

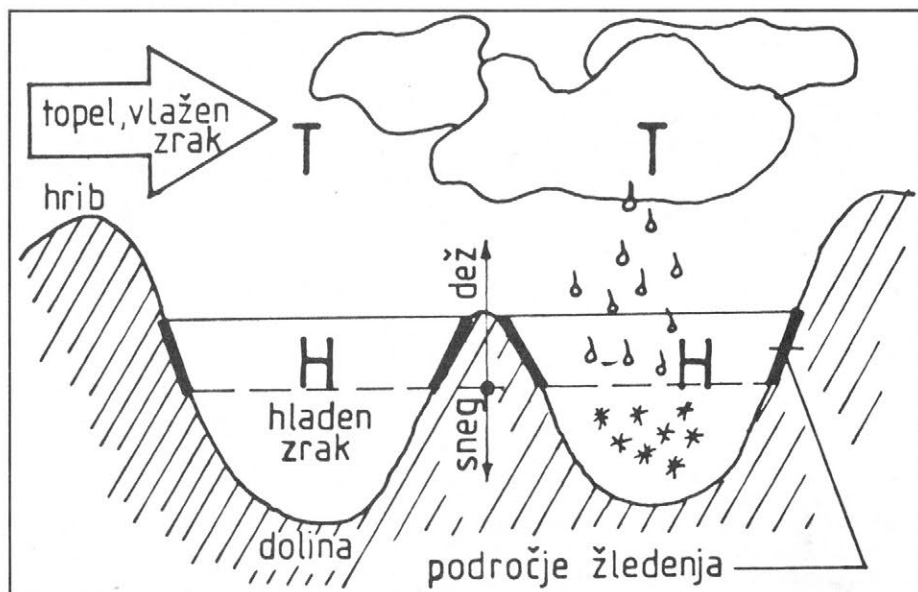
ŽLEDENJE IN ELEKTRO-GOSPODARSTVO

Janez Kern* Branko Zadnik**

Članek opisuje vzroke in potek žledenja ter posledice, ki jih le-to povzroča. V specifičnih vremenskih razmerah, ob primernem reliefu in temperaturi pride do tvorjenja ledenih oblog na ohlajenem zemeljskem površju in predmetih. Ta pojav nastane najpogosteje na prehodu sredozemskega podnebja v celinsko. Geografska razširjenost tega pojava je že dalj časa znana, tudi v gospodarjenju z gozdovi jo sistematično spremljamo že nekaj desetletij. Na področju elektrogospodarstva pa se s katastrofalnimi posledicami žledenja srečujemo šele zadnjih nekaj let. Osnovni vzrok je v tem, da do nedavnega še ni bila zgrajena mreža daljnovodov, ki je hkrati zelo občutljiva za povečanje zunanjih obtežb nad predvidene. Z drugimi besedami, daljnovodi so glede na predpisane projektne obtežbe dimenzionirani zelo racionalno in nimajo velikih faktorjev varnosti na mehansko obtežbo. V zadnjem času potekajo v strokovnih krogih v Jugoslaviji obširne razprave o načinu obravnavanja obtežb zaradi žleda.

Za nastanek žledu morajo biti izpolnjeni nekateri zelo specifični pogoji, ki omogočijo, da se pokrajina obda z več centimetrov debelo ledeno oblogo. Pri tem so enako pomembni meteorološki kot reliefni pogoji. V Sloveniji se žledenje največkrat pojavlja na dokaj ozkem, specifičnem območju z nadmorsko višino 500–1000 m, ob prehodu sredozemskega podnebja v celinsko. To območje se širi v smeri severozahod-jugovzhod in poteka od predgorja Julijskih Alp, to je od Tolminskega, Idrijskega, območja Trnovskega gozda, prek planot Krasa in Brkinov vse do Snežnika ter naprej v Gorski Kotar in Liko. Pojav je zelo nepredvidljiv, saj se razmere bistveno spreminjajo s prostorom. To je še posebno neugodno za konstruktorje in graditelje prenosnih objektov, ki so zelo občutljivi za to vrsto obtežbe.

Pojav ekstremnega žledenja v Sloveniji ni pogost niti obsežen, seveda če govorimo o debelini obloge nad 50 mm. Oglejmo si nastanek žledu (sl. 1). Predpostavimo, da so bile v obdobju pred žledenjem nizke temperature, ki so ohladile površje na temperaturo okoli 0 stopinj Celzija. Običajno se to dogaja v poznih jesenskih tednih, od srede do konca novembra. V takšni situaciji in času je še vedno možno, da pride do prodora toplih, vlažnih zračnih gmot, ki izrinejo hladen zrak. Odvisno od reliefa se hladen zrak umakne toplemu ali pa se »ujame« v zaprtih dolinah. V takšnih razmerah je zelo verjetno, da pride do kondenzacije.



