



Model za kratkoročno napoved pojava žledoloma v Sloveniji

Nikica OGRIS^{1*}, Neva PRISTOV², Andrej KOBLER¹

¹Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana; ²Agencija Republike Slovenije za okolje, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana

*nikica.ogris@gozdis.si



Datum izdaje: 02.12.2016



Veljavnost: 30.01.2014-08.02.2014

Ključne besede: žled, led, model, napoved, prognoza, nevarnost, žledolom

Povzetek

Razvili smo model za napoved debeline žleda in nevarnosti žledoloma do 12 ur v naprej. Model ima prostorsko ločljivost 1 km × 1 km in časovno 1 h. Vir podatkov za oceno debeline žleda je sistem INCA (ARSO), iz katerega model črpa podatke o količini dežja, ki zmrzuje, hitrosti vetra in temperaturi zraka. Model za oceno debeline žleda simulira tudi taljenje žleda. Model za oceno nevarnosti žledoloma je empirični model na osnovi indeksa, v katerega smo vključili debelino žleda, indeks drevesne sestave, naklon terena in indeks matične podlage. Preverili smo veljavnost modela in izvedli smo kalibracijo glede na podatke popisa poškodovanosti gozdov zaradi žledoloma, ki se je zgodil v obdobju od 30. 1. do 8. 2. 2014. Veljavnost modela za oceno debeline žleda smo dodatno preverili s pomočjo dveh indeksov: Theilov koeficient nesorazmernosti = 0,55; indeks ujemanja = 0,31. Veljavnost modela za ocenjevanje nevarnosti žledoloma smo preverjali tudi prostorsko, za kar smo uporabili Sørensenov koeficient podobnosti, ki je pokazal, da model relativno točno oceni območja, kjer se žledolom verjetno ne bo pojavil ($Q_s = 0,43$). Na področjih z možnostjo pojava žledoloma, pa je prostorsko najtočnejše ocenjen razred z visoko nevarnostjo pojava žledoloma vendar z relativno nizko zanesljivostjo ($Q_s = 0,29$). Naredili smo tudi prostorsko primerjavo dolgoročne ogroženosti zaradi žleda 1961-2014. Rezultat tega preizkusa je pokazal na dobro ujemanje dolgoročne ogroženosti zaradi žleda 1961-2014 z modelno oceno debeline žledu in modelno oceno nevarnosti žledoloma 2014. V rezultatih modela prikazujemo potek kopičenja in taljenja žledu ter nevarnosti žledoloma 2014 po gozdnogospodarskih območjih (GGO). V vrhuncu je žled pokrival 66 % površine Slovenije glede na modelski izračun debeline žleda. Žled se je pričel taliti najprej na jugu države. Najdlje se je obdržal severnih in vzhodnih predelih Slovenije. Debelina žleda nad 26 mm se je pojavljala v skoraj vseh GGO, največji delež površine z debelino žleda nad 26 mm pa je bil zabeležen v GGO Kočevje (88 %) in Postojna (85 %). Nevarnost pojava žledoloma je bila ocenjena večinoma v razredu majhna nevarnost (37 %) in v razredu ni nevarnosti (32 % površine). Največja srednja povprečna simulirana debelina žleda za celo trajanje žledoloma v 2014 je merila 35,2 mm v GGO Postojna, druga pa v GGO Tolmin (14 mm). Srednja povprečna in največja povprečna nevarnost je bila ugotovljena prav tako v GGO Postojna. V bodoče bomo model nadgradili tako, da bo lahko napovedal debelino žleda in nevarnost žledoloma do 72 ur v naprej ter izboljšali tudi model za oceno pojava žledoloma.

Ključne besede: žled, led, model, napoved, prognoza, nevarnost, žledolom

Uvod

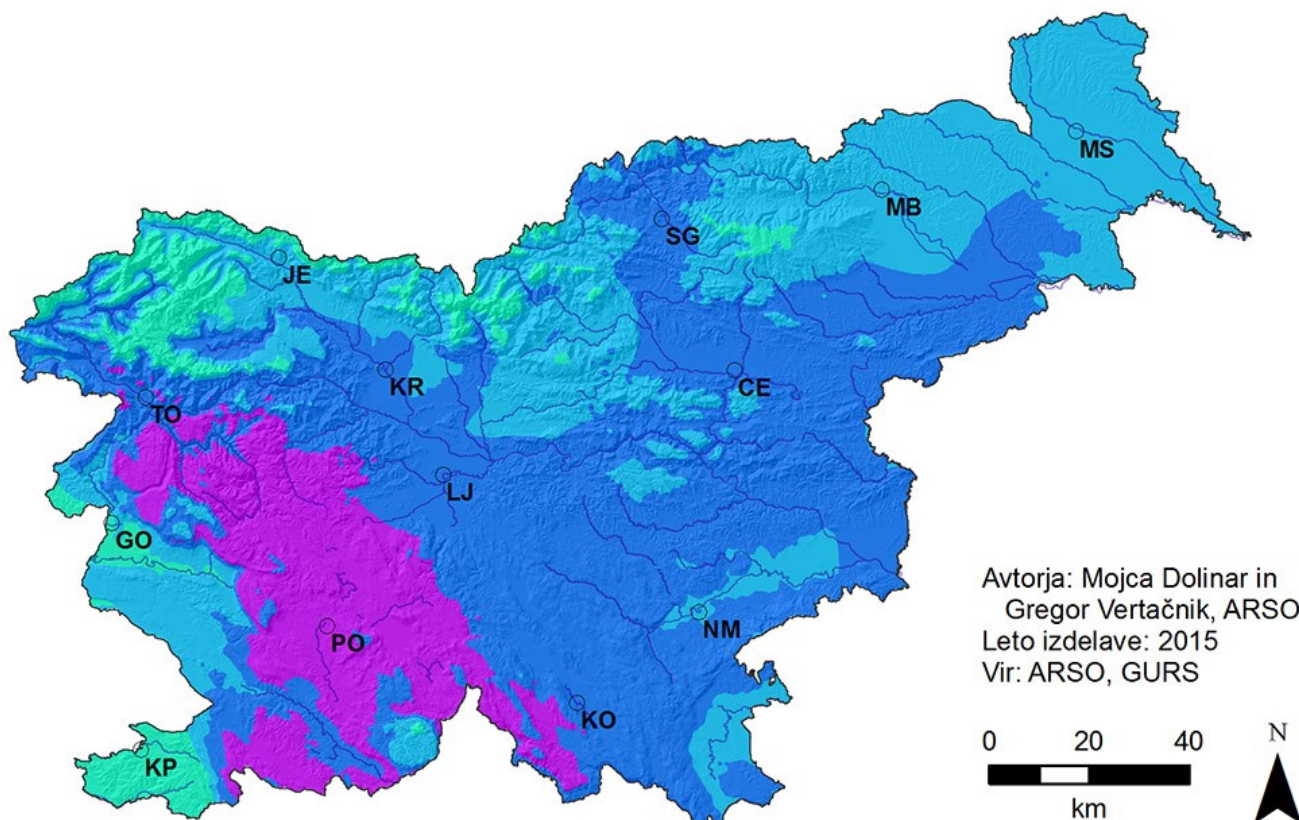
Žled je ledena obloga na drevesih in predmetih, ki nastane s primrzovanjem podhlajenih vodnih

kapelj. Pojavi se ob dežju ali pršenju, ko se pri tleh zadržuje zelo hladen zrak, nad njim pa je debelejša plast toplega zraka. V tej topli plasti se snežinke stalijo, v spodnji hladni plasti pa se kapljice podhladijo pod 0 °C. Ko padejo na zmrznjena tla ali na hladne predmete, tam hipoma zmrznejo. Teža ledu je lahko tolikšna, da se lomijo veje in debla, zvijajo se železni stebri, žice se trgajo. Žled je najpogostejši v hribih dinarskega gorstva in ne seže do vrhov gora: najbolj izrazit je v pasu višin od 400 do 1000 metrov (Kastelec, 1997). Žled v gozdovih in na negozdnih površinah povzroča gospodarsko škodo in ga uvrščamo med naravne, abiotske motnje gozdnega ekosistema, ki jih ni mogoče preprečiti (Marinšek in sod., 2015).

Ogris (2007) je razvil dolgoročni model potencialne sanitarne sečnje zaradi žleda. Projekcije potencialne sečnje zaradi žleda v Sloveniji pod vplivom podnebnih sprememb kažejo zmanjševanje poškodb gozdnega drevja zaradi žleda. Model napoveduje prostorsko prerazporeditev potencialnih poškodb zaradi žleda, da se bodo poškodbe pomaknile nekoliko proti severu. Podobno ugotavljajo tudi raziskovalci v Kanadi (Francis in Hengeveld, 1998; Dale in sod., 2001). V drugi raziskavi so s pomočjo metode statističnega zmanjševanja skale za štiri scenarije podnebnih sprememb in analize diskriminante ugotovili, da se bo pogostost žledenja povečala na severu v hladnejših mesecih (december-februar), v toplejših mesecih (november, marec, april) pa naj bi se pogostost žledenja zmanjšala oz. zelo malo spremenila (Cheng in sod., 2007).

Ogroženost zaradi žleda. Obdobje: 1961-2014

- Žled se ne pojavlja, ali se pojavlja zelo redko in v tanjših plasteh tako, da ne povzroča škode.
- Žled se pojavlja, vendar zelo redko (enkrat na 10 let) povzroči manjšo škodo.
- Žled se pojavlja pogosto in v povprečju na 3 leta povzroči škodo.
- Žled, ki povzroča škodo, se v povprečju pojavlja na 1-2 leti, razmeroma pogosto povzroči tudi večjo škodo.



Slika 1: Ogroženost zaradi žleda 1961-2014 (Dolinar in Vertačnik, 2015)

Dolinar in Vertačnik (2015) sta pripravila karto Slovenije, ki prikazuje ogroženost zaradi žleda za obdobje 1961-2014 v štirih razredih (slika 1). Karta prikazuje analizo pojavljanja žleda glede na pogostost in škodo, ki jo je povzročal žled v obravnavanem obdobju. Karto lahko v posplošenem smislu uporabljamo tudi za namen splošnega ocenjevanja nevarnosti pojava žledoloma v gozdovih. Ne moremo pa jo uporabiti za namen kratkoročnega (nekaj dni) in zelo kratkoročnega (nekaj ur v naprej) napovedovanja nevarnosti žledoloma.

V Sloveniji modela za kratkoročno napoved pojava žledoloma še nimamo. V tujini so raziskovalci

razvili že več modelov za kratkoročno napoved debeline žleda in nevarnosti žledoloma. Modeli se med seboj razlikujejo glede na nivo podrobnosti, ki jih vključijo v fizikalni proces prirastka ledene obloge, empirične podatke, ki jih uporabljajo, in parametre vremena, ki jih potrebujejo kot vhodne podatke v model. Vsi modeli za napoved debeline žleda potrebujejo vsaj tri parametre vremena, tj. količina padavin, tip padavin in hitrost vetra (Jones, 1998). Nekateri modeli potrebujejo tudi podatke o temperaturi zraka in premer objekta (npr. veja, žica), na katerega se led nalaga. Model CRREL (Jones, 1996) uporablja tudi urne podatke o temperaturi rosišča, zračnega tlaka in sončnega obsevanja. Modeli za napovedovanje debeline žleda dajejo med seboj različne rezultate, katerih točnost in natančnost je odvisna od obravnavanega primera pojava žleda (McComber in sod., 1995; Makkonen, 1998).

Cilj raziskave je bil razviti model za kratkoročno napoved pojava žledoloma v Sloveniji.

Raziskava je nastala v okviru projekta Učinki žleda na gozdove glede na sestojne in talne značilnosti (projekt V4-1422), ki je skušal med drugim odgovoriti na vprašanje, kako ob pojavu žledoloma različni dejavniki vplivajo na vrsto in obseg poškodovanosti gozdnega drevja, opisati glavne povezave med različnimi rastiščnimi dejavniki in lastnostmi gozdnih sestojev ter stopnjo oziroma vrsto poškodb na gozdnem drevju, ki nastane zaradi žledenja, določiti smernice za izboljšanje stabilnosti in odpornosti gozdov proti žledu ter kako s pomočjo najnovejših tehnologij in metod nastalo škodo čim ustrežneje ocenimo (Marinšek in sod., 2015).

Metode dela

Model za kratkoročno napoved pojava žledoloma v Sloveniji je dinamičen model, v katerem je sistem opisan s spremenljivkami, ki prikazujejo spremembe stanja v času in prostoru. Za vrsto modela smo izbrali model na podlagi indeksov, ki ga uvrščamo v skupino empiričnih modelov in imajo sposobnost napovedovanja odvisne spremenljivke v prostoru (Ogris, 2012). Modeli te vrste uporabljajo podatke iz raziskav in izvedenska mnenja, s pomočjo katerih določimo pomembnost neodvisnih spremenljivk. Pred uporabo modela na podlagi indeksa moramo vsaki neodvisni spremenljivki: prirediti utež, ki določa vpliv na odvisno spremenljivko; razdeliti vrednosti neodvisnih spremenljivk na intervale; določiti range intervalov glede na njihov vpliv na odvisno spremenljivko. Enačba modela je preprosta vsota produktov vseh rangov spremenljivk z njihovimi utežmi, ki jih delimo z vsoto uteži:

$$S = \frac{\sum_i^n W_i R_{ij}}{\sum_i^n W_i} \quad \dots(1)$$

kjer je S odvisna spremenljivka v modelu in se nanaša na modelsko celico, W_i je utež neodvisne spremenljivke i , R_{ij} je rang za vrednost intervala j pri neodvisni spremenljivki i v določeni prostorski enoti modela. Uteži in rangi spremenljivk temeljijo na terenskih ali izvedenskih mnenjih. V našem primeru S pomeni napoved nevarnosti pojava žledoloma v modelski celici v določeni uri in nima merske enote. Nevarnost žledoloma smo izrazili v petih razredih verjetnosti nastanka: 0 - ni nevarnosti, 1 - zelo majhna, 2 - majhna, 3 - srednja, 4 - visoka.

