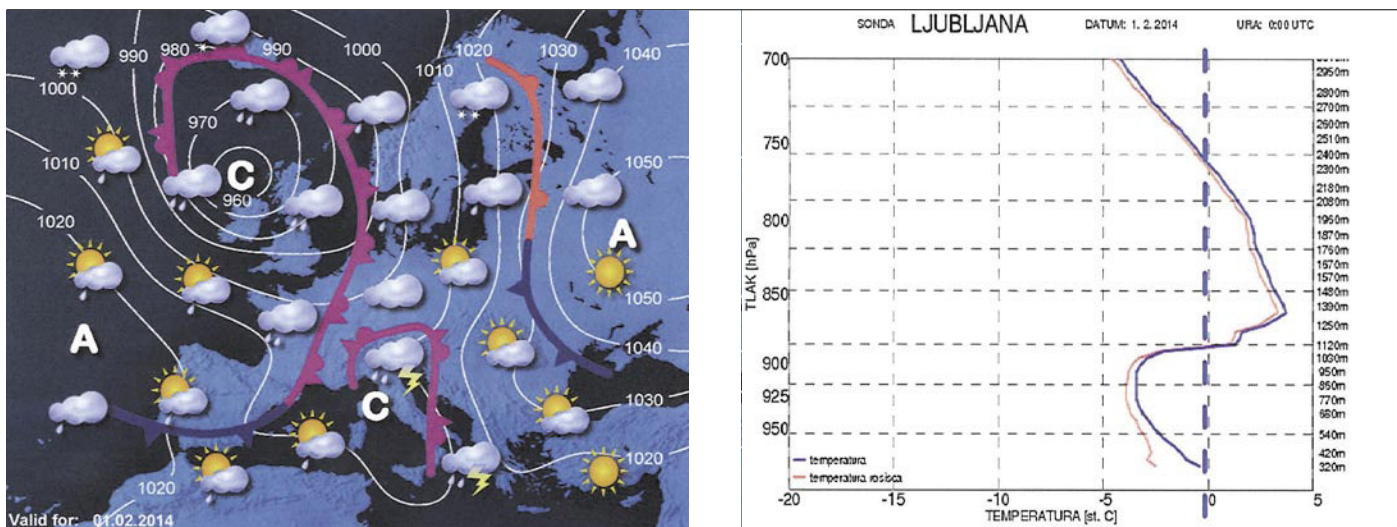
## 2 • KLJUB IZKUŠNJAM VSEGA NE MOREMO PREDVIDETI

Slovenija leži na območju mešanja mediteranskega in zmernege podnebja. Prav mešanje zračnih mas različnih temperatur in vsebnosti vlage je glavni razlog za pojave, kot je bilo žledenje. Zaradi podnebnih sprememb lahko v prihodnosti pričakujemo še intenzivnejše in obsežnejše vremenske ujme. To generalno ugotovitev, podkrepljeno z letošnjimi dogodki, bo treba v bodoče na primeren način vključiti v nove slovenske standarde za gradnjo daljnovodov, ki so trenutno v pripravi. Pri tem se je treba zavedati, da tudi tako reguliran pristop k načrtovanju prenosnih objektov ne bo zagotavljal popolne varnosti objekta, saj bo vedno obstajala določena verjetnost nastopa prekoračitve tako definiranih vrednosti. Ilustracija te trditve je lahko pristop pri načrtovanju potresno odpornih objektov. Zavedati se moramo, da karkoli že zgradimo,

posegamo v naravo, in produkt človeških rok in uma ni absolutno varen. Človek pač ne more obvladovati narave, temveč se ji mora znati prilagajati.

Dosedanje izkušnje, pridobljene pri obratovanju daljnovodov pri nas in v svetu, kažejo, da je praktično nemogoče predvideti, predvsem pa ekonomsko upravičeno zgraditi daljnovod, za katerega bi lahko trdili, da je popolnoma varen. Upoštevanje predpisov in standardov, ki obravnavajo to problematiko, zagotavlja zahtevano varnost do določenega nivoja predvidenih obtežb. V osnovi sta namreč nastop in intenziteta žledenja naključna pojava, ki ju je praktično nemogoče deterministično opredeliti ter nato ekonomsko in tehnično upravičeno upoštevati pri gradnji daljnovodov. Tovrstne preobremenitve se je začelo načrtno proučevati v zadnjih desetletjih predvsem v krogih elektro-

