

# POŠKODBE DREVJA ZARADI ABIOTSKIH NARAVNIH MOTENJ NA BUKOVIH RASTIŠČIH V SLOVENIJI S Poudarkom NA SNEGOLOMIH

## INDIVIDUAL TREE DAMAGE DUE TO ABIOTIC NATURAL DISTURBANCES ON EUROPEAN BEECH SITES IN SLOVENIA WITH THE MAIN FOCUS ON SNOW DAMAGE

Blanka KLINAR<sup>1</sup>, Matija KLOPČIČ<sup>2</sup>, Andrej BONČINA<sup>3</sup>

(1) Plavški rovt 47, 4270 Jesenice, blanka.klinar@gmail.com

(2) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, matija.klopcc@bf.uni-lj.si

(3) Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, andrej.boncina@bf.uni-lj.si

### IZVLEČEK

Raziskovali smo poškodovanost drevja zaradi snega v pretežno mešanih gozdnih sestojih na bukovih rastiščih v Sloveniji. V analizo smo vključili 22.609 oddelkov s prevladujočimi bukovimi rastišči, v katerih je bil delež bukve vsaj 10 % lesne zaloge sestojev. Delež iglavcev v sanitarnem poseku je bil večji pri snegolomih in vetrolomih, pri žledolomih sta bila deleža listavcev in iglavcev skoraj enaka. V bukovih gozdovih je zaradi snega najbolj poškodovano drevje v mlajših in srednjedobnih razvojnih fazah debelin 20–40 cm. Na podvzorcju 363 oddelkov, za katere smo pridobili podatke o lastnostih snežne odeje, smo z binarno logistično regresijo izdelali model verjetnosti pojava snegoloma. V model smo vključili spremenljivke količine snega v spomladanskih mesecih, fitoregijo, skalnatost, naklon terena in matično podlago. Najpomembnejša spremenljivka je bila količina snega v spomladanskih mesecih. Razlog za relativno visok sanitarni posek v bukovih gozdovih je povečan delež smreke v gozdnih sestojih, bukeve je veliko manj dovzetna za poškodbe zaradi snega kot smreka. Za povečanje odpornosti sestojev predlagamo pogostejša klasična redčenja nižjih jakosti ali uvedbo situacijskih redčenj v sestojih mlajših in srednjedobnih sestojih.

**Ključne besede:** *Fagus sylvatica*, bukova rastišča, binarna logistična regresija, pojav poškodbe, poškodovanost, sneg, naravne motnje

### ABSTRACT

We studied snow damage to individual trees in beech stands in Slovenia. The analysis included 22,609 compartments with at least 10 % of European beech (*Fagus sylvatica*) in the total growing stock. In salvage harvesting due to snow and wind damage, conifers represented a higher proportion than deciduous species, yet their proportions were similar after ice damage. Mainly younger and middle-aged trees of 20–40 cm in dbh were damaged by heavy snow load. On a sample of 363 compartments, for which data on daily snow precipitation were obtained, a binary logistic regression model to predict the probability of snow damage occurrence was developed. The sum of snow cover in spring months, phytogeographical region, rockiness, slope inclination, and bedrock were statistically significant predictors; the key predictor was the sum of snow cover in spring months. The relatively high salvage felling in forests on beech sites can partly be explained by alterations in forests due to the admixture of Norway spruce (*Picea abies*), since beech is less susceptible to snow damage compared to spruce. To improve stand resistance, classical thinnings from above should be frequent and of lower intensity, or alternative types of crop tree situational thinning should be applied in younger and middle-aged even-aged stands.

**Key words:** *Fagus sylvatica*, European beech sites, binary logistic regression, damage occurrence, damage, snow, natural disturbance

GDK 42:423.4+187Fagus sylvatica(497.4)(045)=163.6

DOI 10.20315/ASetL.122.5

Prispelo / Received: 19. 5. 2020

Sprejeto / Accepted: 27. 7. 2020



## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Sneg je pomemben povzročitelj motenj v borealnih gozdovih in gozdovih zmernege pasu severne (Fischer in sod., 2013) pa tudi južne poloble (Guild, 1986); na globalni ravni je manj pomemben (npr. Seidl in sod., 2011). Schelhaas in sodelavci (2003) navajajo, da naj bi

bil letni obseg snegolomov v Evropi v povprečju okoli milijon m<sup>3</sup> drevja, kar pomeni 3 % celotne količine poškodovanega drevja zaradi ujm; najpogosteje so bili prizadeti mlajši in srednjedobni sestoji na nadmorskih višinah med 600 in 1000 m. Države z relativno največjim obsegom poškodovanega drevja zaradi snega so Nemčija, Avstrija, Češka in Slovaška (Schelhaas in sod., 2003).

Na poškodbe drevja vplivata predvsem količina in/ali lastnosti snega (Nykänen in sod., 1997). Značilnosti in količina snega so odvisne od vremenskih in delno tudi orografskih razmer. Gostota snega je različna, gostota suhega hladnega pršiča je okoli  $50 \text{ kg/m}^3$ , gostota južnega snega, ki pada skupaj z dežjem, pa tudi do  $300 \text{ kg/m}^3$  (Rakovec in Vrhovec, 1998). Deankovič (1969) pri obsežnem snegolomu na Pokljuki omenja specifično težo celo  $405 \text{ kg/m}^3$ .

Obtežba dreves s snegom povzroči poškodbe. Poglavitne poškodbe dreves so (Nykänen in sod., 1997): 1) prelom debla; 2) odlom debla; 3) odlomi vej v krošnjah, dela krošnje ali cele krošnje; 4) izruvanje; 5) upogib. Na prelom debla ali vej vplivajo dimenzije drevesa, razvitost koreninskega sistema drevesa in talne razmere ter vrstno specifičen modul elastičnosti drevesa (Lavers, 1969). Možnosti za odlom debla se zmanjšujejo s kubom prsnega premera, za izruvanje drevesa pa s produktom višine drevesa in kvadrata prsnega premera (Petty in Worrel, 1981; Peltola in sod., 2000). Upogib dreves je posledica velikih obtežb krošenj s snegom, lahko pa tudi snežnih plazov ali premikov snega. Drevesa manjših dimenzij so bolj dovzeta za upogib kot za druge oblike poškodb (Williston, 1974); tanjša debla zaradi večje elastičnosti prenesejo povitje brez prelomov. Včasih pride do povitja takoj nad koreničnikom, tako da imajo debla obliko črke »J«. Po obremenitvi s snegom ostane drevje povito nekaj dni do nekaj mesecev ali celo več let. V skrajnih primerih, posebno ko je kot upogiba drevesa večji od  $60^\circ$ , ostane drevo trajno povito (Williston, 1974).

Na snežno obtežbo drevja in poškodovanost dreves vplivajo vremenske in rastiščne (predvsem topografske) značilnosti, pa tudi drevesne in sestojne značilnosti (Solantie in Ahti, 1980; Solantie, 1994). Vremenske razmere vplivajo na obtežbo krošenj s snegom pred, med in po sneženju. Pri temperaturah, nižjih od  $-5^\circ\text{C}$ , se sneg ob sneženju ne oprijema podlage, pri višjih temperaturah ( $-5^\circ\text{C}$  do  $0,6^\circ\text{C}$ ) pa se akumulira na krošnje dreves (Solantie, 1994). Poškodbe so večje, če se temperature, ki so bile v pričetku sneženja nad  $0^\circ\text{C}$ , med sneženjem spustijo pod ledišče, pri čemer se sneg še bolj oprime vejic (Rottman, 1985; Zubizarreta-Gerendiain in sod., 2012) in se zato na krošnjah akumulira večja količina snega (Bunnell in sod., 1985). Če temperatura v triurnem obdobju po sneženju preseže  $+6^\circ\text{C}$ , postane sneg dovolj moker, da zdrsne z drevesa (Solantie in Ahti, 1980; Solantie, 1994). Dežne in rosne kapljice, ki se pri temperaturah pod lediščem akumulirajo na drevesa kot led oziroma žled, lahko povečajo obremenitev dreves zaradi snega tudi za 50–60 % (Nykänen in sod., 1997). Veter nizkih hitrosti ( $< 9 \text{ m/s}$ )

ob sneženju pogosto prispeva k večji akumulaciji snega na krošnjah dreves, še posebno v primeru mokrega snega, veter višjih hitrosti pa sneg odpihne z vejic (Kangur, 1973; Gill, 1974).

Rastiščne (predvsem orografske razmere) vplivajo na količino padavin, temperaturo zraka in hitrost vetra in s tem tudi na obtežbo dreves s snegom in njihovo poškodovanost. Z nadmorsko višino se v splošnem povečuje hitrost vetra, temperatura zraka pa se znižuje. V srednji Evropi so največje poškodbe povzročene zaradi snega na nadmorskih višinah med 500 in 900 m, nad 1000 m pa so manjše, saj je pojavnost težkega mokrega dežja tam manj verjetna (Rottmann, 1985). Izsledki raziskav niso enotni glede vpliva naklona na poškodovanost drevja zaradi snega. V nekaterih raziskavah poročajo o neznatnem vplivu (npr. Nykänen in sod., 1997), v drugih pa, da so sestoji na strmih pobočjih bolj (npr. Schütz in sod., 2006) oziroma manj (npr. Jakša, 1996) dovzetni za poškodbe zaradi snega. V srednji Evropi je stopnja poškodovanosti gozdov večja na pobočjih s severno, severovzhodno, vzhodno, včasih pa tudi jugovzhodno ekspozicijo (Rottmann, 1985). Ugotovitve o vplivu privetrne ali zavetrne lege na poškodovanost drevja zaradi snega si nasprotujejo (Klopčič in sod., 2009). Na poškodovanost drevja vplivajo tudi talne razmere. Skalovitost in zamočvirjenost gozdnih tal povečuje dovzetnost dreves za poškodbe zaradi snega (Solantie, 1994; Zubizarreta-Gerendiain in sod., 2012). Na poškodovanost dreves vpliva tudi matična podlaga, saj naj bi bila drevesa na kislih podlagah pogosteje poškodovana (Dvorak in sod., 2001). Ko so tla zamrznjena, so možnosti za izruvanje dreves znatno manjša.

Drevesne in sestojne značilnosti vplivajo na obseg in vrsto poškodb dreves zaradi snega (npr. Petty in Worrell, 1981; Rottmann, 1985; Valinger in sod., 1994; Nykänen in sod., 1997). Občutljivost drevesnih vrst za snežne obtežbe je različna, saj so med njimi razlike v značilnostih krošenj, mehanskih lastnosti lesa in poteku rasti. Listavci so po razlitanju manj dovzetni za poškodbe zaradi snega (Rottmann, 1985; FAO/ECE/ILO, 1996).

Odlom debla ali vej je najpogostejša oblika poškodbe dreves zaradi snega. Te poškodbe so pogoste v srednjedobnih pa tudi starejših sestojih (Williston, 1974; Petty in Worrell, 1981; Slodičak, 1995). Za navadno smreko je značilen odlom dela krošnje oziroma vrha (Valinger in sod., 1994), za rdeči bor (*Pinus sylvestris* L.) in listavce, na primer brezo (*Betula* ssp.) (Valinger in sod., 1994) in bukev (Stanivuković, 2013), pa tudi odlom debla, pogosto na sredini krošnje, pod njo ali blizu koreničnika. Mesto odloma oziroma preloma je odvisno od mesta zožitve debla, mehanskih lastnosti lesa in »nepravilnosti«, kot so grče in okužbe s troh-

nobnimi glivami (Stanivuković, 2013). Za odlom debla so bolj dovzetna drevesa z visokim dimenzijskim razmerjem, še posebej so ranljiva drevesa z dimenzijskim razmerjem, večjim od 90 (Petty in Worrel, 1981; Rottmann, 1985; Peltola in sod., 1997). Dimenzijsko razmerje se s starostjo dreves znižuje, zato so starejša drevesa praviloma manj dovzetna za poškodbe. Spreminjanje dimenzijskega razmerja je odvisno od drevesne vrste ter rastiščnih in sestojnih razmer.