Prostorska ločljivost modela za kratkoročno napoved nevarnosti žledoloma je 1 km × 1 km. Časovna ločljivost je 1 h. Model se samodejno izračuna vsako uro. Neodvisne spremenljivke modela so debelina ledu, indeks drevesne sestave, naklon terena in indeks matične podlage. Neodvisne spremenljivke smo izbrali na podlagi podatkov iz literature, med katerimi smo po empirični presoji izbrali najpomembnejše spremenljivke, ki vplivajo na nevarnost pojava žledoloma (Bleiweis, 1983; Jakša, 1997; Marinšek in sod., 2015). Pri debelini ledu model upošteva tudi proces taljenja s pomočjo temperature zraka.

Uteži neodvisnih spremenljivk smo določili iz podatkov popisa poškodovanosti dreves zaradi žledoloma iz leta 2014 (Kobler in sod., 2016), ki so bili zbrani v okviru projekta Učinki žleda na gozdove glede na sestojne in talne značilnosti (V4-1422). Za vsako od omenjenih neodvisnih spremenljivk smo izvedli logistično regresijo, kjer je bila odvisna spremenljivka ocena poškodovanosti drevesa zaradi žleda. Uteži spremenljivk modela za kratkoročno napoved nevarnosti žledoloma smo dobili z normalizacijo deleža variabilnosti, ki jo je logističen model za posamezno

spremenljivko pojasnjeval. Normalizacijo smo izvedli glede na najmanjši delež, tako da je najmanj pomembna neodvisna spremenljivka dobila utež 1, bolj pomembne spremenljivke pa so dobile relativno večjo utež (preglednica 1). Najpomembnejša neodvisna spremenljivka (spremenljivka z največjo utežjo) v modelu za oceno nevarnosti žledoloma je debelina ledu, sledi indeks drevesne sestave, naklon terena in indeks matične podlage, ki ima utež 1.

V nadaljevanju razlagamo, kako smo določili range štirih neodvisnih spremenljivk (preglednica 2).

Preglednica 1: Uteži (W) neodvisnih spremenljivk modela za kratkoročno napoved pojava žledoloma v Sloveniji

Spremenljivka	Kratika	Utež
debelina žleda	R _{eq}	6,8
indeks drevesne sestave	DV	4,2
naklon terena	Naklon	1,7
indeks matične podlage	Kamnina	1

Preglednica 2: Rangi vrednosti neodvisnih spremenljivk (R) modela za kratkoročno napoved pojava žledoloma v Sloveniji (S)

Rang	Debelina ledu	Indeks drevesne sestave*	Naklon terena (°)*	Indeks matične podlage*
0	ni ledu	do 4,8	do 1,5	do 3,0
1	do 6 mm	4,8–5,3	1,5–4,6	3,0–4,4
2	6–13 mm	5,3–5,7	4,6–7,9	4,4–4,9
3	13–26 mm	5,7–6,0	7,9–12,4	4,9–5,5
4	nad 26 mm	6,0–10,0	12,4–38,2	5,5–10,0

*Spremenljivka je upoštevana v formuli (1) samo, če je debelina ledu > 0 mm. Rangi neodvisnih spremenljivk so pojasnjeni v naslednjih poglavjih.

Debelina žleda

Za izračun debeline žleda smo uporabili preprosti model, ki upošteva količino dežja, ki zmrzuje (žleda) in hitrost vetra (Jones, 1998; Jones in sod., 2002):

$$R_{eq} = R_{j-1} + k \sum_{j=1}^N \frac{1}{\rho_i \pi} \left[(P_j \rho_0)^2 + (3,6 V_j W_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}},$$

ko $T_0 < 24$, *tip padavin* = žled

... (2)

kjer je P_j = količina padavin - dežja, ki zmrzuje (v mm v j -ti uri), ρ_0 = gostota vode (1 g/cm³), ρ_i = gostota ledu (0,9 g/cm³), V_j = hitrost vetra (m/s) v j -ti uri, W_j = vsebnost tekoče vode (g/m³) v deževnem ozračju v j -ti uri = 0,067 P_j 0,846 (Best, 1950), T_0 = število ur, ko je temperatura zraka večja kot 0 °C (model predpostavlja, da se v modelski celici led stali v 24 urah, ko je temperatura zraka večja kot 0 °C), k = kalibracijski faktor (3,604), R_{j-1} = debelina žleda v prejšnji uri (mm). Enačba R_{eq} (2) v osnovi ni odvisna od temperature zraka, ker domneva, da zamrzne vsa količina padavin (v obliki žledu). Model domneva tudi, da je debelina ledu okoli veje razporejena enakomerno, zato model ni odvisen od premera veje. Kalibracijski faktor k smo dodali v osnovno enačbo Jones (1998), ker model glede na našo kalibracijo močno podcenjuje debelino žleda. Kako smo določili kalibracijski faktor k , opisujemo v poglavju Preverjanje veljavnosti in kalibracija modela.

Vir podatkov za količino padavin, vrsta padavin in hitrost vetra je sistem INCA (angl. Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis). Sistem INCA je eden izmed sistemov za izračun zelo kratkoročnih ali zdajšnjih (angl. nowcasting) meteoroloških napovedi v visoki prostorski in časovni ločljivosti (Haiden in sod., 2011; Šajn Slak in sod., 2012). Kot prvi približek stanja ozračja uporabi prostorska polja meteoroloških spremenljivk numeričnega meteorološkega modela ALADIN-SI (Pristov in sod., 2012), nato pa s pomočjo interpolacijskih metod ob upoštevanju določenih fizikalnih zakonitosti izračunava 3-dimenzionalno fizikalno konsistentno analizo v visoki krajevni ločljivosti (1

km), v katero vključuje širok spekter različnih meritev (podatke klasičnih in avtomatskih meteoroloških postaj, radarske in satelitske podatke in še druge razpoložljive podatke izven državne meteorološke mreže). Ta analiza je nato osnova za izračun nekaterih diagnostičnih polj kot tudi za kratkoročno napoved meteoroloških spremenljivk za 12 ur naprej. Ključno pri tem je, da so izračuni dovolj hitri, da so lahko analize in napovedi dostopne praktično v realnem času ali zelo blizu realnega časa, kar omogoča tudi pogosto obnavljanje napovedi ob dostopnosti novih podatkov. Količina in vrsta padavin (dež, sneg, dež s snegom, dež, ki zmrzuje) se izračuna vsake pol ure, ostale spremenljivke (temperatura zraka, hitrost in smer vetra) pa vsako uro.

Za rangiranje pomembnosti debeline žleda smo uporabili podatek iz literature, ki navaja, da so kritične vrednosti 6 mm, 13 mm in 26 mm (Jones in sod., 2002). Odločili smo se za pet rangov, kjer rang 0 pomeni, da žleda ni. Rang 1-4 debeline žleda smo razvrstili linearno glede na kritične vrednosti 6, 13 in 26 mm (preglednica 2).

Model upošteva taljenje žleda samo posredno. Model domneva, da se ves žled stali, ko je temperatura zraka na 2 m 24 ur večja kot 0 °C. Ko temperatura zraka pade pod 0 °C, se števec za temperaturo na nivoju celice modela ponastavi na 0.

Podatek o hitrosti vetra iz sistema INCA se nanaša na višino 10 m nad travnato oziroma neporaslo površino na prostorski ločljivosti 1 km. Dejansko pa se hitrost vetra zelo spreminja, odvisna je od mikrolokacije, poraščenosti tal, navadno se povečuje z višino. Upoštevati bi morali še oslabitev vetra v samih krošnjah oziroma znotraj gozda. Vendar je to zelo težko, saj se v modelski celici velikosti 1 km navadno pojavljajo drevesa različnih višin in razvojnih faz, tj. od mladja do debeljaka. Poleg tega se višina dreves do debeljaka relativno hitro spreminja skozi čas, kar bi zahtevalo, da bi za korekcijo modela potrebovali vsakoletno meritev višine dreves npr. z LIDAR-jem. Ker takšnih meritev ni na voljo, hitrosti vetra nismo prilagajali glede na višino od tal.

Indeks drevesne sestave

Dovzetnost drevesne vrste na žledolom smo določili glede na podatke popisa poškodovanosti dreves, ki je bil izveden v projektu Učinki žleda na gozdove glede na sestojne in talne značilnosti (V4-1422). Izračunali smo povprečno poškodovanost krošnje drevesne vrste zaradi žledoloma v letu 2014 in to vrednost normalizirali glede na največjo povprečno poškodovanost (preglednica 3). Točke (pomembnost) posamezne drevesne vrste smo izračunali tako, da smo povprečno poškodovanost drevesne vrste zaradi žleda v 2014 delili z največjo povprečno poškodovanostjo in vrednost pomnožili z 10. Tako smo dobili točke na intervalu 1-10, kjer 10 pomeni najbolj in 1 najmanj občutljiva drevesna vrsta za žledolom.

V modelski celici se navadno pojavlja več drevesnih vrst. Drevesno sestavo v modelski celici smo izračunali s pomočjo podatkovne zbirke Gozdni fondi, ki jo ureja Zavod za gozdove Slovenije (ZGS, 2015). V popisu poškodovanosti niso bile zajete vse drevesne vrste iz podatkovne zbirke Gozdni fondi, zato smo za povprečno poškodovanost manjkajoče drevesne vrste privzeli povprečno poškodovanost najbolj podobne drevesne vrste (npr. za ostrolistni jesen smo vzeli veliki jesen), ali povprečje poškodovanosti podobnih drevesnih vrst (npr. za rdeči hrast, povprečje gradna, doba, cera in puhastega hrasta). Indeks drevesne sestave v modelski celici smo izračunali kot ponderirano srednjo vrednost izračunanih točk, kjer je bil ponder lesna zaloga drevesne vrste v modelski celici. Meje rangov indeksa drevesne sestave smo določili glede na 20., 40., 60., 80. in 100. centil (preglednica 2).

Preglednica 3: Točke drevesnih vrst glede na povprečno poškodovanost zaradi žleda v Sloveniji v 2014

Drevesna vrsta	Povp. poškod. krošnje (%)	Št. dreves	Točke
navadna smreka	33,0	1410	3,78
sitka	33,0	0	3,78
bela jelka	38,4	635	4,39
tisa	42,4	2	4,85
grška jelka	38,4	0	4,39
rušje	12,5	0	1,43
bori	49,1	0	5,61
rdeči bor	48,2	308	5,51
črni bor	50,0	388	5,71
zeleni bor	12,5	34	1,43
macesen	72,5	58	8,29
japonski macesen	72,5	0	8,29
duglazija	42,4	0	4,85
pacipresa	42,4	0	4,85
ostali bori	49,1	0	5,61
ostali iglavci	42,4	0	4,85
bukev	52,5	4812	6,00
pajesen	56,8	0	6,49
koprivovec	56,8	0	6,49
črnika	50,1	0	5,73
jablana	56,8	0	6,49
lesnika	56,8	0	6,49
hruška	56,8	0	6,49
sliva	56,8	0	6,49
hrasti	50,1	0	5,73
graden	51,2	497	5,85
dob	50,0	106	5,71
rdeči hrast	50,1	0	5,73
močvirski hrast	50,1	0	5,73
pravi kostanj	55,4	95	6,33
robinija	12,5	16	1,43
oreh	50,0	13	5,71
črni oreh	50,0	0	5,71
divji kostanj	56,8	0	6,49
plemeniti listavci	56,2	0	6,42
gorski javor	51,1	387	5,84
ostrolistni javor	31,3	8	3,57
topokrpi javor	68,8	3	7,86
veliki jesen	59,3	231	6,77
ostrolistni jesen	59,3	0	6,78
gorski brest	57,5	33	6,57
poljski brest	68,8	2	7,86
lipa	51,5	65	5,89
lipovec	61,1	79	6,98
trokrpi javor	47,2	2	5,39
beli gaber	58,8	435	6,72
češnja	69,9	47	7,98
maklen	37,5	25	4,29
brek	67,3	4	7,69
mokovec	67,3	139	7,69
črni gaber	65,9	899	7,53
mali jesen	64,3	293	7,35
puhasti hrast	50,1	10	5,73
cer	49,2	267	5,62

mehki listavci	66,8	0	7,63
trepetlika	87,5	25	10,00
topol	87,5	1	10,00
črna jelša	72,9	32	8,33
siva jelša	61,5	55	7,03
navadna breza	40,6	27	4,64
vrba	87,5	11	10,00
jerebika	67,3	4	7,69
nagnoj	50,0	5	5,71
grmišča	60,8	0	6,95
skorš	67,3	0	7,69

Naklon terena

Vir za naklon terena je bil digitalni model višin v ločljivosti 12,5 m (GURS, 2006). Na njegovi podlagi smo v računalniškem programu ESRI ArcGIS 10.4.1 for Desktop s pomočjo orodja Slope izračunali naklon v izvorni ločljivosti grafične podlage. Naklon smo nato priredili še v ločljivost modela, ki je pogojena z mrežo sistema INCA 1 km × 1 km v Lambertovi stožčasti projekciji. Meje rangov naklona terena smo določili glede na 20., 40., 60., 80. in 100. centil (preglednica 2), tako da smo najvišji rang priredili najstrmejšim predelom, kjer hitreje pride do izvalitve drevesa, najnižji rang pa so dobili najpoložnejši predeli.

Indeks matične podlage

Vir podatkov za matično podlago (kamnino) je bila podatkovna zbirka Gozdni fondi (ZGS, 2015). Izračunali smo povprečno poškodovanost dreves zaradi žledoloma v letu 2014 (delež poškodovane lesne zaloge) glede na vrsto matične podlage (preglednica 4). Vir podatkov o poškodovanosti dreves zaradi žledoloma v 2014 je bila podatkovna zbirka o poseku dreves zaradi žleda, katere lastnik je Zavod za gozdove Slovenije (ZGS, 2016). Vsaki vrsti kamnine smo priredili točke glede na občutljivost poškodb dreves zaradi žleda. To smo storili, tako da smo povprečno poškodovanost dreves na določeni vrsti kamnine delili z največjo povprečno poškodovanostjo in pomnožili z 10. S tem smo dobili točke občutljivosti vrste kamnine glede na žledolom na intervalu 1-10, kjer je 1 označuje najmanj, 10 pa najbolj občutljiva kamnina na žledolom.