Slika 1. Shematski prikaz nastanka žledenja.



Slika 2. Pokrajina pod žledom.

za v toplih plasteh in do deževanja oziroma vsaj do pršenja. Dežne kapljice padajo iz toplih zračnih plasti, kjer se kondenzirajo, skozi hladne, nižje plasti ozračja. Pri tem se ohlajajo do temperature okoli nič stopinj Celzija. Če pri tem padejo na podhlajeno zemeljsko površje oziroma predmet, ga oblijejo in v trenutku zmrznejo. Spremene se v led oziroma, kakor pravimo pri nas, v žled. Če pa dežne kapljice padajo v še nižje ležeče zračne plasti, se tako ohladijo, da se spremenijo v ledena zrna že med padanjem, in dobimo znano babje pšeno ali pa sneg.

Zelo pomembno vlogo pri žledenju ima tudi čas. Zmeren žled, ki se ustvarja le nekaj ur, običajno ni nevaren ne gozdovom ne električnim prenosnim objektom. Neprekinjen, nekaj dni trajajoč pojav žledenja, ki ga racionalno ni moč pričakovati, pa vodi v katastrofo, ki se ji praktično ni možno upreti. V tem primeru govorimo, da nas je prizadela žledna ujma.

Košata drevesa, stoletni primerki posameznih sestojev lesne mase, se ob strahotnem pokanju spremenijo v zastrašujočo, uničeno krajino. Pogled nanjo je

* Mag., IB Elektroprojekt, Hajdrihova 4, Ljubljana.
** SENG Nova Gorica, Hajdrihova 4, Ljubljana.

grozljiv, enkratni, hirošimski. Nič ne uide uničujoči teži. Visoki in mogočni jekleni kolosi — daljnovodni stebri se dobesedno mečkajo kot neuporaben papir. Le redki smo ob opravljanju poklicne dolžnosti imeli priložnost na lastne oči videti in neposredno doživeti, kako se daljnovodni jekleni steber, ponos snovalcev, projektantov, izvajalcev, investitorjev, tehnikov in inženirjev, v trenutku spremeni v kup ruševin, v kup zmaličenega in skrivenčenega železja.

VPLIV NA ENERGETSKE OBJEKTE

Žled s svojo dodatno maso oklene vse postavljene predmete na zemlji in jih preobteži. Tako ledeni oklep večkratno poveča maso krošenj dreves. Veje, ki niso raščene, da bi prevzele tako velike obremenitve, se polomijo. Ravno tako pride do prelomov in razkolov debel, odvisno od načina rasti. Marsikdaj se prevrnejo drevesa, ki rastejo postrani in niso dobro vkoreninjena. Podobno kot drevesa se obnašajo konstrukcije daljnovodnih stebrov. Odločilen, direkten vzrok porušitve je tu zelo povečana horizontalna obtežba v obesiščih vodnikov, ki se pojavi kot posledica tvorjenja ledu na vodnikih.

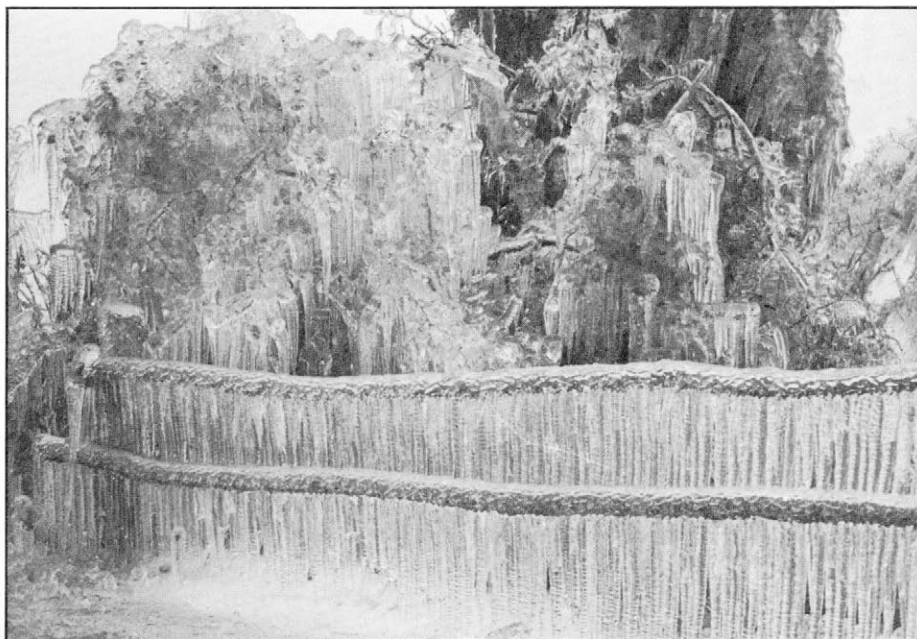
Matematično je možno opazovati vpliv dodatnega bremena na vrv s pomočjo tako imenovane položajne enačbe:

$$\frac{\rho^2 a^2}{2} - \frac{\rho_0^2 a^2}{24 \sigma^2} = \alpha(v - v_0) + \frac{\sigma - \sigma_0}{E \cos \psi}$$

kjer je:

- ρ — masa vrvi in dodatne obtežbe
- ρ_0 — masa vrvi in dodatne obtežbe za neko osnovno, znano stanje
- a — razpetina
- σ — natezna napetost
- σ_0 — natezna napetost v vrvi pri nekem osnovnem stanju
- α — temperaturni koeficient materiala vrvi
- v — temperatura
- v_0 — temperatura pri osnovnem, izhodiščnem stanju
- E — elastični modul materiala
- ψ — naklonski kot razpetine (zveznice dveh obesišč)

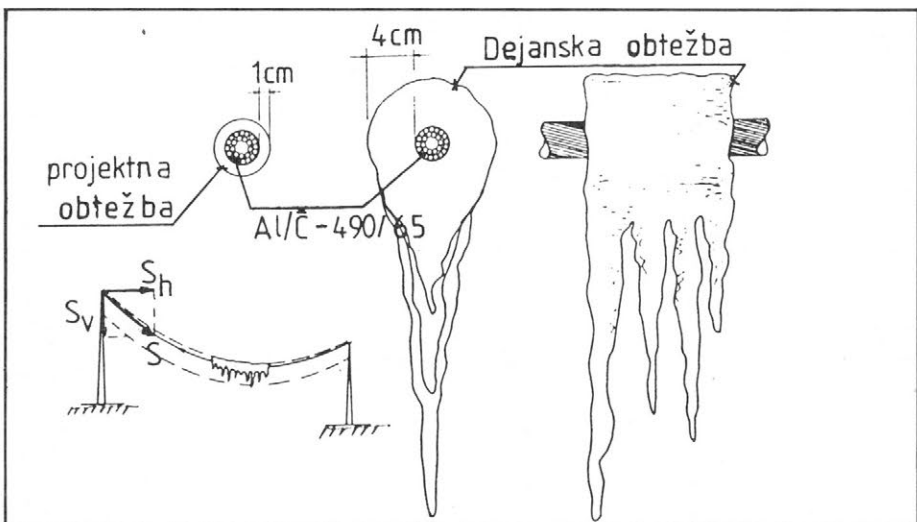
Obtežba žledu na konstrukcijo stebra, ki se v svoji statični zasnovi običajno obravnava kot prostorsko paličje, ni katastrofalna. Steber očitno deluje v naravi kot prostorski okvir, katerega elementi prevzamejo tudi upogibne obremenitve, ki so posledica zvezne obtežbe posameznih elementov zaradi mase naloženega žledu. Svoj delež je pri poznanih nesrečah prispeval tudi veter. Kljub zelo pove-



Slika 3. »Polna« ograja.



Slika 4. Z ledom obtežen vodnik — v ozadju polomljen gozd.



Slika 5. Obtežba vrvi — shematsko.