Drevesa z asimetričnimi krošnjami so dovzetnejša za poškodbe zaradi snega (Mlinšek, 1966; Jakša, 1996), tista z ozkimi krošnjami pa so zaradi manjše snežne obtežbe in tlačnih napetosti odpornejša proti poškodbam kot drevesa s širokimi krošnjami (Diaci, 2006). Iglavci z visečimi vejami in ozkimi krošnjami, takšne so nekatere provenience navadne smreke, omorike (*Picea omorika* (Pančić) Purk.) in *Picea mariana* Mill., so veliko manj dovzetni za poškodbe zaradi snega kot vrste iglavcev s horizontalno razporeditvijo vej in široko krošnjo, npr. rdeči bor (Cannell in Morgan, 1989). Tudi globina krošnje je pomemben dejavnik, saj se z dolžino krošnje znižuje težišče obremenitve s snegom, s čimer se zmanjšuje možnost odloma debla oziroma upogiba drevesa (Mlinšek, 1966; Rottmann, 1985).

Lastnosti sestoja prav tako vplivajo na odpornost dreves na snežne obtežbe, med najpomembnejšimi so drevesna sestava, gostota, višina in vertikalna zgradba gozdnih sestojev. V bukovem gozdu je bila višina izmerjenega snega na gozdnih tleh v povprečju za 63 % višja v primerjavi z izmerjeno višino snega v smrekovem gozdu, kar pomeni, da je intercepcija v smrekovih gozdovih bistveno večja (Suzuki in sod., 2008; Kantor in sod., 2009). S spreminjanjem drevesne sestave gozdnih sestojev se torej njihova dovzetnost za poškodbe pri enakem vplivu biotskih in abiotskih dejavnikov spremeni.

Mlajši in gostejši sestoji so praviloma dovzetnejši za poškodbe zaradi snega, saj se večina zapadlega snega oprime drevja, v redkejših sestojih pa se znaten del snežnih padavin odloži na tla (Petty in Worrel, 1981). V gostejših sestojih so krošnje pogosto bolj asimetrične in krajše, dimenzijsko razmerje drevja je višje, kar zmanjšuje stabilnost drevja v primeru velikih obtežitev (Valinger in sod., 1994). Zato se posamično drevje, pogosto pa drevje v skupinah, upogiba in lomi. Tveganje za poškodbe zaradi snega se z višino drevja praviloma povečuje (npr. Valinger in Lundqvist, 1993; Müller, 2002), vendar je treba ta parameter presojati z drugimi značilnostmi dreves, na primer z dimenzijskim razmerjem.

Enomerni sestoji so za poškodbe zaradi snega dovzetnejši od raznomernih (Martin-Alcon in sod., 2010; Gizachew in Brunner, 2011). V raznomernih sestojih se znaten del snežnih padavin odloži v vrzelih (mlad-

ju), dimenzijsko razmerje odraslih dreves je praviloma nižje, njihove krošnje so pogosto večje in bolj simetrične kot v enomernih sestojih, kar povečuje odpornost drevja na poškodbe (Gizachew in Brunner, 2011; Brang in sod., 2014).

Na dovzetnost sestojev za snegolom vplivajo tudi opravljena redčenja. Sestoji so v nekajletnem obdobju po redčenju praviloma bolj ranljivi (Shepard, 1975; Klopčič in sod., 2009), a po nekaj letih ta učinek izzveni.

Pri poškodbah zaradi snega pogosto nastanejo tudi interakcije z drugimi povzročitelji poškodb, kot sta predvsem žled in veter (Nykänen in sod., 1997; Gardiner in sod., 2000). S snegom (ali žledom) obtežena drevesa so bolj dovzetna za vetrolom kot drevesa brez snega. Zaradi snega poškodovano drevje je pozneje tudi bolj dovzetno za okužbe z glivami ali napade insektov (Rottmann, 1985; Valinger in Lundqvist, 1994; Klopčič in sod., 2009).

Raziskav poškodb dreves ali sestojev zaradi snega ni veliko. Snegolomi so pogostejši v borealnih gozdovih, saj so snegolomi pogostejši v gozdovih s prevladujočim deležem iglavcev (Valinger in Pettersson, 1996; Wallentin in Nilsson, 2014). Pa vendar so pogosti tudi v srednji Evropi, saj so gozdovi pogosto spremenjeni in je delež iglavcev visok (npr. Deankovič, 1969; Rottmann, 1985; Schelhaas in sod., 2003; Klopčič in sod., 2009). A spremembe v režimu padavin, tudi snežnih padavin (Dolinar, 2019), bi lahko vzorce snegolomov spremenile, zato smo želeli preučiti vpliv snegolomov v mešanih gozdovih na bukovih rastiščih. V srednji in jugovzhodni Evropi je bukev ena izmed najpomembnejših drevesnih vrst (Bohn in sod., 2000; Čavlovič in Anić, 2008; Bončina, 2012). Kljub temu je raziskav o poškodovanosti dreves in sestojev na bukovih rastiščih zaradi snega razmeroma malo.

Cilja naše raziskave sta zato bila: 1) analizirati obseg, strukturo in pojavnost poškodb drevja zaradi snega v bukovih gozdovih Slovenije in jih primerjati s poškodbami zaradi dveh drugih najpogostejših povzročiteljev abiotskih motenj v bukovih gozdovih (veter, žled), in 2) ugotoviti glavne dejavnike, ki vplivajo na pojavnost in obsežnost snegolomov bukve v gozdovih Slovenije.

## 2 METODE DELA

### 2 METHODS

#### 2.1 Raziskovalni objekt

##### 2.1 Study area

Raziskava je bila omejena na mešane gozdove na bukovih rastiščih v Sloveniji (slika 1), ki so bili opredeljeni kot območja, na katerih prevladujejo bukove gozdne združbe (Marinček, 1987; Dakskobler, 2012). Različni tipi bukovih gozdov sestavljajo kar 70 % vseh

gozdnih rastišč v Sloveniji (Dakskobler, 2012). V raziskavo smo zajeli bukova rastišča iz vseh fitogeografskih regij - alpske, predalpske, submediteranske, dinarske, preddinarske in subpanonske. Med fitogeografskimi regijami so velike razlike v rastiščnih in sestojnih značilnostih bukovih gozdov (priloga 1) in snežnih razmerah (ARSO, 2014), ki variirajo predvsem zaradi orografskih dejavnikov in oddaljenosti od morja (Vertačnik in Dolinar, 2007). Zaradi spremenjenosti naravne drevesne sestave gozdov v Sloveniji smo pri definiranju raziskovalnega objekta upoštevali tudi kriterij, da je delež bukve v lesni zalogi gozdnih sestojev v oddelku presegal 10 %. Raziskovalni objekt je tako obsegal približno tri četrtine ( $n = 22.609$ ) vseh oddelkov ( $n = 30.195$ ), ki pokrivajo 8.839 km<sup>2</sup> ali 44 % celotnega ozemlja Slovenije.

## 2.2 Podatki in metode dela

### 2.2 Data and methods

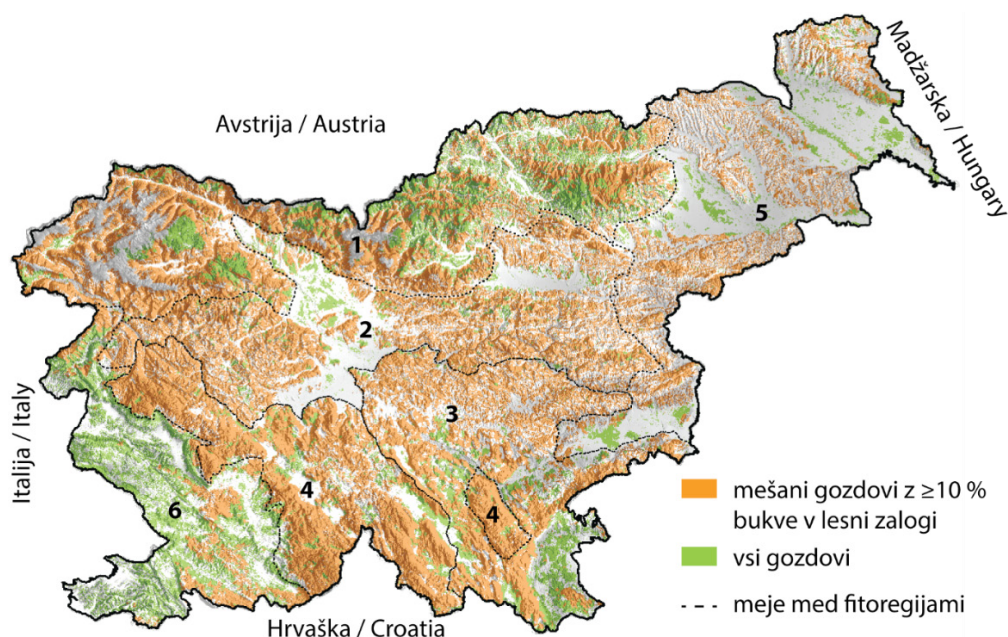
Neposredno ocenjevanje poškodb drevja na večji površini je zahtevno, zato smo uporabili posredne pristope. Za cenilko poškodovanosti drevja smo uporabili podatke o sanitarnem poseku drevja. Podatki Zavoda za gozdove Slovenije (v nadaljevanju ZGS) o sanitarnem poseku na celotni površini Sloveniji in za daljše obdobje omogočajo ocenjevanje poškodovanosti sestojev in drevesnih vrst zaradi vpliva snega.

Podatke o gozdovih, rastiščih in poseku smo pridobili na prostorski ravni oddelka v podatkovnih zbirkah ZGS (ZGS, 2013a, 2013b). Podatki so dostopni za posamezna leta od leta 1995 naprej.

V analizi sanitarnega poseka smo poškodovanost gozdnih sestojev zaradi snega primerjali s poškodovanostjo dreves zaradi drugih dveh glavnih abiotičkih vzrokih žleda in vetra, medtem ko drugih abiotičkih (npr. požarov, plazov) in biotskih (npr. podlubniki, glive in bolezn) vzrokov sanitarnega poseka nismo upoštevali. Za vsak oddelek smo zbrali podatke o letnem poseku drevja zaradi omenjenih vzrokov (v m<sup>3</sup>). Te podatke smo obravnavali kot kazalnike poškodovanosti gozdov zaradi omenjenih vzrokov.

Analizirali smo strukturo sanitarnih sečenj, in sicer skupno količino sanitarnega poseka zaradi snega v obdobju 1995–2012, in jo primerjali s količino sanitarnega poseka drevja zaradi žleda in vetra. Hkrati smo podrobneje analizirali strukturo sanitarnega poseka zaradi snegolomov glede na debelino drevja in drevesne vrste. Z enostavnimi statističnimi testi smo preverjali razlike v količini poseka zaradi snega, vetra in žleda ter razlike v količini sanitarnega poseka zaradi snega med posameznimi leti.