Sledil je izračun rangov indeksa matične podlage (preglednica 2). Izračunali smo kamninsko sestavo (delež vrst kamnin po površini) v modelski celici. Indeks matične podlage v modelski celici smo dobili s ponderirano srednjo vrednostjo točk kamnin, kjer je bil ponder površina vrste kamnine v modelski celici. Meje rangov indeksa matične podlage smo določili glede na 20., 40., 60., 80. in 100. centil (preglednica 2).

Preglednica 4: Točke vrst kamnin glede na poškodovanost gozdov zaradi žleda v Sloveniji v 2014

Kamnina	Povp. poškod. dreves (%)*	Točke
amfiboliti	1,92	3,16
glinasti skrilavci, revnejši	3,24	5,32
grušč nekarbonaten	1,59	2,61
morena nekarbonatna	0,47	0,78
prod, pesek nekarbonaten	0,77	1,26
tonalitski porfiriti	5,69	9,35
apnenčevi peščenjaki	2,48	4,08
daciti	1,33	2,19
dolomitizirani apnenec	2,87	4,72
kremenasti peščenjaki	2,71	4,45
kremenčevi skrilavci	1,37	2,25
kremenov konglomerat	2,38	3,91
aluvialna ilovica	2,57	4,22
apnenčev konglomerat	2,15	3,54
dolomit	3,01	4,94
filiti	2,60	4,28
glina	1,06	1,74
graniti	1,09	1,80
karb. krem. peščenjaki	2,41	3,96
kremenovi keratofirji	2,15	3,53
lapor	1,40	2,30
morena karbonatna	4,05	6,66
prod, pesek mešan	1,87	3,07
serpentin	0,38	0,63
andeziti	1,30	2,13
apnenec	3,33	5,47
apnenec z roženci	1,42	2,33
blestniki	1,26	2,07
diluvialna ilovica	2,51	4,13
fliš	6,09	10,00
glinasti skrilavci, bogatejši	2,84	4,67
gnajsi	1,87	3,07
grušč karbonaten	1,60	2,63
grušč mešan	2,79	4,58
morena mešana	1,11	1,82
prod, pesek karbonaten	1,69	2,78
tonaliti	1,48	2,43
tufi	1,94	3,19

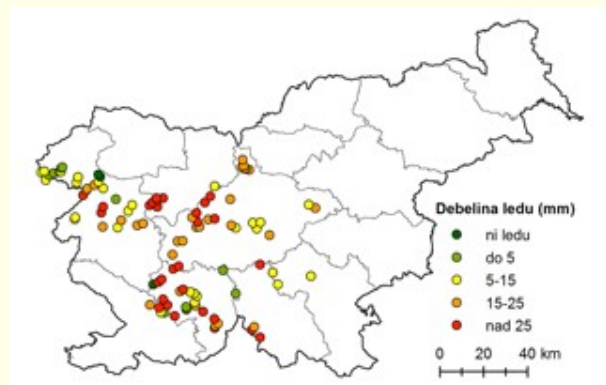
*Povprečen delež lesne zaloge drevesne vrste za posek zaradi žledoloma v 2014

Preverjanje veljavnosti in kalibracija modela

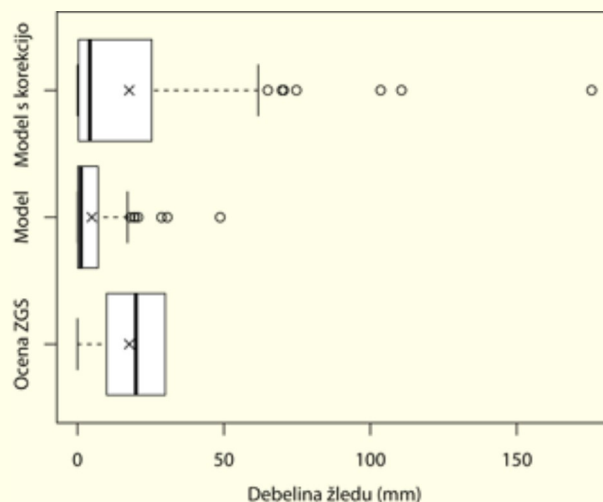
Vse spremenljivke modela so bile kalibrirane. Debelino žleda smo kalibrirali glede na kritične vrednosti omenjene v literaturi (Jones in sod., 2002). Indeks drevesne sestave smo kalibrirali glede na podatke popisa poškodovanosti gozdov zaradi žledoloma v 2014, ki so se zbrali v projektu Učinki žleda na gozdove glede na sestojne in talne značilnosti (V4-1422). Indeks matične podlage je bil kalibriran glede na podatke o poseku zaradi žledoloma v letu 2014 (ZGS, 2016). Pri naklonu pa smo predpostavljali, da na strmejših predelih hitreje pride do izvalitve dreves zaradi obtežitve od žleda. Metoda kalibracije posameznih neodvisnih spremenljivk je opisana v prejšnjih poglavjih.

Veljavnost modela smo preverjali na primeru žledoloma v letu 2014. Modelno debelino žleda smo primerjali z okularno oceno debeline žleda, ki jo je opravil ZGS na 101 ploskvi 10 mesecev po žledolomu v letu 2014 (Kobler in sod., 2016). Ocena debeline žleda je bila opravljena po spominu revirnih gozdarjev v 5 razredih (slika 2). Za namen primerjave smo posameznim vrednostim v razredu

priređili srednjo vrednost, npr. razredu do 5 mm smo priredili srednjo vrednost 2,5 mm, razredu 5-15 mm smo priredili vrednost 10 mm itd. Naredili smo t-test, s katerim smo preverili domnevo o enakosti povprečne modelne debeline žleda in povprečne ocenjene debeline žleda, ki jo je izvedel ZGS. Model smo izračunali na obdobju 30. 1. do 8. 2. 2014, za primerjavo smo uporabili izračune za 2. 2. 2014 ob 21 uri, ker je bila takrat dosežena največja povprečna debelina žleda na ravni celotne države.



Slika 2: Lokacije vzorčnih ploskev (n = 101), kjer je ZGS ocenil debelino žleda v petih razredih



Slika 3: Primerjava debeline žleda med oceno ZGS na 101 ploskvah in modelnim izračunom pred in po kalibraciji na datum 2. 2. 2014 21:00 (okvir z ročaji prikazuje mediano, kvartila, minimum, maksimum in osamelce; X označuje aritmetično sredino)

Povprečna debelina žleda na 101 vzorčnih ploskvah je bila po oceni ZGS 17,7 mm, po modelu pa 4,9 mm (slika 3). F-test je pokazal, da sta standardna odklona med podatki ocene ZGS in modelnega izračuna debeline žleda različni ($Df = 100$, $F = 1,57$, $p = 0,02$). Zato smo za primerjavo povprečij uporabili t-test, ki domneva, da sta varianci vzorcev različni. Rezultat t-test je pokazal, da sta povprečni oceni debeline žleda statistično različni ($t = 10,2$, $p < 0,00$). Ker je model podcenjeval debelino žledu za 3,6 krat za primer žledoloma iz leta 2014, smo model za oceno debeline žledu kalibrirali tako, da smo enačbi za izračun debeline žledu dodali kalibracijski koeficient k z vrednostjo 3,604 (enačba 2).

Veljavnost modelske ocene nevarnosti žledoloma smo preverjali s pomočjo podatkov ZGS o oceni poškodovanosti gozdov zaradi žledoloma v 2014, ki jo je ZGS naredil za potrebe načrta sanacije (ZGS, 2014). Ocena poškodovanosti je bila narejena okularno po gozdnih odsekih v deležu lesne zaloge, ki jo je potrebno posekati zaradi poškodb po žledu v 2014. Kakovost modelne ocene nevarnosti žledoloma smo preverjali s pomočjo enostavne linearne regresije, kjer je bila odvisna spremenljivka ocena poškodovanosti gozdov zaradi žledoloma, ki jo je naredil ZGS (ZGS, 2014), neodvisna spremenljivka pa modelna ocena nevarnosti žledoloma. Kakovost modela smo izrazili s koeficientom determinacije (r^2 %), ki izraža odstotek variabilnosti odvisne spremenljivke, ki je pojasnjen z regresijskim modelom, in Spearmanovim koeficientom korelacije (r). Validacijo smo izvedli za vseh 14 GGO in za celo območje Slovenije.

Koeficient determinacije linearne regresije za oceno poškodovanosti gozdov ZGS (odvisna spremenljivka) glede na modelni izračun nevarnosti žledoloma (neodvisna spremenljivka) je bil najvišji za GGO Postojna in dokaj visok tudi za GGO Kranj, Tolmin, Nazarje in Sežana (preglednica 5). Spearmanov koeficient korelacije je dosegal srednje vrednosti v GGO Postojna, Tolmin, Kranj in Nazarje (0,40-0,44). V več GGO korelacija ni bila statistično značilna, tj. v GGO Murska Sobota, Brežice, Bled in Slovenj Gradec. Na nivoju cele Slovenije je linearen regresijski model pojasnil samo 9,8 % variabilnosti odvisne spremenljivke.

Preglednica 5: Linearna regresija med oceno poškodovanosti gozdov ZGS (odvisna spremenljivka) in modelnim izračunom nevarnosti žledoloma (neodvisna spremenljivka) na datum 2. 2. 2014 21:00 po GGO

GGO	r ² (%)	r	p	Ocena poškodovanosti ZGS*
TOLMIN	18,8	0,43	0,00*	6,3
BLED	0,2	-0,04	0,16	1,2
KRANJ	18,1	0,43	0,00*	4,7
LJUBLJANA	4,0	0,20	0,00*	6,2
POSTOJNA	19,7	0,44	0,00*	11,4
KOČEVJE	1,3	0,12	0,00*	2,0
NOVO MESTO	3,0	0,17	0,00*	1,0
BREŽICE	0,0	-0,02	0,48	0,6
CELJE	0,5	-0,07	0,01*	1,7
NAZARJE	16,1	0,40	0,00*	1,7
SLOVENJ GRADEC	0,4	0,06	0,07	1,5
MARIBOR	0,4	-0,06	0,00*	1,1
MURSKA SOBOTA	0,0	0,02	0,49	0,1
SEŽANA	14,1	0,38	0,00*	2,0
SLOVENIJA	9,8	0,31	0,00*	3,1

*Povprečni delež poseka lesne zaloge zaradi poškodb po žledu v letu 2014. r² - koeficient determinacije, r - Spearmanov koeficient korelacije, p - verjetnost analize variance, z zvezdico so označeni primeri, ko je bila povezava med obravnavanima spremenljivkama statistično značilna pri 95 % stopnji zaupanja.

Preglednica 6: Linearna regresija med oceno poškodovanosti gozdov ZGS (odvisna spremenljivka) in modelnim izračunom debeline žleda (neodvisna spremenljivka) na datum 2. 2. 2014 21:00 po GGO

GGO	r ² (%)	r	p	Ocena poškodovanosti ZGS*
TOLMIN	2,1	0,15	0,00*	6,3
BLED	0,1	-0,03	0,32	1,2
KRANJ	11,3	0,34	0,00*	4,7
LJUBLJANA	0,1	-0,03	0,19	6,2
POSTOJNA	23,5	0,48	0,00*	11,4
KOČEVJE	7,2	0,27	0,00*	2,0
NOVO MESTO	4,0	-0,20	0,00*	1,0
BREŽICE	12,0	-0,35	0,00*	0,6
CELJE	6,8	-0,26	0,00*	1,7
NAZARJE	14,4	0,38	0,00*	1,7
SLOVENJ GRADEC	0,8	0,09	0,01*	1,5
MARIBOR	4,2	-0,21	0,00*	1,1
MURSKA SOBOTA	6,4	-0,25	0,00*	0,1
SEŽANA	22,4	0,47	0,00*	2,0
SLOVENIJA	13,7	0,37	0,00*	3,1

*Povprečni delež poseka lesne zaloge zaradi poškodb po žledu v letu 2014. r² - koeficient determinacije, r - Spearmanov koeficient korelacije, p - verjetnost analize variance, z zvezdico so označeni primeri, ko je bila povezava med obravnavanima spremenljivkama statistično značilna pri 5 % stopnji zaupanja.

Modelno debelino žleda smo prostorsko natančneje preverili na podoben način kot oceno nevarnosti žledoloma, tj. s koeficientom determinacije linearnega regresijskega modela, kjer je bila odvisna spremenljivka ocena poškodovanosti gozdov zaradi žledoloma ZGS in neodvisna spremenljivka modelna ocena debeline žleda. Modelno debelino žleda smo preverili za 14 GGO in celotno Slovenijo.

Koeficient determinacije linearne regresije med oceno poškodovanosti gozdov zaradi žleda v 2014 (ZGS, 2014) in modelnim izračunom debeline žleda na datum 2. 2. 2014 21:00 je bil najvišji za GGO Postojna in Nazarje (preglednica 6). Na ravni cele države je r² znašal 13,7 %, kar kaže na relativno nizko stopnjo pojasnjene variance odvisne spremenljivke. Sicer pa je bila povezava med obravnavanima spremenljivkama statistično značilna za večino GGO, razen za GGO Bled in Ljubljana. Korelacija je bila najvišja v GGO Postojna in Sežana, kjer je r znašal 0,47-0,48.

