

Žledolom in njegove posledice na razvoj gozdov – pregled dosedanjih znanj

Impacts of Ice Storms on Forest Development – a Review

Aleksander MARINŠEK^{1,2}, Bogomir CELARC³, Andrej GRAH⁴, Žiga KOKALJ⁵, Thomas Andrew NAGEL⁶, Nikica OGRIS⁷, Kristof OŠTIR⁸, Špela PLANINŠEK⁹, Dušan ROŽENBERGAR¹⁰, Tatjana VELJANOVSKI¹¹, Saša VOCHL¹², Peter ŽELEZNIK¹³, Andrej KOBLER¹⁴

Izvleček

Marinšek, A., Celarc, B., Grah, A., Kokalj, Ž., Nagel, T. A., Ogris, N., Oštir, K., Planinšek, Š., Rozenbergar, D., Veljanovski, T., Vochl, S., Železnik, P., Andrej Kobler, A.: Žledolom in njegove posledice na razvoj gozdov – pregled dosedanjih znanj. *Gozdarski vestnik*, 73/2015, št. 9. V slovenščini in povzetkom v angleščini, cit. lit. 58.

Žled je v naših gozdovih ena glavnih naravnih motenj, ki pogosto zelo vpliva na dinamiko gozdne vegetacije in funkcije gozdov. Poškodovanost zaradi žleda ponavadi povzroča zmanjšano vrednost lesa in povzroči negativne ekonomske posledice za gozdarstvo in lastnike prizadetih gozdov. Posredno se zaradi žleda povečuje tudi dovzetnost gozdnega drevja za različne bolezni in škodljivce. Različnih stopenj poškodovanosti gozdnega drevja ne povzročajo le žledenje samo, temveč nanjo posredno in neposredno vplivajo tudi drugi dejavniki. V prispevku skušamo odgovoriti na vprašanje, kako ob pojavu žledoloma različni dejavniki vplivajo na vrsto in obseg poškodovanosti gozdnega drevja. Namen našega prispevka je opisati glavne povezave med različnimi rastiščnimi dejavniki in lastnostmi gozdnih sestojev ter stopnjo oziroma vrsto poškodb na gozdnem drevju, ki nastane zaradi žledenja. Navajamo tudi smernice za izboljšanje stabilnosti in odpornosti gozdov proti žledu ter glavne ugotovitve, kako s pomočjo najnovejših tehnologij in metod nastalo škodo čim ustrežneje ocenimo.

Ključne besede: gozd, žled, poškodbe dreves, gospodarjenje z gozdovi, smernice za gospodarjenje, daljinsko zaznavanje

Abstract

Marinšek, A., Celarc, B., Grah, A., Kokalj, Ž., Nagel, T. A., Ogris, N., Oštir, K., Planinšek, Š., Rozenbergar, D., Veljanovski, T., Vochl, S., Železnik, P., Andrej Kobler, A.: *Impacts of Ice Storms on Forest Development – a Review*. *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 73/2015, vol. 9. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 58. Translated by the authors, proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

In Slovenian forests, ice storms are a very frequent natural disturbance process and have an important impact on forest structure, composition, and function. Moreover, tree damage due to ice accumulation usually leads to reduced value of timber and has negative economic consequences for forestry and forest owners. Indirectly, ice damage increases the susceptibility of forest trees to a variety of diseases and pests. In addition to ice storm

¹ Dr. A. M., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana; aleksander.marinsek@gozdis.si

² Dr. A. M., Višja strokovna šola za gozdarstvo in lovstvo, Ljubljanska cesta 2, SI-6230 Postojna;

³ Dr. B. C., Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, SI-1000 Ljubljana; Bogomir.Celarc@GEO-ZS.SI

⁴ A. G., dipl. inž. računalništva in informatike, Gorica 11C, SI-9201 Puconci; andrejgrah@gmail.com

⁵ Dr. Ž. K., Inštitut za antropološke in prostorske študije, ZRC SAZU, Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana; ziga.kokalj@zrc-sazu.si

⁶ Dr. T. A. N., Biotehniška Fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vodne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana; tom.nagel@bf.uni-lj.si

⁷ Dr. N. O., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana; nikica.ogris@gozdis.si

⁸ Dr. K. O., Inštitut za antropološke in prostorske študije, ZRC SAZU, Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana; kristof@zrc-sazu.si

⁹ Mag. Š. P., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana; spela.planinsek@gozdis.si

¹⁰ Dr. D. R., Biotehniška Fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive vodne vire, Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana; dusan.rozenbergar@bf.uni-lj.si

¹¹ Dr. T. V., Inštitut za antropološke in prostorske študije, ZRC SAZU, Novi trg 2, SI-1000 Ljubljana; tatjana.veljanovski@zrc-sazu.si

¹² S. V. univ. dipl. inž. gozd., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana; sasa.vochl@gozdis.si

¹³ Dr. P. Ž., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana; peter.zeleznik@gozdis.si

¹⁴ Dr. A. K., Gozdarski inštitut Slovenije, Večna pot 2, SI-1000 Ljubljana; andrej.kobler@gozdis.si

intensity, a variety of other factors contribute to damage patterns. In this article we attempt to answer some questions about how various factors affect the type and extent of damage to forest trees caused by freezing rain. More specifically, we outline some of the main relationships between different forest sites and stand characteristics and the degree and type of damage to forest trees. We also include some guidelines for improving stability and resilience of forest stands, as well as the main findings on how using the latest technologies and methods can help in estimating the extent and type of damage.

Key words: forest, ice storm, glaze, sleet, tree damage, management, silviculture guidelines, remote sensing

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Žled je meteorološki pojav, ki nastane tako, da ravno prav velike kapljice podhlajene vode pri dotiku s hladno podlago skoraj takoj primrznejo. Celoten del kapljice ne zmrzne takoj in polzeča voda v zraku s temperaturo malo pod 0 °C zmrzne šele čez čas, pa še to ne vsa (Mezgec, 2015). Čeprav so fizikalne razmere, v katerih nastane žled, dobro znane, je njegovo pojavljanje težko napovedati. Žled v gozdovih in na negozdnih površinah povzroča gospodarsko škodo in ga uvrščamo med naravne, abiotične motnje gozdnega ekosistema, ki jih ni mogoče preprečiti.

Skupna lastnost naravnih motenj v gozdnem ekosistemu je, da zelo vplivajo na zgradbo gozdnih ekosistemov, kroženje snovi in energije v njih. Motnja

je na splošno katerikoli dogodek v času, ki vpliva na razvoj ekosistema, življenjske skupnosti ali populacijske strukture in spremeni vire, razpoložljivost substrata ali fizično okolje (Pickett in White, 1985). Motnje lahko delimo po intenzivnosti na akutne in kronične, po časovnem trajanju na kratkotrajne in dolgotrajne, po predvidljivosti na predvidljive (ciklične) in nepredvidljive. Po izvoru jih delimo na naravne, antropogene in kombinirane ter po prostorskem obsegu na globalne, regionalne, krajinske, ekosistemske in mikrorastiščne. Tako žledenje lahko označimo kot akutno, kratkotrajno, nepredvidljivo naravno motnjo. Ponavadi poškodovanost gozdnega drevja zaradi žleda povzroči zmanjšano vrednost lesa in negativne ekonomske posledice za gozdarstvo in lastnike prizadetih gozdov. Posredno se zaradi tega povečuje tudi dovzetnost za razne bolezni in škodljivce gozdnega drevja.



Slika 1: Izruvano in prelomljeno drevo zaradi žleda v Sloveniji leta 2014 (foto: Jure Žlogar)

Figure 1: Uprooted and broken tree – consequence of ice damage in Slovenia in 2014 (photo: Jure Žlogar)

Večinoma ujme prikazujemo v negativnem kontekstu, saj povzročajo kratkoročno in dolgoročno ekonomsko škodo, ki jo težko nadomestimo, po drugi strani pa z ekološkega stališča takih motenj ne moremo označiti kot škodljive za ekosistem (Turner in Dale, 1998; Nagel in Roženberger, 2015).