energetikov. Pri tem se je pozornost posvečala predvsem merjenju žlednih oblog na vodnikih, manj pozornosti pa je bilo posvečeno obširnejšim in vsestranskim raziskavam, ki bi lahko temeljno razložile fenomen žledenja in ga uspele tudi pravočasno napovedati. Takšna situacija je po svoje razumljiva, saj jo uvrščamo v področje meteorologije kot stroke, ki se ukvarja s padavinami. Ker padavine, ki povzročajo žledenje, količinsko niso pomembne v primerjavi s preostalimi, poleg tega pa do modernega časa niso bile znane posledice njihovega nabiranja na objektih za prenos električne energije, se meteorološka stroka v preteklosti ni intenzivneje posvečala temu fenomenu. Danes, ob uporabi najnovejše satelitske in računalniške tehnologije (slika 4), pa je tudi na tem področju videti bistvene premike, ki omogočajo geografsko in časovno zelo detajlno napovedovanje tudi tovrstnih dogodkov (Poredoš, 2014). Te možnosti bo treba pri gradnji in vzdrževanju prenosnih objektov vsekakor upoštevati.



Slika 4 • Tipična vremenska situacija za nastop žledenja – prodor toplejšega zraka v višjih plasteh (situacija v Ljubljani, 1. 2. 2014 – ARSO, 2014)

## 3 • OBSEG PORUŠITEV NA DALJNOVODIH FEBRUARJA 2014

Obseg škode na celotnem elektroenergetskem prenosnem sistemu v Sloveniji je v preglednicah 1 in 2 podan kot trenutni prerez znanih podatkov, in sicer ločeno za prenosno dejavnost (ELES – slika 5) in distribucijsko dejavnost skupaj (Elektro Maribor, Elektro Celje,

Elektro Ljubljana, Elektro Gorenjska in Elektro Primorska).

Obseg poškodb ilustrira tudi podatek, da je bilo v najbolj kritičnih trenutkih, 3. februarja 2014, brez električne energije ca. 200.000 ljudi. Še veliko večje katastrofe pa nas je rešilo

srečno naključje, da je osrednjo Slovenijo z Ljubljano in Gorenjsko lahko napajal nov daljnovod 2 x 400 kV Beričevo–Krško, ki je bil po uspešni izgradnji od 18. novembra 2013 že dva meseca v poskusnem obratovanju in ni doživel havarije.

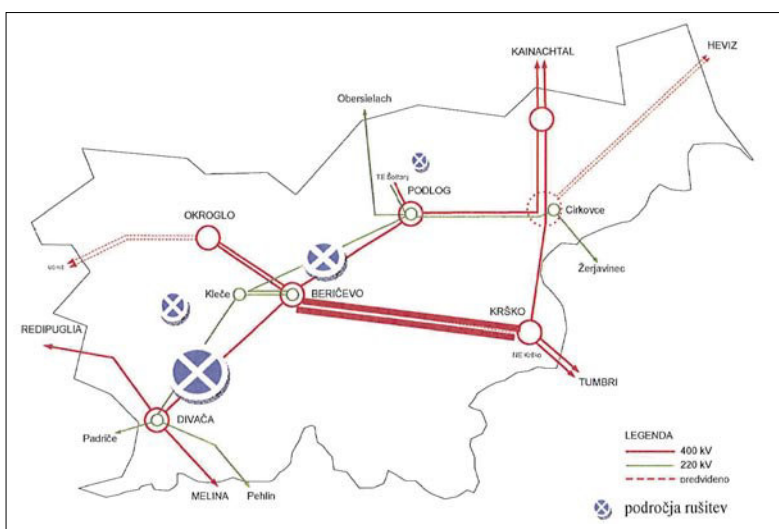


firma	objekt	št. poškodovanih in porušenih jeklenih stebrov	masa stebrov
		(kom)	(t)
ELES	400 kV Beričevo - Divača	55	193,0
	400 kV Beričevo - Podlog	9	25,0
	220 kV Kleče - Divača	42	138,0
	220 kV Beričevo - Podlog	1	0,2
	110 kV Cerkno - Idrija	19	52,0
	2x110 kV Sl. Gradec - Velenje	2	11,2
	SKUPAJ	128	419,4

Preglednica 1 • Pregled porušitev na prenosnih objektih v skupni dolžini ca. 53 km in investicijske vrednosti ca. 8,2 mio. €

firma	napetost	št. poškodovanih in porušenih stebrov		dolžina omrežja
		(material)	(kom)	(km)
elektro distribucijska podjetja skupaj	VN (110 kV)	jeklo	42	22
		beton	149	
	SN (35,20,10 kV)	les	8.181	917
		SKUPAJ	9.333	
		beton	350	
	NN (0,4 kV)	les	15.030	634
		SKUPAJ	15.380	

Preglednica 2 • Pregled porušitev na distribucijskih prenosnih objektih v skupni dolžini ca. 1573 km in investicijske vrednosti ca. 68,6 mio. €



Slika 5 • Slovensko 220 kV in 400 kV prenosno omrežje v času havarije z označenimi območji porušitev (glej tudi preglednico 1)