Model za oceno debeline žleda smo dodatno preverili s pomočjo dveh indeksov. Prvi je bil Theilov koeficient nesorazmernosti (Theil, 1961):

$$U = \frac{\sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n (Opazovano_i - Napovedano_i)^2}}{\sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n Opazovano_i^2} + \sqrt{(1/n) \sum_{i=1}^n Napovedano_i^2}} \quad \dots(3)$$

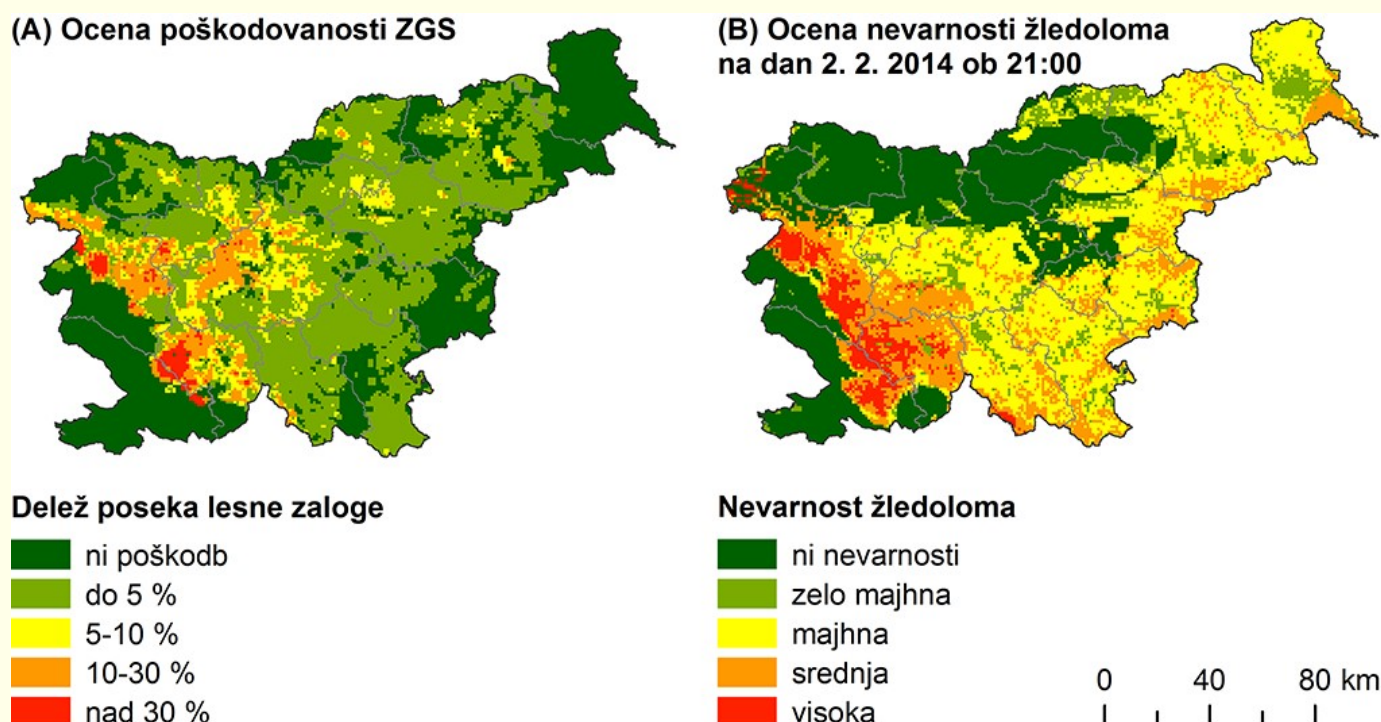
kjer $Opazovano_i$ = okularna ocena debeline žleda ZGS 2014 na vzorčni ploskvi i ($n = 101$), $Napovedano_i$ = modelna ocena debeline žledu 2. 2. 2014 ob 21:00 na vzorčni ploskvi i . Koeficient U lahko zavzame vrednost 0 in več. Če $U = 0$, potem so modelne napovedi popolne. Če je $U = 1$, model napoveduje kot sistem brez sprememb. Če je $U > 1$, potem je napovedna moč modela slabša kot napoved konstante. Pri našem modelu za simulacijo situacije 2014 je U imel vrednost 0,55.

Drugi indeks je bil indeks ujemanja (d), ki predstavlja razmerje med povprečno kvadratno napako in potencialno napako (Willmott, 1981):

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Opazovano_i - Napovedano_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|Napovedano_i - Opazovano^P| + |Opazovano_i - Opazovano^P|)^2} \quad \dots(4)$$

kjer $Opazovano_i$ = okularna ocena debeline žleda ZGS 2014 na vzorčni ploskvi i , $Napovedano_i$ = modelna ocena debeline žleda 2. 2. 2014 ob 21:00 na vzorčni ploskvi i , $Opazovano^P$ = povprečna okularna ocena debeline žleda ZGS 2014. d ima podoben interval vrednosti kot koeficient korelacije r , tj. med 0 (ni korelacije) in 1 (popolno ujemanje). d za naš modelski izračun debeline žleda je znašal 0,31.

Veljavnost modela za ocenjevanje nevarnosti žledoloma smo preverjali tudi prostorsko. Za ta namen smo pripravili dve karti (slika 4). Na prvi (A) je prikazana ocena poškodovanosti gozdov zaradi žledoloma v letu 2014, ki jo je naredil ZGS (ZGS, 2014). Poškodovanost je v osnovi izražena kot delež poškodovane lesne zaloge, ki smo jo klasificirali v pet razredov (preglednica 7). Na drugi (B) je prikazana modelna ocena nevarnosti žledoloma na dan 2. 2. 2014 ob 21:00 v petih razredih. Za primerjavo omenjenih kart smo uporabili Sørensenov koeficient podobnosti (Sørensen, 1948): $Q_s = 2C / (A + B)$, kjer A in B predstavljata število celic modela v določenem razredu na sliki 4A in 4B, C je število celic modela v določenem razredu na obeh kartah A in B hkrati. Q_s ima vrednosti na intervalu med 0 in 1, kjer 1 pomeni popolno ujemanje med A in B . Sørensenov koeficient podobnosti je pokazal, da model relativno točno oceni območja, kjer se žledolom verjetno ne bo pojavil ($Q_s = 0,43$; preglednica 7). Na področjih z možnostjo pojava žledoloma, pa je prostorsko najtočneje ocenjen razred z visoko nevarnostjo pojava žledoloma na datum 2. 2. 2014 ob 21:00 vendar z relativno nizko zanesljivostjo ($Q_s = 0,29$).



Slika 4: Prostorska primerjava modela za oceno nevarnosti žledoloma. (A) Ocena poškodovanosti gozdov ZGS zaradi žledoloma v letu 2014; (B) Modelna ocena nevarnosti žledoloma na dan 2. 2. 2014 ob 21:00.

Preglednica 7: Sørensenov koeficient podobnosti kot merilo za prostorsko validacijo modela za ocenjevanje nevarnosti

žledoloma

Razred	Delež poseka lesne zaloge	Nevarnost žledoloma	Sørensenov koeficient podobnosti
0	ni poškodb	ni nevarnosti	0,43
1	do 5 %	zelo majhna	0,12
2	5–10 %	majhna	0,14
3	10–30 %	srednja	0,18
4	nad 30 %	visoka	0,29

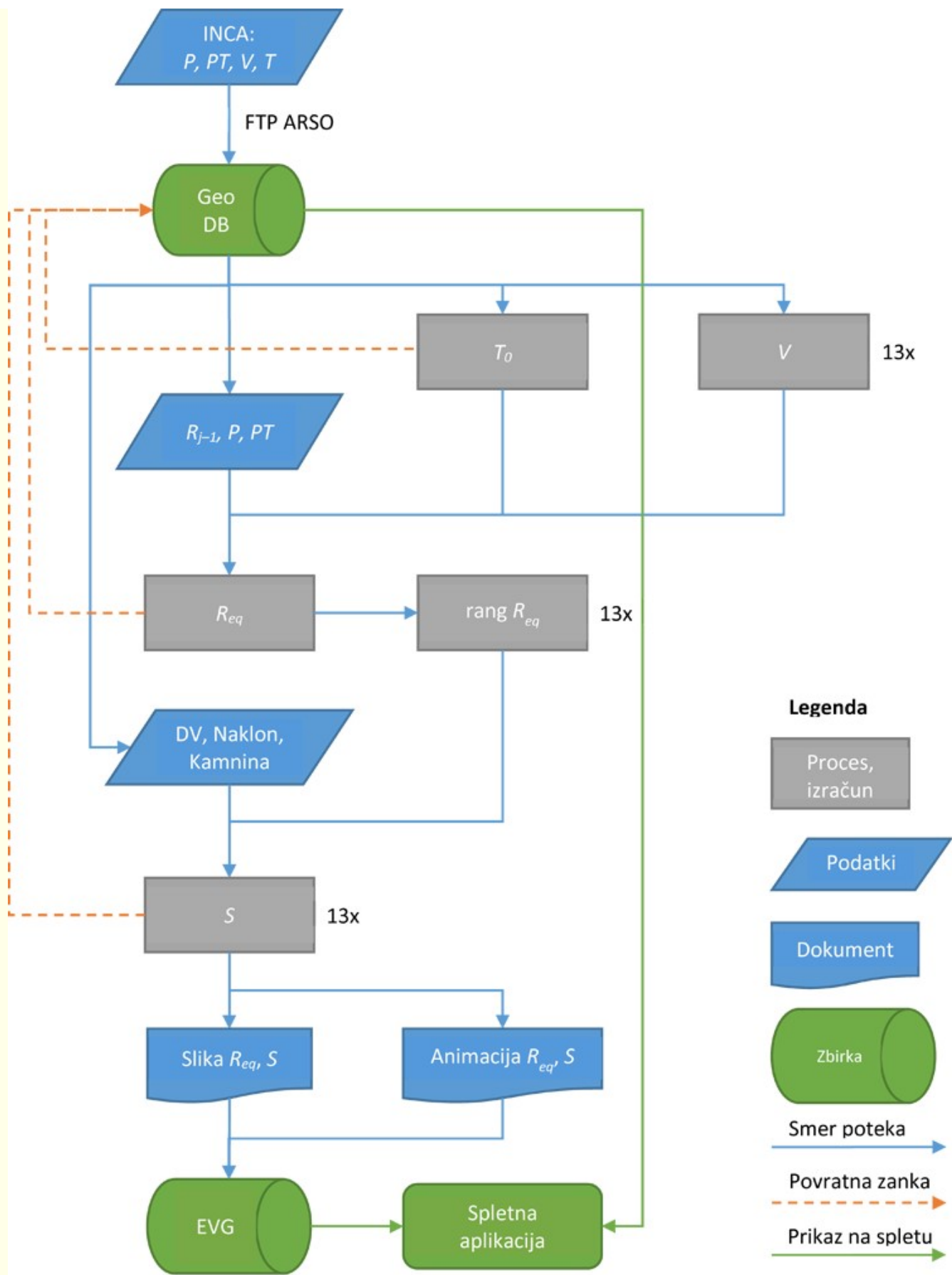
Preglednica 8: Primerjava razredov ogroženosti zaradi žleda 1961-2014 in povprečne modelne ocene debeline žleda in povprečne nevarnosti žledoloma izračunane z modelom za datum 2. 2. 2014 21:00

Ogroženost	Debelina žledu (mm)		Nevarnost žledoloma		Št. celic modela
	Povp.	Mediana razreda	Povp.	Mediana razreda	
1	0,03 ^a	1 ^a	0,02 ^a	1 ^a	1.312
2	1,66 ^b	1 ^b	0,75 ^b	1 ^b	6.616
3	3,13 ^c	1 ^c	1,32 ^c	2 ^c	9.510
4	25,63 ^d	3 ^d	2,30 ^d	3 ^d	2.764

*Razredi ogroženosti se navedeni v legendi slike 1. Srednje vrednosti z isto črko niso značilno različne med različnimi razredi ogroženosti pri 1 % stopnji tveganja. Razredi debeline žledu: 0: 0 mm, 1: do 6 mm, 2: 6-13 mm, 3: 13-26 mm, 4 nad 26 mm. Razredi nevarnosti žledoloma: 0: ni nevarnosti, 1: zelo majhna, 2: majhna, 3: srednja, 4: visoka.

Naredili smo tudi prostorsko primerjavo dolgoročne ogroženosti zaradi žleda 1961-2014 (Dolinar in Vertačnik, 2015; slika 1) in povprečne modelne debeline žleda ter povprečne nevarnosti žledoloma na datum 2. 2. 2014 ob 21:00 (preglednica 8). Statistično analizo smo izvedli s statističnim programom R (R Core Team, 2016). Uporabili smo preizkus mnogoterih primerjav (Duncan) in Kruskal-Wallisovo analizo rangov s Bonferronijevo korekcijo (Pohlert, 2014; de Mendiburu, 2015). Vse aritmetične sredine modelne debeline žleda in nevarnosti žledoloma so bile med različnimi razredi ogroženosti značilno različne (preglednica 8). Rezultat preizkusa mnogoterih primerjav po Duncanu kaže na dobro ujemanje dolgoročne ogroženosti zaradi žleda 1961-2014 z modelno oceno debeline žledu in modelno oceno nevarnosti žledoloma 2014. Kruskal-Wallisova analiza je pokazala, da obstajajo značilne razlike med vsemi medianami razredov nevarnosti žledoloma glede na razred ogroženosti. Zato domnevamo, da so meje razredov nevarnosti žledoloma določene dobro. Primerjava median razredov modelne debeline žledu med različnimi razredi ogroženosti zaradi žleda je pokazala značilne razlike med medianami vseh razredov debeline žledu. Zato menimo, da so meje razredov debeline žledu določeno dobro.