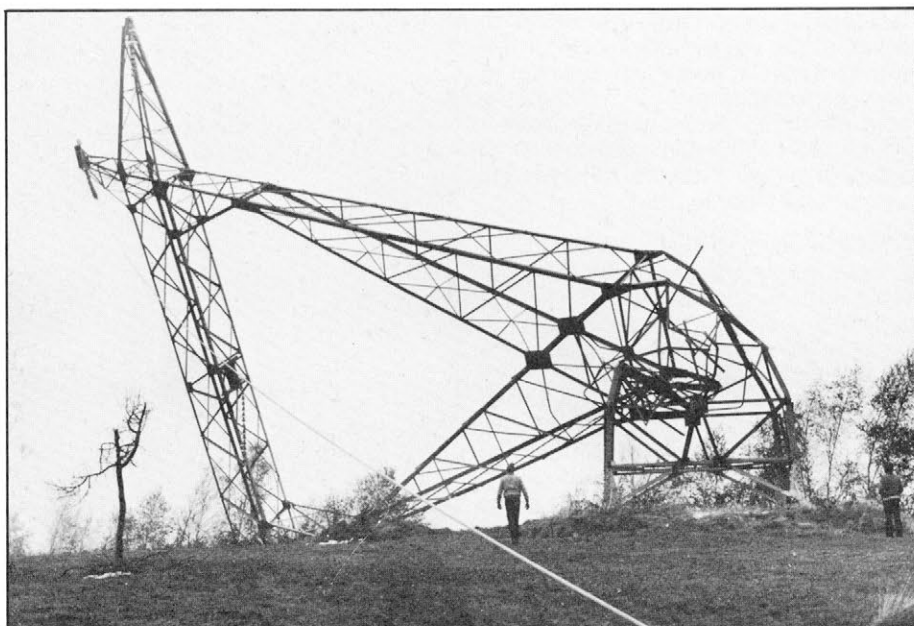
čani vetru izpostavljeni površini ugotovljamo, da veter ni bistveno vplival na način porušitve. Maksimalne ocenjene hitrosti vetrov med nesrečami so bile manjše od 10 m/s.

Daljnovid kot objekt je vrsta stebrov (za višje napetostne nivoje običajno jeklenih), ki so med seboj prek izolatorskih verig povezani z vodniki in zaščitnimi strelkovodnimi vrvmi. Ob že navedenih obtežbah zaradi žledu in eventualno vetra pride do porušitve enega od stebrov. V tem trenutku dodatne dinamične sile pritisnejo na preostale stebre, ki se zvezno porušijo levo in desno od začetka porušitve. Rušenje se zaustavi, ko se izenačijo sile v vrhah daljnovidov iz strani, od koder prihaja rušenje, s silami na strani neporušenega dela daljnovidov.

RUŠENJE ELEKTRO- ENERGETSKIH OBJEKTOV

Po podatkih gozdnih gospodarstev v Sloveniji, ki vsekakor najbolj občutijo posledice žledenja, je mogoče zasledovati pogostost in tudi intenzivnost tega pojava več desetletij nazaj. Očitno so v tej gospodarski panogi ta pojav tudi najboljše analizirali in obdelali, saj je v njihovi strokovni literaturi objavljenih veliko člankov in referatov na to temo. Do zdaj niso bila ugotovljena in teoretično dokazana ponavljanja in jakost žledenja, vendar lahko na osnovi starejših zapisov ugotovimo, da se na primer na Brkinskem območju pojavlja katastrofalen žled približno vsakih 30 let, v Idrijsko-Cerkljanskem hribovju pa pogostejše, približno na vsakih 10 let.

Elektrogospodarstvo se dolgo časa ni resno srečalo s tem problemom iz preprostega vzroka. Na območjih, ki so izpostavljena močnemu žledenju, namreč ni bilo zgrajenih višjih napetosti, kar tudi po svoje govori o gospodarski razvitosti teh krajev. Po izgradnji 400-kilovatne jugoslovanske daljnovidne zanke konec sedemdesetih let in po začetku gradnje 110-kilovoltne severnoprimske zanke se je tudi ta gospodarska panoga soočila s praktično nepremostljivimi težavami, ki jih prinaša žled v svoji katastrofalni obliki. Rušenje na območju Brkinov v novembru 1980 je bilo vsekakor največja nesreča, ki ji doslej ni primere v slovenskem elektrogospodarstvu. Nastala gmotna škoda je bila zelo velika.