#### 4 • PODNEBNI PODATEK – DODATNA OBEŽBA Z ŽLEDOM

V času pisanja članka je v Uradnem listu RS izšel novi Pravilnik o tehničnih pogojih za gradnjo daljnovodov (RS, 2014), ki tudi formalno uvaja v načrtovanje prenosnih objektov standarde, ki so bili v Sloveniji sicer v praktični uporabi že dalj časa ((RS, 2002), (RS, 2005), (RS, 2009a), (RS, 2009b)). Pred temi standardi se je pri načrtovanju uporabljal jugoslovanski pravilnik (SFRJ, 1973). Vsa navedena tehnična regulativa ima glede določanja dodatnih obtežb na daljnovode zaradi mokrega snega, ivja in žleda enak pristop. Tako so bili tudi vsi daljnovodi, ki so se rušili letos v februarju, zasnovani in zgrajeni po enakih načelih kot veljajo danes.

Teoretična obravnava dodatnih obtežb se z desetletji v bistvu ni spreminjala. Normalna dodatna obtežba žleda je bila in je definirana kot obtežba, ki se na obravnavanem mestu pojavlja povprečno na pet let, izredna pa na dvajset let in nikakor ne sme biti manjša od vrednosti, dobljene iz enačbe (1). Določeno spremembo glede na prejšnjo regulativo pomeni le karta, ki v novejših standardih določa geografska območja različnih intenzitet dodatnih bremen (slika 6).

Dodatna obtežba se določa za tekoči meter vodnika (sliki 7 in 8). Deluje navpično navzdol in se zato prišteva kot dodaten vpliv k masi vodnika oziroma zaščitne vrvi ali konstrukcije.

$$g_n = f \cdot 0,18 \sqrt{d} \quad (1)$$

kjer pomeni:

$g_n$  dodatno breme, ki se lahko nabere na vrvi (daN/m),

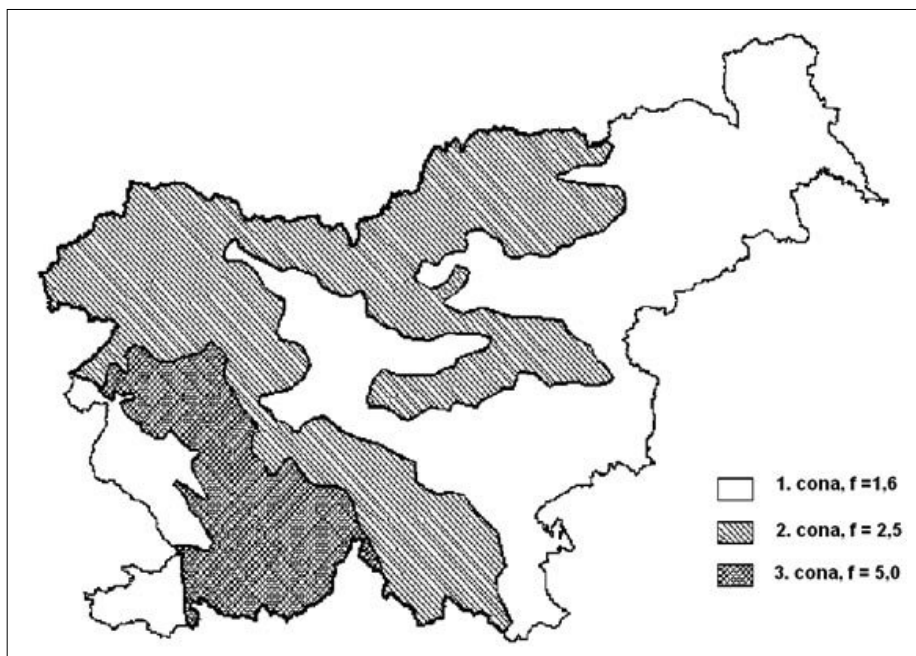
$f$  brezdimenzijski faktor dodatnega bremena, ki je odvisen od geografske lege in izpostavljenosti obravnavane lokacije daljnovoda,

$d$  premer vrvi (v mm).

Za presojo dodatne obtežbe, ki se upošteva pri izračunu voda, se lahko uporabijo tudi eventualni drugi podatki, v kolikor se lahko pridobijo od hidrometeorološke službe, oziroma merjene vrednosti na obstoječih nadzemnih elektroenergetskih in telekomunikacijskih vodih vzdolž projektirane trase. Praviloma se v skladu z današnjo tehnično regulativo določa dodatna obtežba žleda  $g_n$  glede na cono

poteka voda z naslednjimi vrednostmi faktorja  $f$  (slika 6):

1. cona obtežbe žleda:  $f = 1,6$ ; sem spadajo območja, kjer na podlagi vremenskih razmer in potrjeno z dolgoletnimi izkušnjami nastajajo le majhne obtežbe žleda, ki ne povzročajo poškodb nadzemnih vodov.
2. cona obtežbe žleda:  $f = 2,5$ ; sem spadajo območja, kjer je na podlagi vremenskih razmer, zemljepisne lege in potrjeno z dolgoletnimi izkušnjami pričakovati velike obtežbe žleda, ki so med drugim že povzročile tudi poškodbe na nadzemnih vodih.
3. cona obtežbe žleda:  $f = 5,0$ ; sem spadajo območja, kjer je na podlagi vremenskih razmer, zemljepisne lege in potrjeno z dolgoletnimi izkušnjami pričakovati zelo velike obtežbe žleda, ki so med drugim že povzročile pomembne poškodbe na nadzemnih vodih.