Shema modela in postopek izračuna



Slika 5: Shema modela za kratkoročno napoved pojava žledoloma

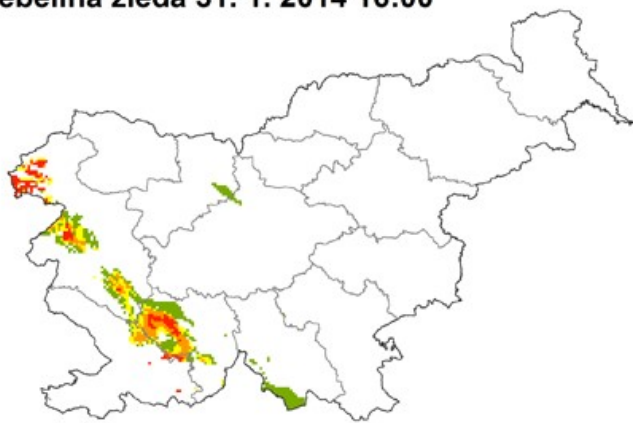
Model za kratkoročno napoved pojava žledoloma v Sloveniji se izračuna samodejno vsako uro. Postopek se prične z odjemom podatkov INCA: padavine (P), tip padavin (PT), hitrost vetra (U in V komponenta), temperatura zraka (slika 5). Podatke prevzamemo na FTP strežniku ARSO. Vse prenesene podatke shranimo v prostorsko podatkovno zbirko (GeoDB, Microsoft SQL Server). Sledi izračun T_0 (število ur, ko je temperatura zraka večja kot $0\text{ }^{\circ}\text{C}$) in V (hitrost vetra) in sicer za trenutno stanje in napoved za naslednjih 12 ur (skupaj 13 izračunov). Vrednosti T_0 shranimo v podatkovno

zbirko (GeoDB). Potem iz R_{j-1} (prejšnja debelina žledu), P (količina padavin), PT (tip padavin), T_0 in V izračunamo debelino žledu R_{eq} (formula št. 2). Debelino žledu R_{eq} shranimo v podatkovno zbirko GeoDB. Sledi izračun ranga debeline žledu iz R_{eq} . R_{eq} se izračuna za trenutno stanje in napoved za naslednjih 12 ur. Nakar izračunamo napoved nevarnosti pojava žledoloma (S) po formuli št. 1 iz spremenljivk DV (indeks drevesne sestave), $Naklon$, $Kamnina$ in rang R_{eq} (13 izračunov). Izračunane vrednosti S shranimo v podatkovno zbirko (GeoDB). Proces se konča z izdelavo slik in animacij R_{eq} in S , ki jih shranimo v podatkovno zbirko EVG (Ogris, 2012). Podatki za prikazovanje rezultatov modela na spletnem portalu za varstvo gozdov (www.zdravgozd.si) se črpajo iz podatkovne zbirke GeoDB in EVG.

Rezultati

Prve padavine v obliki dežja, ki je zmrzoval, so po modelu za oceno debeline žledu zapadle 30. 1. 2014 ob 13. uri (slika 7). Debelina žleda je počasi naraščala do 1. 2. 2014 11:00, potem pa se je žled pričel naglo kopičiti do 2. 2. 2014 21:00. Potem je bila debelina žleda skoraj konstantna do 5. 2. 2014 17:00, nakar se je žled pričel taliti. Večino žleda se je stalilo do 8. 2. 2014 12:00 (88 %).

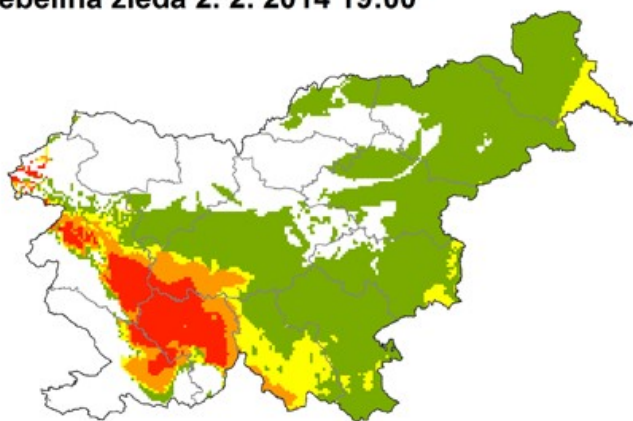
Debelina žleda 31. 1. 2014 16:00



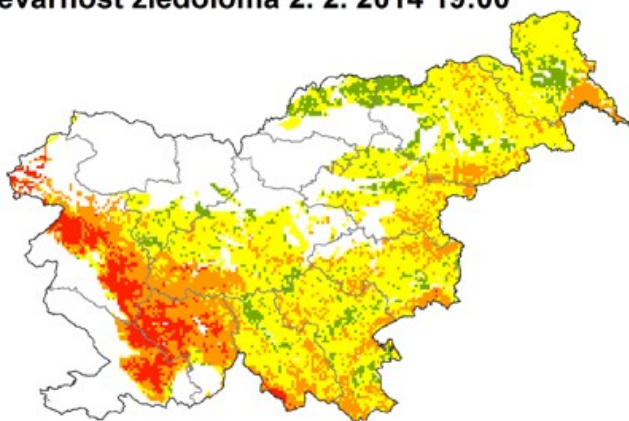
Nevarnost žledoloma 31. 1. 2014 16:00



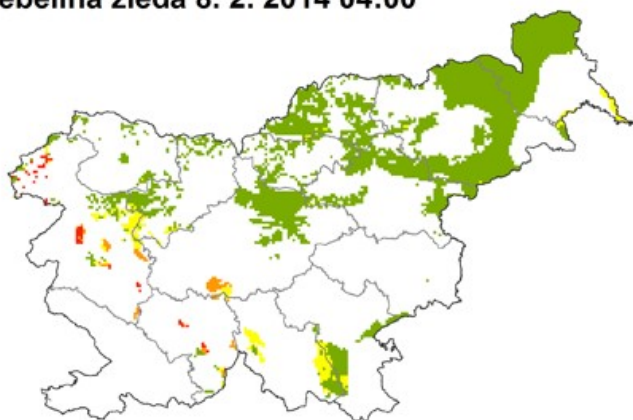
Debelina žleda 2. 2. 2014 19:00



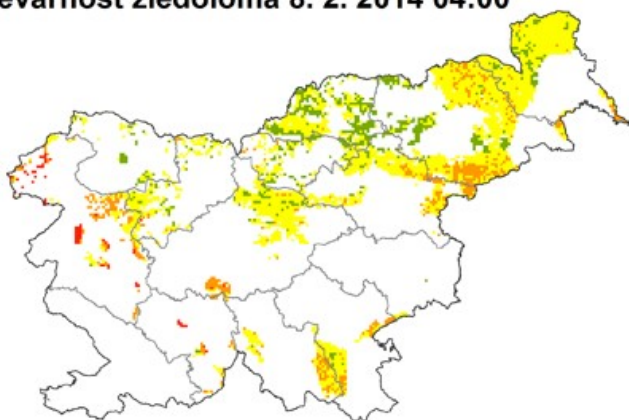
Nevarnost žledoloma 2. 2. 2014 19:00



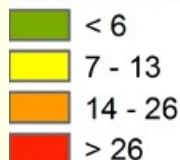
Debelina žleda 8. 2. 2014 04:00



Nevarnost žledoloma 8. 2. 2014 04:00



Debelina žleda (mm)



Nevarnost žledoloma



Slika 6: Modelski izračun debeline žleda in nevarnosti žledoloma v Sloveniji za tri datume za žledolom v 2014

Žled je najprej zajel GGO Postojna, Tolmin, Sežana in Kočevje (slika 6). V vrhuncu je žled pokrival 66 % površine Slovenije glede na modelski izračun debeline žleda. Največje površine brez žleda so bile v GGO Bled (99 %), Nazarje (95 %), Sežana (72 %), Kranj (67 %) in Slovenj Gradec (62 %) (preglednica 9). Žled se je pričel taliti najprej na jugu države. Najdlje se je obdržal severnih in vzhodnih predelih Slovenije. Debelina žleda nad 26 mm se je pojavljala v skoraj vseh GGO, nad polovico površine GGO je obsegala v GGO Kočevje (88 %) in Postojna (85 %) (preglednica 9). Na ravni cele Slovenije je bila debelina žleda ocenjena v prvem razredu do debeline 6 mm na 26 % površine. Nevarnost pojava žledoloma pa je imela nekoliko drugačno porazdelitev, saj je bila ocenjena večinoma v razredu majhna nevarnost (37 %) in v razredu ni nevarnosti (32 % površine). V oceni poškodovanosti gozdov ZGS zaradi žledoloma 2014 je bilo večji delež površin uvrščenih v prva dva razreda, tj. brez poškodb (40 %) in poškodbe do 5 % lesne zaloge (44 %). Delež površin v razredu brez poškodb se je okvirno

skladal z deležem površin, kjer je model ocenil, da ni bilo žleda in da ni bilo nevarnosti žledoloma.

Preglednica 9: Delež površin GGO po različnih razredih modelne ocene debeline žleda, ocene nevarnosti žledoloma in ocene poškodovanosti gozdov ZGS zaradi žledoloma 2014

GGO	Debelina					Nevarnost					Ocena poškodovanosti				
Razred*	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
BLED	99	0	0	0	0	92	7	1	0	0	47	49	3	1	0
BREŽICE	12	42	10	10	26	12	8	56	23	0	59	41	0	0	0
CELJE	27	62	4	2	5	26	8	54	12	0	19	73	8	1	0
KOČEVJE	0	1	4	8	88	0	7	61	28	4	22	70	5	4	0
KRANJ	67	18	11	1	2	65	8	25	1	0	11	59	19	10	1
LJUBLJANA	26	39	5	4	26	26	9	45	19	1	8	47	26	18	0
MARIBOR	12	60	6	9	12	12	16	60	12	0	45	51	4	0	0
MURSKA SOBOTA	0	31	16	15	38	0	21	64	15	0	92	8	0	0	0
NAZARJE	95	5	0	0	0	94	1	4	0	0	26	66	8	0	0
NOVO MESTO	0	17	21	18	43	0	10	64	26	0	25	74	1	0	0
POSTOJNA	13	1	1	0	85	13	3	7	52	25	17	26	21	25	11
SEŽANA	72	2	0	0	25	70	3	3	13	12	94	0	1	2	3
SLOVENJ GRADEC	62	38	0	0	0	62	19	19	0	0	31	62	6	1	0
TOLMIN	47	3	3	2	45	45	3	8	24	20	50	17	9	19	4
Skupaj	33	26	6	5	29	32	9	37	17	5	40	44	8	7	1

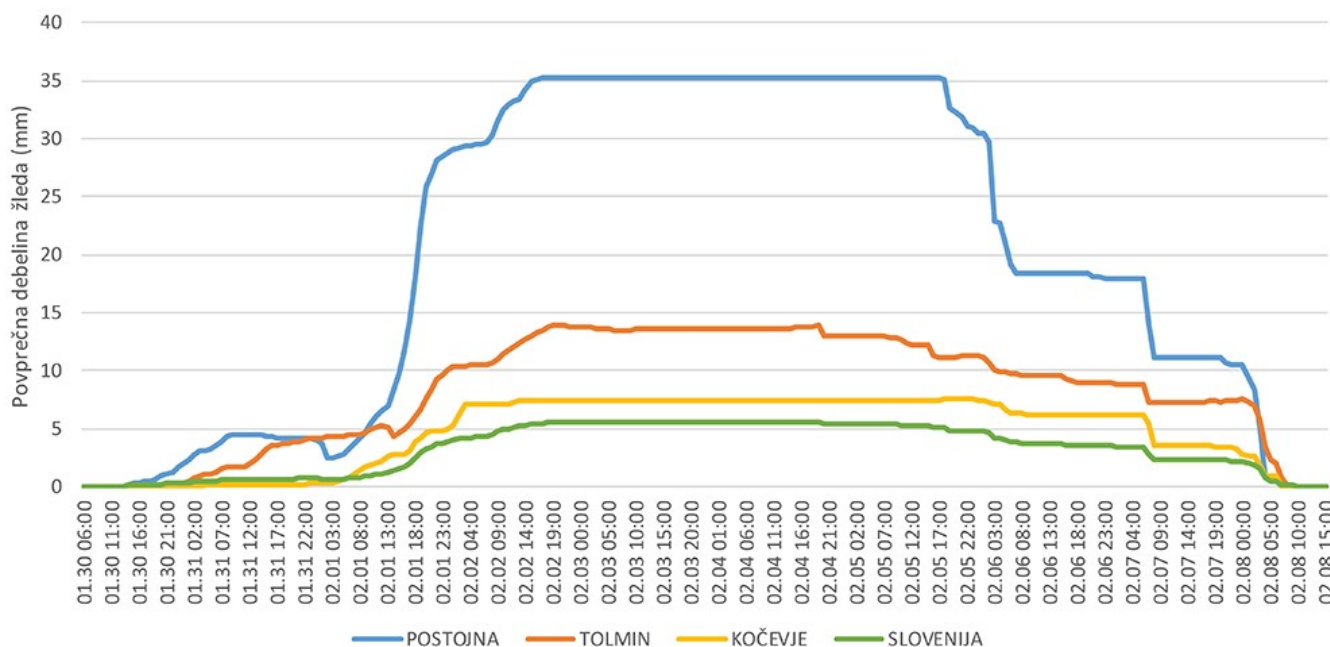
*Debelina: 0: 0 mm, 1: do 6 mm, 2: 6-13 mm, 3: 13-26 mm, 4 nad 26 mm. Nevarnost: 0: ni nevarnosti, 1: zelo majhna, 2: majhna, 3: srednja, 4: visoka. Ocena poškodovanosti: 0: ni poškodovan, 1: do 5 %, 2: 5-10 %, 3: 10-30 %, 4: nad 30 % lesene zaloge. Izračun ocene debeline žleda in nevarnosti žledoloma se nanaša na datum 2. 2. 2014 21:00.