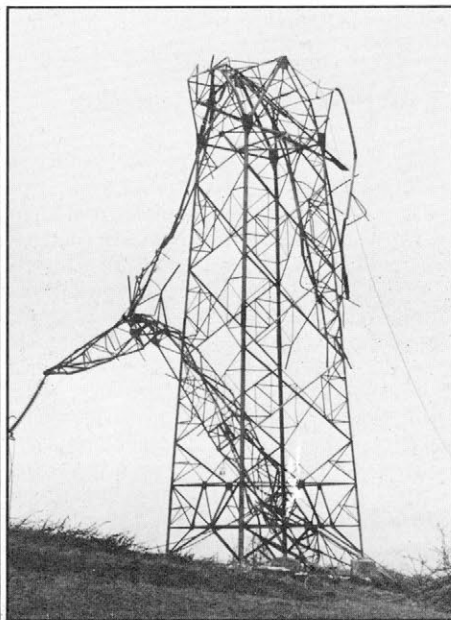
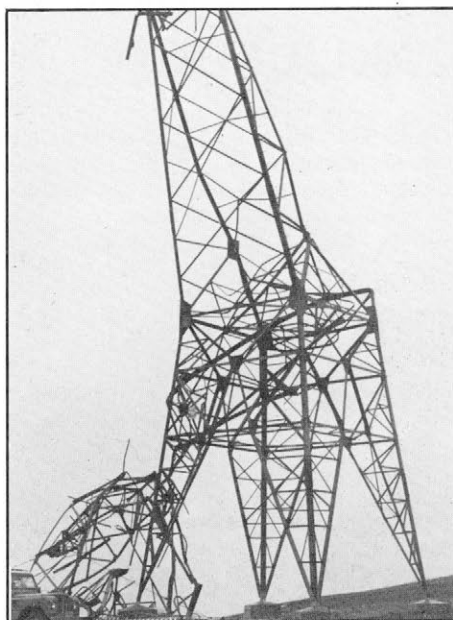
Slika 6. Porušen steber 400-kilovoltnega daljnovidov.

a) Brkini

V dneh od 4. do 6. novembra 1980 je uničujoči žled mendlal Brkine. Krajina, gozdne površine, sadovnjaki so bili popolnoma opustošeni, vsi nadzemni telekomunikacijski in energetski vodi uničeni. Porušen je bil tudi šele pred nekaj leti zgrajeni 400-kilovoltni daljnovid Divača—Melina. Rušilna moč žleda je v hipu zmečkala del »arterije« jugoslovanskega in slovenskega elektroenergetskega sistema, del osnovne 400-kilovoltne zanke »Nikola Tesla«. Številke o posledicah te naravne katastrofe so zastrašujoče. V gozdovih je pozročila pravo razdejanje, saj je bilo uničeno prek 500 000 m³ lesne mase ter prek 122 000 sadnih dreves. Telekomunikacijska mreža je bila porušena v dolžini 52 km, nizkonapetostna in sredjenapetostna mreža pa na dolžini prek 60 km. 400-kilovoltni daljnovid Di-

vača—Melina, zgrajen v letu 1978, je bil uničen v dolžini 7547 m, pri čemer je bilo porušenih 18 stebrov jeklene predalčne konstrukcije portalne oblike. 220-kilovoltni daljnovid Divača—Pehlin, zgrajen 1969. leta, je bil poškodovan v dolžini 9160 m, pri čemer je bilo porušenih 7 stebrov, poškodovanih pa 8. Uničena je bila tudi oprema daljnovidov (vodniki, zaščitna vrv, izolatorske verige, obešalni material).

Izmerjena ledena obloga debeline 100 mm je dosegla težo 58 do 114 N/m, kar pomeni, da je bila dejanska dodatna obtežba 3,7- do 7,3-krat večja od projektne; ob dodatnem vetru male jakosti (do 10 m/s), ki pa se v smislu veljavne tehnične regulative ne upošteva v kombinaciji z ledom. Prav ti podatki kažejo,



Slika 7. Porušena stebra.

da je mikroklima pri pojavu žledenja zelo važna. Na primer 220-kilovoltni daljnovod, ki poteka po južnem pobočju brkinskega slemena približno 300 metrov stran od 400-kilovoltnega daljnovoda in delno vzporedno z njim, je utrpel zaradi bistveno manjše obtežbe z ledom tudi precej manjše poškodbe.

Temelji in nožni deli jeklenih konstrukcij so ostali tudi pri sicer porušeni stebrih skoraj dosledno nepoškodovani. To je bil tudi eden od razlogov za sanacijo, pri kateri se je vzpostavilo prvotno stanje, na obstoječih stojnih mestih. Istočasno so bili izvedeni določeni ukrepi za povečanje varnosti daljnovoda, čeprav so se vsi sodelujoči zavedali, da tudi takšno novo sanirano stanje ni absolutno varno, saj bi nas približevanje absolutni varnosti pripeljalo v ekonomsko-tehnično nesmiselno rešitev. Seveda so pri sanaciji odlašali tudi čas in potrebe po energiji. Tudi zaradi tega se pri sanaciji ni upoštevalo eventualne spremembe trase, saj bi to zahtevalo vrsto upravnih dovoljenj, soglasij uporabnikov prostora ter uskladi-tev le-teh, kar pa je dolgotrajen in zamotan postopek.