Slika 6 • Faktor obtežb žleda  $f$  glede na cone v Sloveniji (RS, 2009a)

V tehnični regulativi, ki je veljala v času načrtovanja in gradnje letos poškodovanih objektov, so bile vrednosti faktorja  $f$  nižje. Izhodiščna vrednost faktorja  $f$  v osnovni coni je bila določena kot 1,0 ((SFRJ, 1973)).

#### 4.1 Ilustracija problematike dodatnih bremen na primeru DV 400 kV Beričevo–Divača

Daljnovid (DV) 400 kV Beričevo–Divača povezuje razdelilni transformatorski postaji RTP 400/220/110 kV Beričevo in RTP 400/220/110 kV Divača (slika 1). Pričetek načrtovanja daljnovoda sega v leto 1975, fizična gradnja se je pričela januarja 1976, njen zaključek pa je bil februarja 1978. Od tedaj je daljnovid v obratovanju.

Pri zasnovi in v fazi načrtovanja daljnovoda se je upoštevalo, da vod poteka po podnebno pestrem območju. Možnost nastopa zelo različnih meteoroloških pojavov in z njimi povezanih obremenitev daljnovoda je bila predvidena in upoštevana v okviru takrat poznanih podatkov o intenzivnosti in pogostosti nastopa tovrstnih dogodkov. Glede na veljavno tehnično regulativo za načrtovanje prenosnih objektov se je uporabila za določitev dodatnega bremena še danes veljavna formula (1). Vzdlž trase so bili določeni projektni faktorji dodatnega bremena, ki so v preglednici 3 primerjani z dejansko izmerjenimi v času havarije.

V času obratovanja, to je v 36 letih, so bile že nekajkrat na posameznih delih daljnovoda havarije, ki so bile posledica čezmernih obtežb z žledom. Vse havarije so bile hitro sanirane, tako da se je vzpostavilo prejšnje



Slika 7 • Amorfn žled na vodniku AlFe 490/65 mm<sup>2</sup>, 2. februar 2014

stanje objekta. Tudi v februarju 2014 je prišlo na posameznih odsekih od SM 112–SM 179 do rušenja in/ali poškodovanja stebrov in vodnikov. Skupaj je bilo poškodovanih ali porušeni 55 stebrov. Pri vseh dosedanjih sanacijah, ki so se v dobi delovanja obravnavanega daljnovoda opravljale na konstrukcijah stebrov, so se ohranjali zgoraj navedeni projektni parametri. Tudi v sklopu načrtovanja sanacijskih del zaradi ujme, ki

je daljnovid prizadela februarja 2014, se je pristopilo z originalno filozofijo obravnave obtežb. Odločitev je omogočila časovno zelo hitra popravila stebrov in vzpostavitev normalnega obratovalnega stanja daljnovoda. Sanacijska dela na terenu so se začela marca 2014 in se zaključila 6. junija 2014, ko je bil daljnovid pod napetostjo in je zagotovil ponovno povezavo slovenskega prenosnega omrežja. Časovna komponenta sanacijskih

del trase		Opis (do kraja)	proj. faktor dod. bremena f	dejanski faktor dod. bremena 2014
od SM	do SM			
1	9	Portal Beričevo–Podgrad	1,00	ni bilo rušenja, ni podatka
9	17	Kašeljška gmajna	1,60	
17	20	Češnjice	2,50	
20	28	Roje	1,60	
28	56	Laze	1,00	
56	64	Senožet	2,44	
64	83	Pikovnik	2,50	
83	146	Landol	1,60	
146	196	Portal Divača	1,00	12,00

Preglednica 3 • Projektni in dejanski faktorji dodatnega bremena na DV 400 kV Beričevo–Divača



Slika 8 • Neenakomernost nabiranja in odpadanja dodatnega bremena – posledica dodatni dinamični vplivi, posnetek v času trajanja dogodka

del je zaradi ekonomskega kriterija pri zagotavljanju prenosa električne energije zelo pomembna.