Največja srednja povprečna modelna debelina žleda za celo trajanje žledoloma v 2014 je merila 35,2 mm v GGO Postojna (preglednica 10). Druga največja srednja povprečna debelina žleda je bila v GGO Tolmin. Največja povprečna debelina žleda je merila 19,9 mm prav tako v GGO Postojna od 2. 2014 21:00 do 5. 2. 2014 17:00 (slika 7), na drugem mestu je bil GGO Tolmin, kjer je bila največja povprečna debelina žleda 14 mm. Srednja maksimalna in največja maksimalna debelina žleda je bila v GGO Tolmin, kjer je modelna srednja maksimalna debelina žleda merila 29 cm, največja maksimalna pa 47 cm. Na drugem mestu je bilo GGO Postojna s srednjo maksimalno debelino žleda 9,8 cm in največjo maksimalno debelino žleda 13,1 cm. Pri analizi debeline žleda izstopata GGO Postojna in Tolmin. Izračunane maksimalne debeline žleda so v določenih primerih bile povsem nerealne, kar kaže na potrebo po izboljšavi metode izračuna debeline žleda.

Preglednica 10: Statistika modelne debeline žleda (mm) za žledolom v Sloveniji v 2014 po GGO

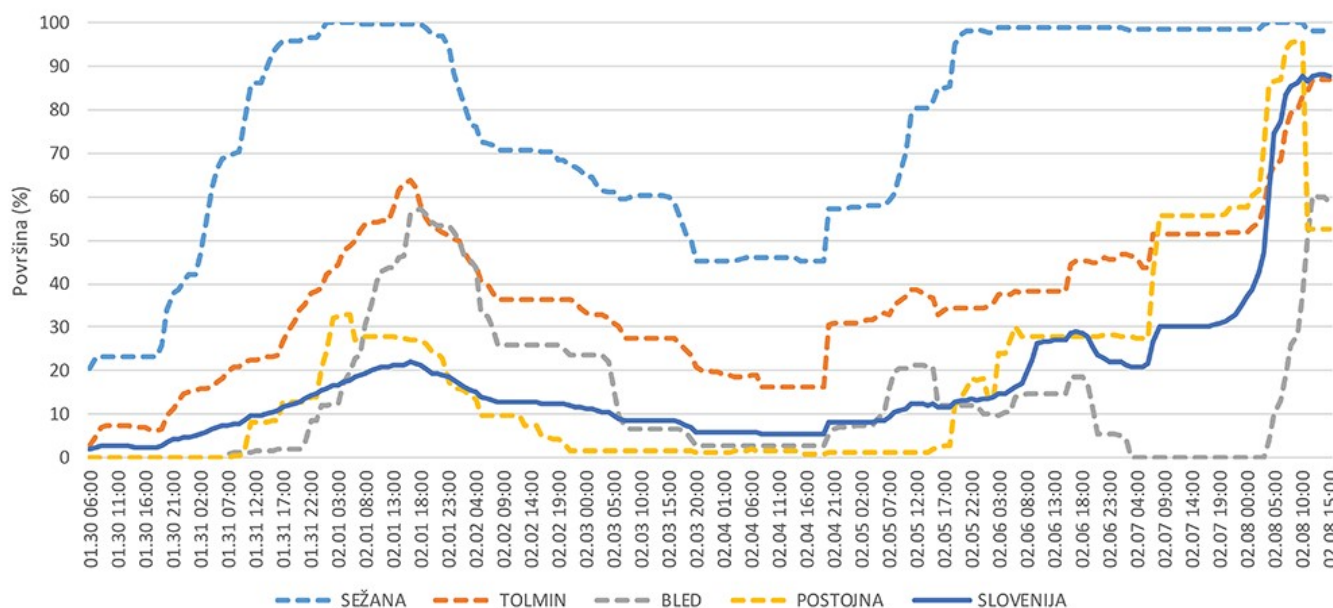
GGO	Srednja povprečna	Največja povprečna	Srednja maksimalna	Največja maksimalna
TOLMIN	8,3	14,0	289,1	469,8
BLED	0,0	0,1	3,8	7,0
KRANJ	0,5	1,4	7,5	12,4
LJUBLJANA	3,1	5,3	35,7	51,3
POSTOJNA	19,9	35,2	98,6	130,7
KOČEVJE	4,6	7,5	16,9	24,8
NOVO MESTO	1,8	3,0	6,5	10,9
BREŽICE	1,1	2,1	5,8	9,0
CELJE	0,3	0,5	3,9	8,2
NAZARJE	0,0	0,3	0,7	6,9
SLOVENJ GRADEC	0,1	1,0	1,0	7,3
MARIBOR	0,6	1,0	4,5	7,9
MURSKA SOBOTA	1,9	3,3	7,0	10,9
SEŽANA	2,1	5,3	26,2	56,1
SLOVENIJA	3,2	5,6	291,3	469,8

*Statistika se navezuje na izračun modela za oceno debeline žledu (formula št. 2) od 30. 1. 2014 06:00 do 8. 2. 2014 15:00.



Slika 7: Povprečna modelna debelina žleda od 30. 1. 2014 6:00 do 8. 2. 2014 12:00 za GGO Postojna, Tolmin, Kočevje in celotno Slovenijo. Datum je v formatu MM.dd HH:mm UTC.

Model za oceno debeline žleda simulira tudi taljenje žleda. Model domneva, da se ves žled v določeni celici modela stopi, ko je temperatura zraka večja kot 0°C vsaj 24 zaporednih ur (T_0). Potek taljenja žleda skozi čas za žledolom v letu 2014 je prikazan na sliki 8 in preglednici 11. Najhladneje je bilo od 3. 2. 20:00 do 4. 2. 19:00. V GGO Postojna je ta pogoj vztrajal do 5. 2. 18:00. Potem je delež površin, kjer je bila temperatura ustrezna za stopitev vsega žleda, pričel naraščati. Posebej strmo od 7. 2. 17:00 naprej. T_0 je bil 8. 2. ob 12. uri večji ali enak kot 24 ur že na 88 % površine Slovenije (preglednica 11). Ob tej uri se je večino žleda že stopilo (slika 7). V GGO Sežana je bil T_0 ustrezen za nastanek žleda bistveno krajši kot v drugih GGO, tj. od 2. 2. do 5. 2. (preglednica 11). Izstopa tudi GGO Tolmin saj bil T_0 neprimeren večino časa, tj. 7-87 % površine od začetka do konca žledoloma v 2014. Parameter T_0 je bil za celotno površino šestih GGO prvih sedem dni do 5. 2. enak nič, tj. za GGO Brežice, Celje, Kočevje, Maribor, Murska Sobota in Novo mesto (preglednica 11). Zanimivo, da v teh GGO debelina žleda ni bila med največjimi, kljub temu, da je to parameter T_0 dopuščal.



Slika 8: Delež površine, kjer je bila temperatura zraka na 2 m nad 0°C vsaj 24 zaporednih ur za GGO Sežana, Tolmin, Bled, Postojna in celo Slovenijo. Datum je v formatu MM.dd HH:mm UTC.

Preglednica 11: Delež površine, kjer je bila temperatura zraka na 2 m nad 0°C vsaj 24 zaporednih ur za vsa GGO po

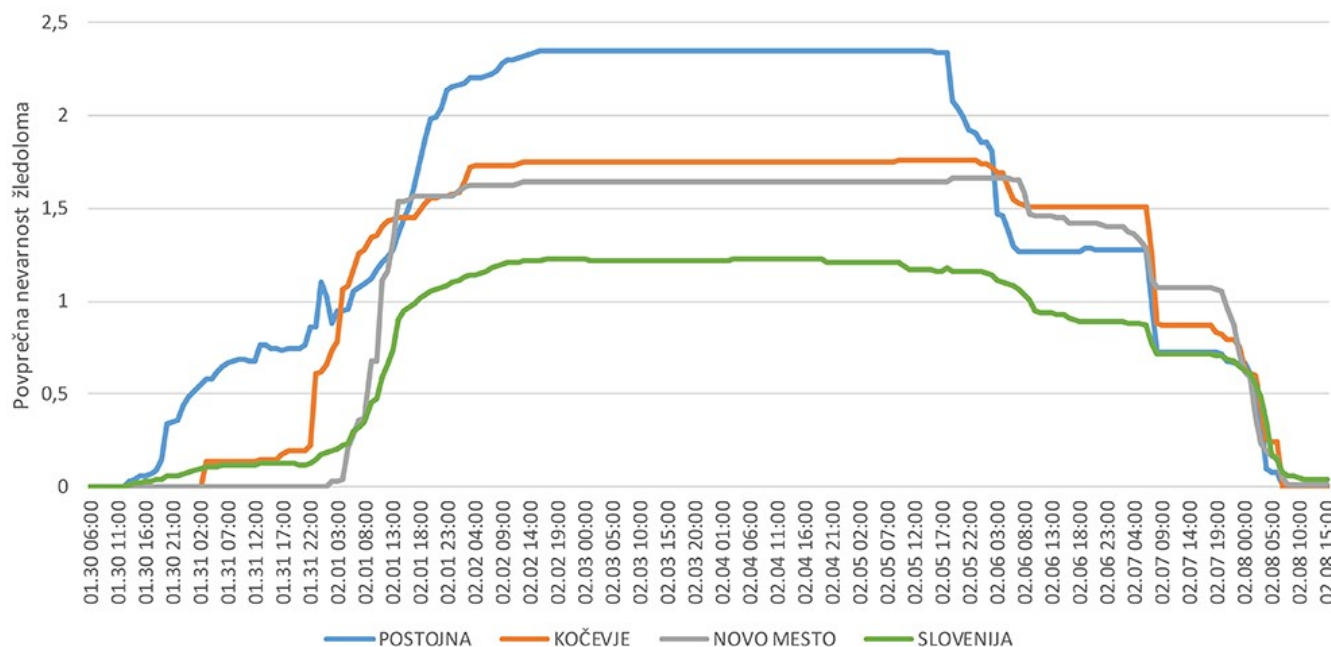
GGO	30.1.	31.1.	1.2.	2.2.	3.2.	4.2.	5.2.	6.2.	7.2.	8.2
BLED	0	1	44	26	7	3	21	15	0	60
BREŽICE	0	0	0	0	0	0	0	22	46	100
CELJE	0	0	0	0	0	0	0	29	9	98
KOČEVJE	0	0	0	0	0	0	0	10	53	100
KRANJ	0	1	34	12	6	0	4	10	8	88
LJUBLJANA	0	2	5	3	1	0	2	16	27	98
MARIBOR	0	0	0	0	0	0	0	27	1	88
MURSKA SOBOTA	0	0	0	0	0	0	0	9	0	100
NAZARJE	0	0	29	18	5	0	14	15	11	81
NOVO MESTO	0	0	0	0	0	0	0	14	34	99
POSTOJNA	0	8	28	10	1	1	1	28	56	53
SEŽANA	23	86	100	71	60	46	80	99	98	98
SLOVENJ GRADEC	0	0	3	1	0	0	0	19	8	32
TOLMIN	7	23	54	36	28	16	39	38	51	87
SLOVENIJA	3	10	21	13	9	5	12	27	30	88

Modelska ocena nevarnosti žledoloma v 2014 daje v ospredje drugačen vrstni red GGO kot ocena debeline žleda saj model poleg debeline žleda upošteva še drevesno sestavo, kamnino in naklon terena. Srednja povprečna (1,5) in največja povprečna nevarnost (2,3) je bila ugotovljena v GGO Postojna (preglednica 12, slika 9). Na drugem mestu povprečne nevarnosti žledoloma je bil GGO Kočevje, na tretjem mestu pa GGO Novo mesto. Srednja maksimalna nevarnost žledoloma je bila najvišja v GGO Tolmin (3,8), na drugem mestu pa GGO Postojna (3,7). Čeprav je bila modelna ocena debeline žleda zelo različna med GGO, je bila ocena nevarnosti žledoloma za večino GGO podobna. Odstopala so GGO, v katerih žled ni bil zaznan oz. ga je bilo malo (preglednica 9), tj. GGO Bled, Nazarje, Sežana, Slovenj Gradec in Kranj. Ta razlika je bolj vidna v povprečni kot v maksimalni oceni nevarnosti žledoloma (preglednica 12).