Intenzivnost in vrsta poškodb na drevju zaradi žleda nista odvisni samo od mase žledu, ki se povečuje s povečano količino ledu na drevju. Glede na objavljene študije posredno in neposredno vplivajo na stopnjo in vrsto poškodovanosti drevja tudi naslednji dejavniki: vremenske razmere (količina padavin, temperatura zraka, dolžina obdobja ugodnih vremenskih razmer za razvoj žleda, jakost in smer vetra ...), gostota sestoj, vertikalna sestojna struktura, starost sestoj in dreves, drevesna višina, premer dreves, razmerje med višino in premerom, vrstni kot vej, prejšnje poškodbe dreves, velikost in stopnja asimetričnosti krošenj, bolezní gozdnega drevja, gozdnogojitveni sistem, drevesne vrste in nenazadnje lastnosti terena; nagib, lega, geološka podlaga, globina tal, skalovitost, kamnitost, vlažnost in tip tal (Bleiweis, 1983; Warrillow in Mou, 2003; Bragg in sod, 2003; Papež, 2005; Jakša, 2007; Saje, 2014).

1.1 Obsežnejši žledolomi v Sloveniji

1.1 Extensive sleets in Slovenia

Pogostnost in obseg najintenzivnejših žledolomov v Sloveniji je navedel že Saje (2014), zato o tem le na kratko. Žledolomi so najpogostejši v jugozahodni Sloveniji (Saje, 2014), izraziteje na visokem krasu in ob njegovem obrobju ter zunanji Primorski oziroma submediteranski Sloveniji (Perko in Pogačnik, 1996). Glede pogostnosti žledenja se je izkazalo, da se je v zadnjih osemnajstih letih, od leta 1995 do 2012, žled lokalno in z različno intenzivnostjo pojavljal vsako leto (ZGS, 2014). Zaradi žleda je bilo v tem obdobju saniranega 72.000 m³ lesa/leto. Poljanec in sod. (2014) ugotavljajo, da žledolomi povzročijo 7,6 % sanitarnega poseka oziroma 2,8 % od evidentiranega poseka.

Prve znane zapise o žledolomu navaja Domicelj za leto 1900 (Domicelj, 1900), ko je do 8 cm debela ledena obloga poškodovala 95 % gozdov na Notranjskem, predvsem v Vremški dolini in okolici

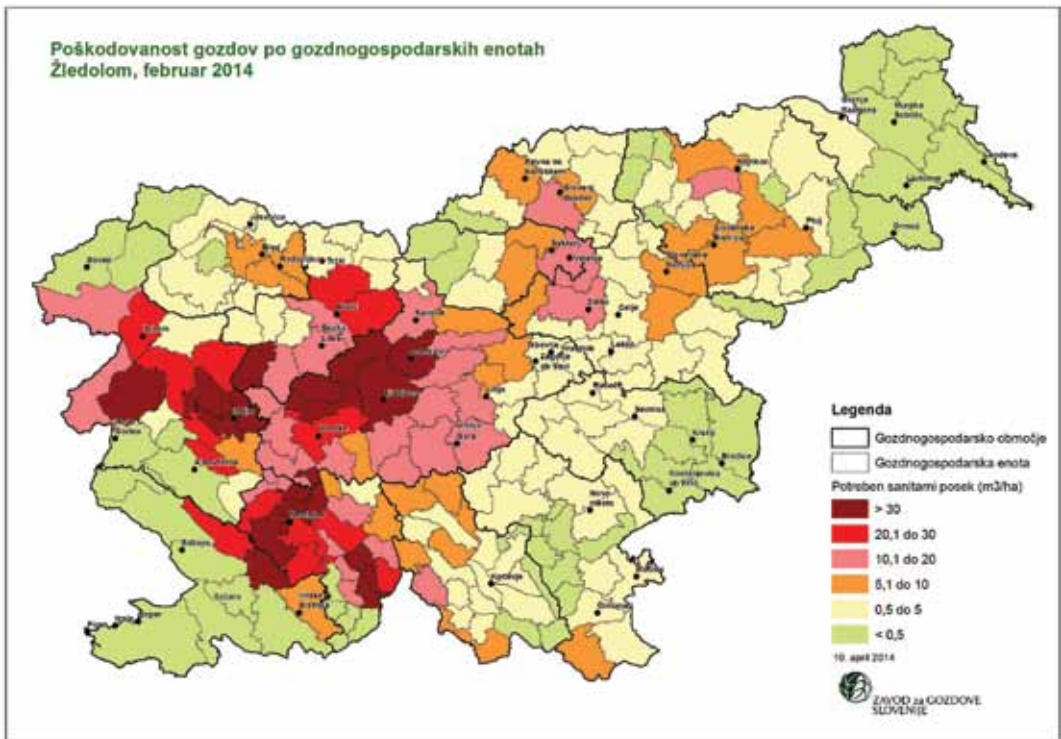
Pivke. Sledilo je še nekaj hujših žledolomov, ki so poškodovali več kot 100.000 m³ lesa. V idrijskih gozdovih je leta 1953 žled poškodoval 150.000 m³, pretežno bukve. Na začetku in ob koncu leta 1973 je žled v GGO Postojna, Tolmin in Kranj poškodoval skoraj pol milijona kubičnih metrov lesa. Mnogi se še spomnijo tudi izjemno hudega žledoloma leta 1980 v Brkinih in v Posavskem hribovju, kjer je do 7 cm debel ledeni oklep poškodoval 786.000 m³ lesa. V letu 1984 je žledolom v GGO Ljubljana poškodoval 110.000 m³ lesa, leto kasneje pa 500.000 m³ v GGO Kranj. Kombinacija snegoloma in žledoloma v zimi 1995/96 je v GGO Ljubljana Celje in Maribor poškodovala 681.000 m³ lesa, eno zimo kasneje pa še 867.000 m³ v GGO Tolmin, Bled, Kranj, Ljubljana, Postojna, Kočevje, Novo mesto in Brežice (Saje, 2014).

V primeru žledenja, ki je med 31. januarjem in 5. februarjem leta 2014 prizadel Slovenijo, lahko skorajda govorimo cikličnem, nepredvidljivem in glede na prostorski obseg širšem regionalnem pojavu. Pojav ni bil izjemen le zaradi časa trajanja in prostorske razširjenosti, temveč tudi zaradi obsega škode, ki jo je povzročil znotraj in zunaj gozdnega prostora (Sinjur in sod., 2014). Škoda je bila tolikšna zaradi kombinacije žleda, snegoloma in predhodnega deževja, ki je razmočil in zmehčal gozdna tla. Žled je na 601.900 ha (Slika 2) poškodoval različna gozdna rastišča in različne tipe gozdov, v katerih se gospodarji na različne načine (Veselič in sod., 2014). Glede na ocene (Kobler in sod., 2015) bo v naslednjih desetih letih treba obnoviti okrog 14.000 ha gozdov; predvsem z naravno obnovo. Na skoraj 1000 ha pa je predvidena umetna obnova s sajenjem.

2 POVEZAVA MED POŠKODOVANOSTJO ZARADI ŽLEDA IN GOZDNIM RASTIŠČEM

2 CONNECTIONS BETWEEN SLEET DAMAGE AND FOREST SITES

Slovenija je reliefno, podnebno in posledično tudi rastiščno zelo raznolika, njena lega pa je na stičišču štirih velikih evropskih geografskih enot: Alp, panonske regije, Dinarskega gorstva in Sredozemlja. Zato so določena območja bolj podvržena naravnim ujmam kot druga.



Slika 2: Poškodovanost gozdov zaradi žledoloma februarja 2014 po gozdnogospodarskih enotah ter potreben sanitarni posek v m³/ha. Vir: Zavod za gozdove. (http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/varstvo/2014Ujma/1_GGE_san_posek.jpg)

Figure 2: Damage to forests caused by ice break in February 2014 by forest management units and the necessary sanitary felling in m³/ha. Source: Slovenian Forest Service (http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/varstvo/2014Ujma/1_GGE_san_posek.jpg)

Najpogostejše poškodbe, ki nastanejo zaradi žledoloma, pa tudi snegoloma in vetroloma na gozdnem drevju, so: upognjenost drevja, lomljenje posameznih vej, odlomi vrhov dreves (predvsem pri iglavcih), izruvanje in odlom drevesa ter prelom debla. Pri izruvanju se drevo podre skupaj s koreninskim sistemom. Za odlom drevesa štejemo prelom drevesa v višini panja ali do višine 2 m od tal. O prelomu debla pa govorimo takrat, ko se debl prelomi nad višino dveh metrov nad tlemi (Jakša in Kolšek, 2009). Drevesa so sposobna preživeti tudi znatne poškodbe krošnje in postopoma obnoviti asimilacijski aparat, vendar pa je priraščanje v tem času oslABLJENO (Irland, 2000).