Kot je videti iz preglednice 3, so bile pri obravnavani havariji bistveno povečane dodatne obtežbe glede na obtežbe, na katere je bil daljnovod projektiran in zgrajen. Projektni faktorji dodatnih obtežb so bili določeni v velikosti 1,0 in 1,6 na delih daljnovoda, kjer se ni pričakovalo nastopa večjih dodatnih obtežb, na takrat ocenjenih kritičnih mestih trase pa so bili privzeti v velikosti do 2,5. Dejanski fak-

tor, iz februarja 2014, preračunan iz merjene debeline žleda na vodnikih (debelina obloge vodnika 50 mm + dodatne sveče), pa pokaže velikost tega faktorja do 12. Torej je bil faktor dodatnega bremena ca. 7,5- do 12-krat večji od projektno predvidenega. Ta velikost se spreminja glede na opazovano lokacijo stojnega mesta v odvisnosti od podatka iz originalnega projekta in dejansko merjene vrednosti na konkretnem mestu, ki je odvisna od takratne tamkajšnje mikroklimе, in je tudi variirala. Te vrednosti faktorja obtežbe kažejo,

da so v vodnikih nastopile tri- do petkrat večje sile od projektiranih in posledično seveda tudi preobremenitve posameznih konstrukcij stebrov. Ob tem razmisleku nismo upoštevali dodatnih dinamičnih vplivov na stebre, ki se pojavljajo kot posledica kaskadnih vplivov rušenja na daljnovodu in dodatno obremenjujejo konstrukcije.

#### 4.2 Ilustracija problematike dodatnih bremen na primeru DV 110 kV Cerčno–Idrija

Pomembna ugotovitev oziroma izkušnja, pridobljena iz zadnje žledne ujme, so dogajanja na daljnovodu 110 kV Cerčno–Idrija, ki je bil v preteklosti že večkrat delno porušen in nato saniran. Daljnovod je bil zgrajen leta 1983 v dolžini 12,5 km. Na odseku trase, ki poteka preko Bevkovega vrha na nadmorski višini 700 do 900 m so se prvič pojavile poškodbe na konstrukcijah že 15. novembra 1984. V tem času so se poškodovali stebri v istem zateznem polju na treh stojnih mestih. Sanacija je bila opravljena z ojačitvijo daljnovoda tako, da se je zamenjalo en nosilni steber z napenjalnim, celotno napenjalno polje pa se je z dvigom drugih stebrov preprojektiralo na dodatno breme 3,0 g<sub>n</sub>. Že naslednje leto, 14. novembra 1985, je prišlo zopet do rušenja prvega nosilnega stebra in poškodb na drugem stebru. Stanje se je saniralo z vzpostavitvijo predhodnih razmer, brez ojačitev. 27. januarja 1992 so bile na enem stebru istega odseka trase ponovno poškodbe. Po havariji v letu 1997, ko se je porušil vod med SM 9 in 24, se je pristopilo k resnejšim posegom v daljnovod ter kritični del trase preprojektiralo na dodatno breme 5,0 g<sub>n</sub>. Pri tem se je za ta odsek uporabilo 220 kV stebre, ki so v svoji osnovi projektirani za veliko večje obtežbe (na konstrukciji, ki je bila projektirana za obešanje vodnikov AlFe 490/65 mm<sup>2</sup>, so se montirali vodniki AlFe 240/40 mm<sup>2</sup>). Vendar so bile v najnovejši havariji, v februarju 2014, praktično na istem delu trase ponovne rušitve oziroma poškodbe stebrov na kar 19 stojnih mestih.

Pri analizi tega zadnjega dogodka lahko pridemo do analognih zaključkov, kot so zapisani za DV 400 kV Beričevo–Divača, le da so bile preokrajšive faktorja dodatnega bremena »samo« 2,4-kratnik projektne in očitno prevelike. V dani situaciji se je sicer sprejela odločitev o sanaciji daljnovoda na predhodno stanje, vendar je jasno, da bo za del daljnovoda v bodoče treba poiskati drugačno, za to območje trajnejšo tehnično rešitev. Možnosti je več, od rigorozne spremembe trase do eventualnega kabliranja posameznih odsekov trase.



## 5 • NAČINI PORUŠITEV KONSTRUKCIJ

Pri porušitvah je bilo tipično, da so poškodbe nastajale predvsem na jeklenih delih konstrukcij stebrov, pri čemer so bile poškodbe temeljev redke in še to omejene mestoma le na lokalne poškodbe betona glav temelja. Poškodbe drugih elementov daljnovoda, to je vodnikov, zaščitnih vrvi, izolatorskih verig in obešalnega materiala, so nastajale predvsem v kombinaciji s poškodbami oziroma porušitvami stebrov.