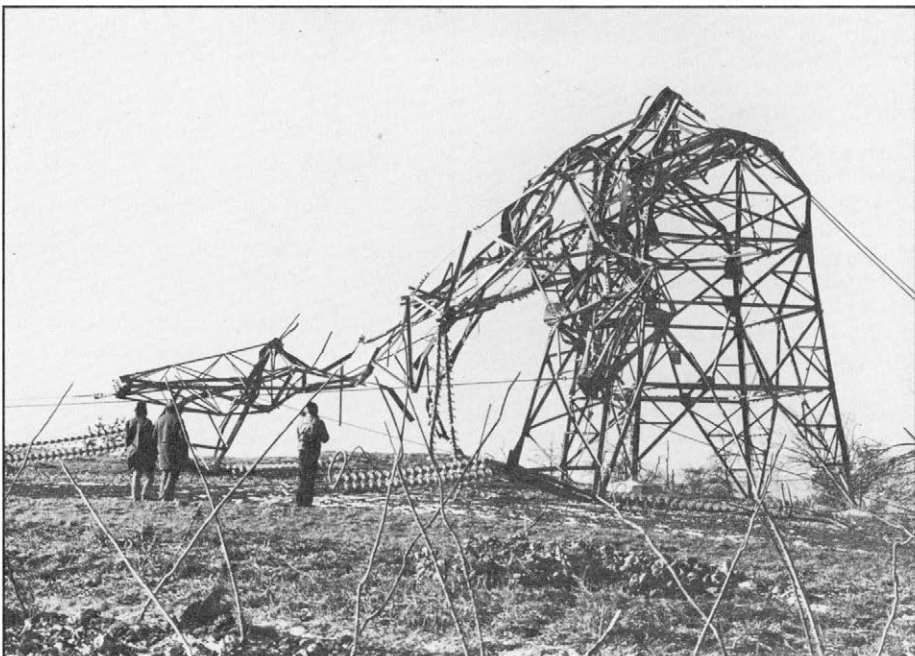
b) Hrvaška

V istih dneh novembra 1980 je katastrofalna žledna ujma zajela tudi Gorski Kotar in Liko ter porušila niz daljnovodov napetosti 110, 220 in 400 kV. Rušenje je bilo najhujše na 400-kilovoltnem daljnovodu Melina (Rijeka) — Konjsko (Split). Porušeni so bili 93 stebrov in uničena vsa daljnovodna oprema. To katastrofalno nesrečo imajo na tem območju in sploh na območju hrvaškega elektro-gospodarstva za enkratno v življenjski dobi daljnovoda.

Pri izmerjenih vrednostih na vzorcih je bila ugotovljena specifična masa kristalnega ledu $0,845 \text{ kg/dm}^3$, premer zaledenega vodnika pa prek 200 mm. Takšna obtežba predstavlja 26-kratno normalno obtežbo.

c) Idrijsko in Cerkljansko

Obilo nevšečnosti ter veliko škodo v gozdnem gospodarstvu in elektrogospodarstvu je povzročilo žledenje na Idrijskem in Cerkljanskem 15. in 16. novembra 1984, v še večjem obsegu in intenzivnosti pa 13. in 14. novembra 1985. Obakrat je bil posebej prizadet novozgrajeni 110-kilovoltni daljnovod Cerko—Idrija na mikrolokacijskem območju Bevkovega vrha in Cerkljanskega vrha. Leta 1984 je žledna ujma povzročila precejšnjo škodo v gozdovih Bevkovega vrha, Cerkljanskega vrha, Črnega vrha nad Idrijo in Vojskega. Uničeno je bilo okoli $100\,000 \text{ m}^3$ lesne mase. Na 110-kilovolt-nem daljnovodu so se na treh stebrih zlomile konzole, poškodovani so bili vodniki in zaščitna vrv. Takojšnja rekonstrukcija na isti trasi je v precejšnji meri povečala računsko varnost daljnovoda,



Slika 8. Tudi na Hrvaškem so se rušile konstrukcije istega tipa.

vendar se je že naslednje leto na Bevkovem in Cerkljanskem vrhu pojavil žled še večje intenzitete. Masa odvzetih vzorcev je dosegla 5 do $7,2 \text{ kg/m}$, debelina pa prek 150 mm. To pomeni, da je bila projektna obtežba presežena 2,85-krat in pred letom rekonstruirani daljnovod se je ponovno porušil. Sanacija še ni končana, saj zahteva mikroklima na Bevkovem in Cerkljanskem vrhu posebne sanacijske ukrepe, poleg tega pa nimamo primer-nih meteoroloških podatkov, kar bi pomagalo, da bi pravočasno preprečili take primere.