S temi podatki smo analizirali tudi pogostnost snegoloma v preučevanem osemnajstletnem obdobju. Privzeli smo, da se je snegolom v oddelku zgodil, če je bil v tem letu sanitarni posek zaradi snega vsaj 1 % lesne zaloge gozdnih sestojev, ki je bila izmerjena v zadnji gozdni inventuri pred letom dogodka. S štetjem pozitivnih dogodkov za celotno preučevano obdobje smo na ravni oddelkov pridobili frekvenco dogodkov; najvišja možna vrednost je bila 18, kar je pomenilo, da se je snegolom zgodil vsako leto. Za prostorsko ponazo-



**Slika 1:** Raziskovalni objekt mešanih bukovih gozdov z vsaj 10 % bukve v skupni lesni zalogi s prikazanimi fitogeografskimi regijami (1 - alpska, 2 - predalpska, 3 - preddinarska, 4 - dinarska, 5 - panonska, 6 - submediteranska)

**Fig. 1:** The study area of mixed beech forests with at least 10 % of beech in the total growing stock divided into phytogeographical regions (1 - Alpine, 2 - pre-Alpine, 3 - pre-Dinaric, 4 - Dinaric, 5 - Pannonian, 6 - sub-Mediterranean)

ritev pogostosti snegolomov smo v programu ArcGIS 10.1 izdelali karto kernelske gostote (angl. *kernel density*). V posameznem oddelku smo naključno generirali število točk, ki je bilo enako frekvenci snegolomnih dogodkov v tem oddelku; oddelki so tako imeli naključno generiranih 0–18 točk. Na podlagi mreže ustvarjenih točk smo nato izdelali karto pogostnosti snegolomov na območju bukovih rastišč v Sloveniji.

Podatke o snegu smo pridobili iz arhiva ARSO-vih meritev (ARSO, 2014). Za preverjanje kratkotrajne, dolgotrajne in sezonske snežne obtežbe smo pridobili podatke o dnevni skupni količini padavin in višini novozapadlega snega, ki so bili izmerjeni vsako jutro ob 7. uri na 158 meteoroloških postajah (slika 2) v obdobju 1995–2014.

Iz podatkov o dnevni višini novozapadlega snega smo za vsako merilno postajo izračunali naslednje spremenljivke:

- skupno letno količino snežnih padavin (sum\_sneg),
- količine zapadlega snega po mesecih, ki smo jih agregirali v količine snežnih padavin v spomladanskih mesecih marec-maj (sneg\_3\_4\_5) in jesenskih mesecih september–november (sneg\_9\_10\_11),
- največje količine zapadlega snega v desetih zaporednih dneh v posameznem letu (max\_sneg\_10d).

Da smo pridobili korektne podatke o snegu na prostorski ravni oddelkov, smo morali podatke iz meteoroloških postaj pretvoriti, pri čemer je pomembna predvsem razlika v nadmorskih višinah med meteoro-

loškimi postajami in posameznimi oddelki (Grünewald in sod., 2014). Zato smo ločeno po fitogeografskih regijah izračunali linearne regresije med neodvisnimi spremenljivkami sum\_sneg, max\_sneg\_10d, sneg\_9\_10\_11 in sneg\_3\_4\_5 ter odvisno spremenljivko nadmorsko višino postaje (Vertačnik in Dolinar, 2007; Grünewald in sod., 2014). Vrednosti determinacijskih koeficientov linearne regresije ( $r^2$ ) so bile v intervalu 0,01–0,25. Poleg nadmorske višine na količino snega pomembno vplivata tudi npr. relief (greben, pobočje, ravnina) in lega (privetrna ali zavetrna lega) (Nykänen in sod., 1997; Klopčič in sod., 2009). Da smo se vsaj do določene mere izognili vplivom teh spremenljivk, smo naredili podvzorec oddelkov, v katerega smo vključili le oddelke, katerih centroid je bil od najbližje meteorološke postaje oddaljen največ 2 km. Podvzorec je vključeval 363 oddelkov s površino 13.776 ha. Parametre o snegu smo nato izračunali tako, da smo aplicirali izračunane linearne regresije na posamezne oddelke (uporabili smo povprečno nadmorsko višino oddelka, izračunano iz digitalnega modela reliefa).

## 2.2.1 Analiza vplivnih dejavnikov pojava poškodb po snegu

### 2.2.1 Analysis of influential factors of snow damage occurrence

Z binarno logistično regresijo (Hosmer in Lemeshow, 2000) smo na vzorcu 363 oddelkov modelirali pojavnost snegolomov glede na klimatske, rastiščne in sestojne spremenljivke, pri čemer je bila odvisna spremenljivka z dihonomnim izidom pojav snegoloma v od-



**Slika 2:** Lokacije meteoroloških postaj s popolnimi podatki v preučevanem obdobju (podatki lokacij pridobljeni od agencije ARSO, 2014)

**Fig. 2:** Meteorological station locations with complete data during the analysed period (location data obtained from ARSO, 2014)

delku (0 = ni bilo snegoloma; 1 = snegolom evidentiran).

Med klimatskimi spremenljivkami smo preverjali vpliv celoletne količine zapadenega snega v letu (sum\_sneg), vpliv kratkotrajnih snežnih obtežb (max\_sneg\_10d) ter vpliv snežnih padavin v jesenskem (sneg\_9\_10\_11) in spomladanskem (sneg\_3\_4\_5) obdobju (preglednica 1). Med rastiščnimi spremenljivkami smo v analize vključili nadmorsko višino, lego, naklon, geološko podlago, skalnatost in pripadnost fitogeografski regiji. Od sestojnih spremenljivk pa smo v postopek modeliranja vključili hektarsko lesno zalogo smreke (LZ\_sm\_ha) in bukve (LZ\_bu\_ha), sestojno lesno zalogo (LZ\_ha), indeks spremenjenosti naravne drevesne sestave gozdov (ISP) (Bončina in sod., 2017) in produkcijsko sposobnost rastišč (MAI) (Kadunc in sod., 2013).

Statistične analize smo opravili s programom IBM SPSS Statistics 21.0. Z logit transformacijo smo dosegli, da se je verjetnostna funkcija porazdeljevala normalno. Analizirali smo 12 zveznih, dve dihotomni in eno kategorično spremenljivko. Najprej smo z izračunom Pearsonovega korelacijskega koeficienta ( $r$ ) preverili, ali obstaja med zveznimi spremenljivkami statistično značilna povezanost, in bi se s tem izognili morebitni multikolinearnosti v modelu. Če je vrednost korelacijskega koeficienta presegala 0,65, smo eno spremenljivko v paru odstranili iz modeliranja. Tako smo med spremenljivkami LZ\_ha in LZ\_bukev odstranili spre-

menljivko LZ\_ha, poleg te pa smo iz procedure odstranili še spremenljivko sum\_sneg, ki je kazala povezanost s še tremi drugimi spremenljivkami (max\_sneg\_10d, sneg\_3\_4\_5 in sneg\_9\_10\_11).

Nadalje smo ugotavljali povezanost neodvisnih spremenljivk z odvisno (binarno). Pri nominalnih spremenljivkah smo to ugotavljali s  $\chi^2$ -testi, pri zveznih spremenljivkah pa s  $t$ -testi. Vse spremenljivke, za katere so testi pokazali  $p < 0,25$ , so bile vključene v proceduro izračuna multivariatnega modela, nekatere spremenljivke pa smo na podlagi tega kriterija izločili iz procedure (preglednica 2, skrajno desni stolpec).

Binarno regresijo smo opravili s postopkom *forward stepwise*, osnova je bila metoda največjega verjetja z največ 20 iteracijami. Po izračunu modela smo izračunali VIF (angl. *variance inflation factor*), da bi dodatno preverili morebitno multikolinearnost med spremenljivkami, vključenimi v model. VIF se izračuna kot  $1/(1-R^2)$ . Vrednost  $R^2$  pridobimo iz linearne regresije za zvezne spremenljivke in logistične regresije za nominalne spremenljivke, pri čemer opazovano neodvisno spremenljivko tretiramo kot odvisno, ostale neodvisne spremenljivke v modelu pa kot neodvisne. Če VIF faktor presega vrednost 10, spremenljivko izločimo iz modela, v nasprotnem pa jo obdržimo. V našem primeru v tem koraku nismo izločili nobene spremenljivke. Stopnjo ujemanja (angl. *goodness of fit*) smo testirali s Hosmer-

**Preglednica 1:** Neodvisne spremenljivke, uporabljene pri modeliranju pojava poškodb zaradi snega

**Table 1:** Independent variables used in modeling the occurrence of snow damage

Spremenljivka Variable	Tip spremenljivke Variable type	Opis spremenljivke / Description	Preizkušena v modelu Tested in the model
Klimatski dejavniki			
sum_sneg	zvezna	Skupna količina zapadlega snega v letu (cm)	da
max_sneg_10d	zvezna	Največja količina zapadlega snega v desetih zaporednih dneh (cm)	da
sneg_9_10_11	zvezna	Količina zapadenega snega v 3., 4. in 5. mesecu v letu (cm)	
sneg_3_4_5	zvezna	Količina zapadenega snega v 9., 10. in 11. mesecu v letu (cm)	da
Rastiščni dejavniki			
elv	zvezna	Nadmorska višina (razred po 100 m)	
asp_bin	0/1	Lega ( 1=JV+J+JZ+Z+SZ; 0=S+SV+V)	
naklon	zvezna	Nagib ploskve (°)	da
kamn_karb	0/1	Geološka podlaga (karbonati = 1; ostalo = 0)	da
skal	zvezna	Skalovitost (%)	da
fitoreg	kategorična	Fitogeografska regija*	da
Sestojni dejavniki			
LZ_ha	zvezna	Skupna lesna zaloga (m <sup>3</sup> /ha)	
LZ_sm_ha	zvezna	Lesna zaloga smreke (m <sup>3</sup> /ha)	da
LZ_bu_ha	zvezna	Lesna zaloga bukve (m <sup>3</sup> /ha)	
ISP	zvezna	Indeks spremenjenosti gozdov	da
MAI	zvezna	Produkcijska sposobnost rastišč	da

\*Fitoregija - (1 = alpska, 2 = dinarska, 3 = submediteranska, 4 = panonska, 5 = preddinarska, 6 = predalpska)

Lemeshowim testom in z ocenjenim  $D^2$  (Guisian in Zimmermann, 2000), ki je izračunan po enačbi 1:

$$D^2 = (\text{null deviance} - \text{residual deviance}) / \text{null deviance} \quad (\text{enačba 1})$$

Napovedane verjetnosti ( $p$ ) so bile izračunane z enačbo (2). Regresijski koeficienti ( $\beta_0$   $\beta_n$ ) so določeni z metodo najmanjših kvadratov, prediktorji ( $X_j$ ) pa nam povedo, katere spremenljivke imajo napovedno moč.

$$p = \frac{(\exp \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}{1 + \exp(\exp \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)} \quad (\text{enačba 2})$$

Končni model smo razlagali s pomočjo razmerja obetov, da poškodbe zaradi snega obstajajo, ki pomeni razmerje med verjetnostjo, da poškodbe so, in verjetnostjo, da poškodb ni.