Posebno hude poškodbe rastišča nastanejo, ko se izruje celotno drevo skupaj s koreninskim sistemom (Slika 3). Pri tem nastane značilen obstojen relief s talnimi jamami in zemeljskimi kupi (ang. = *pit and mound relief*). Izruvana koreninska gruda se z

razpadanjem korenin v petih do desetih letih preoblikuje v zemeljski kup. V jamah in pripadajočih kupih se mikroklimatske in pedološke razmere značilno razlikujejo od okolice (Šamonil in sod., 2010). Kupi so toplejši in manj vlažni od okoliških tal, tla jam pa so hladnejša in vlažnejša od kupov in okoliških tal (razen v obdobjih debele snežne odeje). Intenzivnost fotosintetsko aktivnega sevanja (PAR) je na kupih večja in v jamah manjša od povprečja. Študije so pokazale, da je vsebnost ogljika in dušika v tleh jam in kupov na splošnem manjša, a hkrati še vedno ni značilno različna od vrednosti v nepoškodovanih tleh (Liechty in sod., 1997). Tla v kupih so v primerjavi s tlemi jam revnejša s hranili in bolj kislila (Šamonil in sod., 2010). Površina kupov prav tako vsebuje zelo malo organskih snovi, saj površino sestavlja prst iz globljih mineralnih slojev tal, ki se je držala koreninskega sistema. Zaradi oblike so kupi tudi zelo nestabilni in podvrženi



Slika 3: Izruvano drevo skupaj s koreninskim sistemom je velika poškodba za zgornje horizonte tal. (Foto: Aleksander Marinšek)

Figure 3: Uprooted tree represents serious injury to the upper soil layers (photo: Aleksander Marinšek)

eroziji. Te lastnosti otežujejo uspevanje rastlin na kupih (Liechty in sod., 1997; von Oheimb in sod., 2007; Ilisson in sod., 2007), čeprav je vrstna pestrost rastlinskih združb na kupih v primerjavi z jamami lahko tudi večja (Peterson in sod., 1993). Z vidika ekosistema povzroča ruvanje večje spremembe v delovanju ekosistema, saj se s skupaj z izruvanim drevesom na območju, kjer je koreninilo, uniči oz. poškoduje tudi rastišče. Po drugi strani pa pomenijo kupi priložnost za vrste, ki se lažje obnavljajo na mineralnih tleh.

Glede na sestojno zgradbo, količino žleda in zgodovino sestoja se škoda v sestojih lahko giblje od majhne in točkovne pa vse do popolne poškodovanosti gozdnega sestoja. Pri žledu manjše intenzivnosti so poškodbe omejene na lomljenje posameznih vej, pri močnejšem žledu pa nastajajo večje poškodbe drevoja (Jakša in Kolšek, 2009), kot so prelomi, odlomi in izruvanje celotnega drevesa (Slika 1). Po močnejšem žledolomu, v kombinaciji s snegolomom, ki se je zgodil pozimi 1996/97 in poškodoval približno 8 % slovenskih gozdov, Jakša (1997) ugotavlja, da so bili najbolj prizadeti sestoji ob pobočjih jarkov, gozdnem robu in infrastrukturnih objektih v gozdu. Proti poškodbam, ki jih

povzroča žled, so najbolj odporni starejši sestoji in sestoji na grebenastih in prisojnih legah (Papež, 2005). Glede na drevesno vrsto listavcev so bili po podatkih ZGS (2014) zaradi žleda med letoma 1995 in 2012 najbolj poškodovani: črni gaber, mali jesen, siva jelša, črna jelša in breza. Sestoji listavcev so najbolj prizadeti na strmih pobočjih in rastiščih s plitvimi tlemi (Jakša, 1997). Glede iglavcev pa Jakša (1997) ugotavlja, da starejšim iglavcem žled predvsem lomi vrhove, v primeru prisotnosti razmočenih tal in/ali močnejšega vetra pa jih tudi izruje. Zagotovo na stopnjo in vrsto poškodbe ne vpliva le en dejavnik, temveč po navadi kombinacija in sinergija več dejavnikov, ki vplivajo na stopnjo poškodovanosti v okviru določenega rastišča. Na nekem rastišču z enako matično podlago, globino tal, naklonom, lego idr. so poškodbe lahko veliko večje v sestojih, ki niso negovani ali pa so pregosti in imajo visoko razmerje med višino drevesa in prsnim premerom. Sestoji so slabo odporni proti vetrolomom, snegolomom in žledolomom še nekaj let po redčenju zaradi vrzelastih in rahlih sklepov krošenj. Zato v primeru žleda (ali drugih ujm) lahko nastane zaporedno podiranje dreves oz. domino učinek (Saje, 2014).

Za vrste poškodb, ki jih povzroča žled, lahko potegnemo analogijo iz poškodovanosti zaradi vetrolomov, kjer je poškodovanost odvisna od hitrosti vetra, v primeru žleda pa njegove količine na drevju, oblike terena, vrste in stanja tal, predvsem v povezavi z vodo, drevesno vrsto, razvojno fazo sestoja, obliko krošnje ter obliko sestoja in zarasti. Uklonska sila, ki deluje na drevo v primeru vetra, žleda ali celo kombinacija obojega, je lahko tolikšna, da lahko izruje ali zlomi še tako dobro ukoreninjeno ali debelo drevo (Jakša in Kolšek, 2009). Vseeno pa pri zmernih jakostih žledenja na stopnjo in vrsto poškodb vplivajo tudi lastnosti rastišča. Stanje zemljišča zelo vpliva na možnost, da bo drevo izruvano. Možnost izruvanja se veča z razmočenostjo zemljine, v katero drevo korenini (Jakša in Kolšek, 2009; Irland, 2000). Ravno razmočena in zmehčana gozdna tla so bila značilna za katastrofalen žled v letu 2014 in so povečala poškodovanost gozdnega drevja zaradi izruvanja celotnih dreves. Kadar je zemljišče suho ali zmrznjeno, pa se veča verjetnost preloma drevesa. Tveganje preloma povečuje tudi okuženost drevja s patogenimi glivami (Jakša in Kolšek, 2009) ter stare poškodbe debel.

Ena od lastnosti gozdnega rastišča je nadmorska višina. Irland (2000) je za ameriške razmere dokazal, da se z nadmorsko višino značilno povečuje tudi količina žleda na drevju. Dejstvo, da topografija pomembno vpliva na povečevanje škode zaradi žleda, ugotavljajo tudi drugi raziskovalci (Boerner in sod., 1988; Walker in Oswald, 2000; Pasher in King, 2006); še posebno, če so višje lege bolj nagnjene k pojavu žledenja. Lokalno je lahko v višjih legah žledenje bolj intenzivno kot v nižjih predelih zaradi nižjih temperatur zraka in obilnejših padavin.

Prav tako je kopičenje žleda povezano z lego rastišča. Po eni strani so talne razmere na rastiščih, ki se pojavljajo na različnih legah, različne, po drugi strani pa so rastišča na določenih legah lahko bolj izpostavljena nizkim temperaturam in močnejšim vetrovom, kar vpliva na večji obseg in stopnjo poškodovanosti sestojev (Nicholas in Zedaker, 1989; Lafon in sod., 1999; Warrillow in Mou, 1999). Večje škode zaradi žledoloma so opazili tudi na izpostavljenih višjih predelih pobočij, predvsem kot posledico močnejših

vetrov (Rhoads in sod., 2002). Isti avtorji navajajo, da večja škoda nastaja na strmejših terenih, ob vodotokih in na dnu dolin, kar pripisujejo fini teksturi tal in globini koreninjenja. Lafon (2004) je z modeliranjem predvidel, da na blagih terenih nastajajo predvsem poškodbe krošenj, medtem ko se z večanjem nagiba terena povečuje verjetnost resnejših poškodb dreves (prelomi debela in izrutje celotnega drevesa). Nagnjenost terena botruje tudi k temu, da drevje, predvsem na osojnih pobočjih, razvije asimetrično krošnjo. Enostranska obtežitve zaradi velike količine žleda lahko posledično povzroči zlom dela ali celotne drevesne krošnje (Rebertus in sod., 1997; Seischab in sod., 1993). Seischab in sod. (1993) so v raziskavi v Severni Ameriki ugotovili, da je bilo v različnih gozdnih združbah najbolj prizadeto drevje z gozdnega roba in drevje na strmih terenih, predvsem na vzhodnih in severnih legah. Proulx in Greene (2001) sta z raziskavo dokazala, da so se robna drevesa in drevesa na strmih terenih zaradi žleda upognila ali prelomila v smeri daljše osi asimetrične krošnje. Podobno sta ugotovila tudi Warrillow in Mou (1999), in sicer, da se največje škode pojavljajo na strmih terenih z vzhodno lego. Gay in Davis (1993) sta za območje Severne Amerike ugotovila, da na pogostnost žledenja neposredno vpliva tudi geografska širina. Ugotovila sta, da obstajata dva splošna trenda glede frekvence in trajanja žledenja v JV delu ZDA, kjer so žledolomi najpogostejši: pogostnost in dolžina trajanja žledenja se večata na gradientu od priobalnih predelov proti gorskim območjem ter od juga proti severu.

