

Vplivni dejavniki pojava in jakosti vetroloma na območju Črničca

Influential Factors of Windthrow Occurrence and Severity in the Črničca Area

Matija KLOPČIČ¹, Andrej PAHOVNIK², Andrej BONČINA³

Izvleček:

Klopčič, M., Pahovnik, A., Bončina, A.: Vplivni dejavniki pojava in jakosti vetroloma na območju Črničca. Gozdarski vestnik, 71/2013, št. 7-8. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 45. Prevod avtorji, jezikovni pregled angleškega besedila Breda Misja, slovenskega besedila Marjetka Šivic.

V srednji Evropi je veter glavni abiotski dejavnik dinamike gozdov. V gozdovih največkrat povzroča motnje nizkih jakosti, dokaj pogosto tudi srednjih, redkeje pa motnje velikih jakosti, kakršna se je leta 2008 zgodila na območju prelaza Črničca. V naši raziskavi smo s Kendallovim tau-b korelacijskim koeficientom in binarno logistično regresijo poskušali raziskati, ali lahko s podatki s stalnih vzorčnih ploskev (SVP) analiziramo pojavljanje vetrolomov v izbranem območju gozdov. Številne sestojne in rastiščne spremenljivke so bile statistično značilno povezane s stopnjo poškodovanosti sestojev na SVP. Med razvojnimi fazami smo najvišjo stopnjo poškodovanosti evidentirali v debelejkih, v mladovju in drogovnjaku poškodbe niso bile evidentirane. Sestoji z večjim deležem smreke so bili bolj poškodovani kot sestoji z manjšim. Največjo stopnjo poškodovanosti sestojev smo ugotovili v sestojih s primesjo listavcev < 25 % lesne zaloge, medtem ko v sestojih z deležem listavcev ≥ 75 % poškodb nismo zabeležili. V pojasnjevalni model pojava vetroloma na SVP je bilo vključenih sedem spremenljivk: nadmorska višina, lega, nagib, matična podlaga ter lesne zaloge smreke, jelke in bukve. V razpravi so podani komentarji rezultatov in nekatere usmeritve za gospodarjenje z gozdovi.

Ključne besede: veter, abiotski dejavniki, smreka, Črničca, Slovenija

Abstract:

Klopčič, M., Pahovnik, A., Bončina, A.: Influential Factors of Windthrow Occurrence and Severity in the Črničca Area. Gozdarski vestnik, 71/2013, vol. 7-8. In Slovenian, abstract and summary in English lit. Quot. 45. Translated by author, proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

In Central Europe wind was recognized as the main abiotic factor of forest stand dynamics. It mostly causes low-severity disturbances, but also disturbances of moderate severity are frequent, whereas high-severity disturbances are rare. However, one such disturbance happened at the broader area of the mountain pass Črničca in the year 2008. In the study, Kendall tau-b correlation coefficient and binary logistic regression were used to find out whether the data from permanent sample plots (PSP) can be used to analyze the occurrence of a windthrow on a study site. Various stand and site factors were statistically significantly associated with the damage level in a particular stand. The highest damage level within the development phases was recorded in mature stands, whereas no damage was documented in regeneration, thicket stage and pole stage stands. Stands with a higher share of conifers were more severely damaged than those with a lower share of conifers. The most severe damages were found in stands with < 25 % of broadleaves in stand volume, while in stands with the share of broadleaves ≥ 75 % no damage was registered. The explanatory model of windthrow occurrence at PSP level included seven variables: altitude, exposition, slope, bedrock type, and stand volume of spruce, fir and beech, respectively. Additionally, the acquired results were discussed and some forest management guidelines were proposed.

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Naravne motnje so sestavni del dinamike gozdnega ekosistema, ki neposredno vplivajo na njihovo zgradbo in tokove snovi in energije v njih (Pickett in White, 1985; Anko, 1993; Attiwill, 1994; Oliver in Larson, 1996). Pogostnost njihovega pojavljanja

¹Dr. M. K., Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, BF, Večna pot 83, 1000, Ljubljana, matija.klopcc@bf.uni-lj.si

²A.P., univ.dipl. inž. gozd., Novo naselje 15, 3342 Gornji Grad, andrej.pahovnik@gmail.com

³Prof. dr. A. B., Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, BF, Večna pot 83, 1000, Ljubljana, andrej.boncina@bf.uni-lj.si

in njihova jakost se spreminjata v prostoru in času. Naravne motnje se med seboj razlikujejo glede na povzročitelja, trajanje in jakost. Glede na njihovo jakost Frelich (2002) loči tri tipe motenj: motnje nizkih (»low-severity disturbances«), srednjih (»medium-severity disturbances«) in velikih jakosti ali katastrofe (»high-severity disturbances«).

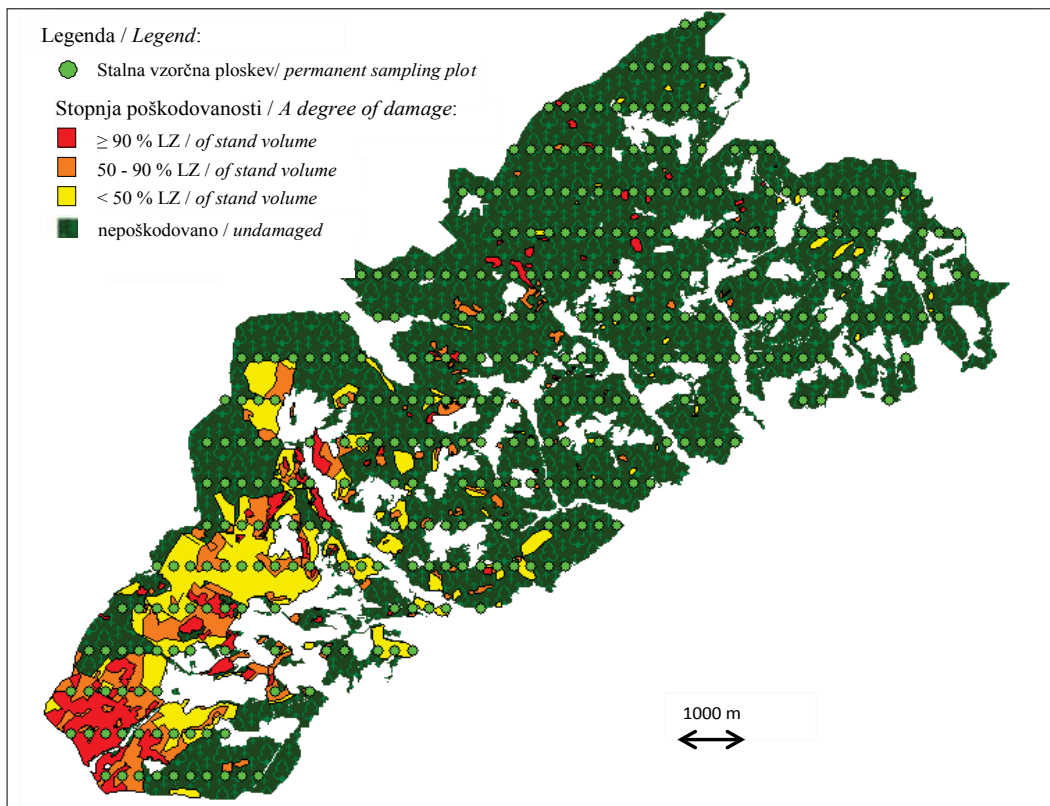
Povzročitelji naravnih motenj so lahko abiotskega in biotskega izvora. Schelhaas in sodelavci (2003) so kot najpomembnejši abiotiski povzročitelj motenj v srednji Evropi izpostavili veter, sledi mu sneg, v sredozemskem delu požari, med biotskimi dejavniki pa so najpomembnejši povzročitelji motenj insekti in glive. Med različnimi gozdnimi tipi se torej razlikuje pomen povzročiteljev motenj, razlikuje pa se tudi med sestoji znotraj posameznega gozdnega tipa (Pickett in White, 1985; Klopčič in sod., 2009). V srednji Evropi je veter poglavitni abiotiski dejavnik razvojne dinamike naravnih (Nagel in sod., 2006) in gospodarskih gozdov (Schelhaas in sod., 2003); največkrat povzroča motnje nizkih jakosti, dokaj pogosto pa tudi motnje srednjih jakosti, ki v seštevku lahko povzročajo precejšnjo ekonomsko škodo. Občasno veter povzroči tudi motnje velikih jakosti, ki lahko poleg ogromne ekonomske škode v gozdu ogrozijo tudi življenje ljudi.