### 3 REZULTATI

#### 3 RESULTS

##### 3.1 Časovna dinamika snegolomov in drugih abiotičnih motenj v gozdovih na bukovih rastiščih

##### 3.1 Temporal dynamics of snow and other disturbance damage in forests on beech sites

V vseh gozdovih Slovenije je bil povprečni letni posek zaradi snegoloma v obdobju 1995–2012 6,5 m<sup>3</sup>/

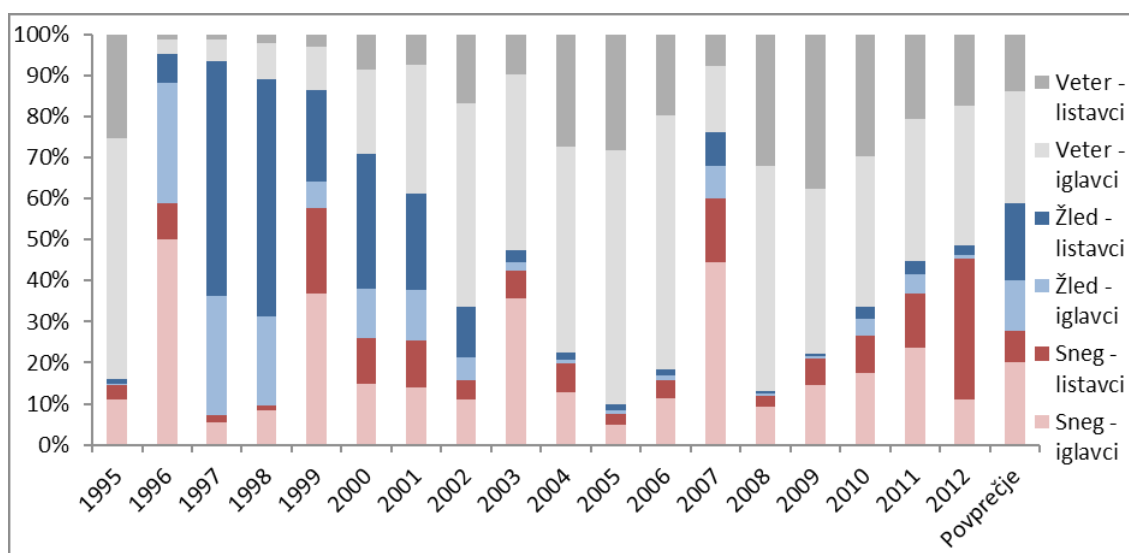
km<sup>2</sup> (9,6 % vsega sanitarnega poseka oziroma 2,5 % celotnega letnega poseka), od tega je bilo 0,8 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> bukve in 4,2 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> smreke. Povprečni sanitarni posek v preučevanem obdobju pa je znašal 26 % celotnega poseka ( $\approx 212.500$  m<sup>3</sup>). V gozdovih na bukovih rastiščih je bil povprečni letni sanitarni posek zaradi poškodb po snegu nižji kot v vseh gozdovih skupaj, in sicer 5,5 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> (preglednica 2). Sanitarni posek bukve zaradi snega v bukovih gozdovih dosega kar 97 % celotnega sanitarnega poseka bukve zaradi snega v Sloveniji, pri smreki je kljub večji količini ta odstotek znatno nižji (56 %).

V obdobju 1995–2012 so med abiotičnimi motnjami največji delež v sanitarnem poseku sestavljali vetroolomi, na drugem mestu so bili žledolomi, zatem pa snegolomi (slika 3). Delež žledoloma v sanitarnem poseku je v povprečju večji od deleža snegolomov zaradi žledolomov v letih 1997 in 1998. V letih 1996, 1999 in 2007 je bil delež snegolomov v primerjavi z drugima dvema kategorijama največji. Relativni delež snegolomov v letnem sanitarnem poseku v omenjenih letih je podoben, a absolutne vrednosti (preglednica 2) kažejo, da je bila količina snegoloma v letu 1996 2,2-krat večja kot v letu 1999 in kar 2,5-krat večja kot v letu 2007. V 18-letnem obdobju je žled povzročil največ škode v letih 1996–1998, v drugih letih je bilo žledoloma bistveno manj. Med abiotičnimi motnjami so najpomembnejši vetroolomi, saj v preučevanem obdobju sestavljajo kar

**Preglednica 2:** Povprečna količina sanitarnega poseka zaradi snega, vetra in žleda po letih

**Table 2:** The amount of annual salvage felling due to snow, wind and ice

Leto / Year	Sneg / Snow [m <sup>3</sup> / km <sup>2</sup> ]	Veter / Wind [m <sup>3</sup> / km <sup>2</sup> ]	Žled / Ice [m <sup>3</sup> / km <sup>2</sup> ]
1995	1,0	5,6	0,1
1996	27,4	2,2	17,0
1997	4,5	4,1	52,9
1998	2,3	2,7	19,4
1999	12,5	3,0	6,2
2000	2,4	2,7	4,1
2001	1,7	2,6	2,4
2002	1,0	4,4	1,2
2003	8,0	9,9	0,9
2004	2,9	11,3	0,4
2005	1,1	13,6	0,4
2006	1,7	8,8	0,3
2007	10,8	4,3	2,9
2008	4,6	32,9	0,5
2009	5,8	21,6	0,3
2010	2,9	7,2	0,7
2011	2,8	4,2	0,6
2012	5,1	5,8	0,4
Povprečje / Mean	5,5	8,2	6,1



**Slika 3:** Struktura sanitarnega poseka zaradi snega, žleda in vetra po letih ločeno za listavce in iglavce

**Fig. 3:** Structure of sanitary felling due to snow, ice and wind, separately for deciduous trees and conifers

45 % sanitarnega poseka; največji vetrolomi so bili v letih 2008 in 2009. Pri snegolomih in vetrolomih je bil med poškodovanim drevjem delež iglavcev praviloma precej višji od deleža listavcev, pri žledolomih pa sta bila deleža listavcev in iglavcev skoraj enaka.

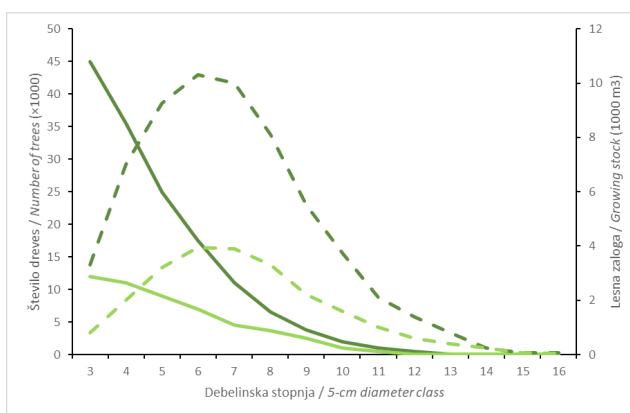
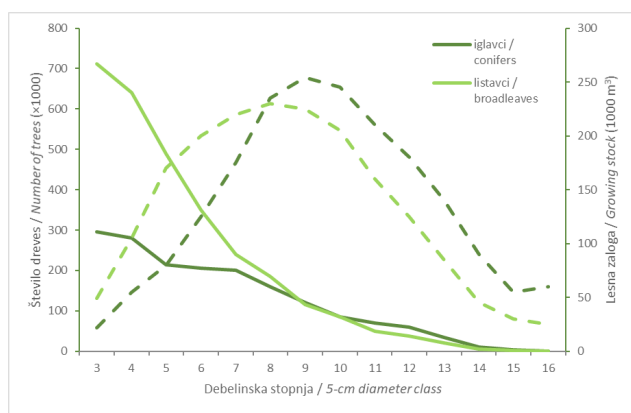
kot listavce. To potrjuje tudi višja skupna količina sanitarnega poseka zaradi snegoloma pri smreki kot pri bukvi (slika 5). V volumnu posekanega drevja zaradi snega močno prevladuje drevje s prsnim premerom od 20 do 40 cm (slika 4, desno). Sneg in žled podobno poškodujeta pretežno tanjše drevje, medtem ko veter poškoduje precej debelejša drevja (slika 5).

Da smo analizirali način vpliva snega na poškodovanost dreves, smo primerjali debelinsko strukturo poseka iglavcev in listavcev zaradi snega z debelinsko strukturo celotnega poseka (slika 4). Število posekanih dreves v bukovih gozdovih se z večanjem premera zmanjšuje v celotnem poseku in v poseku zaradi snega, vendar v nasprotju s celotnim posekom, kjer do osme debelinske stopnje prevladujejo listavci, v poseku zaradi snega v vseh debelinskih stopnjah prevladujejo iglavci. Krivulja, ki prikazuje število posekanih dreves zaradi snega, ima pri iglavcih strmejši padeč glede na celoten posek, pri listavcih pa je ravno obratno, zato lahko sklepamo, da sneg močneje poškoduje iglavce

### 3.2 Pogostnost in prostorska variabilnost snegolomov v gozdovih na bukovih rastiščih

#### 3.2 Frequency and spatial variability of snow damage in forests on beech sites

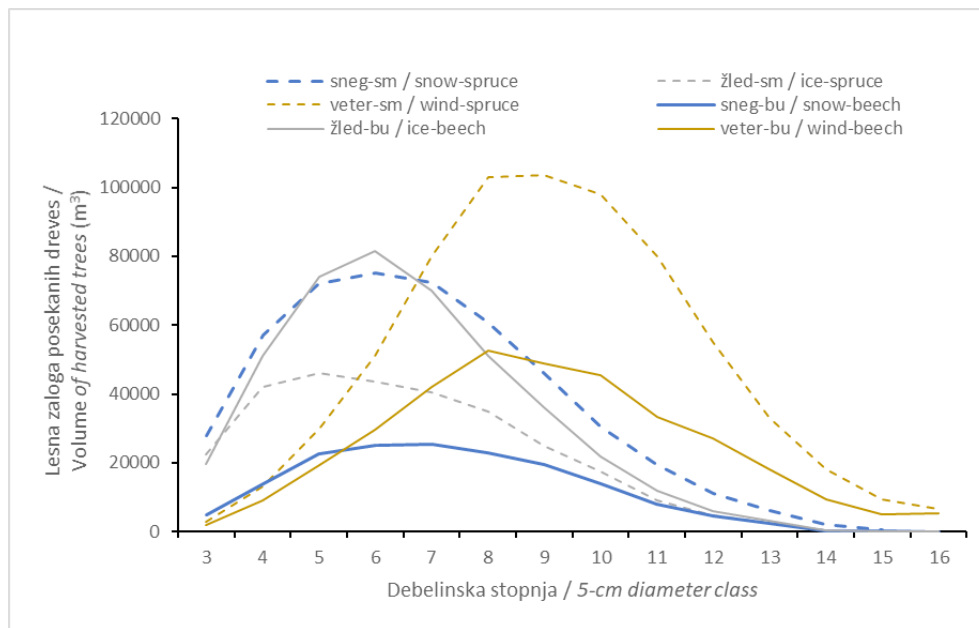
Pogostnost pojavljanja snegoloma znotraj areala bukovih gozdov je opazno različna (slika 6). V submediteranskem območju se poškodbe zaradi snega skoraj ne pojavljajo oziroma se pojavljajo redko na prehodu v dinarsko območje, izjema je okolica Postojne. Manjša pogostnost poškodb zaradi snega je tudi v panonskem



**Slika 4:** Struktura celotnega poseka (levo) in poseka zaradi snega (desno) v analiziranih bukovih gozdovih; prikazana so letna povprečja po debelinskih stopnjah; polna črta prikazuje število dreves, črtkana črta pa lesno zalogo

**Fig. 4:** Structure of the entire felling (left) and felling due to snow (right) in the analysed beech forests; annual averages by diameter class are shown





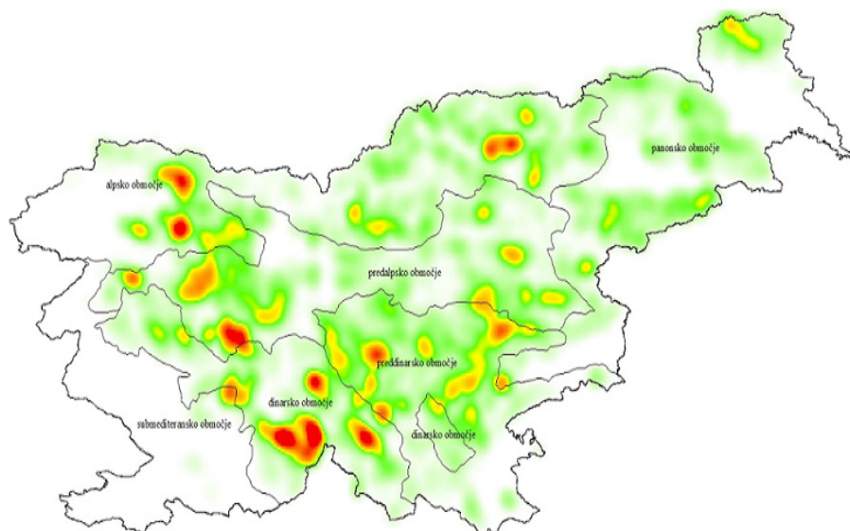
**Slika 5:** Debelinska struktura sanitarnega poseka zaradi poškodb po snegu, žledu in vetru v bukovih gozdovih; prikazan je celoten sanitarni posek v obdobju 1995–2012

**Fig. 5:** Diameter structure of salvage felling due to snow, ice and wind damage in the analysed beech forests; total salvage felling in the period 1995–2012 is shown

območju, v vseh preostalih območjih pa so poškodbe zaradi snega pogoste.