Geološko (litološko) podlago pod tlemi lahko tvorijo različni tipi kamnin ali sedimentov, ki v povezavi z drugimi dejavniki (podnebje, nadmorska višina, nagib, usmerjenost pobočja) tvorijo tla različnih debelin in geomehanskih lastnosti, ki poleg drugih dejavnikov vplivajo na odpornost dreves proti žledolomu. Literature, ki bi se ukvarjala z neposrednim vplivom litološke podlage na poškodbe dreves, je zelo malo. Izjema v Sloveniji je le raziskava Šifrerja (1977), kjer je litološka podlaga le bežno omenjena med drugimi dejavniki. Z razrastom korenin v matično kamnino pod tlemi in vplivom na izruvanje so se ukvarjali Phillips in sod. (2008), vpliv izruvanja dreves na stopnjo erozije matične kamnine

in spreminjanje debeline tal pa sta raziskovala Gabet in Mudd (2010). Klastične kamnine in sedimenti, magmatske in metamorfne kamnine tvorijo debelejša tla in hitreje ter globlje prepe-revajo kot tla na karbonatni podlagi. Na strmih pobočjih nastajata drsenje in plazenje sedimenta, drevesa so nagnjena, kar povzroči neenakomerno obtežitev ob žledenju. Za Slovenijo je značilno, da veliko površino pokrivajo karbonatne kamnine, predvsem apnenec in dolomit. Na apnencu so tla na splošno plitvejša. Izdanki (kamnina ali ruda, ki je na zemeljskem površju) se pojavljajo na površini tudi na položnih pobočjih, tako da drevesa deloma koreninijo tudi v razpokah in zato je na taki podlagi pričakovati manjše poškodbe oziroma pretežno odlome. Dolomit je mehansko precej manj odporen od apnenca, preperina na njem je debelejša, razpokan je precej bolj na gosto. Na dolomitni podlagi je pričakovati izruvanje dreves, podobno kot na klastični podlagi. Pomemben dejavnik je torej tudi geomehanska odpornost kamnin proti tektonskim procesom, od katerih so odvisni usmerjenost, gostota, odprtost, oblika tektonskih diskontinuitet, posledično pa tudi hitrost preperevanja. Pri nekaterih kamninah so pomembne diskontinuitete, tudi plastovitost, ki je zaradi kasnejših tektonskih procesov sedaj različno usmerjena. Šifrer (1977) omenja, da so bile med žledenjem leta 1975 poškodbe največje na površinah, pokritih z debelo preperino, periglacialnim drobirjem, ter na dolomitnih tleh, peščenjakih in glinavcih, medtem ko so bile na apnenčastih tleh veliko manjše. Pri nadaljnjih raziskavah bi bilo smiselno primerjati vrsto in stopnjo poškodovanosti zaradi žledoloma z geološko podlago, po možnosti na takšnem območju, kjer bi bili drugi vplivni dejavniki vsaj približno enaki.

Tudi posebna rastišča, kot so npr. mrazišča, so lahko vzrok za povečano pogostost pojavljanja žledu. To so rastišča, kjer se zajezi hladen zrak oziroma rastišča, kjer zastajajo žepi hladnega zraka (Lafon in sod., 1999; Walker in Oswald, 2000). Dejstvo, da lokalna topografija igra pomembno vlogo, so izpostavili tudi kanadski raziskovalci Kerry in sod. (1999). Za območja, kjer je pogostost žledenja večja, so posebej izpostavili doline in kotline, v katere je ujet hladen zrak. Njihova raziskava je pokazala tudi, da se škoda zaradi

žleda lokalno spreminja, odvisna pa je predvsem od sestave drevesnih vrst, režima gospodarjenja z gozdom, nagiba terena in lege rastišča. Podobne so tudi ugotovitve Rebertusa in sod. (1997) v Misso-uriju. Ugotovili so, da je odstotek poškodovanosti dreves višji na bolj zmerno vlažnih rastiščih ter da je dno dolin bolj občutljivo za žled, in sicer predvsem zaradi zadrževanja hladnega zraka ter osojnih leg, zaradi katerih se žled na drevju obdrži dalj časa. Warrillow in Mou (1999) pa v primeru gorskega predela Apalačev nasprotno ugotavljata, da je bilo najmanj škode zaradi žledu na vznožju in dnu dolin.

Pogosta protislovja v povezavi med različnimi dejavniki ter povzročeno škodo in njeno inten-zivnostjo nakazujejo kompleksnost, zaradi česar je vsak žledolom unikaten in težko predvidljiv (Bragg in sod., 2003).

3 METODE UGOTAVLJANJA POŠKODOVANOSTI DREVJA IN GOZDOV ZARADI ŽLEDA

3 METHODS USED FOR THE ESTIMATION OF SLEET DAMAGE

3.1 Daljinsko zaznavanje gozdnih ujm

3.1 Remote sensing

V Evropskem gozdarskem inštitutu EFI (Gardiner in sod., 2010) ugotavljajo, da je v EU nujno treba vzpostaviti mehanizme, ki naj omogočajo ažurne, lahko dostopne in natančne informacije o gozdnih ujmah in njihovih posledicah. Nujni del takega mehanizma je uporaba podatkov daljinskega zaznavanja, iz katerih je hitro mogoče pripraviti karte geografskega obsega poškodovanih gozdov in resnosti poškodb gozda. Mnogi podatki sate-litskega in letalskega daljinskega zaznavanja se že dolga leta rutinsko snemajo, zato je mogoče stanje po ujmi primerjati s stanjem pred njo. Če primer-jamo satelitska in letalska snemanja, so največje prednosti prvih cenenost, ažurnost in hkraten zajem velikih površin. Satelitsko sliko poškodova-nih gozdov za zelo velika območja je v jasnem vremenu mogoče dobiti že v nekaj dneh po ujmi, kar lahko zagotovi prvo objektivno informacijo o obsegu škode. Prednost letalskih snemanj pa je večja podrobnost podatkov, zato z njimi lahko pripravimo natančnejše ocene škode in podlage

za sanacijo. Letalska snemanja lahko ponudijo še mnogo več kot le fotografije in DOF (digitalni ortofoto posnetki). Jeseni 2014 in spomladi 2015 je bila Slovenija v okviru projekta Lidarsko snemanje Slovenije 2014/2015 (Ministrstvo za okolje in prostor) v celoti posneta z lidarjem. Lidar je tehnologija aktivnega daljinskega zaznavanja, ki daje podrobne tridimenzionalne podatke o horizontalni in vertikalni strukturi gozdnih sestojev in višini drevja. To omogoča objektivno oceno ne le geografskega obsega škode, ampak tudi poškodb sestojnih struktur in sprememb sestojnih višin. Na podlagi vseslovenskih lidarskih podatkov na Gozdarskem inštitutu Slovenije, Zavodu za gozdove in Geodetskem inštitutu Slovenije že potekajo aktivnosti za vključitev lidarskih podatkov v kartiranje katastrofalnega žledoloma iz februarja 2014.