Preglednica 12: Statistika modelnega izračuna nevarnosti žledoloma v letu 2014 v Sloveniji po GGO

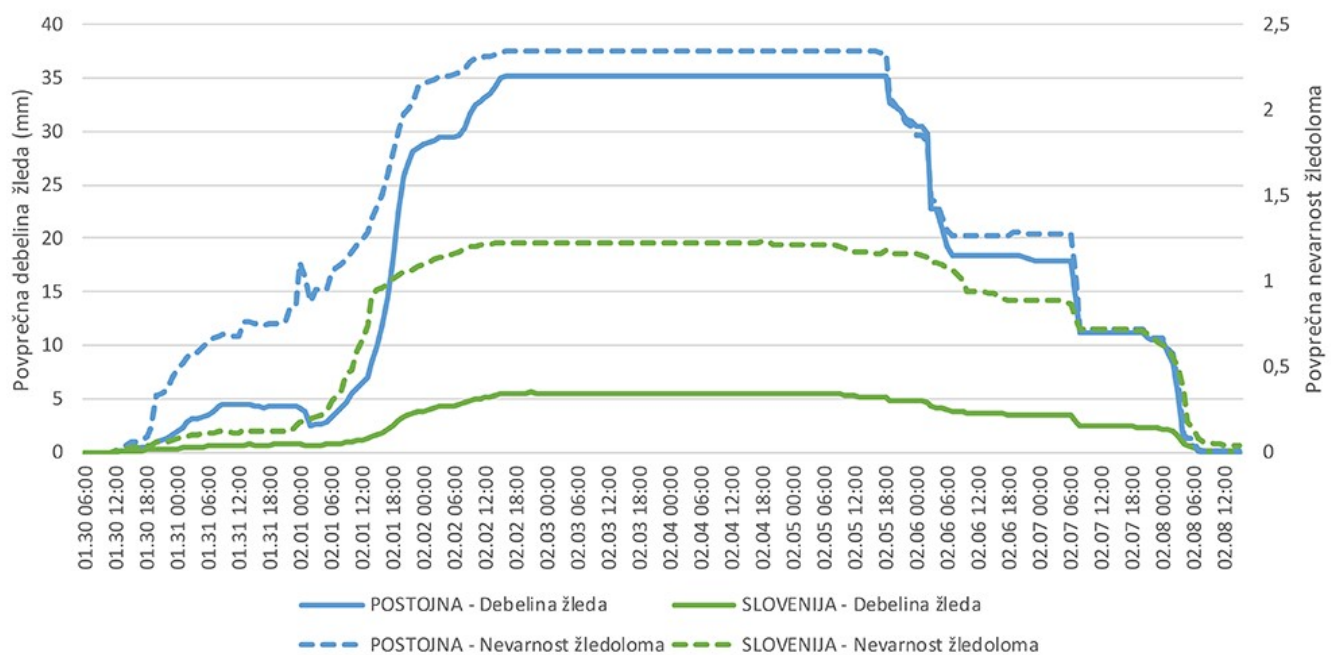
GGO	Srednja povprečna	Največja povprečna	Srednja maksimalna	Največja maksimalna
TOLMIN	0,9	1,5	3,8	4,0
BLED	0,0	0,1	1,6	2,0
KRANJ	0,4	0,7	2,4	3,0
LJUBLJANA	0,9	1,5	2,8	3,4
POSTOJNA	1,5	2,3	3,7	3,9
KOČEVJE	1,2	1,8	2,8	3,4
NOVO MESTO	1,1	1,7	2,3	2,9
BREŽICE	1,0	1,6	2,2	3,0
CELJE	0,8	1,3	2,0	2,5
NAZARJE	0,1	0,3	1,6	2,5
SLOVENJ GRADEC	0,3	0,6	1,5	2,1
MARIBOR	0,9	1,4	2,0	2,7
MURSKA SOBOTA	1,0	1,5	1,9	2,7
SEŽANA	0,3	0,8	2,5	4,0
SLOVENIJA	0,8	1,2	3,8	4,0

*Legenda: do 1 zelo majhna, 1-2 majhna, 2-3 srednja, 3-4 velika nevarnost žledoloma



Slika 9: Modelna povprečna nevarnost žledoloma od 30. 1. 2014 6:00 do 8. 2. 2014 12:00 za GGO Postojna, GGO Kočevje, GGO Novo mesto in celotno Slovenijo (do 1 zelo majhna, 1-2 majhna, 2-3 srednja, 3-4 velika nevarnost žledoloma). Datum je v formatu MM.dd HH:mm UTC.

Na oceno nevarnosti žledoloma najbolj vpliva debelina žleda, kar je določeno z utežmi parametrov modela (preglednica 1). To je razvidno tudi iz primerjave gibanja nevarnosti žledoloma glede na debelino žleda (slika 10). Ocena nevarnosti žledoloma načeloma dobro in neposredno sledi spremembam debeline žleda. Nevarnost žledoloma se hitro povečuje že pri majhnih količinah žleda. Model za oceno nevarnosti žledoloma dobro sledi tudi taljenju žledu.



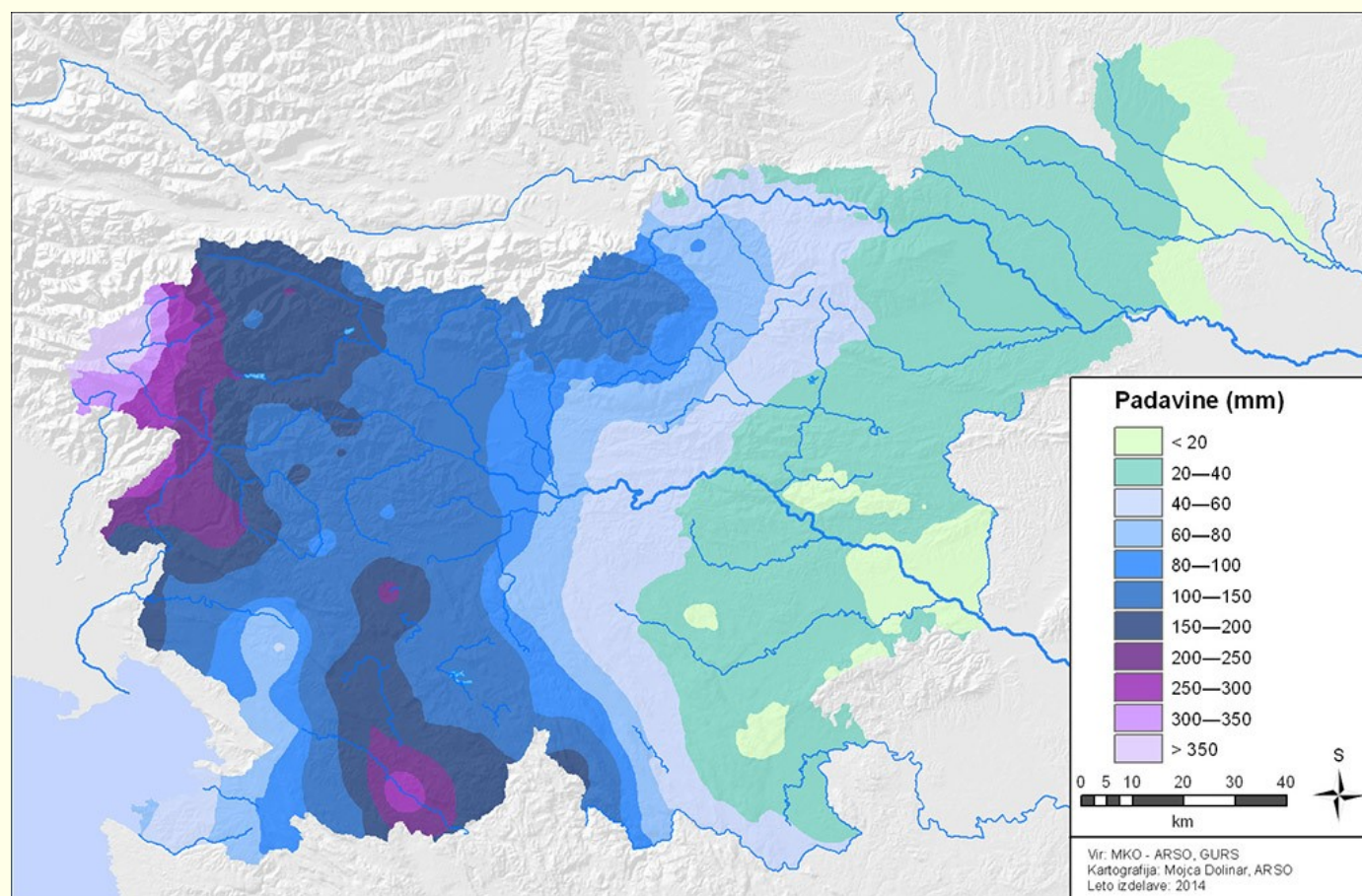
Slika 10: Modelna povprečna debelina žleda in povprečna nevarnost žledoloma za GGO Postojna in Slovenijo od 30. 1. 2014 6:00 do 8. 2. 2014 12:00. Datum je v formatu MM.dd HH:mm UTC.

Razprava

Razvili smo model za oceno debeline žleda in oceno nevarnosti žledoloma s prostorsko ločljivostjo 1 km z možnostjo analize trenutnega stanja in napovedi za naslednjih 12 ur. Veljavnost modela smo preverjali na primeru žledoloma v letu 2014. Ugotovili smo, da je modelna ocena debeline žleda za 3,6 krat podcenjena glede na očesno oceno debeline žleda ZGS. Model smo kalibrirali tako, da je modelna ocena debeline žleda bila primerljiva z okularno oceno ZGS. Kljub temu bomo morali v prihodnosti to kalibracijo še izboljšati. To bomo lahko storili, ko bomo imeli na voljo več meritev ali

ocen debelin žleda za več različnih dogodkov žledoloma. Zanimivo je, da enostavni model, ki smo ga uporabili mi, za oceno debeline žleda po primerjalni analizi Jones (1998) daje med štirimi od petih modelov najvišje ocene debeline žleda. Zato smo pričakovali, da bo model precenjeval debelino žleda, vendar se je v našem primeru žledoloma 2014 zgodilo prav obratno. Domnevamo, da je morda prišlo pri okularni oceni debeline žleda do pretiravanja. Ker je šlo za oceno debeline žleda po spominu po 10. mesecih po dogodku, je lahko prišlo do večje napake v okularni oceni.

Debelina žleda je odvisna od intenzivnosti in trajanja padavin (Kastelec, 1997). Ob dolgotrajnih, zmerno intenzivnih padavinah, je večja verjetnost, da bo prišlo do debelejšje plasti ledu na drevju. V primeru žledoloma v letu 2014 je žled nastajal od 30. 1. do 5. 2., tj. skupaj kar 7 dni, kar je bilo izredno dolgo (ARSO, 2014). Višina padavin je bila največja v Zgornjem Posočju, kjer je v štirih dneh, od 7. ure 30. 1. do 7. ure 3. februarja 2014, padlo kar 400 mm padavin (ARSO, 2014; slika 11). To je tudi razlog zakaj je bila modelna ocena debeline žleda največja v GGO Tolmin (srednja maksimalna 29 cm, največja maksimalna pa celo 47 cm) (preglednica 10). V okolici Tolmina v Posočju žleda v dolini ni bilo, se je pa pojavljal na pobočjih, kar je razvidno na sliki 6. Zato lahko trdimo, da INCA dovolj natančno predvidi vrsto padavin.



Slika 11: Višina padavin od 30. 1. do 4. 2. 2014 (ARSO, 2014)

V model za izračun debeline žleda smo vključili zelo enostaven model taljenja ledu. V našem modelu domnevamo, da se ves žled stopi, ko je 24 ur temperatura zraka večja kot 0 °C. To pravilo se izraža v skokovitem-stopničastem taljenju žleda (slika 7). Proces taljenja žleda v naravi je kompleksen pojav, ki je zelo variabilen glede na lokacijo, saj je odvisen od neposrednega in odbitega sončnega sevanja. Za natančnejšo simulacijo taljenja žleda, bi morali v model vgraditi kompleksen toplotno-bilančen model, ki potrebuje za delovanje več vhodnih podatkov kot naš enostavni model za oceno debeline žleda, npr. temperatura rosišča, zračni tlak, sončno sevanje, temperatura mokrega termometra (Jones, 1996; Forbes in sod., 2014). Vseh omenjenih podatkov v času razvoja modela še ni bilo na voljo za prostorsko ločljivost 1 km in časovno ločljivost 1 h, zato smo taljenje žleda poenostavili.

Model za oceno nevarnosti žledoloma zadovoljivo napove območja, kjer verjetnosti za nevarnost žledoloma ni. Manj zanesljivo pa napove območja, kjer bi lahko prišlo do nevarnosti žledoloma (preglednica 7). Na ravni države večino primerov model razvrsti v majhno nevarnost (preglednica 9), kar je posledica kalibracije modela in izbira uteži njegovih spremenljivk. Validacija modela je

pokazala, da je bila povezava med oceno nevarnosti žledoloma in oceno dejanske poškodovanosti gozda zaradi žleda ZGS lahko v določenih primerih zadovoljiva, tj. Spearmanov korelacijski koeficient je bil v GGO Postojna, ki jo je žled najhuje prizadel, $r = 0,44$, koeficient determinacije pa 19,7 % (preglednica 5). Povezava med oceno nevarnosti žledoloma in oceno poškodovanosti gozda ZGS je bila za večino GGO statistično značilna. Model za oceno nevarnosti žledoloma je na splošno kazal večjo korelacijo z oceno poškodovanosti ZGS kot model za oceno debeline žleda, saj je na ravni cele Slovenije bil r za debelino žleda = 0,31, r za nevarnost žledoloma pa 0,37. Pri tem je potrebno upoštevati, da smo validacijo modela izvedli na podlagi okularnih ocen poškodovanosti gozdov, ki jih je naredil ZGS.

Validacija modelov za oceno debeline žleda in nevarnosti žledoloma je pokazala njihovo precej majhno zanesljivost. Oba modela sta v osnovi najprej odvisna od vhodnih podatkov. Vhodni meteorološki podatki temeljijo na modelskem izračunu INCA, ki vključuje mnogo domnev zaradi katerih prihaja do napak pri izračunu in odstopanj od realnosti. Le te napake se naprej prenašajo na naša modela, ki prav tako delujejo pod določenimi domnevami. Se pa model INCA stalno izboljšuje (na primer od maja 2014 so na voljo meritve še drugega vremenskega radarja na Pasji ravni nad Črnim vrhom), tako bodo tudi kratkoročne napovedi pojava žledoloma vedno bolj zanesljive in kakovostnejše. Seveda pa je potrebno kakovost obeh modelov spremljati na bodočih dogodkih s pojavom žleda, ju ponovno kalibrirati in nadgraditi posamezne gradnike.

Prva različica modela napoveduje nevarnost žledoloma vsako uro za naslednjih 12 ur, kar je pogojeno s podatki iz sistema INCA. V bodoče bomo model nadgradili tako, da bo lahko napovedal debelino žleda in nevarnost žledoloma za 72 ur v naprej. To je odvisno od nadgradnje modela ALADIN z možnostjo napovedovanja tipa padavin dež, ki zmrzuje (Forbes in sod., 2014). Časovna ločljivost med 12. in 72. uro bo ostala enaka, tj. napoved se po izračunala za vsako uro, prostorska ločljivost napovedi med 12. in 72. uro pa bo nekoliko manjša, tj. ok. 4 km, kar ustreza prostorski ločljivosti modela ALADIN.

V prihodnosti bomo lahko morda izboljšali tudi model za oceno pojava žledoloma. V našem primeru smo se odločili za model na osnovi indeksov. Morda bi modeli drugih vrst bili uspešnejši, npr. klasifikacijska drevesa in generalni linearni modeli. Zato možnosti za izboljšave modela ostajajo odprte in številne.