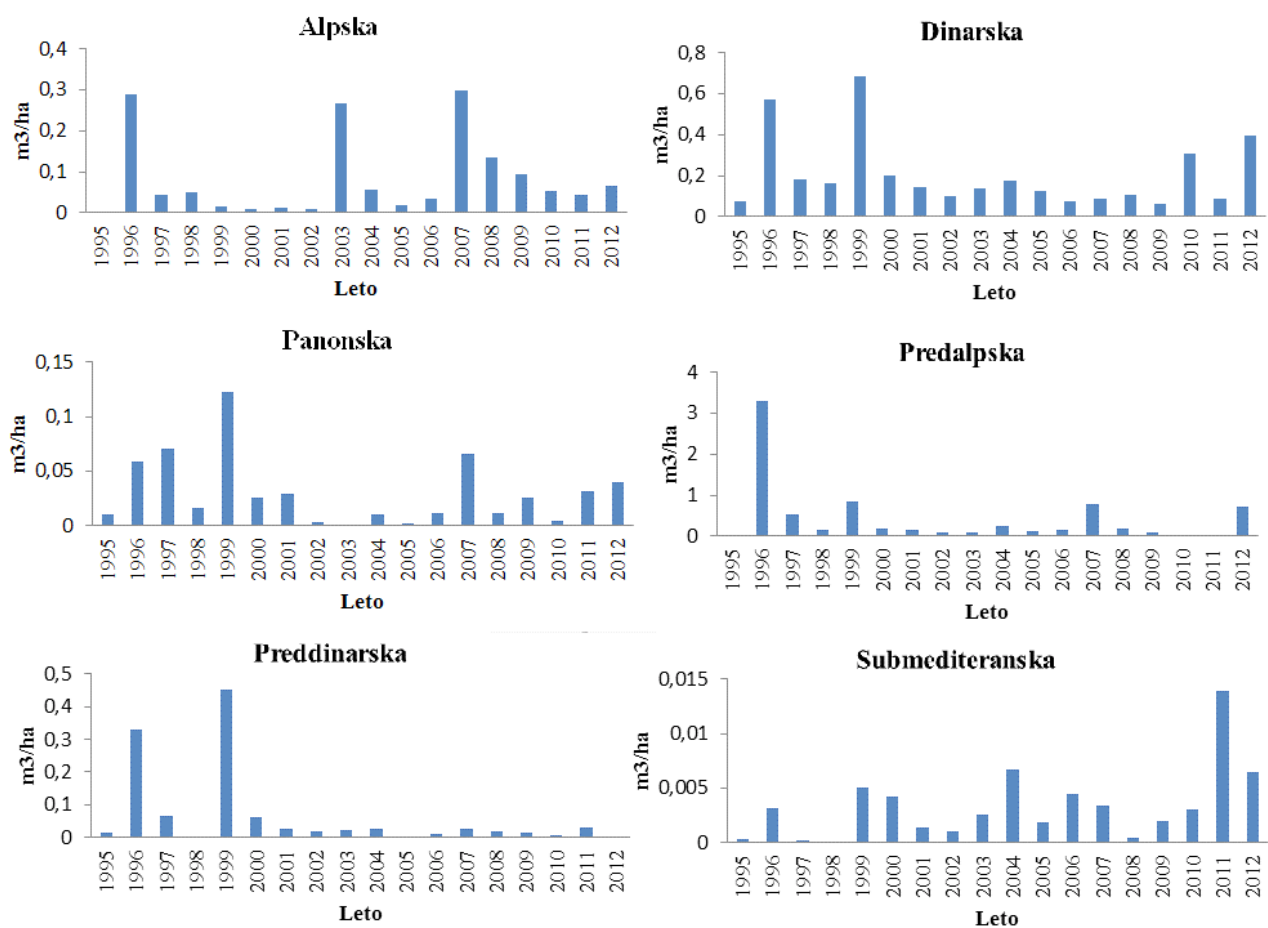
V preučevanem obdobju sta bila pogostnost snegolomov in tudi skupni sanitarni posek zaradi snega največja v alpski fitogeografski regiji, poškodbe zaradi snega v submediteranski fitogeografski regiji se pojavljajo v zelo majhni meri, kar je skladno s sliko 6, čeprav je kernelska analiza nakazala večjo pogostnost snegolomov tudi v drugih fitoregijah, predvsem pre-

dalpski (npr. okolica Logatca in Rovte) in dinarski regiji (npr. območje Loškega potoka in Blok). Med leti je opazna velika variabilnost v količini sanitarnega poseka zaradi snega (slika 7), variabilnost med območji pa je majhna (najvišji koeficient variacije je bil v predalpski (KV = 37 %), najmanjši v panonski regiji (KV = 25 %)). Statistično značilne razlike med fitoregijami smo potrdili s Kruskal-Wallisovim testom ( $p < 0,05$ ), z metodo parnih primerjav pa nismo ugotovili značilnih razlik ( $p$



**Slika 6:** Zgoščevanje pojava poškodb zaradi snega v bukovih gozdovih (na obarvanem območju se poškodbe zaradi snega pojavljajo, redkejšje so na območjih, obarvanih z zeleno, najpogosteje na območjih, obarvanih z rdečo; zemljevid je v projekciji WGS84)

**Fig. 6:** Density of snow damage occurrence in beech forests (the coloured area indicates snow damage; light green areas indicate less frequent damage and red areas indicate the most frequent damage; the map is in the WGS84 projection)



**Slika 7:** Poškodbe zaradi snega (m<sup>3</sup>/ha) v obdobju 1995–2012 po posameznih fitogeografskih regijah; grafikoni niso neposredno primerljivi zaradi različnih merskih skal na ordinati.

**Fig. 7:** Snow damage (m<sup>3</sup>/ha) in the period 1995–2012 by individual phytogeographic region; the graphs are not directly comparable due to different scales of the y-axes

> 0,05) med submediteransko in panonsko, panonsko in preddinarsko, panonsko in alpsko, preddinarsko in alpsko, alpsko in predalpsko, alpsko in dinarsko ter predalpsko in dinarsko fitoregijo.

### 3.3 Analiza vplivnih dejavnikov pojava snegoloma v gozdovih na bukovih rastiščih

#### 3.3 Analysis of influential factors of snow damage occurrence in forests on beech sites

Izmed šestnajstih spremenljivk (preglednica 2), vključenih v izračun binarne logistične regresije, jih je bilo pet vključenih v model (preglednica 3). Vse, z izjemo ene od kategorij spremenljivke fitogeografska regija, so bile statistično značilne (Waldov test,  $p < 0,05$ ; preglednica 5).  $D^2$  je znašal 23,2 %.

Od klimatskih spremenljivk je bila v model vključena skupna količina snega v spomladanskih mesecih marcu, aprilu in maju (Sneg\_3\_4\_5). V teh mesecih zapade v bukovih gozdovih v povprečju skupno 38 cm snega. Če se ta količina zapadlega snega poveča na dvakratno vrednost (76 cm), se verjetnost poškodb zaradi snežne obtežbe poveča za 1,71-krat.

Izmed rastiščnih spremenljivk so bile v model vključene fitogeografska regija (fito\_reg), naklon, skalnatost (skalnat) in geološka podlaga (kamn\_karb). Pri spremenljivki fito\_reg vse vrednosti koeficientov B primerjamo z alpsko fitogeografsko regijo (preglednica 3). Za bukove gozdove panonske fitogeografske regije ne moremo z zadostno statistično gotovostjo ( $p > 0,05$ ) trditi, da je verjetnost poškodb zaradi snega večja kot v bukovih gozdovih alpske regije, medtem ko za bukove gozdove preddinarske, dinarske in predalpske fitogeografske regije to lahko trdimo ( $p < 0,05$ ). Na območju preddinarskih bukovih gozdov je pri enaki količini snega verjetnost poškodb za 4,2-krat večja v primerjavi z alpskim območjem, na območju dinarskih za 3,4-krat in na območju predalpskih bukovih gozdov za 1,9-krat (slika 8). Vzorec za submediteransko regijo je bil premajhen.

Naš model kaže, da se s povečevanjem naklona terena možnost poškodovanosti bukovih gozdov zaradi snega povečuje. Če se naklon poveča za 50 % glede na povprečen naklon terena, ki je 25°, se verjetnost poškodb poveča za faktor 2,8. Skalnatost zmanjšuje verjetnost pojava poškodb zaradi snega. Če se skalnatost

**Preglednica 3:** Model za napovedovanje verjetnosti pojava poškodb bukovih gozdov zaradi snega

Spremenljivka / Variable	B	S. E.	P
Sneg_3_4_5	0,014	0,004	0,000
nagib	0,065	0,020	0,001
skalnat	-0,813	0,306	0,008
fito_reg1			0,000
fito_reg2	2,156	0,751	0,004
fito_reg3	4,445	1,432	0,002
fito_reg4	0,835	0,650	0,199
fito_reg5	3,188	0,666	0,000
fito_reg6	0,963	0,333	0,004
kamn_karb	-0,084	0,023	0,000
konstanta	-3,058	0,671	0,000

fito\_reg: 1 - alpska, 2 - dinarska, 3 - submediteranska, 4 - panonska, 5 - preddinarska, 6 - predalpska

iz povprečnih 6 % poveča na 12 %, se verjetnost pojava poškodb zaradi snega zmanjša za faktor 0,66. Geološke podlage (karbonatne / nekarbonatne) imajo statistično značilen vpliv na verjetnost pojava poškodb zaradi snega. Presenetljivo je, da je verjetnost poškodb zaradi snega v bukovih gozdovih na nekarbonatnih kamninah manjša kot na karbonatnih, in sicer za 0,5-krat.

Analiza kaže, da je možnost pojava poškodb zaradi snega največja v gozdovih preddinarskega območja, na strmejših in manj skalovitih terenih, na karbonatnih podlagah in ob obilnejših zgodnjepomladanskih snežnih padavinah. Verjetnost poškodb zaradi snega v bukovem preddinarskem gozdu na nekarbonatni matični podlagi in terenu z naklonom 50° in brez skalovitosti

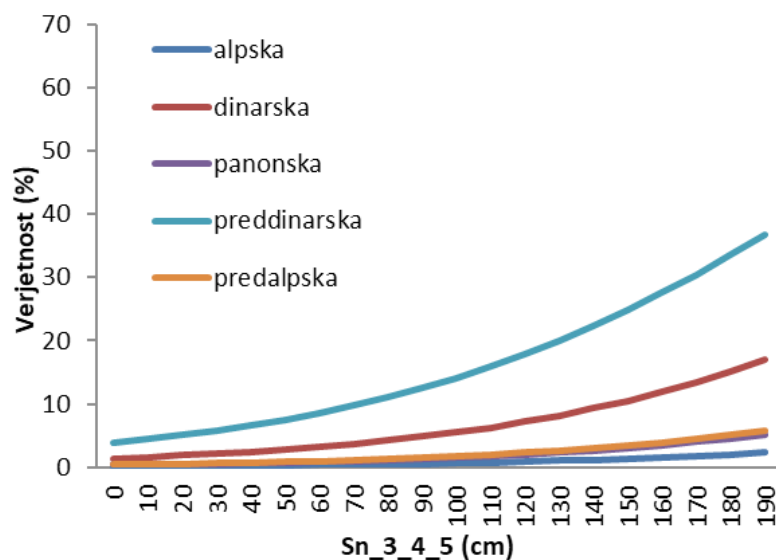
**Table 3:** A probability model for predicting the occurrence of snow damage in beech forests

bi bila v primeru 114 cm snežnih padavin v pomladanskih mesecih 5,0-krat večja kot verjetnost poškodb v gozdovih na karbonatni kamnini v alpski regiji v povprečnih razmerah (naklon 25°, skalnatost 6 %, skupna količina snega v marcu, aprilu in maju 38 cm).