### 5.1 Stebri

Na daljnovodih, ki so bili poškodovani, so uporabljene jeklene konstrukcije stebrov, ki so s statičnega gledišča prostorska paličja, ki imajo različno oblikovane t. i. glave stebrov. Tako so na 400 kV daljnovodih uporabljeni Y-stebri, na 220- in 110 kV daljnovodih pa stebri z obliko glave »jelka« oziroma »donava« pri DV 2 x 110 kV Velenje–Slovenj Gradec.



Slika 9 • Daljnovod 400 kV Beričevo–Divača



Slika 10 • DV 220 kV Kleče–Divača in 220 kV stebri na DV 110 kV Cerkno–Idrija

Dodatno breme z žledom seveda uklešči v svoj objem poleg vodnikov tudi jekleno konstrukcijo stebra, vendar to nima odločujočega vpliva za nastop havarije. Bistvene so sile, ki se pojavijo v vodnikih zaradi dodatne obtežbe in se prenašajo preko obešišč vodnikov na konstrukcijo stebra. Kot že povedano, so te sile do petkrat presegle projektno predvidene. Glede na neenakomernost nabiranja žleda na posameznih vodnikih in tudi njegovega neenakomernega odpadanja so te sile v obešiščih istega stebra lahko zelo različne, kar povzroča torzijske obremenitve konstrukcije. Seveda so

stebri do predpisane mere tudi dimenzionirani na tovrstne obremenitve, vendar so bile tudi te večkratno prekoračene (sliki 9 in 10).

### 5.2 Temelji

Na stojnih mestih, kjer so bile poškodovane jeklene konstrukcije stebrov, temelji kot nosilna konstrukcija, ki prenaša obremenitve iz jeklene konstrukcije stebra v temeljna tla, v splošnem niso bili poškodovani (slika 12) in so se lahko ponovno uporabili pri postavitvi novih, saniranih jeklenih konstrukcij. Na nekaterih stojnih mestih se je zaradi rušenja jeklene konstrukcije stebra (vogalnikov) tik nad glavo temelja poškodoval beton, kar se je saniralo lokalno v območju glave (slika 13). Prav tako se je izvedlo posege v glave temeljev na stojnih mestih, kjer je bilo treba izvesti nov stik vogalnika z obstoječim, vbetoniranim sidrnim delom stebra.

Posebna situacija se je pojavila na stojnem mestu 122. daljnovoda 2 x 110 kV Slovenj





Slika 12 • Temelji so ostali v veliki večini nepoškodovani



Slika 13 • Temelj globalno nepoškodovan, poškodovana glava zaradi slabe izvedbe – armatura!?



Slika 14 • Izvlek temelja na SM 122 DV 2 x 110 kV Velenje–Slovenj Gradec

Gradec–Velenje, kjer se je pokazalo temeljne kot najšibkejši člen daljnovoda. Prišlo je namreč do izvleka tegnjene dvojice temeljev stebra (slika 14). Temelj, kakršen je bil originalno izveden, očitno ni bil primeren za konkretne geomehanske razmere na stojnem mestu.

### 5.3 Vodniki in druga oprema

Tudi v primerih, ko so na posameznih delih daljnovoda stebri prenesli povečane dodatne obtežbe, so nastajale poškodbe na vodnikih, izolatorskih verigah in/ali obešalni opremi, kar tudi prištevamo k rušitvi daljnovoda, saj je bilo treba vse te elemente zamenjati z novimi (slika 15).



Slika 15 • Poškodovane so bile tudi vrvi in obešalna oprema daljnovodov





## 6 • SANACIJSKA DELA

### 6.1 Splošno

Projekt potrebnih sanacijskih del na jeklenih konstrukcijah DV-stebrov je temeljil na podatkih posnetka dejanskega stanja konstrukcij na terenu ter PID-dokumentaciji iz arhivov lastnika in projektanta. V grobem bi lahko sanacijske posege razdelili v tri kategorije:

- 1. kategorija:** konstrukcija stebra je bila popolnoma porušena. Ta porušitev je vplivala tudi na temelje. Po tipskih načrtih stebra, ki je bil predviden za posamezno stojno mesto, je bil izdelan popolnoma novi steber. Navezavo na obstoječe temelje se je opravilo z izdelavo novega sidrnega dela stebra – vogalnika, ki se ga je z novo izdelanim stikom priključilo na obstoječi vbetonirani vogalnik.
- 2. kategorija:** konstrukcija stebra je bila porušena delno. To na temelje ni imelo nikakršnega vpliva. Spodnji jekleni del stebra je ostal ohranjen in nepoškodovan, tako da ni bilo treba narediti nikakršnih posegov v temelje. Zamenjati je bilo treba

posamezne sklope stebra (trup, glavo, most, rašlje (razcep pri Y-stebrih), konzole, vrh). Sanacija se je opravila tako, da se je demontiralo celoten poškodovani sklop stebra in se ga zamenjalo z novim, ki je bil predhodno sestavljen na tleh v bližini stebra.