Rezultat delovanja močnega vetra je nastanek vrzeli v stehi sestoja, ki lahko variirajo od velikosti krošnje enega drevesa do večhektarskih ogolelih površin (Canham in Loucks, 1984). Velikost nastale vrzeli ni posledica le jakosti vetra, ampak tudi sestojnih značilnosti prizadetih gozdov. Gozdarji lahko vplivamo na strukturo in sestavo gozdnih sestojev, ki neposredno vplivata na njihovo odpornost na pojav in intenzivnost vetrolomov (npr. Dobbertyn, 2002; Spiecker in sod., 2004; Indermühle in sod., 2005; Griess in sod., 2012). Že naši starejši gozdarski strokovnjaki (Zupančič, 1969; Bleiweis, 1983) so spoznali, da veter povzroča večje poškodbe v neredčenih ali premalo negovanih sestojih, predvsem pa v spremenjenih sestojih, kot so smrekove monokulture. Temu problemu so pozornost namenjali tudi v tujini (npr. Spiecker in sod., 2004; Schütz in sod., 2006; Hanewinkel in sod., 2008; Knoke in sod., 2008; Griess in sod., 2012), kjer so prav tako ugotovili večjo dovzetnost zasmrečenih sestojev

in smrekovih monokultur za pojav vetroloma.

V Sloveniji so vetrolomi pogosti (npr. Wraber, 1950; Zupančič, 1969; Bleiweis, 1983; Gartner in sod., 2007). Občasno so se pojavljali tudi katastrofalni vetrolomi, ki so na večjih površinah zelo poškodovali ali celo povsem uničili sestoje (npr. Gartner in sod., 2007). Eden takšnih se je zgodil tudi na kamniškem in gornjegrajskem območju, kjer je 13. julija 2008 okrog tretje ure popoldan orkanski veter prizadel stanovanjske objekte, infrastrukturo in gozdove. Istega dne je viharni veter prizadel tudi Trnovski gozd, tako da je skupaj v Sloveniji na 20.000 ha poškodoval več kot 500.000 m³ lesne mase (Jakša in Kolšek, 2009). Popolnoma uničenih je bilo 700 ha gozda, največje poškodbe pa so bile na območju prelaza Črničec med Kamnikom in Gornjim Gradom. Sunki vetra so po podatkih državne mreže meteoroloških postaj dosegali hitrost okoli 90 km/h, lokalno pa je veter kot »nevihtni piš« lahko presegal hitrost 120 km/h. Na območjih od Črničva proti Lenartu (levi breg reke Drete), kjer je bil veter še dodatno okrepljen zaradi oblikovanosti terena, je povzročil najvišjo stopnjo poškodovanosti gozdov (ZGS, 2009).

Takšni dogodki so priložnost za raziskovanje vetrolomov, in sicer njihovega obsega in dejavnikov, ki poleg vetra vplivajo na pojav vetroloma in obseg poškodovanosti gozdov ter pozneje tudi njihove sanacije. Izsledki takšnih raziskav so uporabni za gospodarjenje z gozdovi na podobnih rastiščih, in sicer za preprečevanje in omejevanje vetrolomov ali njihovo učinkovito sanacijo v primeru ponovnega vetroloma. Z raziskavo smo poskušali odgovoriti na temeljni vprašanje, ali lahko s podatki s stalnih vzorčnih ploskev analiziramo razsežnost vetroloma v izbranem območju gozdov ter preverimo vpliv rastiščnih in sestojnih dejavnikov na stopnjo poškodovanosti gozdov. Postavili smo si naslednje cilje: 1) analizirati poškodovanost sestojev (po površini in stopnji poškodovanosti) na območju vetroloma, 2) raziskati izbrane rastiščne in sestojne značilnosti, ki vplivajo na obseg poškodb sestojev na širšem območju vetroloma in 3) podati priporočila za zmanjševanje tveganja pojava vetroloma večjih razsežnosti.



Slika 1: Raziskovalni objekt s prikazom poškodovanih gozdnih sestojev po stopnjah poškodovanosti
 Figure 1: A map of forest stands damaged by the windthrow (shown by degrees of damage) in the study area

2 OBJEKT RAZISKAVE

2 STUDY AREA

Objekt raziskave je bilo širše območje vetroloma, ki je prizadel gozdove v okolici prelaza Črničev v gozdnogospodarski enoti Gornji Grad. Objekt je s 5.679 ha gozdnih površin predstavljal približno

dve tretjini celotne gozdnogospodarske enote (slika 1). V uvodu opisano neurje je poškodovalo sestoje na skupni površini 685 ha, kar je 12,1 % celotne gozdne površine v raziskovalnem objektu. Sestoji so bili različno poškodovani (preglednica 1): večina je bila neprizadetih (87,9 %), na 5,7 %

Preglednica 1: Površina vetroloma in število stalnih vzorčnih ploskev (SVP) glede na stopnjo poškodovanosti lesne zaloge (LZ) (povzeto po ZGS, 2009)

Table 1: Windthrow area and number of permanent sampling plots (PSP) shown by degrees of damage (adopted after ZGS, 2009)

Stopnja poškodovanosti / A degree of damage	Površina (ha)/ Area (ha)	Delež (%) / Proportion (%)	Število SVP/ Number of PSP
1 – nepoškodovano / undamaged	4.994	87,9	274
2 – poškodovane <50 % LZ / damaged <50 % of stand volume	324	5,7	16
3 – poškodovane 50-89 % LZ / damaged 50-89% of stand volume	217	3,9	35
4 – poškodovane ≥90 % LZ / damaged ≥90 % of stand volume	143	2,5	15
Skupaj / Total	5.678	100	340

površine sestojev je bilo poškodovane manj kot 50 % lesne zaloge, medtem ko je bilo na 2,5 % analizirane površine poškodovane več kot 90 % lesne zaloge. Povprečna površina poškodovanih sestojev je bila 2,6 ha.

V raziskovalnem objektu prevladujejo sekundarni smrekovi gozdovi na silikatu, precej je tudi gorskih bukovih gozdov na karbonatu. Sestoji so bili večinoma enomerni, v manjšem deležu tudi raznomerni. Med enomernimi so prevladovali debeljaki. Med rastiščnogojitvenimi razredi je vetrolom najbolj poškodoval sestoje v razredih sekundarnih smrekovih gozdov na silikatu (zaradi vetroloma je bilo posekane 35 % lesne zaloge) in gorskih bukovih gozdov na karbonatu (posekane 43 % lesne zaloge) (ZGS, 2009).

3 METODE DELA

3 METHODS

V raziskavi smo uporabili podatke s stalnih vzorčnih ploskev (SVP), posnetih na širšem območju vetroloma v okolici Črničva (slika 1). Podatke smo pridobili na Zavodu za gozdove Slovenije,

Območna enota Nazarje. Gozdna inventura je bila opravljena leta 2003. Takoj po vetrolomu (2008) so na podlagi terenskega ogleda in aktualnih letalskih posnetkov izdelali karto vetrolomnih površin, s presekom te in sestojne karte so pridobili informacijo o poškodovanosti na ravni sestojev (preglednica 1). Iz tako izdelane karte smo informacijo o stopnji poškodovanosti prenesli na posamezno SVP. V analizo smo vključili 340 SVP, ki so razmeščene na mreži 250 m × 250 m; na 66 SVP so bile registrirane poškodbe zaradi vetra. Ustaljenim podatkom o vzorčni ploskvi in drevju, ki raste na ploskvi (Poljanec in sod., 2011), smo dodali še nekatere izvedene parametre in nekatere podatke iz drugih podatkovnih zbirk (Buser, 2010; ZGS, 2010; ICPVO, 2013; preglednica 2) ter tako oblikovali zbirko podatkov, ki smo jo potem analizirali. Pri tem smo predpostavili, da je bila hitrost (moč) vetra na proučevanem območju enaka ter da je bila različna stopnja poškodovanosti sestojev na tem območju posledica sestojnih in rastiščnih dejavnikov.