#### 4 RAZPRAVA IN SKLEPI

#### 4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

V obdobju 1995–2012 je sanitarni posek v vseh slovenskih gozdovih znašal 29 % celotnega poseka (Poljanec in sod., 2014), v bukovih gozdovih je bil v istem obdobju samo za dve odstotni točki nižji. Razlog je v znatni zasmrečenosti bukovih gozdov. Podobno je tudi v drugih deželah, kjer smreka uspeva na bukovih

**Slika 8:** Spreminjanje verjetnosti pojava poškodb zaradi snega v spomladanskih mesecih po posameznih fitogeografskih regijah**Fig. 8:** Changes in the probability of snow damage occurrence in the spring months by phytoecographic region

rastiščih; na Slovaškem je smreka druga najpogostejša drevesna vrsta s 26 % deležem v lesni zalogi (Moravčič, 2007), a je v zadnjem desetletju njen delež v sanitarnem poseku znašal kar 75 % (Kunca, 2011). Bebi in sodelavci (2016) so na primeru švicarskih Alp ugotovili, da je od poindustrijske dobe naprej struktura gozdov značilno drugačna od naravnega stanja. S spremembo rabe tal se je delež gozdov na strmih pobočjih povečal, povečala se je tudi lesna zaloga, zaradi tega pa imajo vremenske ujme pomembnejšo vlogo, kot so jo imele v preteklosti.

Veter je med abiotičkimi dejavniki najpogostejši povzročitelj sanitarnega poseka v bukovih gozdovih, sledita mu žled in sneg; med biotičkimi motnjami so to podlubniki, a tega nismo raziskovali. Sneg in veter sta v obdobju 1995–2012 povzročila v bukovih gozdovih večje poškodbe iglavcev kot listavcev, deleža poškodovanih iglavcev in listavcev zaradi žleda pa sta podobna. Podobno se kaže za vse gozdove v Sloveniji v obdobju 1955–1990, le da Perko in Pogačnik (1996) omenjata, da je stopnja poškodovanosti listavcev zaradi žleda večja.

V bukovih gozdovih je stopnja poškodovanosti iglavcev večja od poškodovanosti listavcev. Med prvimi je tako v lesni zalogi kot v sanitarnem poseku zaradi snega največ smreke, pri listavcih prednjači bukev. Bukev je bistveno manj dovzetna za poškodbe zaradi snega kot smreka, saj v skupnem sanitarnem poseku zaradi snega v povprečju 1995–2012 (41.492 m<sup>3</sup>) sestavlja le 20 %, medtem ko smreka kar 54 % (rezultati niso prikazani). Mnogi avtorji ugotavljajo, da so iglavci v zimskih ujmah običajno bolj poškodovani bolj kot listavci (Jalkanen in Konopka, 1998; Müller, 2002; Mayer in sod., 2005; Schütz in sod., 2006; Hanewinkel in sod., 2008).

Glede na dimenzije poškodovanega drevja smo ugotovili, da sneg poškoduje predvsem mlajše in srednje-dobno drevje do 30–40 cm prsnega premera. Gordon (1973) je ugotovil največje poškodbe zaradi snega pri drevju s prsnimi premeri med 10 in 30 cm, Saje (2014) pa pri drevju s prsnimi premeri med 15 in 40 cm. Isti avtor hkrati ocenjuje, da so ranljiva predvsem drevesa manjših dimenzij, ki rastejo pod drevjem večjih dimenzij, saj z njih zdrse sneg in poškoduje nižje drevje.

Med fitogeografskimi regijami smo odkrili znatne razlike v količini poškodovanega drevja zaradi snega. Razlogov za to je verjetno več, od podnebnih razmer do različne stopnje spremenjenosti bukovih gozdov. Poškodbe zaradi snega so pričakovano najmanjše v submediteranski fitogeografski regiji, saj je tam količina snežnih padavin zanemarljiva. Tudi za alpsko fitoregijo smo ugotovili manjšo verjetnost snegolomov glede na druge fitoregije, kar se zdi kontradiktorno glede na večje količine snežnih padavin v tej regiji. Eden izmed ra-

zlogov je lahko metodološki, saj so meteorološke postaje v alpski regiji praviloma na nižjih nadmorskih višinah kot večina gozdov, ki jih prizadenejo snegolomi. Drugi razlog pa je verjetno v značilnosti snega, saj je ta zaradi nižjih temperatur bolj suh in zato lažji kot v drugih regijah. Možen razlog bi lahko bile tudi razlike v lastnostih različnih provenienc posamezne drevesne vrste, ki jih najdemo v različnih fitoregijah (npr. ozkokrošnjatost).

V naši raziskavi smo kot kazalnik poškodb drevja zaradi snega uporabili podatke o sanitarnem poseku iz podatkovne zbirke Timber (ZGS, 2013b). Podatki v tej zbirki prikazujejo posek po izdanih odločbah za sanitarni posek zaradi snegoloma, a ni nujno, da se nanašajo le na en dogodek. Ocenjujemo, da je bila pogostnost snegolomov podcenjena. Zapis v podatkovni zbirki se nanaša na površino odseka/oddelka in ne na dejansko površino gozdov, ki jih je sneg prizadel. Posledično podobno kot Skudnik in sodelavci (2012) ugotavljamo, da bi bilo za podrobnejše analize in poročanja smiselno voditi tudi podatek o dogodku, katerega posledica je sanitarna sečnja. To pomeni, da bi ob odkazilu in nato v podatkovnih zbirkah zabeležili tudi podatek o (vsaj okvirnem) letu in mesecu dogodka (snegoloma), ki je bil vzrok za sanitarni posek. Podatki o poseku so združeni po letih, vsaj za snegolome pa bi bilo bolj primerno, če bi bili združeni po sezonah. V podatkovni zbirki je sicer zabeležen datum odkazila oziroma izdane odločbe, ki pa se lahko precej razlikuje od pojava poškodb, zato z združevanjem podatkov po sezonah ne bi nujno dobili natančnejših podatkov. Povzročitelje poškodb, ki so razlog za sanitarni posek, je vsaj včasih težko nedvoumno določiti, posebej posledice obtežbe s snegom in žledom so si zelo podobne, popisi pa velikokrat potekajo kasneje, ko so se vremenske razmere že spremenile. Večkrat prihaja tudi do poškodb sestojev zaradi hkratnega vpliva več povzročiteljev. Zato je mogoče, da registrirani vzroki sanitarnega poseka niso povsem natančno določeni. Podatki o količinah sanitarnega poseka po vzrokih so tako okviren vir informacij, kar ugotavljajo tudi drugod (npr. Fridman in Valinger, 1998; Konopka in sod., 2005). Kljub temu pa so te podatkovne zbirke pogosto ključen vir informacij o tovrstnih dogodkih, saj pokrivajo celotno ozemlje države za relativno dolgo časovno obdobje, evidentiranje je zgledno opravljeno, drugih virov podatkov pa ni ali pa so omejeni.

#### 4.1 Vplivni dejavniki pojava poškodb zaradi snega

##### 4.1 Influential factors of snow damage occurrence

V raziskavi smo z modelom binarne logistične regresije preverjali vpliv klimatskih, sestojnih in rastišč-

nih spremenljivk na pojav poškodb drevja zaradi snega. Ugotovili smo, da na pojav poškodb značilno vpliva klima in štiri rastiščne spremenljivke: količina snega v spomladanskih mesecih (marec, april, maj), fitoregija, skalnatost, naklon terena in matična podlaga.

Naš model pojasnjuje 23,2 % variabilnosti verjetnosti pojava snegoloma v oddelkih. Klopčič in sodelavci (2009) so s podobnim modelom in vhodnimi podatki dosegli 4 % pojasnjene variabilnosti. Razlika med modeloma je, da smo v zadnji model vključili višino zapadlega snega v spomladanskih mesecih, ki je očitno ključna spremenljivka za pojasnitev večjega dela variabilnosti. V poskusih redčenja in gnojenja sta Valinger in Pettersson (1996) na Švedskem s testiranimi sestojnimi in geografskimi spremenljivkami pojasnila kar 36 % variabilnosti poškodovanosti zaradi snega, a le 17 % variabilnosti poškodovanosti dreves zaradi vetra. Poškodbe zaradi snega se pojavljajo sporadično, zato so za tovrstne modele zaželeni podatkovni bazi, ki pokrivajo daljše časovno obdobje. Model bi bil boljši, če bi uporabili podatke iz daljšega časovnega obdobja, kar pa v našem primeru ni bilo mogoče. Slabost raziskave je, da smo obravnavali različne fitogeografske regije, ki se močno razlikujejo v višini snežne odeje in tipu snega. Vendar pa smo s tem istočasno povečali reprezentativnost podatkov, kar je slabost pri sicer natančnejših študijah primerov, ki pa so prostorsko omejene na posamezni tip gozdne vegetacije (npr. Zubizarreta-Gerendiain in sod., 2012).

Izmed klimatskih spremenljivk je bila v napovedni model pojavljanja poškodb zaradi snega vključena le količina snega v spomladanskih mesecih (marec, april, maj). Rezultat se ujema z navodami, da so listavci, posebej v poznojesenskem in zimskem času, navadno bolj odporni na poškodbe zaradi snega kot iglavci (FAO/ECE/ILO, 1996). Spremenljivka večdnevni maksimumi zapadlega snega v posameznem letu (MaxSum\_10d) ni bila vključena v model, kar pomeni, da je za napovedovanje snegolomov pomembnejša sezona sneženja kot pa sama količina snega. V spomladanskem času, ko je drevje olistano, že majhna snežna obtežba povzroči poškodbe drevja. Preverjali smo tudi spremenljivko višina novozapadlega snega (sum10d), ki pa ni bila vključena v model. Za napovedovanje poškodb bi bila verjetno primernejša spremenljivka obtežba dreves s snegom, izražena v kN/m<sup>2</sup> (npr. Vertačnik in Dolinar, 2007), ki pa ni bila dostopna.

Čeprav so zaradi večjega kota vpada sončnih žarkov na prisojnih pobočjih in večjih hitrosti vetra količine snega na strmih pobočjih praviloma manjše (Bunnell in sod., 1985), smo z našim modelom ugotovili, da je verjetnost pojava poškodb zaradi snega na strmejših

pobočjih večja kot na položnejših pobočjih. Za bukev je značilna prilagodljivost krošnje svetlobnim razmeram (Marinček, 1987), zato so asimetrične krošnje pogoste, kar na pobočjih pomeni večjo dovzetnost za poškodbe. Tudi Getzin in Wiegand (2007) sta ugotovila, da je asimetrična rast na pobočjih veliko pogostejša pri listavcih kot pri iglavcih.