- 3. kategorija:** na konstrukciji so bili poškodovani le posamezni elementi, ki jih je bilo treba zamenjati. Elementi so se menjevali posamezno, pri čemer je bilo treba paziti, da sta se z začasnim sidranjem ali notranjim opiranjem konstrukcije stebra ohranjali geometrija in stabilnost druge originalne konstrukcije.

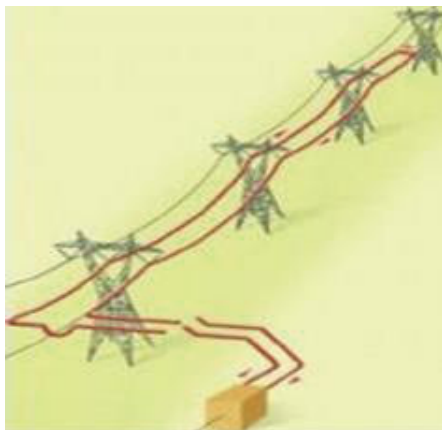
Pri vseh posegih v jekleno konstrukcijo stebrov se je za vse elemente uporabilo kvaliteto jekla S355 J2, za vijake zveze pa kvaliteto vijakov 8'8. Odločitev je bila sprejeta zaradi poenotenja postopkov nabave materiala, izdelave konstrukcije in posledično hitrejšega napredovanja montažnih del na terenu.

Izvedba del je bila glede na obseg havarije in zahtevnost del opravljena v izredno kratkem času, pred pogodbeno dogovorjenimi roki. Tako so bili daljnovodi ponovno v uporabi, kot sledi: DV 400 kV Beričevo–Podlog sredi maja 2014, DV 2 x 110 kV Slovenj Gradec–Velenje konec maja 2014, DV 400 kV Beričevo–Divača 6. junija 2014, DV 220 kV Kleče–Divača 10. junija 2014 in DV 110 kV Cerčno–Idrija konec junija 2014.

Za to gre vsekakor zahvala vsem udeleženi v procesu obnovitvenih del, od lastnika in naročnika del ELES, projektanta IBE, izvajalcev konzorcija Dalekovid Zagreb in Ljubljana, Elektroservisov Ljubljana in do institucij, ki so spremljale kvaliteto izvedbe, kot so IMK Ljubljana, EIMV Ljubljana, Geoekspert ter številni drugi podizvajalci in dobavitelji. Strokovnost izvajalcev, organiziranost gradbišč, vodenja projekta in nadzora sta bili na visoki ravni, kar je omogočilo izvedbo pred zadanimi roki. Kakovost opravljenih del je skladna z vsemi veljavnimi tehničnimi standardi in pravilniki ter veljavno zakonodajo.

## 7 • REŠITEV ZA NAŠE OMREŽJE JE UVEDBA MONITORINGA IN SPROTNEGA ODSTRANJEVANJA OBLOG

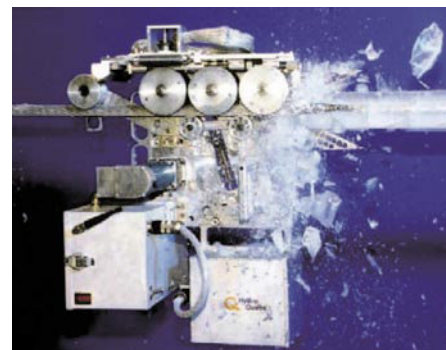
Stohastičnost in nepredvidljivost pojava prekoračitve predvidenih meteoroloških vplivov je narekovala, da so se v svetu, posebno v zadnjih petnajstih letih, pričele



Slika 16 • Gretje vodnikov z enosmernim tokom – ena od Al-metod, ki se lahko uporabi tudi kot DI-metoda (Farzaneh, 2010)

uvajati posebne metode in tehnologije, s katerimi naj bi se v kritičnih trenutkih zmanjšalo dodatne žledne obtežbe na vodnike in se tako razbremenilo konstrukcije stebrov. Enotne filozofije, standardnih rešitev ali splošne tehnične prakse na tem področju še ni. V bolj ogroženih in razvitih državah, kot so Kanada, Rusija pa tudi Belgija, Francija, Švedska, Nemčija, Japonska, celo v Ukrajini, Romuniji in na Češkem, se v zadnjih letih uvajajo v uporabo posebni postopki oziroma posebne dodatne naprave, s katerimi se skuša kontrolirati obtežbe z žledom. Končni namen teh, še vedno predvsem študijskih aktivnosti je zmanjšati sile na stebre v primeru izrednih obtežb z žledom. Te naprave in/ali procedure so običajno zasnovane po dveh načelih: po načelu preprečevanja nabiranja žlednih oblog na vodnikih – AI-metode (Anti-icing) (slika 16), in b) po načelu odstranjevanja že formiranih žlednih oblog z vodnika – DI-metode (De-icing) (slika 17). Za nadaljnje branje glej ((CIGRE, 2000), (CIGRE, 2010)).