Priloga

Pripravili smo javno spletno storitev za pregled trenutnega stanja in napovedi debeline žleda ter nevarnosti pojava žledoloma za 12 ur v naprej. Spletna storitev je na voljo na naslednjem naslovu (slika 12): http://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=30

VARSTVO GOZDOV

PRIROČNIK

NOVICE IZ VARSTVA

DOGODKI

GRADIVO

NAPOVEDI

Izdaje revije

Iskanje

Podatki o reviji

Objava v reviji

POVEZAVE

KONTAKTI

OSEBNA IZKAZNICA



Izvirni znanstveni članek

Napovedi o zdravju gozdov, 2014

Model za kratkoročno napoved pojava žledoloma v Sloveniji

Nikica OGRIS, Neva PRISTOV, Andrej KOBLER

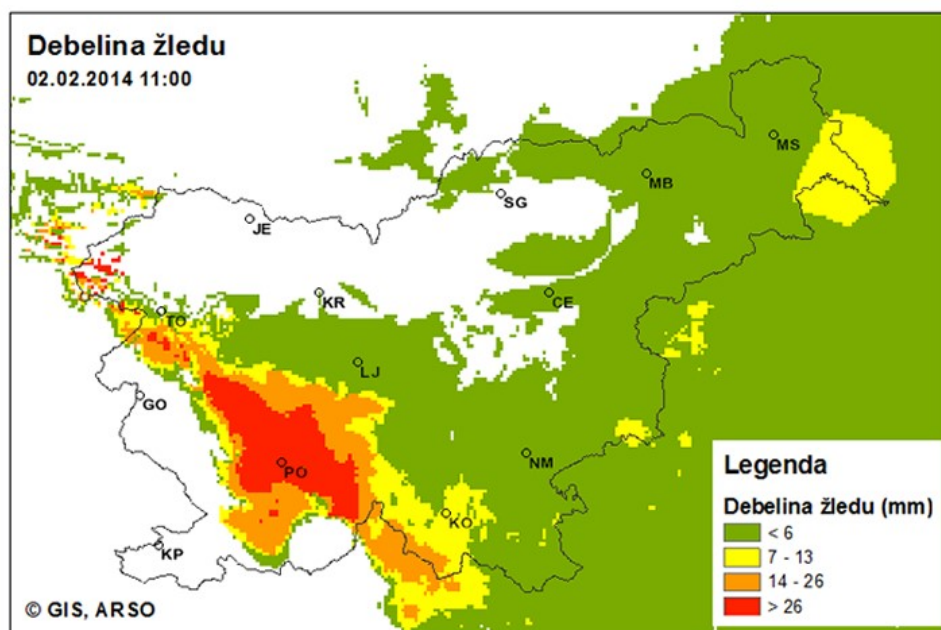
Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, 1000 Ljubljana

*nikica.ogris@gozdis.si

Datum izdaje: 02.02.2014

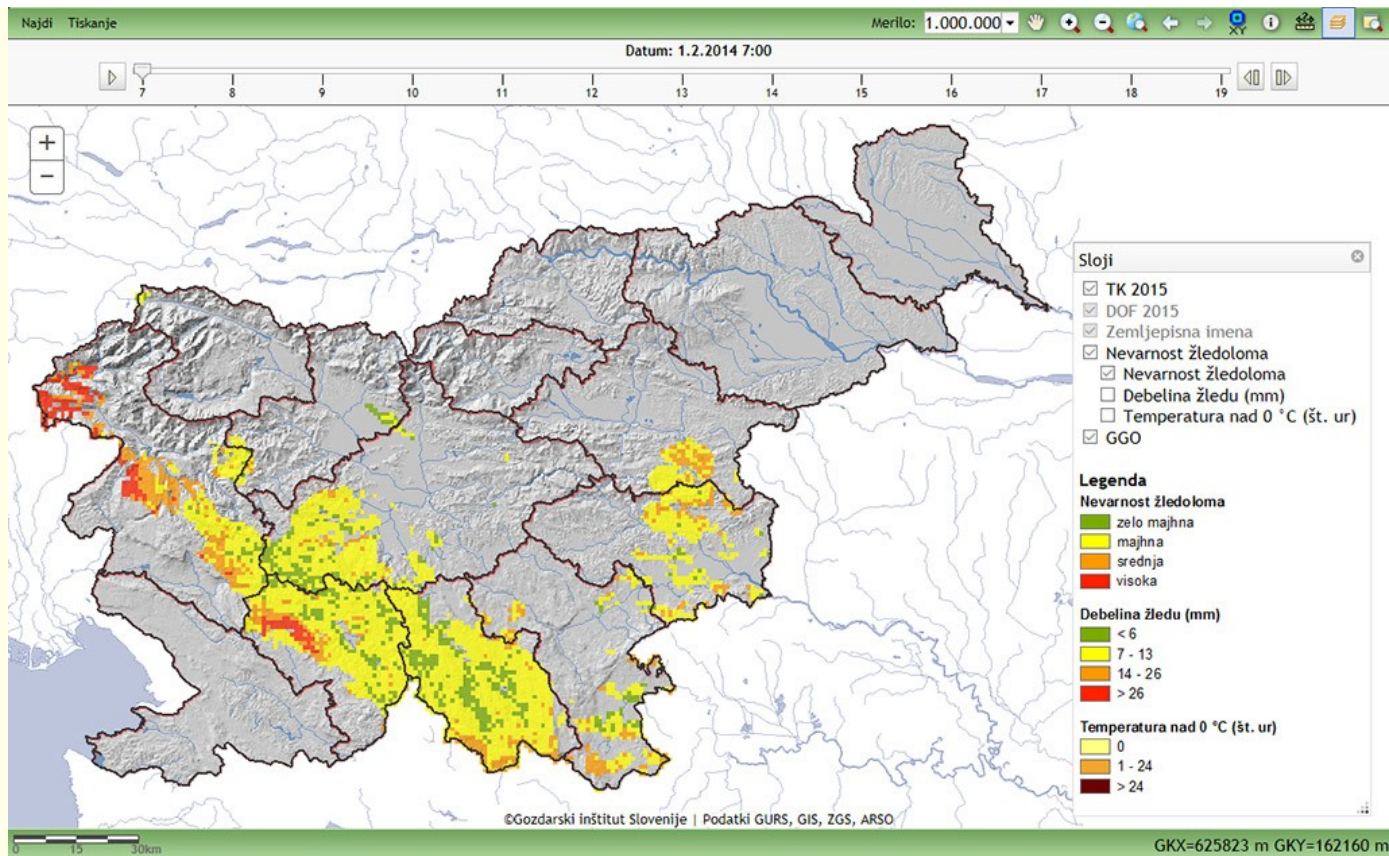
Veljavnost: 02.02.2014

Ključne besede: žled, žledolom, napoved, model, prognoza



Slika 12: Spletna storitev za pregled aktualnega stanja in napovedi debeline žleda in nevarnosti žledoloma za naslednjih 12 ur v Sloveniji

Pripravili smo spletno interaktivno karto za podrobnejši pregled stanja in napovedi debeline žleda ter nevarnosti pojava žledoloma. Spletna interaktivna karta je na voljo na naslednjem naslovu (slika 13): <http://www.zdravgozd.si/projekti/zledolom/karta.aspx?idpor=5242d483-4424-4297-b59a-37600b1edfee>



Slika 13: Spletna interaktivna karta za pregled trenutnega stanja in napovedi debeline žleda ter nevarnosti žledoloma za naslednjih 12 ur v Sloveniji. Na karti je primer napovedi za 1. 2. 2014 07:00.

Primer napovedi debeline žleda in nevarnosti žledoloma za datum 1. 2. 2014 ob 7:00 je na voljo na naslednjem naslovu: <http://www.zdravgozd.si/projekti/zledolom/karta.aspx?idpor=5242d483-4424-4297-b59a-37600b1edfee&datum=2014-02-01T06:00:00Z>

Zahvala

Članek in model je nastal v okviru CRP projekta Učinki žleda na gozdove glede na sestojne in talne značilnosti (V4-1422), ki sta ga financirala Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Projekt je bil prijavljen v okviru Raziskovalne/programske skupine za gozdno biologijo, ekologijo in tehnologijo (0404-003). Zahvaljujemo se Zavodu za gozdove Slovenije za podatke ocene poškodovanosti gozdov zaradi žledoloma v letu 2014 in recenzentu dr. Maartenu de Grootu za predloge izboljšav modela.

Viri

- ARSO. 2014. Sneg, žled in padavine od 30. januarja do 7. februarja 2014. Ljubljana, Agencija RS za okolje, Urad za meteorologijo: 21 str. [Povezava](#)
- Best A.C. 1950. The size distribution of raindrops. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 76, 327: 16-36.
- Bleiweis S. 1983. Pogostost in obseg škod zaradi ujm v slovenskih gozdovih. Gozdarski vestnik, 41, 6: 233-249.
- Cheng C.S., Auld H., Klaassen J., Li Q. 2007. Possible impacts of climate change on freezing rain in south-central Canada using downscaled future climate scenarios. Natural Hazards and Earth System Sciences, 7: 71-87.
- Dale V.H., Joyce L.A., McNulty S., Neilson R.P., Ayres M.P., Flannigan M.D., Hanson P.J., Irland L.C., Lugo A.E., Peterson C.J., Simberloff D., Swanson F.J., Stocks B.J., Wotton B.M. 2001. Climate change and forest disturbances. BioScience, 51, 9: 723-734.
- de Mendiburu F. 2015. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-3. [Povezava](#).
- Dolinar M., Vertačnik G. 2015. Ogroženost zaradi žleda, obdobje 1961-2014. Grafični sloj. Ljubljana, Agencija RS za okolje
- Forbes R., Tsonevsky I., Hewson T., Leutbecher M. 2014. Towards predicting high-impact freezing rain events. ECMWF Newsletter, 141: 15-21.

- Francis D., Hengeveld H. 1998. Extreme Weather and Climate Change. Toronto, ON, Canada, Environment Canada: 31 str.
- GURS. 2006. Digitalni model višin 12,5 m. Geodetska uprava Republike Slovenije
- Haiden T., Kann A., Wittmann C., Pistotnik G., Bica B., Gruber C. 2011. The Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) System and Its Validation over the Eastern Alpine Region. Weather and Forecasting, 26, 2: 166-183.
- Jakša J. 1997. Posledice snežnih in ledenih ujm v slovenskih gozdovih v zimah 1995/96 in 1996/97. Gozdarski vestnik: 55: 263-274.
- Jones K.F. 1996. Ice accretion in freezing rain. CRREL Report, 96-2: 1-22.
- Jones K.F. 1998. A simple model for freezing rain ice loads. Atmospheric Research, 46: 87-97.
- Jones K.F., Thorkildson R., Lott N. 2002. The development of a U.S. climatology of extreme ice loads, U.S. Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Environmental Satellite Data and Information Service, National Climatic Data Center: 1-23 str.
- Kastelec D. 1997. Pojav žleda v Sloveniji. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor, Hidrometeorološki zavod Republike Slovenije: 10 str.
- Kobler A., De Groot M., Kobal M. 2016. Analiza podatkov terenskega popisa posledic žleda januarja 2014. Projekt CRP Učinki žleda na gozdove glede na sestojne in talne značilnosti. Ljubljana, Gozdarski inštitut Slovenije: 78 str.
- Makkonen L. 1998. Modeling power line icing in freezing precipitation. Atmospheric Research, 46, 1-2: 131-142.
- Marinšek A., Celarc B., Grah A., Kokalj Ž., Nagel T.A., Ogris N., Oštir K., Planinšek Š., Roženberger D., Veljanovski T., Vochl S., Železnik P., Kobler A. 2015. Žledolom in njegove posledice na razvoj gozdov - pregled dosedanjih znanj. Gozdarski vestnik, 73, 9: 392-405.
- McComber P., Druez J., Laflamme J. 1995. A comparison of selected models for estimating cable icing. Atmospheric Research, 36, 3: 207-220.
- Ogris N. 2007. Model zdravlja gozdov v Sloveniji: doktorska disertacija. Ljubljana, [N. Ogris]: 138 str.
- Ogris N. 2012. Prognostične osnove za varstvo gozdov Slovenije. Ljubljana, Silva Slovenica: 104 str.
- Pohlert T. 2014. The Pairwise Multiple Comparison of Mean Ranks Package (PMCMR). R package. [Povezava](#).
- Pristov N., Cedilnik J., Jerman J., B. S. 2012. Priprava numerične meteorološke napovedi ALADIN-SI. Vetrnica, 4: 17-22.
- R Core Team. 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. [Povezava](#).
- Sørensen T. 1948. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species and its application to analyses of the vegetation on Danish commons. Biologiske Skrifter, 5, 4: 1-34.
- Šajn Slak A., Kršmanc R., J. M. 2012. INCA-CE - projekt, ki povezuje meteorološke službe osrednje Evrope s končnimi uporabniki. Vetrnica, 4: 61-63.
- Theil H. 1961. Economic forecast and policy. Amsterdam, Netherlands, North-Holland Publishing Company: 567 str.
- Willmott C.J. 1981. On the validation of models. Physical Geography, 2, 2: 184-194.
- ZGS. 2014. Načrt sanacije gozdov poškodovanih v žledolomu od 30. januarja do 10. februarja 2014. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije: 66 str.
- ZGS. 2015. Gozdni fondi. Podatkovna zbirka. Zavod za gozdove Slovenije
- ZGS. 2016. Timber. Podatkovna zbirka o poseku gozdnega drevja. Zavod za gozdove Slovenije

Citiranje: Nikica OGRIS, Neva PRISTOV, Andrej KOBLEK. 2016. Model za kratkoročno napoved pojava žledoloma v Sloveniji. Napovedi o zdravju gozdov, 2016. URL: https://www.zdravgozd.si/prognoze_zapis.aspx?idpor=29. DOI: [10.20315/NZG.29](https://doi.org/10.20315/NZG.29)

Prispelo: 28. 11. 2016. Sprejeto: 28. 11. 2016. Objavljeno: 02. 12. 2016.