Ugotovili smo tudi značilen vpliv matične podlage na pojav snegolomov. Izkazalo se je, da je na bazičnih (karbonatnih) kamninah verjetnost poškodb zaradi snega statistično značilno večja, a ustrezne razlage za to nismo našli. Model je pokazal tudi, da so bukovni gozdovi na bolj skalovitih terenih manj dovzetni za poškodbe zaradi snega. Zubizarreta-Gerendiain in sodelavci (2012) pa so nasprotno ugotovili, da so gozdovi na plitvih tleh, ki so značilne za skalovita območja, s slabšimi možnostmi dobrega zakoreninjenja dreves bolj dovzetni za poškodbe zaradi snega. Razlog za to bi lahko bil v omejeni možnosti rasti korenin v globino in s tem omejenih možnosti sidranja (Nicoll in sod., 2006). V takih primerih so pogostejši primeri izruvanja dreves (Solantie, 1994).

#### 4.2 Priporočila za gospodarjenje z gozdovi na območjih pogostejših poškodb zaradi snega

#### 4.2 Recommendations for forest management in areas with frequent snow damage

Sneg povzroča največ poškodb na mlajšem in srednjedobnem drevju. Zaradi tega je pomembno, da so redčenja v mladih in srednjedobnih čistih bukovih ali smrekovih ter mešanih enomernih sestojih opravljena pravočasno, kar prispeva k oblikovanju večjih krošenj in ugodnejšega dimenzijskega razmerja. Ker se z redčenji začasno zmanjša mehanska stabilnost sestoja (Nykänen in sod., 1997), so na območjih pogostejših snegolomov primernejša pogostejša redčenja nižjih jakosti. Preveriti pa bi veljajo tudi učinke alternativnih načinov izbiralnega redčenja, kot je npr. situacijsko redčenje po Abetzu ali Schützu (Kotar, 2005). Posebej pri iglavcih, ki so bolj dovzetni za poškodbe zaradi snega, je treba čim prej povečati dimenzijsko razmerje. Situacijska redčenja pospešujejo manjše število končnih izbrancev, zato se ne ukrepa razpršeno po celotnem sestoju, kar ohranja kolektivno stabilnost sestoja in pripomore k manjši poškodovanosti sestojev. Slednje so nekatere tuje (Ammann, 1999) in domače raziskave (Saje, 2014) že dokazale. Pri situacijskih redčenjih je število izbrancev (t.i. končnih izbrancev) manjše, zato sečnja ni opravljena enakomerno po celotnem sestoju, kar ohranja kolektivno stabilnost sestoja in lahko pripomore k manjšim poškodbam sestoja v prvih letih po redčenju.

Ker se je smreka v bukovih gozdovih v primerjavi z bukvijo izkazala za precej bolj dovzetno za poškodbe po snegu in vetru (ne pa tudi žledu), je smiselno njen delež ohranjati ali ga zmanjševati, nikakor pa ne povečevati. V območjih, kjer so snegolomi pogosti, naj bo njen delež majhen, smreka pa primešana posamično ali v (manjših) šopih oziroma skupinah.

V zadnjem obdobju je opazen trend zmanjševanja snežne odeje in tudi števila dni s snežno odejo zaradi podnebnih sprememb (Dolinar, 2019). Toda če sneg pade spomladi ali jeseni, ko so listavci že oziroma še olistani, se lahko poškodbe lže ob majhnih količinah snega znatne zaradi težkega južnega snega. Napovedi za prihodnja desetletja kažejo na nezmanjšano ali celo večjo količino letnih padavin kot do sedaj, nekatere bodo zagotovo tudi snežne (Dolinar, 2019), zato bodo poškodbe drevja zaradi snega aktualne tudi v prihodnosti.

## 5 POVZETEK

### 5 SUMMARY

Snow is an important forest damage agent in Central Europe and also in Slovenia. Damage to deciduous forests due to snow is poorly understood. The main aims of our study were thus i) to analyse the extent, structure and frequency of snow damage in mixed forests on European beech (*Fagus sylvatica*) forest sites, and to compare it to damage due to wind and ice, and ii) to identify factors affecting the occurrence of snow damage in mixed forests on beech sites in Slovenia.

Our study area was comprised of mainly mixed forests on beech sites with at least 10 % of European beech in the total growing stock (hereafter beech forests). The study area was comprised of 22,609 compartments, encompassing 8,839 km<sup>2</sup> or 73 % of the total forest cover in Slovenia (Fig. 1). Snow damage was estimated by the amount of sanitary felling. These data were obtained from the databases of the Slovenia Forest Service for the period 1995–2012. We analysed the quantitative, structural and spatio-temporal distribution of snow damage as well as its frequency. We compared some parameters with those of wind and ice damage. In addition, we performed an analysis of the influential factors using binary logistic regression with snow damage occurrence as the dependent variable. Besides data on forest and site characteristics, we additionally used data on daily snowfall amount obtained from meteorological stations of the Slovenian Environment Agency. The daily snowfall amount for each compartment was calculated by a linear regression expressing the relation between the elevation and the amount of snowfall obtained from the meteorolo-

gical station data. Since the error of the calculated daily snowfall amount increases with distance from the meteorological station, we performed this analysis on a subset of 363 compartments, the centroids of which were in all cases closer than 2 km from the meteorological station. The modelling procedure was performed using 16 independent variables depicting climate, site and forest characteristics (Table 1).

In beech forests, the average sanitary felling due to snow damage in the period 1995–2012 was 5.5 m<sup>3</sup>/100 ha, which was less than the sanitary felling due to wind or ice (Table 2). In most years, the amount of snow damage was higher than that of ice. The high average value of ice damage was due to two events (1996–1997 and 2007) that damaged a very large amount of timber. In the case of snow and wind damage, the proportion of conifers damaged was generally much higher than that of broadleaves, whereas in the case of ice damage, the proportions between both species groups were more similar. Snow damaged more thin to medium-sized conifers (dbh < 35 cm), while thin deciduous trees predominated in the total felling (Fig. 4). Trees with dbh 20–40 cm represented the majority of the harvested timber volume due to snow damage. The lowest frequency of snow damage was observed in the sub-Mediterranean region, followed by the Pannonic region, while areas of relatively high occurrence frequency were detected in all other regions (Fig. 6).

In the final model of snow damage occurrence, five predictors were included: one climate variable – the sum of snow cover in the spring months (snow\_3\_4\_5), and four site variables – phytogeographical region (fito\_reg), rockiness (skalnat), slope inclination and bedrock (kamn\_karb). The probability of snow damage was highest in forests in the pre-Dinaric area, on steeper and less rocky terrain, on carbonate bedrock and with heavy early spring snowfall. Our model explained 23.2 % of the variability in snow damage occurrence. Even better results could be obtained if a longer time period was analysed and if the spatial sample was larger.

In beech forests, snow damage is an important disturbance agent. Beech is less susceptible to snow damage than spruce if admixed in forests. Snow is the most damaging agent to young and middle-aged trees and stands. Therefore, it is important that thinnings from above in areas where snowfall is more likely are made early enough to enable trees to form large canopies and increase their taper (i.e. height-dbh relationship) and stability. More frequent thinnings of lower intensities are preferred. Alternative types of crop tree situational thinning should be thoroughly considered

as well. These types favour fewer crop trees, and thus harvest is not performed throughout the stand, which maintains the collective stability of the stand and results in less damage to trees and stands. In addition, only a small proportion of spruce in the admixture of stands is advised in areas that are more susceptible to snow damage. It should be admixed individually or in (small) groups. When snow precipitation occurs in spring or autumn, when leaves are already or still on trees, damage to stands may occur even with very little snow (which is usually wet and heavy). Despite climate change, snow damage to trees and stands will remain relevant in the future.

## 6 ZAHVALA

### 6 ACKNOWLEDGEMENTS

Raziskavo je finančno podprla Pahernikova ustanova, za kar se najlepše zahvaljujemo.

## 7 VIRI

### 7 REFERENCES

- Ammann P. 1999. Analyse unbehauelter Jungwaldbestände als Grundlage für neue Pflegekonzepte. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 150, 12: 460–470.
- ARSO. 2014. Arhiv meritev. <http://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (13.2.2020).
- Bebi P., Seidl R., Motta R., Fuhr M., Firm D., Krumm F., Conedera M., Ginzler C., Wohlgemuth T., Kulakowski D. 2016. Changes of forest cover and disturbance regimes in the mountain forests of the Alps. Forest Ecology and Management, 388: 43–56.
- Bohn U., Gollub G., Hettwer C. 2000. Karte der natürlichen Vegetation Europas. Bundesamt für Naturschutz.
- Bončina A. 2012. Bukovi gozdovi v Sloveniji: ekologija in gospodarjenje. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 449 str.
- Bončina A., Klopčič M., Simončič T., Dakskobler I., Ficko A., Rozman A., 2017. A general framework to describe the alteration of natural tree species composition as an indicator of forest naturalness. Ecological Indicators, 77: 194–204.
- Brang P., Spathelf P., Larsen J.B., Bauhus J., Bončina A., Chauvin C., Drössler L., Garcia-Güemes C., Heiri C., Kerr G., Lexer M.J., Mason B., Mohren F., Mühlethaler U., Nocentini S., Svoboda M. 2014. Sustainability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change. Forestry, 87: 492–503.
- Bunnell F.L., McNay R.S., Shank C.C. 1985. The deposition of snow on the ground - a review and quantitative synthesis. Research Ministries of Environment and Forests. IWIFR, 17. Victoria, B.C. 476 str.
- Cannell M.G.R., Morgan J. 1989. Branch breakage under snow and ice loads. Tree Physiology, 5: 307–317.
- Čavlović J., Anić I. 2008. Načrtovanje in gospodarjenje z bukvi na Hrvaškem. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 87: 101–112.
- Dakskobler I. 2012. Pregled bukovih rastišč v Sloveniji. V: Bukovi gozdovi v Sloveniji: Ekologija in gospodarjenje. Bončina A. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 59–74.
- Deankovič T. 1969. Snegolomi v Julijskih alpah in njihovi vzroki. Gozdarski vestnik, 27, 9: 223–235.
- Diaci J. 2006. Gojenje gozdov: pragozdovi, sestoji, zvrsti, načrtovanje, izbrana pogavja. Učbenik za študente univerzitetnega študija gozdarstva. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 348 str.
- Dolinar M. (ur.) 2019. Ocena podnebnih sprememb v Sloveniji do konca 21. stoletja. Sintezno poročilo - prvi del. Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- Dvorak L., Bachmann P., Mandallaz D. 2001. Strurmschäden in ungleichförmigen Beständen. Schweizerischer Forstverein, 152, 11: 445–452.
- FAO/ECE/ILO. 1996. Acute forest damage manual: managing the impact of sudden and severe forest damage. Discussion Paper No.7. Geneva, Food and Agriculture Organization (FAO) / Economic Commission for Europe (ECE) & International Labour Organization (ILO). FAO / IAEA: 102 str.
- Fischer A., Marshall P., Camp A. 2013. Disturbances in deciduous temperate forest ecosystems of the northern hemisphere: their effects on both recent and future forest development. Biodiversity Conservation, 22: 1863–1893.
- Fridman J., Valinger E. 1998. Modelling probability of snow and wind damage using tree, stand, and site characteristics from *Pinus sylvestris* sample plots. Scandinavian Journal of Forest Research, 13: 348–356.
- Gardiner B.A., Peltola H., Kellomäki S. 2000. Comparison of two models for predicting the critical wind speeds required to damage coniferous trees. Ecological Modelling, 129, 1–3: 1–23.
- Getzin S., Wiegand K. 2007. Asymmetric tree growth at the stand level: random crown patterns and the response to slope. Forest Ecology and Management, 242, 2–3: 165–174.
- Gill D. 1974. Snow damage to boreal mixedwood stands in northern Alberta. Forestry Chronicle, 50, 2: 70–73.
- Gizachew B., Brunner A. 2011. Density-growth relationship in thinned and unthinned Norway spruce and Scots pine in Norway. Scandinavian Journal of Forest Research, 26: 543–554.
- Grünwald T., Bühler Y., Lehning M. 2014. Elevation dependency of mountain snow depth. The Cryosphere, 8: 2381–2394.
- Gordon T.D. 1973. Pacific southwest forest and range experiment station: damage from wind and other causes in mixed white fir - red fir stands adjacent to clearcuttings. USDA Forest Service Research Paper, PSW 90: 12 str.
- Guild D.W. 1986. Snow damage in plantation forests in southern New Zealand. New Zealand Forestry, 9: 9–14.
- Guisian A., Zimmermann N.E., 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. Ecological Modelling, 135: 147–186.
- Hanewinkel M., Breidenbach J., Neef T., Kublin E. 2008. Seventy-seven years of natural disturbances in a mountain forest area - the influence of storm, snow and insect damage analysed with a long-term timeseries. Canadian Journal of Forest Research, 38: 2249–2261.
- Hosmer D.W., Lemeshow S. 2000. Applied Logistic Regression. 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York, New York.
- Jakša J. 1996. Posledice snežnih in ledenih ujm v slovenskih gozdovih v zimah 1995/1996 in 1996/1997. Gozdarski vestnik, 55, 5–6: 263–274.
- Jalkanen R., Konopka B. 1998. Snow-packing as a potential harmful factor on *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Betula pubescens* at high altitudes in northern Finland. Forest Pathology, 28, 6: 373–382.
- Kadunc A., Poljanec A., Dakskobler I., Rozman A., Bončina A. 2013. Ugotavljanje proizvodne sposobnosti gozdnih rastišč v Sloveniji: poročilo o realizaciji projekta. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 42 str.