Tehnologija daljinskega zaznavanja ponuja velikopovršinski pogled na pokrajino, zaradi namenskih senzorjev pa tudi konsistentna (primerljiva in sistematična) opazovanja. V zadnjem desetletju je mogoče zaslediti številne iniciative in podporo specializiranih vesoljskih programov za vegetacijske študije (npr. izstrelitev satelita za opazovanje vegetacije PROBA-V v letu 2013, sateliti Sentinel 2 in 3 v bližnji prihodnosti), ki z omogočanjem dostopa do prostorskih podatkov vzpostavljajo okvir za stalno satelitsko spremljanje gozdov na svetovni, pa tudi na meddržavni, državni ali krajevni ravni. V prihodnjih letih bodo serije satelitskih podatkov vse gostejše (prehod na dnevna oz. nekajdnevna opazovanja iste lokacije) ter podrobnosti prikaza mnogo natančnejši (bistveno pod 100 m).

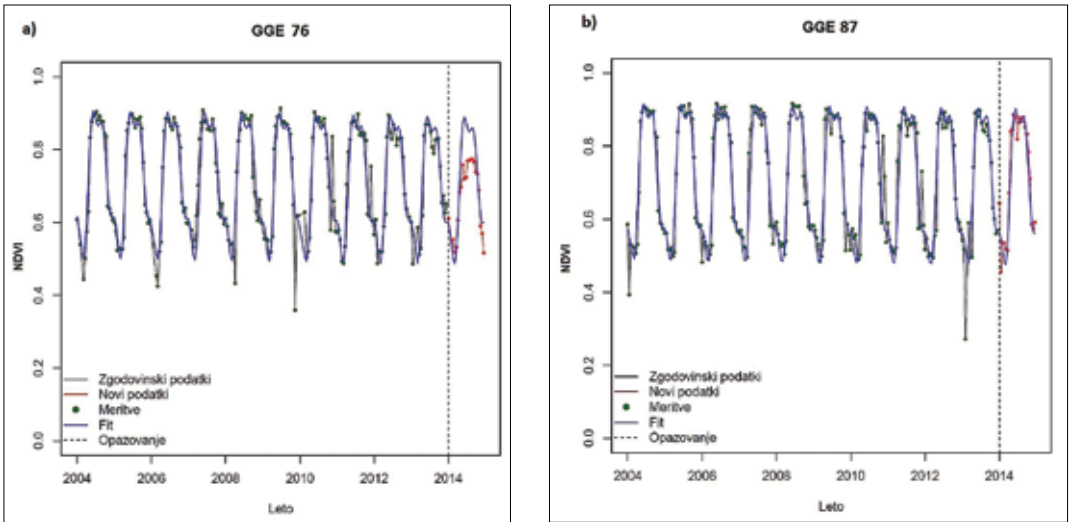
Uporaba optičnih satelitskih posnetkov v gozdarstvu je že razširjena v spremljanju (monitoringu) zaščitenih območij (habitato) in intenzivno gospodarsko izkoriščanih območjih, v sistemih zgodnjega opozarjanja za požarno ogroženost in ocenjevanju posledic požarov in vetrolomov v gozdovih (Dees, 2014; Kennedy in sod., 2009; Souza in sod., 2005; Miller in sod., 2002; Schardt in sod., 1996; Smith in sod., 2015), redkejši pa so primeri ocenjevanja posledic po ledenih ujmah (žledolomu) oziroma spremljanja procesov po tovrstnih motnjah (učinki naravne obnove, sanacije). Schelhaas s sodelavci (2003) tudi ugotavlja,

da so vetrolomi in požari v evropskih gozdovih pogostejši pojavi kot žledenje.

Za kartiranje, oceno in spremljanje motenj v gozdovih se najpogosteje uporablja kombinacija podatkov in tehnik za daljinsko zaznavanje (satelitskih in letalskih) ter statističnih modelov (Aszalós in sod., 2012; Kennedy in sod., 2010). Spremembe v rastju se odražajo preko sprememb v spektralnih podpisih oziroma odbojnosti. Pri večspektralnih posnetkih iz kombinacij kanalov pridobimo informacije o stopnji aktivnosti fotosinteze, stresa, vsebnosti vlage in drugih biofizikalnih lastnostih rastlin, na podlagi katerih lahko interpretiramo, kje je prisotna vegetacija (npr. vegetacijski indeksi NDVI, FVC, fAPAR, LAI), stanje vegetacije (npr. zdravstveno stanje, produktivnost, sušni stres), zasledujemo trend sprememb (npr. fenološke faze, motnje, poškodbe) ali ocenjujemo strukturne lastnosti sestojev.

Največ študij za oceno učinkov ledenih ujm je opravljenih za severnoameriške (Olthof in sod., 2004; King in sod., 2005) in kitajske (Shao in sod., 2011; Xu in sod., 2013) gozdove in praviloma temeljijo na izračunu normiranega diferencialnega vegetacijskega indeksa NDVI (Slika 4a,b). Le posamične študije obravnavajo dogodke, povezane z ledenimi ujmami na evropskih tleh. Šimić Milas in sod. (2015) so v svoji študiji prikazali uporabnost posnetkov Landsat 8 za hitro oceno škode v gozdu po žledolomu in poplavih leta 2014 na Hrvaškem. Aszalós in sod. (2012) so na primeru starejših žledolomov na Madžarskem proučevali zmožnosti napovedanja motenj ledenih ujm s pomočjo podatkov, pridobljenih iz aeroposnetkov in terenskih pregledov. Zanimivo je tudi primer operativnega kartiranja posledic neurij na Poljskem s posnetki RapidEye v okviru sistema, zasnovanega za spremljanje in poročanje o evropskih gozdovih (Dees, 2014).

Satelitsko daljinsko zaznavanje zagotavlja zvezno porazdeljene kvantitativne meritve parametrov gozda, zaznavanje sprememb in zgodnje trende razvoja ter sprotno kartiranje stanja. Smiselno dopolnjuje podatke terenskih pregledov pri velikopovršinskem spremljanju gozdov ali na težje dostopnih območjih. K integriranemu opazovanju gozdov lahko dodaja konkretne prednosti bodisi v razumevanju kompleksnih odnosov v gozdnih



Slika 4: Potek vegetacijskega indeksa NDVI za GGE 76 (Jezerščak), kjer so zaznane posledice žleda (a), ter za GGE 87 (Žrni dol), kjer žledenje ni bilo prisotno/zaznano; (b) vegetacijski indeks je izračunan iz satelitskih podatkov MODIS (16-dnevni kompozit, 300 m prostorska ločljivost) za desetletno obdobje in je povprečen za območja gozda znotraj posamezne GGE.

Figure 4: Vegetation index NDVI dynamics for the forest management unit 76 (Jezerščak), where the consequences of ice sleet can be perceived (a) and for the forest management unit 87 (Žrni dol) where ice sleet disturbance was not present (b). Vegetation index is calculated from the MODIS satellite data (16 day composite, 300 m spatial resolution) for the ten-year period and the average in the area of forest within a forest management unit.

ekosistemih pa tudi v načrtovanju in spremljanju gozdnogospodarskih ukrepov.

Uvajanje sodobnih tehnoloških sredstev navadno pomeni racionalizacijo dela in večjo kakovost storitev. Pomislimo na leto 2001, ko sta Kopše in Hočevar podala oceno o uporabi GPS-navigacije v gozdni inventuri, ki je spodbudila uporabo GPS-sprejemnikov v gozdarstvu in so zdaj nepogrešljiv del terenske opreme.

4 NEKATERE SMERNICE ZA IZBOLJŠANJE STABILNOSTI IN ODPORNOSTI GOZDOV PROTI ŽLEDU

4 GUIDELINES FOR IMPROVEMENT OF STABILITY AND RESILIENCE OF FORESTS

Pri gospodarjenju z gozdovi si po naravnih ujmah, kot je bil žledolom leta 2014, po navadi prizadevamo za izboljšanje njihove stabilnosti in odpornosti. Povečanje stabilnosti pomeni manjšo dovzetnost dreves za hujše poškodbe, večja odpornost pa povečano sposobnost gozda,

da si opomore po večjih ujmah. Odpornost lahko definiramo kot čas, ki je potreben, da se sestojna struktura, drevesna sestava in procesi v gozdu vrnejo v podobno stanje, kot je bilo pred ujmo.

Nekaj temeljnih smernic za izboljšanje stabilnosti in odpornosti gozdnih sestojev.