Pojav žledenja leta 1985 je zajel tudi širše območje Slovenije in prizadejal ogromno škodo predvsem v gozdovih, pa tudi na elektrodistribucijskem in telekomunikacijskem omrežju.

ZAKLJUČEK

Škoda, ki jo povzroči led na daljnovodih visoke napetosti, je manj pogosta in za gospodarstvo manj občutna kot škoda v gozdovih, saj človek izkušnje iz narave vedno bolj upošteva pri gradnji konstrukcij.

Res pa je tudi, da ne bomo nikoli mogli predvideti dejanskega obnašanja narave in nato graditi konstrukcije, ki bodo absolutno varne; ali pa se nam to enostavno ne bo izplačalo. Na vseh področjih namreč živimo z določenim tveganjem, žal pa pri žlednih ujmah teoretično še ne poznamo dovolj velikosti tega tveganja. Značilno žledno območje Primorske, posebno Idrijsko, Cerkljansko, okolica Črnega vrha, je po vseh registriranih podatkih zelo izpostavljeno. V dveh zaporednih letih se je na tem zelo ozkem, omenjenem odseku na nadmorski višini od 700 do

1000 metrov pojavil žled izjemne intenzitete. Zato se kaže pri gradnji daljnovodov izogibati teh območij. Čezmerno dimenzioniranje elementov daljnovoda na takih mestih ni opravičljivo niti učinkovito. Zelo priporočljivo bi bilo načrtno in metodološko raziskati problematiko žledenja ter izdelati žledno karto Slovenije in jo sproti dopolnjevati. Pritegniti bi kazalo vse zainteresirane gospodarske organizacije in zagotoviti boljšo medsebojno obveščenost.

1. Hočevar, A., 1976. Požled — za gozdarstvo in številne druge gospodarske panoge škodljiv meteorološki pojav. Gozdarski vestnik 3, str. 105—110. Ljubljana.
2. Jakše, J., J. Kern, F. Šliber, B. Zadnik, 1983. Havarija dalekovoda u jugozapadnom dijelu Slovenije u novembru 1980. Dalekovod — Informacije, XII.
3. Jakše, J., J. Kern, F. Šliber, B. Zadnik, 1983. Havarija dalekovoda u jugozapadnom dijelu Slovenije u novembru 1980. CIGRE, XVI. posvetovanje, Opatija.
4. Jakše, J., J. Kern, F. Šliber, B. Zadnik, 1986. Kriteriji za pripravo priporočil o izbiri dodatnih bremen na DV — študija. IB Elektroprojekt. Ljubljana, junij.
5. Pavlović, P., B. Šaina, L. Šepić, 1981. Havarije na dalekovodima 380 kV, 220 kV i 110 kV u Lici i Gorskom Kotaru u studenom 1980 godine. Dalekovod — Informacije, XI.
6. Radinja D., 1983. Žledne ujme v Sloveniji. Naravne nesreče v Sloveniji kot naša ogroženost. SAZU, Ljubljana.

Branko Zadnik
Janez Kern

Ice Storms and Power Transmission Lines

In the paper, a description is given of how and why, under specific weather and orographic conditions, ice is formed on the ground and other objects at freezing temperatures. This phenomenon occurs most frequently at the transition between areas having a Mediterranean and a continental climate. The geographical extent of this phenomenon is well-known, and it has been studied by forestry organizations for several decades. It is only over the last few years, however, that disastrous consequences due to ice storms have occurred to power transmission lines. The main reason for this is that, in the affected areas, until recently there was no network of such transmission lines, which are very sensitive to an increase of external loads above their design values. In other words, power transmission lines are designed very economically, without large factors of safety against mechanical loads.

Recently, in the technical societies in Yugoslavia concerned with this field, there has been considerable discussion about how loads on power transmission lines due to ice storms should be treated.



Poplava na Ljubljanskem barju (1982).

HUDOURNIŠKE VODE NA SLOVENSKEM

Aleš Horvat*

Hudourniške vode povzročajo v Sloveniji mnogo težav. Erozijska je prisotna na 9000 m² ozemlja. Organiziran boj proti eroziji se je začel 1875. leta. Uspešni so le celostni ukrepi. Vse rešitve je treba prilagajati ekološkim značilnostim prostora.