- Kangur R. 1973. Snow damage to young Western hemlock and Douglas fir. Oregon State University, School of Forestry, Research Papers 21: 11 str.
- Kantor P., Karl Z., Šach F., Černohous V. 2009. Analysis of snow accumulation and snow melting in a young mountain spruce and beech stand in the Orlické hory Mtr., Czech Republic. *Journal of Forest Science*, 55, 10: 437–451.
- Klopčič M., Poljanec A., Gartner A., Bončina A. 2009. Factors related to natural disturbances in mountain Norway spruce (*Picea abies*) Forests in the Julian Alps. *Ecoscience*, 16, 1: 48–57.
- Konopka B., Konopka J., Raši R. 2005. Damage to forest caused by wind, snow and rime in Slovakia during the years 1996–2003. *Lesnický časopis*, 51, 1: 31–43.
- Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Zavod za gozdove Slovenije: 500 str.
- Kunca A. 2011. Occurrence of harmful agents in the Slovak forests in 2010 and their prognosis for the year of 2011. *Zvolen, National Forest Centre*: 107 str.
- Lavers G.M. 1969. The strength properties of timbers. 2nd edition. *Forest Products Research Laboratory Bulletin*, 50: 62 str.
- Marinček L. 1987. Bukovi gozdovi na Slovenskem. Ljubljana, Delavska enotnost: 153 str.
- Martin-Alcon M., Gontalez-Olabarria J.R., Coll L. 2010. Wind and snow damage in the Pyrenees pine forests: effect of stand attributes and location. *Silva Fennica*, 44, 3: 399–410.
- Mayer P., Brang P., Dobbertin M., Hallenbarter D., Renaud J.-P., Walthert L., Zimmermann S. 2005. Forest storm damage is more frequent on acidic soils. *Annals of Forest Science*, 62: 303–311.
- Mlinšek D. 1966. Gozdnogojitveni problemi in naloge v gorskih smrekovih gozdovih. *Gozdarski vestnik*, 24: 257–270.
- Moravčík M. 2007. Derivation of target structure for forests of Norway spruce vegetation zone in Slovakia. *Journal of Forest Science*, 53, 6: 267–277.
- Müller F. 2002. Modellierung von Sturm-, Schnee- und Rotfäulerisiko in Fichtenbeständen auf Einzelbaumbene: doktorska disertacija. (Technischen Universität München, Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt). Freising, samozaložba: 175 str.
- Nicoll B.C., Gardiner B.A., Rayner B., Peace A.J. 2006. Anchorage of coniferous trees in relation to species, soil type and rooting depth. *Canadian Journal of Forest Research*, 36: 1871–1883.
- Nykänen M.-L., Peltola H., Quine C.P., Kellomäki S., Broadgate M. 1997. Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica*, 31, 2: 193–213.
- Peltola H., Nykänen M.-L., Kellomäki S. 1997. Model computations on the critical combination of snow loading and windspeed for snow damage of scots pine, Norway spruce and Birch sp. at stand edge. *Forest Ecology and Management*, 95, 3: 229–241.
- Peltola H., Kellomäki S., Hassinen A., Granander M. 2000. Mechanical stability of Scots pine, Norway spruce and birch: an analysis of tree-pulling experiments in Finland. *Forest Ecology and Management*, 135: 134–153.
- Perko F., Pogačnik J. 1996. Kaj ogroža slovenske gozdove? Zbirka Gozdarski nasveti, št. 3. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije, Gozdarska založba: 183 str.
- Petty J.A., Worrell R. 1981. Stability of coniferous tree stems in relation to damage by snow. *Forestry*, 54, 2: 115–128.
- 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.
- Rakovec J., Vrhovec T. 1998. Osnove meteorologije za naravoslovce in tehnike. Ljubljana, Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije: 318 str.
- Rottmann M. 1985. Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen. Beiträge zur Beurteilung der Schneebruchgefährdung, zur Schadensvorbeugung und zur Behandlung schneegefährdeter Nadelholzbestände. J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt am Main: 159 str.
- Saje R. 2014. Analiza poškodovanosti gozdnih sestojev v GGE Brezova reber s poudarkom na snegolomu leta 2012. (Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 83 str.
- Schelhaas M., Nabuurs G., Schuck A. 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biology*, 9, 11: 1620–1633.
- Schütz J.P., Gotz M., Schmid W., Mandallaz D. 2006. Vulnerability of spruce (*Picea abies*) and beech (*Fagus sylvatica*) forest stands to storms and consequences for silviculture. *European Journal of Forest Research*, 125, 3: 291–302.
- Seidl R., Fernandes P.M., Fonseca T.F., Gillet F., Jönsson A.M., Merganičová K., Netherer S., Arpaci A., Bontemps J.-D., Bugmann H., González-Olabarria J.R., Lasch P., Meredieu C., Moreira F., Schelhaas M.-J., Mohren F. 2011. Modelling natural disturbances in forest ecosystems: a review. *Ecological Modelling*, 222: 903–924.
- Shepard R.K. 1975. Ice storm damage to loblolly pine in northern Louisiana. *Journal of Forestry*, 73, 7: 420–423.
- Skudnik M., Japelj A., Robek R., Piškur M., Kranjc N., Kušar G. 2012. Merila za opredeljevanje velikih poškodb v gozdovih. V: Kako učinkovito obvladati poškodbe gozdov večjih razsežnosti. Zbornik razširjenih povzetkov, Ljubljana, 25. okt. 2012. Falkner J., Skudnik M., Jurc D., Diaci J. (ur.). Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije: 3–7.
- Slodičak M. 1995. Thinning regimes in stands of Norway spruce subjected to snow and wind damage. V: *Winds and Trees*. Coutta M.P., Grace J. (ur.). Cambridge, University Press: 436–447.
- Solantie R., Ahti K. 1980. Säätekijöiden vaikutus Etelä-Suomen lumituhoihin v. 1959. Summary: The influence of weather in the snow damages for forests of South-Finland in 1959. *Silva Fennica*, 14, 4: 342–353.
- Solantie R. 1994. Effect of weather and climatological background on snow damage of forests in southern Finland in November 1991. *Silva Fennica*, 28, 3: 203–211.
- Stanivuković Z. 2013. Štete od snijega u pojasu šuma bukve i jele. *Bulletin Faculty of Forestry, University of Banja Luka*, 6, 18: 21–44.
- Suzuki K., Kodama Y., Yamazaki T., Kosugi K., Nakai Y., 2008. Snow accumulation on evergreen needle-leaved and deciduous broad-leaved trees. *Boreal Environmental Research*, 13: 403–416.
- Valinger E., Lundqvist L. 1993. Assessing the risk of snow and wind damage from tree physical characteristics. *Forestry*, 66, 3: 249–260.
- Valinger E., Lundqvist L. 1994. Reducing wind and snow damage induced damage in forestry. *Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogskötsel, Rapport 37*: 11 str.
- Valinger E., Lundqvist L., Brandel G. 1994. Wind and snow damage in a thinning and fertilisation experiment in *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 9, 1–4: 129–134.
- Valinger E., Pettersson N. 1996. Wind and snow damage in a thinning and fertilisation experiment in *Picea abies* in southern Sweden. *Forestry*, 69, 1: 25–33.
- Vertačnik G., Dolinar M. 2007. Obilna snežna odeja v Sloveniji. *Ujma*, 21: 57–63.
- ZGS. 2013a. Podatkovna zbirka Odseki. Zavod za gozdove Slovenije, Ljubljana.
- ZGS. 2013b. Podatkovna zbirka Timber. Zavod za gozdove Slovenije, Ljubljana.



Zubizarreta-Gerendiain A., Pellikka P., Garcia-Gonzalo J., Ikonen V.-P., Peltola H. 2012. Factors affecting wind and snow damage of individual trees in a small management unit in Finland: assesment based on inventoried damage and mechanistic modelling. *Silva Fennica*, 46, 2: 181–196.

Wallentin C., Nilsson U. 2014. Storm and snow damage in a Norway spruce thinning experiment in southern Sweden. *Forestry*, 87, 2: 229–238.

Williston H.L. 1974. Managing pines in the ice-storm belt. *Journal of Forestry*, 72, 9: 580–582.

**Priloga 1: Značilnosti gozdov na bukovih rastiščih v posameznih fitogeografskih regijah**

**Appendix 1: Characteristics of beech forests by phytogeographic region**

	Fitogeografska regija					
	Alpska	Dinarska	Submediteranska	Panonska	Preddinarska	Predalpska
Površina odsekov [ha]	232.002	186.702	41.275	95.145	150.526	178.908
Razpon nadmorske višine [m]	256–1933	185–1638	125–1025	138–950	165–1070	210–1450
Prevladujoče kamnine*	karbonatne kamnine	karbonatna podlaga (apnenec, dolomit)	nekarbonaten fliš in karbonati (apnenec)	miocenske kamnine, predvsem peski in gline	silikatna in karbonatna podlaga	karbonatna in silikatna matična podlaga
Povprečna nadmorska višina [m]	932	806	595	313	458	566
Podnebje	zmerno subpolarno (alpsko)	dinarsko celinsko	submediteransko	zmerno celinsko	humidno-celinsko	subalpsko
Količina padavin [mm] *	2600–3200	2000–2600	1000–1800	800–1200	1200–1800	1200–2000
Povprečna temperatura zraka [°C] *	4–8	6–8	10–12	8–12	8–10	8–10
Najpogostejše drevesne vrste v združbah z bukvijo*	macesen, smreka	jelka, smreka	kostanj	dob, kostanj	jelka, smreka	graden, kostanj, smreka
Povprečna lesna zaloga [m <sup>3</sup> /ha]	307	313	210	292	275	293
Povprečen delež bukve v skupni lesni zalogi [%]	33	42	44	46	48	40

\*Povzeto po: Marinček, 1987