Glede na razpoložljivost in (ne)podrobnost glavnih podatkov smo v analizi najprej s Kendal-

Preglednica 2: Seznam rastiščnih in sestojnih neodvisnih spremenljivk na ravni SVP za analizo poškodovanosti sestojev zaradi vetra

Table 2: Independent site and stand variables on each PSP

Spremenljivka/ Variable	Tip spremenljivke / Variable type	Opis spremenljivke / Variable description	Vključena spremenljivka / Included into modelling procedure*
LZ	Zvezna / continuous	Sestojna lesna zaloga (m ³ /ha) / Stand volume (m ³ /ha)	ne/not
G	zvezna / continuous	Sestojna temeljnica (m ² /ha) / Stand basal area (m ² /ha)	ne/not
N	zvezna / continuous	Število dreves (n/ha) / Number of trees (n/ha)	ne/not
Dg	zvezna / continuous	Premer povprečnega temeljničnega drevesa (cm) / Quadratic mean diameter (cm)	ne/not
HD	zvezna / continuous	Razmerje višina drevesa : prsni premer drevesa / Height : diameter ratio	da/yes
Del_LZ_A	zvezna / continuous	Volumen tankega drevja (d < 30 cm; m ³ /ha) / Volume of thin trees (d < 30 cm; m ³ /ha)	da/yes
Del_LZ_B	zvezna / continuous	Volumen srednje debelega drevja (30 ≤ d < 50 cm; m ³ /ha) / Volume of intermediate trees (30 ≤ d < 50 cm; m ³ /ha)	da/yes
Del_LZ_C	zvezna / continuous	Volumen debelega drevja (d ≥ 50 cm; m ³ /ha) / Volume of large trees (d ≥ 50 cm; m ³ /ha)	ne/not

LZ_sm	zvezna / <i>continuous</i>	Lesna zaloga smreke (m ³ /ha) / <i>Volume of spruce (m³/ha)</i>	da/yes
LZ_je	zvezna / <i>continuous</i>	Lesna zaloga jelke (m ³ /ha) / <i>Volume of fir (m³/ha)</i>	da/yes
LZ_oigl	zvezna / <i>continuous</i>	Lesna zaloga drugih iglavcev (m ³ /ha) / <i>Volume of other conifers (m³/ha)</i>	ne/not
LZ_bu	zvezna / <i>continuous</i>	Lesna zaloga bukve (m ³ /ha) / <i>Volume of beech (m³/ha)</i>	da/yes
LZ_olst	zvezna / <i>continuous</i>	Lesna zaloga drugih listavcev (m ³ /ha) / <i>Volume of other broadleaves (m³/ha)</i>	ne/not
Del_LZ_igl	zvezna / <i>continuous</i>	Delež iglavcev v skupni lesni zalogi (%) / <i>Proportion of conifers in stand volume (%)</i>	ne/not
Del_LZ_lst	zvezna / <i>continuous</i>	Delež listavcev v skupni lesni zalogi (%) / <i>Proportion of broadleaves in stand volume (%)</i>	ne/not
Del_LZ_sm	zvezna / <i>continuous</i>	Delež smreke v skupni lesni zalogi (%) / <i>Proportion of spruce in stand volume (%)</i>	ne/not
Del_LZ_je	zvezna / <i>continuous</i>	Delež jelke v skupni lesni zalogi (%) / <i>Proportion of fir in stand volume (%)</i>	ne/not
Del_LZ_oigl	zvezna / <i>continuous</i>	Delež ostalih iglavcev v skupni lesni zalogi (%) / <i>Proportion of other conifers in stand volume (%)</i>	ne/not
Del_LZ_bu	zvezna / <i>continuous</i>	Delež bukve v skupni lesni zalogi (%) / <i>Proportion of beech in stand volume (%)</i>	ne/not
Del_LZ_olst	zvezna / <i>continuous</i>	Delež ostalih listavcev v skupni lesni zalogi (%) / <i>Proportion of other broadleaves in stand volume (%)</i>	ne/not
Rfaza	kategorična / <i>categorical</i>	Razvojna faza / <i>Stand development stage</i>	ne/not
mlad	binarna / <i>binary</i>	Razvojna faza mladovje / <i>Regeneration stage</i>	ne/not
drg	binarna / <i>binary</i>	Razvojna faza drogovnjak / <i>Pole stage</i>	ne/not
deb	binarna / <i>binary</i>	Razvojna faza debeljak / <i>Mature stage</i>	da/yes
rznm	binarna / <i>binary</i>	Raznomen sestoj / <i>Uneven-aged stand</i>	da/yes
nmv	zvezna/ <i>continuous</i>	Nadmorska višina ploskve (m/100m) / <i>Elevation (m/100 m)</i>	da/yes
lega	binarna / <i>binary</i>	Lega / <i>Aspect</i> (1=SE+S+SW+W+NW – privetrna/ <i>win-</i> <i>dward</i> ; 0=N+NE+E – zavetrna/ <i>leeward</i>)	da/yes
nagib	zvezna / <i>continuous</i>	Nagib ploskve (°) / <i>Slope (°)</i>	da/yes
matp	binarna / <i>binary</i>	Geološka podlaga (1=karbonati; 0=silikati) / <i>Bedrock (1=carbonate; 0=silicate)</i>	da/yes
kamn	zvezna / <i>continuous</i>	Kamnitost (%) / <i>Stoniness (%)</i>	da/yes
skal	zvezna / <i>continuous</i>	Skalovitost (%) / <i>Rockiness (%)</i>	da/yes
glob	zvezna / <i>continuous</i>	Globina tal (cm) / <i>Soil depth (cm)</i>	ne/not
pH	zvezna / <i>continuous</i>	pH vrednost tal (0-14) / <i>pH value of soil (0-14)</i>	ne/not

* Stolpec »vključene spremenljivke« kaže, katere spremenljivke so bile vključene v postopek multivariatnega modeliranja; ne vključene spremenljivke so bile izločene v preliminarnih analizah / *indicates variables included into modelling procedure; un-included variables were eliminated in the preliminary analyses.*

Preglednica 3: Kategorije neodvisnih spremenljivk za ugotavljanje njihove povezanosti s stopnjo poškodovanosti sestojev

Table 3: Categories of some independent variables for the evaluation of their relation to windthrow damage

Spremenljivka / Variable	Kategorija / Category			
	1	2	3	4
LZ (m3/ha)	< 300	300–599	600–899	≥ 900
G (m2/ha)	< 15	15–29,9	30–44,9	≥ 45
N (n/ha)	< 250	250–499	500–749	≥ 750
Dg (cm)	< 20	20–27,49	27,5–34,99	≥ 35
HD	< 0,60	0,60–0,849	≥ 0,85	
Del_LZ_igl (lst, sm...) (%)	0-24	25–49	50–74	75-100
Del_LZ_A (B, C) (%)	0-24	25–49	50–74	75-100
Nmv (m)	< 600	600–849	850–1099	≥ 1100
Nagib (°)	0-12	13–25	26–37	≥ 37
Glob (cm)	< 45	≥ 45		

lovim tau-b korelacijskim koeficientom ugotavljali povezanost posamezne neodvisne spremenljivke z intenzivnostjo vetroloma (razdeljeno na štiri stopnje poškodovanosti sestojev). Za ta namen smo zvezne neodvisne spremenljivke kategorizirali v ustrezno število kategorij, ki smo jih določili na temelju osnovnih statističnih analiz in kazalcev (preglednica 3).

Ker pa v naravi neodvisne spremenljivke delujejo vzajemno, smo z multivariatno binarno logistično regresijo (Hosmer in Lemeshow, 2000) preverili še njihov skupni vpliv na pojav vetroloma. Ta metoda terja, da se odvisna spremenljivka porazdeljuje v binarni obliki ($y = \{0, 1\}$). Zato smo privzeli, da se je vetrolom zgodil (vrednost odvisne spremenljivke 1), če je bil sestoj, v katerem je bila umeščena SVP, evidentiran kot poškodovan zaradi vetroloma. Regresijo smo izvedli s standardnim modelom logistične regresije (enačba 1; Košmelj, 2001):

$$\ln \frac{P(Y=1|x_1, x_2, \dots, x_n)}{1-P(Y=1|x_1, x_2, \dots, x_n)} = \text{logit } P(Y = 1) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n \quad \dots[1],$$

pri čemer je verjetnost pojava vetroloma P izračunana, kot prikazuje enačba 2:

$$P(Y = 1|x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n)} \quad \dots[2],$$

kjer so $P(Y = 1)$ verjetnost pojava vetroloma, x_1, \dots, x_n neodvisne spremenljivke in β_1, \dots, β_n regresijski koeficienti.

V analizo smo vključili neodvisne spremenljivke v njihovi osnovni obliki. Potrebne preli-

minarne analize neodvisnih spremenljivk smo povzeli po Mayer in sod. (2005) in Klopčič in sod. (2009). Izbrani nabor neodvisnih spremenljivk (preglednica 2, zadnji stolpec) smo vključili v »backward stepwise« proceduro modeliranja v programskem paketu SPSS PASW Statistics 17.0, temelječi na kriteriju največje verjetnosti in z največ 20 iteracijami. Neodvisne spremenljivke so bile vključene v model pri $p < 0,05$, iz njega pa izključene pri $p > 0,10$. Dodatno smo možnost multikolinearnosti preverili z VIF faktorjem (»Variance Inflation Factor«) (Allison, 1999). Kot kazalec uspešnosti logistične regresije smo uporabili Hosmer-Lemeshow statistični test, vpliv posameznih spremenljivk na pojav vetroloma pa smo razlagali s pomočjo obetov (Hosmer in Lemeshow, 2000), ki smo jih izračunali kot količnik verjetnosti, da se vetrolom zgodi ob povprečnih vrednostih vseh, v model vključenih neodvisnih

spremenljivk, in verjetnosti, da se vetrolom zgodi ob povečanju ene izmed teh spremenljivk za določeno vrednost, vrednosti preostalih spremenljivk pa ostanejo enake (povprečja).