Že omenjena dilema, ali po havariji čim prej vzpostaviti prvotno stanje daljnovoda ali daljnovod ob sanaciji na neki način ojačiti, za nikogar ni enostavna. Zato bomo morali v prihodnosti priti v stanje, ko bo možno odreagirati že ob nastopu vremenske ujme in preprečiti nabiranje žlednih oblog oziroma že nastali žled na vodnikih odstraniti. Aktiviranje katerekoli od omenjenih procedur zahteva poznavanje stanja vzdolž daljnovoda in uvedbo posebnega sistema opazovanja – monitoringa stanja daljnovoda v realnem času in prostoru. Kot rečeno, so tovrstne aktivnosti v



Slika 17 • Robot za odstranjevanje žleda na vodniku – ena od DI-metod (CIGRE, 2010)

svetu že poznane in deloma tudi praktično uveljavljene ((Zadnik, 2006), (CIGRE, 2010)). Pri nas se v tej smeri še vedno le razmišlja, čeprav so nekateri ukrepi dokaj enostavni in niti ne predragi. Posebno če upoštevamo, da s tem preprečimo porušitev daljnovodnih

stebrov in izpad prenosa električne energije. Danes ne bi smeli, kot se je to v preteklosti že večkrat zgodilo, o nedavni ujmi le govoriti, čez čas pa nanjo pozabiti. Žal imamo ponovno priložnost, podprto s konkretnimi dogodki, da se na nivoju elektrogospodarstva sprejme

strateška odločitev o tem, kakšen standard izgradnje in tudi obratovanja daljnovodov naj se v bodoče uporabi v Sloveniji, da bo mogoče aktivno spremljanje, preprečevanje nabiranja in/ali odstranjevanje žlednih oblog s prenosnih objektov.

## 8 • LITERATURA

ARSO, Javne informacije Slovenije, ARSO – met., <http://www.meteo.si>, 2014.

CIGRE, Load control devices on overhead transmission lines, CIGRE, WG 22.06, brošura št. 174, Pariz, december 2000.

CIGRE, Systems for prediction and monitoring of ice shedding, anti-icing and de-icing for power line conductors and ground wires, CIGRE, WG B2.29, brošura št. 438, Pariz, december 2010.

ELES, Havarija na prenosnih DV – žled 2014, CIGRE – CIRED, kolokvij, Ljubljana, april 2014.

Farzaneh, M., Ice melting methods for overhead lines, CIGRE, 2010.

IBE, Projektna dokumentacija za DV 400 kV Beričevo–Divača–Melina, odsek: Beričevo–Divača, večje število map, Ljubljana, IBE, 1975–1978.

Poredoš, A., Vertačnik, G., Blažica, V., Merše, J., Žled 2014 + uporabnost meteoroloških informacij, CIGRE – CIRED, kolokvij, Ljubljana, april 2014.

RS, SIST EN 50341-1:2002, Nadzemni vodi za izmenične napetosti nad 45 kV – 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila, 2002.

RS, SIST EN 50423-1:2005, Nadzemni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV do vključno 45 kV – 1. del: Splošne zahteve – Skupna določila, 2005.

RS, SIST EN 50341-3-21:2009, Nadzemni vodi za izmenične napetosti nad 45 kV – 3-21. del: Nacionalno normativna določila (NNA) za Slovenijo (na podlagi SIST EN 50431-1:2002), 2009a.

RS, Republika Slovenija, SIST EN 50423-3-21:2009, Nadzemni vodi za izmenične napetosti nad 1 kV do vključno 45 kV – 3-21. del: Nacionalno normativna določila (NNA) za Slovenijo (na podlagi SIST EN 50423-1:2005), 2009b.

RS, Republika Slovenija, Pravilnik o tehničnih pogojih za graditev nadzemnih elektroenergetskih visokonapetostnih vodov izmenične napetosti 1 kV do 400 kV, U. RS št. 52/11. 7. 2014.

SFRJ, Socialistična federativna republika Jugoslavija, Pravilnik o tehničnih normativih za graditev nadzemnih elektroenergetskih vodov z nazivno napetostjo od 1 kV do 400 kV, Uradni list SFRJ, št. 51/73, 1973.

Zadnik, B., Fenomen žleda in njegov vpliv na objekte za prenos električne energije, univerzitetni učbenik, FGG, Ljubljana, 2006.

ZGS, Zavod za gozdove Slovenije, <http://www.zgs.si/slo/delovna-podrocja/varstvo-gozdov/sanacija-posledic-ujme-2014/index.html#c2609>, 2014.