Stabilnost

- Mlajši gozdovi v fazi letvenjaka ali drogovnjaka, ki so bili prereditveni pred nedavnim (npr. < 5 let), niso imeli dovolj časa za rast debla (izboljšanje HD-razmerja) in korenin. Taki sestoji so zato mehansko nestabilni in še posebno občutljivi za žledolom (Bragg in sod., 2003). Pri uporabi gojitvenih zvrsti, kot so zastorno ali skupinsko postopno gospodarjenje, moramo zato paziti, da se izogibamo hkratnemu izvajanju redčenj na večjih površinah. Redčenja naj bodo raje opravljena na manjših ločenih površinah in pogosteje. Pomembna je pravočasnost; zelo občutljivi so sveže prereditveni sestoji, kjer je bilo redčenje opravljeno prepozno.
- Alternativa manjšemu obsegu in časovni razporeditvi redčenj je lahko tudi t.i. minimalna

nega. Pri tem načinu nege v mlajših sestojih izberemo samo 60 do 80 najbolj kakovostnih in vitalnih dreves na hektar, ki jim z izbiralnim redčenjem zagotovimo več ravnega prostora, pri čemer načrtno pospešujemo simetrično rast krošnje. Slednje je še posebno pomembno na strmih pobočjih, kjer širimo rastni prostor v smeri po pobočju navzgor. Stroški pri tovrstnem ukrepanju so v primerjavi s klasičnim izbiralnim redčenjem manjši, v sestoji pa tako vzpostavimo mrežo točk s povečano (tudi kolektivno) stabilnostjo.

- Pri vsaki naravni ujmi, ne samo pri žledu, so gozdovi s homogeno strukturo in manjšo strukturno in vrstno pestrostjo bolj ogroženi, še posebno, če v njih prevladujejo ranljive drevesne vrste, ki so občutljive za določene ujme in uspevajo na bolj izpostavljenih mestih. V raznodobnih gozdovih je zato večja stabilnost mešanih sestojev (Spiecker, 2003).
- Na rastiščih, kjer je velika pogostnost žledenja, je priporočljivo povečati delež proti žledu odpornejših drevesnih vrst. To so vrste, ki so bolj odporne za poškodbe krošnje in prelom debla. Izboljšati je treba tudi zdravstveno stanje gozdnih sestojev in iz sestojev odstraniti bolna in poškodovana drevesa (Bragg in sod., 2003).
- Vzpostaviti je treba stalni nadzor preživelih, vendar zelo poškodovanih dreves (izguba več kot 50 % krošnje), ki niso bila odstranjena pri prvi sanaciji žledoloma. Taka drevesa se namreč zelo hitro okužijo z različnimi boleznimi in škodljivci ter so kasneje v veliki meri podvržena odmiranju in poškodbam zaradi novih motenj (Bragg in sod., 2003, Shortle in sod., 2003).

Odpornost

- Mešani raznodobni sestoji so bolj odporni proti motnjam zato, ker imajo povečano vrstno in strukturno pestrost, kar pomeni, da so na majhni površini gozda drevesa različnih starosti, premerov in višin. Tako skupaj uspevajo odrasla drevesa, podstojna drevesa in različne razvojne stopnje podmladka. Glede na raziskave zaradi žleda poškodovanih gozdov v sestojih vedno ostane del populacije dreves, ki je preživel ujmo in je sposoben hitrega odziva in razvoja v nov sestoj. S tega stališča

je torej priporočljivo, da pospešujemo pestrost drevesnih vrst, raznodobno in raznomerno sestojno strukturo in relativno neprekinjeno pomlajevanje. Povečana genetska in habitatna pestrost gozdov, kot posledica naših ukrepov, lahko izboljša tudi potencial gozdov pri prilagajanju na podnebne spremembe (Spiecker, 2003; Lindner in sod., 2008).

- Če nameravamo sanirane površine pomladiti s sajenjem, je treba dati prednost ustreznim vrstam in proveniencam, ki so manj dovzetne za škodo ter obenem odporne proti suši, kar naj bi olajšalo njihovo prilagajanje na podnebne spremembe. Po oceni Westergrenove in sod. (2015) bo na podlagi Načrta sanacije gozdov, poškodovanih v žledolomu leta 2014 treba zagotoviti 2,26 mio sadik in seme za pogozditev 877 ha gozdov. Čeprav sta slovensko drevesničarstvo in semenarstvo trenutno v slabem položaju (slabo financiranje, težave pri pridobivanju semen, vzgoji sadik, pomanjkanje drevesnic), je treba čim bolj ustrezno zagotavljati rastiščem primeren oz. prilagojen gozdni reprodukcijski material velike genetske pestrosti. Priporočljiva je čim bolj lokalna uporaba gozdnega reprodukcijskega materiala, ki je nabran iz zadostnega števila dreves (Westergren in sod., 2015).
- Nujna gozdnogojitvena ukrepa za uspeh saditve sta priprava sestoja za saditev (npr. odstranjevanje grmovnic) in večkratna obžetev mladja (Diaci in sod., 2015).
- Glede na veliko številčnost populacij srnjadi in jelenjadi v Sloveniji objedanje mladja zelo zmanjšuje prirastek mladovij in vpliva na vrstno sestavo (Nagel in sod., 2015). Zato je treba skrbno spremljati poškodovanost mladja zaradi objedanja in na problematičnih območjih s primernimi ukrepi zmanjšati poškodovanost.

5 ZAKLJUČEK

5 CONCLUSIONS

Določene lastnosti rastišč (npr. naklon terena) približno enako vplivajo na poškodovanost gozdnega drevja zaradi žleda v vseh primerih raziskav. Po drugi strani pa za določene dejavnike rastišč in drevesnih sestojev raziskovalci ugotavljajo

tudi nasprotujoče si rezultate študij (listavci-iglavci, topografija ...). To kaže na dejstvo, da najbolj dovzetna vrsta za poškodbe po žledu v eni topografski kategoriji morda ni najbolj dovzetna v drugi (Warrillow in Mou, 1999). Žled poleg poškodb gozdnega drevja, predvsem pri večjem številu izravnanih dreves, povzroči tudi poškodbe gozdnih tal (pojavljanje talnih jam in zemeljskih kupov), ki lahko resno otežijo obnovo sestojev.

Razen rastišč, na katerih se žledenje z veliko verjetnostjo pojavlja ciklično, ni priporočljivo, da se osredotočamo le na izboljšanje stabilnosti in odpornosti za primer žledoloma, saj na gozdove v Sloveniji zelo vplivajo tudi drugi dejavniki žive in nežive narave. Če bi bili, na primer, prihodnji sestoji sestavljeni le iz vrst, ki so odporne proti poškodbam zaradi žleda (npr. nekateri iglavci), bi jih po drugi strani lahko ogrozili podlubniki, vetrolomi ali suše. Načrtovani gojitveni ukrepi morajo zato upoštevati vse zunanje dejavnike, ki vplivajo na razvoj gozda.

Količina lesa v Evropi, ki je bila poškodovana zaradi vetra, podlubnikov in gozdnih požarov, se je v zadnjih štiridesetih letih potrojila (Seidl, 2014). Nemogoče je, da bi naravne ujme, predvsem ekstremne, nadzorovali z gospodarjenjem, še posebno, če upoštevamo prihodnje podnebne spremembe in negotovost pri napovedovanju razvoja gozdov. Naravne ujme moramo zato upoštevati kot dejavnik, ki vpliva na razvoj gozdnega ekosistema, in jih vključiti v gozdnogospodarske strategije. To je še posebno pomembno zaradi pomembne vloge, ki jo imajo pri ustvarjanju pestrejših habitatnih razmer (npr. mrtev les, pokrajinska heterogenost) in posledično izboljšane biotske raznovrstnosti v slovenskih gozdovih.

Čeprav so naše možnosti gozdnogojitvenega ukrepanja omejene, je v primeru gozdov, ki uspevajo na žledu izpostavljenih rastiščih, priporočljivo upoštevati smernice in napotke za krepitev stabilnosti in odpornosti gozdnih sestojev. Vsekakor pa moramo biti zaradi vse pogostejših in intenzivnejših naravnih ujm nanje pripravljeni, in sicer predvsem z izdelavo metodologije najbolj optimalnega ocenjevanja škode, načrtom sanacije poškodovanih sestojev ter z dolgoročnim spremljanjem zdravstvenega stanja gozdov.

6 ZAHVALA

6 ACKNOWLEDGEMENT

Prispevek je nastal v okviru ciljnega raziskovalnega projekta Učinki žleda na gozdove glede na sestojne in talne značilnosti (projekt V4-1422), ki sta ga financirala Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano ter Agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije. Pripombe in predlogi prof. dr. Jurija Diacija so pripomogle k izboljšavi članka, za kar se mu lepo zahvaljujemo.