4 REZULTATI

4 RESULTS

4.1 Povezanost vplivnih dejavnikov s stopnjo poškodovanosti sestojev

4.1 Relationship between influential factors and windthrow damage in a stand

Številne sestojne in rastiščne spremenljivke so bile statistično značilno povezane s stopnjo poškodovanosti sestojev na SVP (preglednica 4).

Med razvojnimi fazami smo najvišjo stopnjo poškodovanosti evidentirali v debeljakah; poškodbe sestoja so bile evidentirane na 53 SVP ali 23,4 % vseh SVP, uvrščenih v razvojno fazo debeljaka; na 14 SVP (6 %) je bilo poškodovane ≥ 90 % lesne zaloge (slika 2). Precej poškodb je bilo registriranih tudi na SVP v sestojih v obnovi (7 SVP ali 18,4 %), manj pa v raznomernih sestojih (4 SVP ali 7,7 %); v nobeni izmed slednjih razvojnih faz na SVP nismo evidentirali povsem uničenih

sestojev. Na SVP v mladovju in drogovnjaku poškodbe niso bile evidentirane.

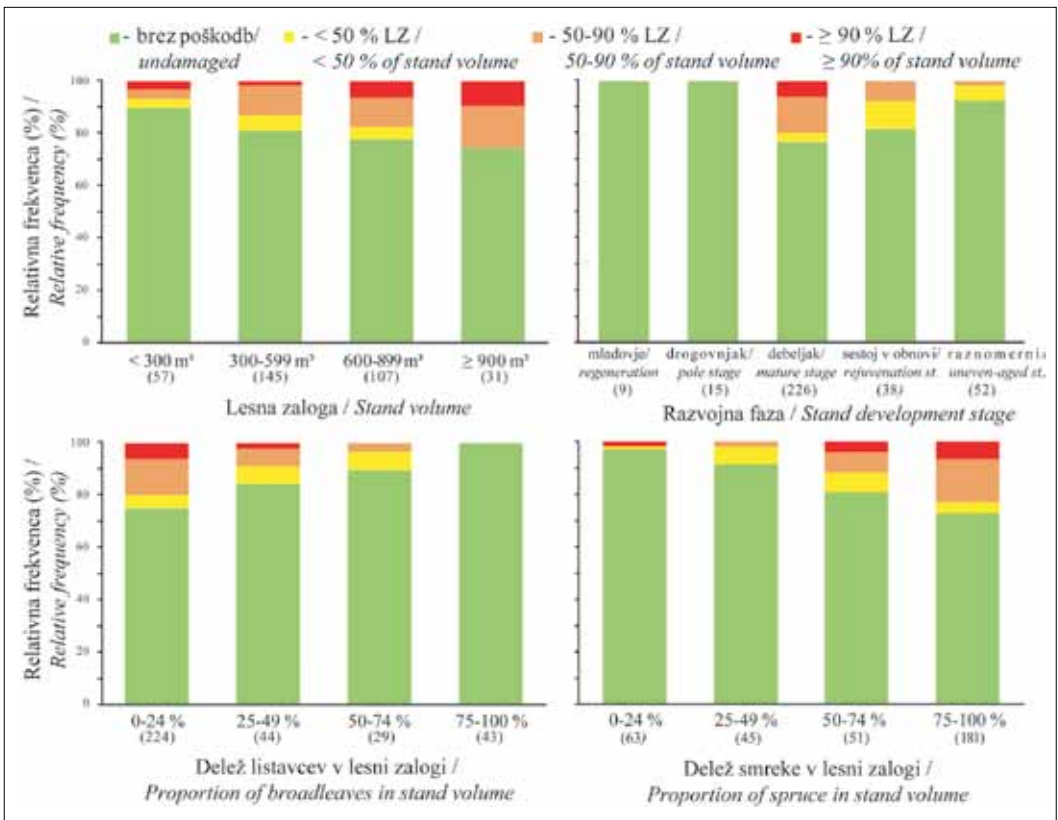
Drevesna sestava značilno vpliva na stopnjo poškodovanosti sestojev. Najvišji pozitivni korelacijski koeficient smo izračunali med deležem smreke (in njeno lesno zalogo) na SVP in stopnjo poškodovanosti sestojev, kar pomeni, da so bili sestoji z večjim deležem smreke bolj poškodovani kot sestoji z manjšim deležem. Nasprotno, v sestojih z deležem listavcev, večjim od 75 %, poškodb nismo zabeležili. Najvišjo stopnjo poškodovanosti smo ugotovili na SVP s primesjo listavcev manjšo od 25 % lesne zaloge; poškodovanih je bilo 56 SVP ali 25 % vseh SVP evidentiranih v takšnih sestojih, na 14 izmed njih (6 %) je bilo poškodovanih več kot 90 % lesne zaloge.

Lesna zaloga sestojev značilno vpliva na stopnjo poškodovanosti sestojev: sestoji z večjo lesno zalogo so bili bolj poškodovani. Relativno največjo stopnjo poškodovanosti (25,8 %; vseh SVP 31) smo

Preglednica 4: Statistična povezanost nekaterih sestojnih in rastiščnih značilnosti s poškodovanostjo sestojev na SVP (Kendallov tau-b korelacijski koeficient)

Table 4: Relationships between site and stand characteristics and windthrow damage on PSPs (Kendall's tau-b correlation coefficient)

Sestojne značilnosti/ Stand characteristics	tau-b	p	Rastiščne značilnosti/ Site characteristics	tau-b	p
LZ	0,105	0,032	nmv	0,200	< 0,001
G	0,091	0,059	lega	0,095	0,067
N	0,028	0,550	nagib	-0,129	0,007
Dg	0,086	0,060	matp	0,206	0,001
HD	0,024	0,595	kamn	-0,076	0,125
Del_LZ_A	-0,035	0,463	skal	-0,048	0,335
Del_LZ_B	0,037	0,443	Glob	0,366	< 0,001
Del_LZ_C	0,004	0,931	pH	-0,262	< 0,001
LZ_smreka	0,211	< 0,001			
LZ_jelka	-0,137	< 0,001			
LZ_ost.iglavci	0,033	0,545			
LZ_bukev	-0,138	0,001			
LZ_ost.listavci	-0,089	0,046			
Del_LZ_iglavci	0,187	< 0,001			
Del_LZ_listavci	-0,195	< 0,001			
Del_LZ_smreka	0,233	< 0,001			
Del_LZ_jelka	-0,140	< 0,001			
Del_LZ_ost.iglavci	-0,040	0,286			
Del_LZ_bukev	-0,164	< 0,001			
Del_LZ_ost.listavci	-0,071	0,088			
RF	-0,085	0,029			



Slika 2: Relativne frekvence SVP po stopnjah poškodovanosti glede na različne sestojne parametre (številka v oklepaju pod oznakami na abscisni osi podaja število SVP v posamezni kategoriji)