NA SPLOŠNO O EROZIJI

Površnemu opazovalcu se zdi zemeljska površina povsem umirjena, v resnici pa se pod vplivom endogenih in eksogenih sil stalno spreminja.

Nas zanimajo erozijski pojavi, ki se kažejo v delovanju različnih eksogenih sil, ki spreminjajo površino tal tako, da jo postopno izravnavajo. Glede na vzroke, ki sprožijo erozijo, poznamo naslednje vrste erozij:

- | | |
|-------------|---|
| vodno | — spiranje in odplavljanje zemljin |
| snežno | — posledica polzenja in plazenja snežne odeje |
| ledeniško | — posledica gibanja ledenikov |
| porušitve | — krušenje in rušenje kamenin zaradi mehankega in toplotnega preperevanja ter drsenje in plazenje zemljin, največkrat kot posledica prepojenosti zemljin z vodo |
| vetrno | — posledica gibanja zračnih gmot |
| biološko | — posledica delovanja rastlin in živali |
| kemično | — posledica kemičnega delovanja vode |
| antropogeno | — posledica delovanja človeka |

V naših razmerah se najpogosteje srečujemo z erozijo, katere vzrok je voda v svojih različnih pojavnih oblikah. Na žalost je voda, kri življenja, neenakomerno razporejena v času in prostoru ter nam zato povzroča mnoge težave. S hudourniških območij v povirju neke Save na primer odteče nad dve tretjini vode v obliki kratkotrajnih nalivev. Te vode so za gospodarstvo bolj ali manj izgubljene, hkrati povzročajo v dolinah prekomerno namakanje zemljišč in poplave, v zaledjih pa naglo izsuševanje in raznolike erozijske pojave.

V nedotaknjeni krajini je erozijska počasna in večinoma neškodljiva, saj se narava pred njo sama zavaruje, v glavnem z rastlinsko odejo. V kulturni krajini, kjer človek z neustreznim gospodarjenjem

pogosto naruši stabilnost ekosistemov, pa normalna erozijska lahko preide v napredujočo in začne ogrožati človekove dobrine. V takih primerih ni prizadeto neposredno erozijsko območje, temveč tudi sosedna in celo zelo oddaljena območja.

Naštejmo nekatere družbene in gospodarske vzroke, ki v današnjem času mnogokrat sprožijo močnejše erozijske pojave:

- razgaljanje zemeljskega površja s požari, neprimernim krčenjem gozdov in rabo zemljišč;
- spreminjanje vodnega režima, predvsem s prevelikim utesnjevanjem in neugodnim preusmerjanjem vodnih tokov;
- slabljenje rastlinske odeje s posrednimi vplivi, zlasti z onesnaževanjem zraka in vode;
- rahljanje zemljišč in premeščanje zemeljskih mas;
- zgoščevanje rabe in s tem povezana vse večja občutljivost prostora;
- naraščanje surovinske in prostorske potrebe;
- gradnja objektov na neprimernih mestih in na okolju neprimeren način;
- in ne nazadnje številni nedomišljeni drobni posegi, ki so v večini primerov posledica nepoznavanja razmer.

Značilnosti slovenskega prostora

Zaradi svojih značilnosti in neustreznega gospodarjenja je tudi slovensko ozemlje erozijsko precej ogroženo. Oglejmo si nekatere značilnosti, ki so neposredno povezane z nastajanjem erozijskih in hudourniških procesov, njihovim razvojem in omejevanjem. Republika Slovenija, ki meri 20 551 m², leži na prehodu med Beneško-Furlansko in Panonsko nižino, ob stiku Alp in Dinarskega gorstva. Gorati, hribovit in gričevnat svet se prepleta s kotlinami in rečnimi dolinami, le skrajni vzhodni del dežele že pripada Panonski nižini.

Gorati svet Slovenije sestavljajo Alpe, Predalpsko hribovje in Dinarsko gorstvo. Za vse je značilno, da jih tvorijo hribine, ki hitro preperevajo in so zelo neodporne pred erozijskimi procesi.

V pretežnem delu Slovenije je podnebje srednjeevropsko, prehod med zahodnoevropskim oceanskim in vzhodnoevropskim celinskim podnebjem, le v ozkem obalnem pasu je čutiti vpliv Sredozem-

* Podjetje za urejanje hudournikov, Hajdrihova 28, Ljubljana