7 SUMMARY

Freezing rain is one of the most common natural disturbance agents in Slovenian forests. They have an important impact on natural forest dynamics and ecosystem functions, yet they also reduce the value of timber and cause short and long-term economic losses for the forestry sector and forest owners (Nagel and Roženberger, 2015). According to the published studies, the degree and type of ice damage are influenced by different factors: weather conditions, stand density and vertical structure, tree species, age of a stand, species composition, tree height and diameter, h:d ratio, asymmetry of crowns, wood characteristics, previous injuries of trees, management practices, topography, altitude, inclination and aspect of slope, geology, soil characteristics etc. (Warrillow and Mou, 2003; Bragg et al., 2003; Papež, 2005; Bleiweis, 1983; Jakša, 2007; Saje, 2014). The degree and type of injuries are not a result of a single factor, it is usually a combination and synergy of several factors affecting the level of damage within a given forest site.

We outline some basic recommendations from the forestry literature to increase stability and resilience of forest trees and stands:

Stability:

- Young forests (pole stands) that have been recently thinned (e.g. < 5 years) are particularly vulnerable to ice damage because they have not had sufficient time to add bolewood and roots (Bragg et al., 2003). As such, in forest stands managed with even-aged silviculture, such as shelterwood or group selection systems, thinning large areas during single stand entries

- should be avoided. Thinning treatments should rather be smaller and separated in space and time.
- As with any disturbance agent (not just ice), forests with homogeneous structure and few species are at higher risk to disturbance, particularly if they are comprised of species that are vulnerable to a given disturbance agent and on sites that are at higher risk. This is one of the main advantages of mixed species and uneven-aged stands (Spiecker, 2003).
 - On sites that are highly vulnerable to repeated ice damage, it may be advisable to increase the proportion of species that are less resistant to crown breaking and bole snapping, make efforts to increase the health of stands (i.e. remove trees with disease and defects), and limit, if possible, the development of highly asymmetrical crowns (Bragg et al., 2003).
 - It is important to monitor the surviving trees that were heavily damaged (more than 50% crown loss), but not removed from the stand during initial salvage treatments. Such trees are likely to become infected with pathogens and are high risk for mortality or future damage from disturbance (Bragg et al., 2003; Shortle et al., 2003).

Resilience:

- In addition to decreasing disturbance risk, mixed-species uneven-aged stands are more resilient to disturbance because they often have adult trees, subcanopy trees, and many cohorts of regeneration that survive disturbance and are able to quickly develop into a new stand. Therefore, to the possible extent, it is recommended to promote increased tree diversity, multi-aged structure at small scales, and relatively continuous regeneration. The resulting increase in diversity, age-cohorts, and genetic diversity should improve the potential of forests to adapt to climate change (Spiecker, 2003; Lindner et al., 2008).
- If areas are to be planted following salvage logging, preference should be given to appropriate species and provenances that are drought tolerant, which should facilitate adaptation to climate change.

- Given the high density of deer across much of Slovenia, browsing could substantially reduce the speed and species composition of recovering forests (Nagel et al., 2015). Therefore, browsing damage needs to be monitored carefully and reduced in problematic areas.
- When planting, it is necessary to do proper soil preparation and several basic silvicultural treatments to increase the survival and desirable growth of seedlings (Diaci et al., 2015).

8 VIRI

8 REFERENCES

- Aszalós, R., Somodi, I., Kenderes, K., Ruff, J., Czucz, B., Standovar, T., 2012. Accurate prediction of ice disturbance in European deciduous forests with generalized linear models: a comparison of field-based and airborne-based approaches. *European Journal of Forest Research* 131: 1905–1915.
- Boerner, R. E. J., Runge, S. D., Cho, D. S., Kooser, J. G., 1988. Localized ice storm damage in an Appalachian Plateau watershed. *Am. Midl. Nat.* 119: 199–208.
- Bragg, D. C., Shelton, M. G., Zeide, B., 2003. Impacts and management implications of ice storms on forests in the southern United States. *Forest Ecology and Management* 186: 99–123.
- Dees, M., 2014. Can the challenges for operational satellite based storm damage mapping in forests be met? – An analysis of Rapid Eye based mapping of a medium scale storm damage event in forests in North-West Poland. *ForestSAT2014 Open Conference System, North America*, jul. 2014. <http://ocs.agr.unifi.it/index.php/forestsat2014/ForestSAT2014/paper/view/341>. Date accessed: May 2015.
- Diaci, J., Fidej, G., Rozman, A., Nagel, T. A., Dakskobler, I., 2015. Primerjava različnih načinov obnove gozda po ujmah. *Pogled na žled: zbornik povzetkov / Delavnica o Gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih ukrepih po ujmah večjih razsežnosti*, Ljubljana in Sevnica: 9–12.
- Domicelj, A., 1900. Huda nesreča na Notranjskem. *Dom in svet. Kataloško tiskovno društvo*, 13, 2: 60–61.
- Gabet, E. J., Mudd, S. M., 2010: Bedrock erosion by root fracture and tree throw: A coupled biogeomorphic model to explore the humped soil production function and the persistence of hillslope soils. *Journal of Geophysical Research* 115, 14 pp.
- Gardiner, B. Blennow, K. Carnus, J. M., Fleischer, P., Ingemarson, F., Landmann, G., Lindner, M., Marzano, M., Nicoll, B., Orazio, C., Peyron, J. L., Reviron, M. P., Schelhaas, M. J., Schuck, A., Spielmann, M., Usbeck,

- T., 2010. Destructive storms in European forests: past and forthcoming impacts. Final report to European Commission - DG Environment. 138 s.
- Gay, D. E., Davis, R. E., 1993. Freezing rain and sleet climatology of the southeastern USA. *Climate Research*: 209–220.
- Illison, T., Köster, K., Vodde, F., Jögiste, K., 2007. Regeneration development 4–5 years after a storm in Norway spruce dominated forests, Estonia. *Forest Ecology and Management* 250, 17–24.
- Irland, L. C., 2000. Ice storms and forest impacts. *The Science of the Total Environment* 262: 231–242.
- Jakša, J., 1997. Posledice snežnih in ledenih ujm v slovenskih gozdovih v zimah 1995/96 in 1996/97. *Gozdarski vestnik* 55 (5–6): 263–274.
- Jakša, J., Kolšek, M., 2009. Naravne ujme v slovenskih gozdovih. *Ujma*, 23: 72–81.
- Kennedy, R. E., Yang, Z., Cohen, W.B., 2010. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr - Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment* 114: 2897–2910.
- Kennedy, R. E., Townsend, P. A., Gross, J. E., Cohen, W. B., Bolstad, P., Wang, Y. Q., Adams, P., 2009. Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects. *Remote Sensing of Environment* 113: 1382–1396.
- King, D. J., Olthof, I., Pellikka, P. K. E., Seed, E.d., Butson, C., 2005. Modelling and Mapping Damage to Forests from an Ice Storm Using Remote Sensing and Environmental Data. *Natural Hazards* 35: 321–342.
- Kobler, A., Greccs, Z., Marinšek A., 2015. Vpliv na poškodovanost gozda po žledu. Pogled na žled: zbornik povzetkov / Delavnica o Gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih ukrepih po ujmah večjih razsežnosti, Ljubljana in Sevnica: 18–21.
- Lafon, C. W., 2004. Ice-storm disturbance and long-term forest dynamics in the Adirondack Mountains. *Journal of Vegetation Science* 15: 267–276.
- Lafon, C. W., Graybeal, D. R., Orris, K. M., 1999. Patterns of ice accumulation and forest disturbance during two ice storms in southwestern Virginia. *Phys. Geogr.* 20, 97–115.
- Liechty, H. O., Jurgensen M. F., Mroz, G. D., Gale M. R., 1997. Pit and mound topography and its influence on storage of carbon, nitrogen, and organic matter within an old-growth forest. *Canadian Journal of Forest Research* 27(12): 1992–1997.
- Lindner, M., Garcia-Gonzalo, J., Kolström, M., Green, T., Reguera, R., Maroschek, M., Seidl, R., Lexer, M. J., Netherer, S., Schopf, A., Kremer, A., Delzon, S., Barbati, A., Marchetti, M. Corona, P., 2008. Impacts of climate change on European forests and options for adaptation. AGRI-2007-G4-06. Report to the European Commission Directorate-General for Agriculture and Rural Development. 173 str.
- Mezgec, I., 2015. O nastanku žleda. V: Zbornik razširjenih povzetkov: Mednarodna konferenca »Obnova gozdov po žledu«, Postojna, 19.–20. marec 2015 [Elektronski vir] = International Conference »Forest Rehabilitation after Sleet«, [Postojna], 19th and 20th March 2015 / organizer Srednja gozdarska in lesarska šola, Višja strokovna šola Postojna: 106 str.
- Miller, J. D., Yool, S. R., 2002. Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data. *Remote Sensing of Environment* 82 (2002): 481–496.
- Nagel, T., Roženbergar, D., 2015. Vpliv žledoloma na ekološke procese v gozdnih sestojih. Pogled na žled: zbornik povzetkov / Delavnica o Gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih ukrepih po ujmah večjih razsežnosti, Ljubljana in Sevnica: 13–15.
- Nagel, T. A., Diaci, J., Jerina, K., Kobal, M., and Roženbergar, D., 2015. Simultaneous influence of canopy decline and deer herbivory on regeneration in a conifer-broadleaf forest. *Canadian Journal of Forest Research* 45: 265–274.
- Nicholas, N. S., Zedaker, S. M., 1989. Ice damage in spruce-fir forests of the Black Mountains, North Carolina. *Canadian Journal of Forest Research* 19: 1487–1491.
- Olthof, I., King, D. J., Lautenschlager, R. A., 2004. Mapping deciduous forest ice storm damage using Landsat and environmental data. *Remote Sensing of Environment* 89: 484–496.
- Papež, J., 2005. Motnje in dinamične spremembe vegetacije v gozdni krajini. *Gozdarski vestnik* 63 (2): 68–78, 91–98.
- Pasher, J., King, D. J., 2006: Landscape fragmentation and ice storm damage in eastern ontario forests. *Landscape Ecology* 21: 477–483.
- Perko, F., Pogačnik, J., 1996. Kaj ogroža slovenske gozdove? Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije: 183 str.
- Peterson, C. J., & Campbell, J. E., 1993. Microsite differences and temporal change in plant communities of treefall pits and mounds in an old-growth forest. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*, 120(4): 451–460.
- Phillips, J. D., Marion, D. A., Turkington, A. V., 2008. Pedologic and geomorphic impacts of a tornado blowdown event in a mixed pine-hardwood forest. *Catena* 75: 278–287.
- Pickett, S. T. A. White, P. S., 1985. Patch Dynamics: A Synthesis. V: *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*, Academic Press, New York: 371–384.