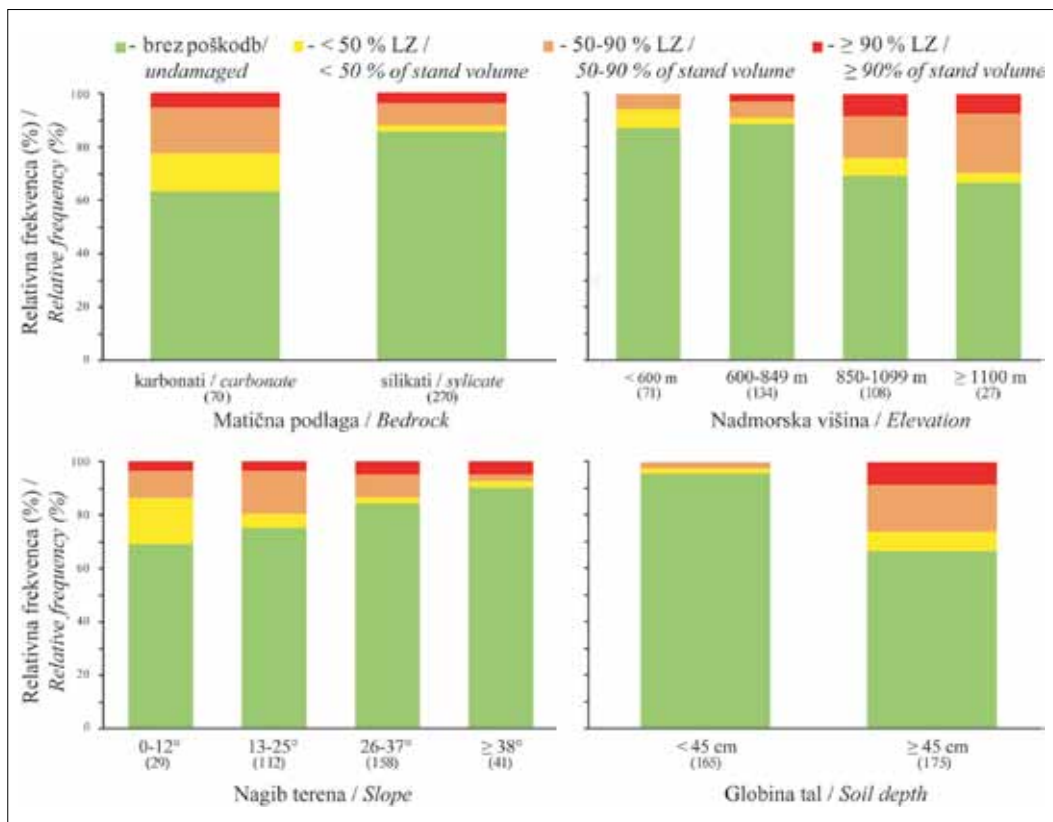
Figure 2: Relative frequencies of PSPs by degrees of windthrow damage for some stand parameters (the number in brackets below the labels on the abscissa denotes the number of PSPs in the variable's category)

ugotovili na SVP z zelo veliko lesno zalogo (> 900 m³/ha), najmanjšo pa na SVP z zalogo, manjšo od 300 m³/ha (10,5 %; vseh SVP 57). Nasprotno od pričakanj debelinska struktura lesne zaloge ni bila statistično značilno povezana s stopnjo poškodovanosti sestojev na SVP.

Med rastiščnimi spremenljivkami je stopnja poškodovanosti sestojev na SVP najboljše korelirala z globino in pH reakcijo tal, pa tudi vrsto matične podlage. Na globljih tleh (≥ 45 cm; 175 SVP) so bile poškodbe evidentirane na 33,7 % SVP (na 8,6 % SVP je bilo poškodovane ≥ 90 % lesne zaloge), medtem ko je bilo na plitvejših tleh poškodovanih le 4,2 % od skupno 165 SVP (slika 3). Z matično podlago je stopnja poškodovanosti sestojev na SVP statistično značilno pozitivno korelirala: na karbonatni matični podlagi je

bilo več poškodovanih sestojev kot na silikatni podlagi (37,1 % SVP : 14,8 % SVP; vseh SVP na karbonatu 70, na silikatu 270). Tudi odstotek SVP z največjo stopnjo poškodovanosti (≥ 90 % lesne zaloge) je bil na karbonatu (5,7 %) večji kot na silikatu (4,1 %).

Na zavetnih legah (25 SVP ali 15,6 %) je bilo registriranih manj poškodovanih SVP kot na privetnih (41 SVP ali 22,8 %), vendar nismo ugotovili statistične povezanosti obeh spremenljivk s stopnjo poškodovanosti na SVP. Na privetnih legah smo na 6,7 % SVP (3 SVP) registrirali najvišjo stopnjo poškodovanosti (≥ 90 % lesne zaloge). Stopnja poškodovanosti sestojev je bila odvisna od nadmorske višine: sestoji na višje ležečih SVP so bili bolj poškodovani kot na nižje ležečih. V najvišjem



Slika 3: Relativne frekvence SVP po stopnjah poškodovanosti glede na različne rastiščne značilnosti (številka v oklepaju pod oznakami na abscisni osi podaja število SVP v posamezni kategoriji)

Figure 3: Relative frequencies of PSPs by degrees of windthrow damage for some site characteristics (the number in brackets below the labels on the abscissa denotes the number of PSPs in the variable's category)

razredu nadmorske višine (nad 1100 m) je bila stopnja poškodovanosti sestojev na SVP najvišja (9 SVP ali 33,3 %), le nekoliko nižja v pasu 850–1099 m (33 SVP ali 30,6 %), precej nižja pa v pasovih 600–849 m (15 SVP ali 11,2 %) in pod 600 m (9 SVP ali 12,7 %). Značilno povezavo smo ugotovili tudi med naklonom terena in stopnjo poškodovanosti sestojev na SVP. Presenetljivo smo na manjših naklonih (0–12°) evidencialno največji delež poškodovanih SVP (9 SVP ali 31,0 %), na najbolj strmih območjih z nakloni $\geq 38^\circ$ pa najmanjši delež (4 SVP ali 9,8 % SVP). Vendar pa je bil na teh predelih večji delež najbolj poškodovanih sestojev (poškodovane $\geq 90\%$ lesne zaloge).

4.2 Vzajemni vpliv sestojnih in rastiščnih dejavnikov na pojav vetroloma

4.2 Mutual influence of stand and site factors on windthrow occurrence

Od skupno štirinajstih neodvisnih spremenljivk, vključenih v proces modeliranja (preglednica 2), jih je bilo v pojasnjevalni model pojava vetroloma na SVP vključenih sedem (preglednica 5). Vpliv vključenih spremenljivk je bil statistično značilen (Waldov test, $p < 0,10$), razen vpliv lesne zaloge bukve, ki je bil mejno statistično značilen, vendar je statistični računalniški program to spremenljivko vseeno uvrstil v končni model, kjer smo jo na podlagi njene ekološke ustreznosti tudi obdržali. Testi s faktorjem VIF niso odkrili multikolinearnosti, Hosmer-Lemeshov test pa je bil neznačilen

Preglednica 5: Vplivni dejavniki pojava vetroloma na SVP

Table 5: Influential factors of windthrow occurrence on PSPs

Spremenljivka / Variable	B	P	S.E. (b)	obeti / odds
konstanta / constant	-3,375	0,000	0,818	
nmv	0,294	0,000	0,076	1,202
lega	0,545	0,089	0,320	0,676
nagib	-0,048	0,016	0,020	0,848
matp	1,260	0,001	0,362	0,374
LZ_smreka	0,001	0,062	0,001	1,067
LZ_jelka	-0,012	0,047	0,006	0,940
LZ_bukev	-0,002	0,113	0,002	0,973

($p \geq 0,05$), kar je pomenilo, da se model dobro prilagaja podatkom.

Med rastiščnimi spremenljivkami, vključenimi v model, je najpomembnejša matična podlaga: v primerjavi s karbonatno podlago se na silikatni verjetnost pojava vetroloma zmanjša za količnik 0,37 ob predpostavki, da drugi dejavniki zavzemajo povprečne vrednosti vseh SVP. Pomemben vplivni dejavnik je tudi lega sestoja: verjetnost pojava vetroloma na privetрни legi v primerjavi z zavetrno lego je 1,48-krat večja. Pomembna sta še naklon terena in nadmorska višina. Ob omenjeni predpostavki se verjetnost pojava vetroloma z dvigom nadmorske višine za 100 m glede na povprečno vrednost (768 m) poveča za količnik 1,20. Verjetnost pojava vetroloma pa se zmanjša za količnik 0,85, če se naklon terena poveča za 5° glede na povprečni naklon (26,5°).

V model so vključene le sestojne spremenljivke, ki opisujejo drevesno sestavo. Lesna zaloga smreke pozitivno vpliva na verjetnost pojava vetroloma: ob predpostavki, da druge spremenljivke zavzemajo povprečne vrednosti vseh SVP, se v primeru povečanja lesne zaloge smreke za približno četrtno oziroma 100 m³/ha glede na povprečje (395 m³/ha) verjetnost pojava vetroloma poveča za količnik 1,07. Očitno pa imata pomembno vlogo pri zmanjševanju verjetnosti vetroloma količina jelke in listavcev (bukve). Če se ob omenjeni predpostavki povprečna lesna zaloga jelke (31 m³/ha) poveča za približno četrtno (7,75 m³/ha), se verjetnost pojava vetroloma zmanjša za količnik 0,94. Če pa se za četrtno (20 m³/ha) poveča povprečna lesna zaloga bukve (80 m³/ha), se verjetnost pojava vetroloma zmanjša za količnik 0,97.

5 RAZPRAVA

5 DISCUSSION

Naravne motnje pomembno vplivajo na razvojno dinamiko gozdov (Anko, 1993; Attiwill, 1994; Frelich, 2002). V Evropi je bilo v obdobju 1950–2000 zaradi naravnih motenj v povprečju na leto posekano 35 milijonov m³ lesa; veter je bil najpogostejši povzročitelj motenj (Schelhaas in sod., 2003). Tudi v Sloveniji je bil v letih 1995–2008 veter pomemben vzrok sanitarne sečnje (34 % vsega sanitarnega poseka), ki je v tem obdobju znašala kar 32 % celotnega poseka (Jakša in Kolšek, 2009). V gozdnogospodarski enoti Gornji Grad, kjer leži naš raziskovalni objekt, je bil ta delež v letih 1994–2010 še večji; veter je povzročil 50,3 % celotnega sanitarnega poseka, ki je znašal okoli 50 % celotnega poseka v teh gozdovih (Pahovnik, 2011). Zaradi napovedanih podnebnih sprememb lahko pričakujemo, da se bo pogostnost (in jakost) vetrolomov še povečala (Kajfež-Bogataj, 2007); mnogi opozarjajo, da se to že dogaja (Mosandl in Felbermeier, 1999; Schelhaas in sod., 2003).

Posledic katastrofalnega viharnega vetra ne moremo preprečiti, s primernim gospodarjenjem jih lahko delno omilimo in hkrati izboljšamo možnost obnove (sanacije) po ujmi. Večje možnosti za preprečevanje nastanka, predvsem pa za omilitev posledic, so pri vetrolomih srednjih in majhnih jakosti. Za to pa je treba poznati značilnosti vetrolomov, predvsem glavne dejavnike, ki poleg vetra vplivajo na njihov pojav, jakost in obseg (Frelich, 2002; Indermühle in sod., 2005; Klopčič in sod., 2009).

V pojasnjevalni model pojava vetroloma je bilo vključenih več rastiščnih (4) kot sestojnih spremenljivk (3). Podobne rezultate sta prikazala tudi Gardiner in Quine (2000), nasprotno pa je večina predhodnih raziskav ugotovila, da sestojni parametri bistveno bolj vplivajo kot rastiščne značilnosti (Ruel, 2000; Ulanova, 2000; Jalkanen in Mattilla, 2000; Pellikka in Järvenpää, 2003; Schütz in sod., 2006; Klopčič in sod., 2009). Razlike lahko delno pripišemo zasnovi raziskave, predvsem pa dejstvu, da je bila v našem primeru motnja velike jakosti (katastrofa), medtem ko so se druge raziskave ukvarjale z motnjami srednje jakosti. Pri teh lahko sestojne značilnosti (npr. zgradba, sestava) zelo pomembno vplivajo na odpornost sestojev proti vetrolomu, medtem ko v primeru viharnege vetra velike intenzivnosti to ne zadošča (Gardiner in Quine, 2000; Schütz in sod., 2006).

Med rastiščnimi dejavniki je na pojav vetroloma najbolj vplivala matična podlaga. Njen vpliv so raziskovali tudi Mayer in sodelavci (2005), ki so na primeru viharjev Lothar in Martin dokazali, da so sestoji na kislih tleh bolj dovzetni za vetrolom kot sestoji na manj kislih oziroma bazičnih tleh. Isti avtorji opozarjajo, da je kislost tal pomemben dejavnik tveganja za pojav vetrolomov. V našem primeru je bilo prav nasprotno, saj je izkazalo, da so bili sestoji na bolj kislih tleh (na silikatni podlagi) manj dovzetni za vetrolom.

Pomemben dejavnik tveganja za pojav vetroloma je lega. Na privetrni strani je bila verjetnost pojava vetroloma za 1,5-krat višja kot na zavetrni legi, sestoji na zavetrnih legah so bili tudi manj poškodovani (15,6 % : 22,8 %). Na privetrnih legah so bili povsem ali skoraj povsem uničeni sestoji (≥ 90 % lesne zaloge), evidentirani na 6,7 % SVP. Da je na privetrni strani pobočja poškodovanost smrekovih in bukovih sestojev dvakrat večja kot na zavetrni, so ugotovili tudi Schütz in sodelavci (2006) v Švici. Nasprotno – večjo poškodovanost na zavetrni strani – so ugotovili Klopčič in sodelavci (2009); takšne ugotovitve velja pripisati dejstvu, da so proučevali motnje v daljšem časovnem obdobju, pri čemer so prevladovala motnje srednjih in majhnih jakosti. Pri vetrovih z manjšimi hitrostmi in intenzivnostmi zaradi reliefnih značilnosti, kot so grebeni, nastajajo

nejo turbulence, ki pogosto poškodujejo sestoj v zavetrnih legah (Stathers in sod., 1994; Schütz, 2005). V primeru orkanskih vetrov, kot sta bila vihar na Črnavcu in vihar Lothar v Švici (Schütz in sod., 2006), turbulence v zavetrnih legah niso pomembne, odločujoča je izpostavljenost sestojev na privetrni strani.

Nadmorska višina je bila večkrat navedena kot pomemben vplivni dejavnik pojava vetroloma (npr. Jalkanen in Mattilla, 2000; Mayer in sod., 2005; Evans in sod., 2007; Hanewinkel in sod., 2008). Po našem modelu se je možnost pojava vetroloma povečevala z višanjem nadmorske višine. V gozdovih Jelovice in Pokljuke (Klopčič in sod., 2009) je nadmorska višina vplivala na jakost vetroloma, ne pa tudi na pojav vetroloma. Mayer in sodelavci (2005) so pri raziskavi poškodovanosti gozdov, ki jih je prizadel vihar Lothar, ugotovili nekoliko drugačne zaključke: poškodovani sestoji so bili pogostejši v nižjih legah, kar so pojasnili s tem, da je bil vihar najhujši v ravninskem predelu, potem pa se je, ko je dosegel Alpe, že nekoliko polegel, zato je bila v višjih legah manjša stopnja poškodovanosti sestojev.

Na pojav vetroloma pomembno vpliva tudi naklon. Sodeč po naših rezultatih, večji nakloni terena zmanjšujejo dovzetnost sestojev za pojav vetroloma; Schütz in sodelavci (2006) so ugotovili podobno: na privetrnih legah so bila bolj strma pobočja (naklon nad 50 %) šestkrat manj dovzetna za pojav vetroloma kot položna (naklon pod 20 %). Vendar je treba biti pri interpretaciji teh rezultatov previden, saj v povezavi z naklonom lahko pomemben vplivajo tudi drugi geomorfološki dejavniki, npr. grebenska lega, predeli s hitro spremembo naklona zemljišča ipd. (Ruel, 2000; Schütz in sod., 2006; Klopčič in sod., 2009). Interakcij različnih dejavnikov v naši študiji nismo raziskovali, vendar bi jih bilo v nadaljnjih raziskavah smiselno upoštevati.

Z univariatnimi deskriptivnimi analizami smo dokazali značilne povezave med sestojnimi parametri in stopnjo poškodovanosti sestojev zaradi vetra. Vendar mnoge sestojne spremenljivke niso bile vključene v pojasnjevalni model pojava vetroloma; to kaže, da je bil njihov vpliv majhen ali vsaj znatno manjši kot v nekaterih drugih raziskavah (npr. Dobberty, 2002, 2005; Schütz in

sod., 2006; Knoke in sod., 2008; Klopčič in sod., 2009). Kot značilne sestojne spremenljivke so bili v model vključeni le kazalci drevesne sestave – lesna zaloga smreke, jelke in bukve. Naši rezultati kažejo, da večji lesni zalogi bukve in jelke zmanjšujeta verjetnost pojava vetroloma, medtem ko jo večja lesna zaloga smreke povečuje. Da povečanje deleža (ali obilja) smreke zmanjša odpornost sestojev proti vetrolomu, so dokazali številni raziskovalci (Mosandl in Felbermeier, 1999; Jalkanen in Mattila, 2000; Dobbertin, 2002; Spiecker in sod., 2004; Schütz in sod., 2006; Hanewinkel in sod., 2008; Knoke in sod., 2008). Schütz in sodelavci (2006) so dokazali, da v smrekovih sestojih primes listavcev v deležu do 20 % značilno zmanjša verjetnost pojava vetroloma za faktor 3,4. Dokazali so tudi, da so čisti smrekovi sestoji 2,7- do 3,8-krat bolj dovzetni za vetrolom kot čisti bukovi sestoji. V naši analizi smo ugotovili, da v sestojih s primesjo listavcev ≥ 75 % celotne lesne zaloge ni bilo poškodb zaradi vetra. Nasprotno pa je bilo največ poškodb v sestojih z najmanjšo primesjo listavcev (< 25 % lesne zaloge), torej pretežno čistih sestojih iglavcev (smreke); na 6 % površine so bili takšni sestoji povsem uničeni. Zupančič (1969) omenja silovit vetrolom, ki je bil leta 1965 v postojnskih gozdovih; veter je podrl 263.045 m³ lesa, od tega le 12 % listavcev. Žal ni podatka, kolikšen je bil delež listavcev v lesni zalogi sestojev.