- Planinšek, Š., Grah, A., Vochl, S., Ogris, N., 2015. Uporaba tablične aplikacije v gozdarstvu: študij primera - žledolom 2014. *Gozdarski vestnik* 73 (3): 145–154
- Poljanec, A., Ščap, Š., Bončina, A., 2014. Količina, struktura in razporeditev sanitarnega poseka v Sloveniji v obdobju 1995-2012. *Gozdarski vestnik* 72 (3): 131–147.
- Proulx, R. J., Greene, D. F., 2001. The relationship between ice thickness and northern hardwood tree damage during ice storms. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 1758–1767.
- Rebertus, A. J., Shifley, S. R., Richards, R. H., Roovers, L. M., 1997. Ice Storm Damage to an Old-growth Oak-hickory Forest in Missouri. *American Midland Naturalist* 137 (1): 48–61.
- Rhoads, A. G., Hamburg, S. P., Fahey, T. J., Siccama, T. G., Hane, E. N., Battles, J., Cogbill, C., Randall, J., Wilson, G., 2002. Effects of an intense ice storm on the structure of a northern hardwood forest. *Canadian Journal of Forest Research* 32: 1763–1775.
- Saje, R., 2014. Žledolomi v slovenskih gozdovih. *Gozdarski vestnik* 72 (4): 204–211.
- Schardt, M., Hausler, T., Henneweg, H., Sagischewski, H., 1996. Large area operational experiment for forest damage monitoring in Europe using satellite remote sensing – Results of the technical working group. *International Archives of Photogrametry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B4: 734–740.
- Schelhaas, M. J., Nabuurs, G. J., Schuck, A., 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology* 9: 1620–1633.
- Seidl, R., Schelhaas, M., Rammer, W., Verkerk P. J., 2014. Increasing forest disturbances in Europe and their impact on carbon storage. *Nature Climate Change* 4: 806–810.
- Seischab, F. K., Bernard, J. M., Eberle, M. D., 1993. Glaze storm damage to western New York forest communities. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 120(1): 64–72.
- Shao, Q., Huang, L., Liu, J., Kuang, W., Li, J. 2011. Analysis of forest damage caused by the snow and ice chaos along a transect across southern China in spring 2008. *Journal of Geographical Sciences* 21(2): 219–234.
- Shortle, W. C., Smith, K. T., Dudzik, K. R., 2003. Tree survival and growth following ice storm injury. *Research Paper NE-723*. USDA Forest Service.
- Sinjur, I., Vertačnik, G., Likar, L., Hladnik, V., Miklavčič, L., Gustinčič, M., 2014. Ice storm in Slovenia in January and February 2014 – Spatial and temporal variability in weather across the dinaric Landscapes in Slovenia. *Gozdarski vestnik* 72 (7–8): 299–310.
- Smith, A. M. S., Kolden, C. A., Tinkham, W. T., Talhelm, A. F., Marshall, J. D., Hudak, A. T., Boschetti, L., Falkowski, M. J., Greenberg, J. A., Anderson, J. W., Kliskey, A., Alessa, L., Keefe, R. F., Gosz, J. R., 2015. Remote sensing the vulnerability of vegetation in natural terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment* (2014) (Early view). <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.03.038>
- Souza Jr., C. M., Roberts, D. A., Cochrane, M. A., 2005. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. *Remote Sensing of Environment* 98: 329–343.
- Spiecker, H., 2003. Silvicultural management in maintaining biodiversity and resistance of forests in Europe-temperate zone. *Journal of Environmental Management* 67: 55–65.
- Šamonil, P., Král, K., Hort, L., 2010. The role of tree uprooting in soil formation: A critical literature review. *Geoderma* 157 (3–4): 65–79.
- Šifrer, M., 1977. Geografski učinki žleda v gozdovih okrog Idrije ter Postojne. *Geografski zbornik XVI*, 295–229.
- Šimić Milas, A., Rupasinghe, P., Balenović, I., Grosevski, P., 2015. Assessment of Forest Damage in Croatia using Landsat-8 OLI Images. *South-east Eur for* 6 (2): (early view). DOI: <http://dx.doi.org/10.15177/seeofor.15-14>.
- Turner, M. G., Dale, V. H., 1998. Comparing large, infrequent disturbances: What have we learned? *Ecosystems* 1: 493–496.
- von Oheimb, G., Friedel, A., Bertsch, A., Härdtle, W., 2007. The effects of windthrow on plant species richness in a Central European beech forest. *Plant Ecology* 191, 47–65.
- Walker, L. C., Oswald, B. P., 2000. *The Southern Forest: Geography, Ecology and Silviculture*. CRC Press, New York.
- Warrillow, M., Mou, P. 1999. Ice storm damage to forest tree species in the ridge and valley region of southwestern Virginia. *Journal of the Torrey Botanical Society* 126(2): 147–158.
- Westergren, M., Božič, G., Brus, R., Grecc, Z., Kraigher, H., 2015. Analiza stanja semenarstva v Sloveniji – zagotavljanje potreb po semenu in sadikah za potrebe sanacije po žledolomu februarja 2014, Pogled na žled: zbornik povzetkov / Delavnica o Gozdnogospodarskih in gozdnogojitvenih ukrepih po ujmah večjih razsežnosti, Ljubljana in Sevnica: 24.
- Xu, X., Zhou, G., Liu, S., Du, H., Mo, L., Shi, Y., Jiang, H., Zhou, Y., Liu, E., 2013. Implications of ice storm damages on the water and carbon cycle of bamboo forests in southeastern China. *Agricultural and Forest Meteorology* 177: 35–45.
- ZGS, 2014. *Timber - podatkovna zbirka o poseku gozdnega drevja*. Zavod za gozdove Slovenije, 1995–2013. [online]. Dostopno na: http://www.zdravgozd.si/sanitarni_analiza.aspx