Med razvojnimi fazami (sestojnimi tipi) so bili najbolj prizadeti debeljaki; poškodbe sestojev so bile registrirane na 23,4 % SVP v debeljakih, kar 6 % SVP v debeljakih pa je bilo povsem uničenih. V raznomernih sestojih je bilo občutno manj poškodb v primerjavi z debeljaki; delno je bilo poškodovanih le 7,7 % SVP v raznomernih sestojih, nismo pa registrirali SVP, na katerih bi bil sestoj povsem uničen. Tudi mnogi drugi raziskovalci navajajo, da so raznomerni gozdovi odpornejši proti vetru, npr. Dvorak in sod. (2001), Dobbertin (2002), Indermühle in sod. (2005), Klopčič in sod. (2009). Mason (2002) pa meni, da med enomernimi in raznomernimi sestoji ni pomembne razlike v odpornosti proti vetrolomu; trdi pa, da so drevesa v raznomernih sestojih zaradi manjšega razmerja H/D odpornejša proti prelomu debla. Podobno je ugotovil Dobbertin (2005), ko je preučeval posledice

viharja Lotharja v enomernih in raznomernih sestojih v Švici.

Na splošno velja, da naj bi bili starejši sestoji bolj dovzetni za vetrolom kot mlajši (npr. Ulanova, 2000). V raziskavi na ploskvah v mladovju in drogovnjakih nismo evidentirali poškodb sestojev, kar potrjuje prejšnjo trditev. Če predpostavimo, da višina lesne zaloge nakazuje starost sestojev, potem lahko to še dodatno potrdimo, čeprav le z univariatnimi testi. Sestoji z večjo lesno zalogo so bili znatno bolj poškodovani kot sestoji z manjšo. Ker so nekateri raziskovalci ugotovili, da delež ali obilje debelega drevja povečuje verjetnost pojava vetroloma (npr. Jalkanen in Mattila, 2000), smo preverili tudi to, vendar lesna zaloga debelega drevja ni bila vključena v pojasnjevalni model. Tudi z univariatnimi analizami nismo ugotovili značilnih razlik v poškodovanosti sestojev na SVP z različno debelinsko strukturo lesne zaloge. Podobno so Schütz in sodelavci (2006) ugotovili, da prsni premer drevja ni statistično značilen za pojasnjevanje vetrolomov.

Opravljen raziskava kaže, da lahko s podatki s stalnih vzorčnih ploskev analiziramo razsežnost vetroloma in preverjamo vpliv dejavnikov na stopnjo poškodovanosti gozdov. Podatki s stalnih vzorčnih ploskev so uporabni predvsem za analizo vetrolomov velikih jakosti, najverjetneje tudi vetrolomov srednjih jakosti, če je raziskovalni objekt dovolj velik in s tem zadostno število stalnih vzorčnih ploskev. Za vetrolome majhnih jakosti pa so podatki s stalnih vzorčnih ploskev manj uporabni.

Čeprav smo z raziskavo ugotovili nekatere zanimive ugotovitve, je treba pri njihovi interpretaciji upoštevati nekatere pomanjkljivosti raziskave. Za raziskovalni objekt smo izbrali območje delovanja katastrofičnega viharnega vetra z »epicentrom« (t.j. območje največje moči vetra), ki je bil nekje na ožjem območju prelaza Črničec. Predpostavka pri analizi podatkov je bila, da je bila moč vetra enaka na celotnem območju raziskave, kar pa ni bilo res. Z oddaljevanjem od »epicentra« je moč vetra najverjetneje slabila, zato bi bilo primerno dopolniti podatkovno zbirko s podatkom o oddaljenosti SVP od »epicentra«. Podatka o položaju »epicentra« viharja oziroma natančne vetrne karte območja nismo imeli.

Z raziskavo smo se omejili le na poškodovane gozdove v gozdnogospodarski enoti Gornji Grad, neurje pa je prizadelo tudi gozdna območja zunaj te enote (npr. gozdnogospodarski enoti Kamnik in Tuhinj–Motnik). Rezultati raziskave bi bili verjetno popolnejši, če bi objekt raziskave zajel celotno prizadeto območje. To je lahko izziv za dodatno – obsežnejšo raziskavo, ki bi zajela celotno območje vetroloma. Z raziskavo smo se omejili le na izbran vetrolom in ne serijo vetrolomov v daljšem časovnem obdobju. Zato naše ugotovitve lahko apliciramo le za primere katastrofičnega, viharnega vetra v podobnih gozdnih ekosistemih, nikakor pa ne za primere poškodb sestojev zaradi vetra manjših jakosti.

Kljub naštetim pomanjkljivostim pa so nekateri rezultati lahko pomembni za gospodarjenje z gozdovi, posebno tisti, ki pojasnjujejo vpliv sestojnih spremenljivk na stopnjo poškodovanosti sestojev zaradi orkanskega vetra. Posledic viharnega vetra ne moremo preprečiti, lahko pa jih s primernim gospodarjenjem omilimo in hkrati izboljšamo možnost obnove (sanacije) po ujmi. V zasmrečenih sestojih bi lahko s primesjo listavcev, ki znaša od 10 do 20 % celotne lesne zaloge, znatno povečali odpornost proti ujmam. Zato je treba z nego teh sestojev ohranjati ali pospeševati listavce. Na ogroženih območjih priporočamo tudi zmanjšanje lesnih zalog ter povečanje stopnje raznomernosti gozdnih sestojev, saj so takšni sestoji odpornejši proti vetru. V primeru vetrov močnih jakosti sta stopnja poškodovanosti in posredno škoda manjši, možnost uspešne naravne obnove po motnji pa znatno večja.

6 SUMMARY

6 POVZETEK

Natural disturbances are an integral component of forest ecosystem dynamics, which importantly influence the structure, matter cycle and energy flow of forest ecosystem. In Central Europe wind was recognized as the main abiotic factor of forest stand dynamics. It mostly causes low-severity disturbances, but also disturbances of moderate severity are frequent, whereas high-severity disturbances are rare. However, in year 2008 a high-severity wind disturbance happened at the broader area of the mountain pass Črnivec.

Such an event represents an opportunity to investigate catastrophic windthrow occurrence and its influential factors. The main research question was whether data from the forest stand map and permanent sample plots (PSP) can be used to analyze influential factors and to explain the occurrence of windthrow on the study site, while the operational goals of the study were 1) to analyze damages in forest stands, 2) to examine the influential factors of occurrence and severity of the windthrow, and 3) to develop recommendations for foresters on how to reduce the risk of high-severity windthrow occurrence.

Study object comprised 5.679 ha of mainly secondary Norway spruce (*Picea abies* Karst.) forests, but also mixed European beech (*Fagus sylvatica* L.)–Norway spruce–silver fir (*Abies alba* Mill.) forests were present, among which 685 ha were more or less severely damaged. Damages were registered by Slovenian Forest Service, who evaluated them by the degree of damage in four classes: 1, undamaged, 2, damaged < 50 % of stand volume, 3, damaged 50–89 % of stand volume, 4, damaged ≥ 90 % of stand volume. Data from 340 PSPs were used in the study, 66 of them were registered as damaged (damage classes 2–4). The database of many independent variables was created and used in statistical analyses. In the first step, the Kendall's tau-b correlation coefficient was used to examine relations between the degree of damage on a PSP and a particular independent stand or site variable. To execute it, some continuous independent variables were categorized into reasonable number of categories. Later, a binary logistic regression was used to develop a multivariate statistical model of a high-severity windthrow occurrence from which influential factors could have been recognized.

Various stand and site factors were statistically significantly associated with the damage level in a particular stand. The highest damage level within the development phases was recorded in mature stands, whereas no damage was documented in regeneration and thicket stage and pole stage stands. The damage level in a particular stand was significantly associated with tree species composition. Stands with a higher share of conifers were more severely damaged than those with lower share

of conifers, whereas the influence of broadleaves proportion in stands was the opposite. The most severe damages were found in stands with < 25 % of broadleaves in stand volume, while in stands with the share of broadleaves ≥ 75 % no damage was registered. Stand volume was also significantly related to the damage level in a particular stand, while diameter distribution of stand volume was not. Among site variables the damage level in a particular stand was significantly associated with a bedrock type, soil depth and pH value, altitude, and slope.

The explanatory model of windthrow occurrence at a PSP level included seven variables: altitude, exposition, slope, bedrock type, and stand volume of spruce, fir and beech, respectively. With an increasing altitude the probability of windthrow occurrence increased, while slope decreased it. The probability of windthrow occurrence was higher on silicate bedrock than on the carbonate one, while it was higher on the windward sites than on the leeward sites. Stand volume of spruce positively influenced the probability of windthrow occurrence, whereas the influences of fir and beech stand volumes were negative.

The data from PSPs enable the analyses of windthrow occurrence, its spread, severity and also influential factors. However, they may be used in analyses of high- and medium-severity windthrow, but are not adequate for analyses of low-severity windthrow due to their relatively small size.

The consequences of high-severity windthrows could not be avoided, but an accordant forest management could diminish the consequences and additionally enhance the resilience of stands. Forest managers have much larger influence on reducing the consequences of medium- and low-severity wind disturbances. In secondary spruce stands a higher proportion of broadleaves would increase the stand resistance towards wind, therefore broadleaves should be promoted with silvicultural measures in regeneration and thicket, but also pole stage stands. On sites prone to wind disturbances a reduction in stand volume and an increase in stand heterogeneity are appreciated, since both measures improve stand resistance and resilience.

7 ZAHVALA

7 ACKNOWLEDGEMENT

Prispevek je delno nastal v okviru aplikativnega projekta L4-4091, ki ga financirata ARRS in MKO. Avtorji se zahvaljujemo zaposlenim na Zavodu za gozdove Slovenije, Območna enota Nazarje, za posredovanje podatkov in informacij glede analiziranega vetroloma.

8 VIRI

8 REFERENCES

- Allison, P.D., 1999. Logistic regression using SAS system: theory and application. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina.
- Anko, B., 1993. Vpliv motenj na gozdni ekosistem in na gospodarjenje z njim. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 42: 85–109.
- Attiwill, P.M., 1994. The disturbance of forest ecosystems - the ecological basis for conservative management. *Forest ecology and management*, 63, 2/3: 247–300.
- Bleiweis, S., 1983. Pogostnost in obseg škod zaradi ujim v slovenskih gozdovih. *Gozdarski vestnik*, 41, 6: 233–249.
- Buser, S., 2010. Geološka karta Slovenije 1:250000. Ljubljana, Geološki zavod Slovenije.
- Canham, C.D., Loucks, O.L., 1984. Catastrophic windthrow in the presettlement forests of Wisconsin. *Ecology*, 65, 3: 803–809.
- Dobbertin, M., 2002. Influence of stand structure and site factors on wind damage comparing the storms Vivian and Lothar. *Forest, snow and landscape research*, 77, 1/2: 187–205.
- Dobbertin, M., 2005. Erfassung der Bestandesdaten und Schäden auf dem repräsentativen 4x4-km Sanasilva-Netz. V: *LOTHAR Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. Umwelt-Materialien Nr. 184*. Indermühle, M., Raetz, P., Volz, R. (ur.). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 39–50.
- Dvorak, L., Bachmann, P., Mandallaz, D., 2001. Sturmschäden in ungleichförmigen Beständen. *Schweizerische Zeitung für Forstwesen*, 152, 11: 445–452.
- Evans, A.M., Camp, A.E., Tyrrell, M.L., Riely, C.C., 2007. Biotic and abiotic influences on wind disturbance in forests of NW Pennsylvania, USA. *Forest ecology and management*, 245, 1-3: 44–53.
- Frelich, L.E., 2002. Forest dynamics and disturbance regimes: studies from temperate evergreen-deciduous forests. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gardiner, B.A., Quine, C.P., 2000. Management of forests to reduce the risk of abiotic damage - a review with particular reference to the effects of strong winds. *Forest ecology and management*, 135, 1-3: 261–277.
- Gartner, A., Papler-Lampe, V., Poljanec, A., Bončina, A., 2007. Upoštevanje katastrof pri načrtovanju in gospodarjenju z gozdovi na primeru vetroloma na

- Jelovici, V: Podnebne spremembe: vpliv na gozd in gozdarstvo. Jurc, M. (ur.). Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, 153–176.
- Griess, V.C., Acevedo, R., Hartl, F., Staupendahl, K., Knoke, T., 2012. Does mixing tree species enhance stand resistance against natural hazards? A case study for spruce. *Forest ecology and management*, 267: 284–296.
- Hanewinkel, M., Breidenbach, J., Neeff, 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 time series. *Canadian journal of forest research*, 38, 8: 2249–2261.
- Hosmer, D.W., Lemeshow, S., 2000. *Applied logistic regression*. 2nd edition. John Wiley & Sons, New York.
- ICPVO, 2013. Talni informacijski sistem Infrastrukturnega centra za pedologijo in varstvo okolja (TIS/ICPVO 1989-2013). Ljubljana, Infrastrukturni center za pedologijo in varstvo okolja, Biotehniška fakulteta, Univerza v Ljubljani.
- Indermühle, M., Raetz, P., Volz, R., 2005. LOTHAR Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. Umwelt-Materialien Nr. 184. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Jakša J., Kolšek M. 2009. Naravne ujme v Slovenskih gozdovih. *Ujma*, 23: 72–81.
- Jalkanen, A., Mattila, U., 2000. Logistic regression models for wind and snow damage in northern Finland based on the National Forest Inventory data. *Forest ecology and management*, 135, 1-3: 315–330.
- Kajfež-Bogataj, L. 2007. Spreminjanje podnebja – zdaj in v prihodnje. V: Podnebne spremembe: vpliv na gozd in gozdarstvo. Jurc, M. (ur.). Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Ljubljana, 13–26.
- 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.
- Knoke, T., Ammer, C., Stimm, B., Mosandl, R., 2008. Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. *European journal of forest research*, 127, 2: 89–101.
- Košmelj, K., 2001. Osnove logistične regresije (2. del). Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, Kmetijstvo, 77, 2: 239–245.
- Mason, W.L., 2002. Are irregular stands more windfirm? *Forestry*, 75, 4: 347–355.
- 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, 4: 303–311.
- Mosandl, R., Felbermeier, B., 1999. Auf dem Weg zum naturnahen Wald. *AFZ/Der Wald*, 17: 910–914.
- Nagel, T.A., Svoboda, M., Diaci, J., 2006. Regeneration patterns after intermediate wind disturbance in an old-growth *Fagus-Abies* forest in southeastern Slovenia. *Forest ecology and management*, 226, 1-3: 268–278.
- Oliver, C.D., Larson, B.C., 1996. *Forest stand dynamics*. Wiley, New York.
- Pahovnik, A., 2011. Analiza vetroloma na območju Črničva leta 2008. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta: 39 str.
- Pellikka, P., Järvenpää, E., 2003. Forest stand characteristics and wind and snow induced forest damage in boreal forest. V: *Proceedings of the International Conference on Wind Effects on Trees*. Ruck, B. (ur.). University of Karlsruhe, Karlsruhe, Germany, 269–276.
- Pickett, S.T., White, P.S., 1985. *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, San Diego.
- Poljanec, A., Matijašič, D., Pisek, R., Devjak, T., Kotnik, A., Podgornik, M., Gartner, A., Kozorog, E., Bogovič, B., Udovič, M., 2011. Navodila za snemanje na stalnih vzorčnih ploskvah. Zavod za gozdove Slovenije, Ljubljana.
- Ruel, J.C., 2000. Factors influencing windthrow in balsam fir forests: from landscape studies to individual tree studies. *Forest ecology and management*, 135, 1-3: 169–178.
- 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, 11: 1620–1633.
- Schütz, J.P., 2005. Einfluss verschiedener Faktoren auf Art und Ausmass der Sturmschäden: Windcharacteristic und Sturmschäden im Raum Reusstal-Limattal. V: LOTHAR Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. Umwelt-Materialien Nr. 184. Indermühle, M., Raetz, P., Volz, R. (ur.). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 29–38.
- 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.
- Spiecker, H., Hansen, J., Klimo, E., Skovsgaard, J.P., Sterba, H., von Teuffel, K., 2004. Norway spruce conversion – options and consequences. *European Forest Institute*, Joensuu, Finland.
- Stathers, R.J., Rollerson, T.P., Mitchell, S.J., 1994. *Windthrow handbook for British Columbia forests*. Working paper 9401. BC Ministry of Forests, Victoria, British Columbia.
- Ulanova, N.G., 2000. The effects of windthrow on forests at different spatial scales: a review. *Forest ecology and management*, 135, 1-3: 155–167.
- Wraber, M., 1950. O vzrokih in posledicah vetroloma na Jelovici. *Gozdarski vestnik*, 8: 306–309.
- ZGS, 2009. Sprememba gozdnogospodarskega načrta za gozdnogospodarsko enoto Gornji Grad za desetletje 2004-2013. Nazarje, Zavod za gozdove Slovenije, OE Nazarje: 29 str.
- ZGS, 2010. *Podatkovne zbirke Zavoda za gozdove Slovenije*. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije.
- Zupančič, M., 1969. Vetrolomi in snegolomi v Sloveniji v povojni dobi. *Gozdarski vestnik*, 27: 193–210.