

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN
OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Andrej PAHOVNIK

**ANALIZA VETROLOMA NA OBMOČJU ČRNIVCA
LETA 2008**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Gornji Grad, 2011

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA GOZDARSTVO IN OBNOVLJIVE GOZDNE VIRE

Andrej PAHOVNIK

ANALIZA VETROLOMA NA OBMOČJU ČRNIVCA LETA 2008

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**ANALYSIS OF WINDTHROW ON CRNIVEC SADDLE RANGE IN
YEAR 2008**

GRADUATION THESIS
University studies

Gornji Grad, 2011

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo v Skupini za urejanje gozdov in biometrijo Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Raziskava je bila izvedena na vetrolomni površini na Črnavcu.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne 12. 4. 2011 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Andreja Bončino, za recenzenta pa doc. dr. Aleša Kadunca.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Diplomsko delo je rezultat lastnega raziskovalnega dela. Podpisani se strinjam z objavo svoje naloge v polnem tekstu na spletni strani Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete. Izjavljam, da je naloga, ki sem jo oddal v elektronski obliki, identična tiskani verziji.

Andrej Pahovnik

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	GDK 421.1:228(497.4 Črničec)(043.2)=163.6
KG	vetrolom/motnje/vplivni dejavniki/odpornost sestojev
KK	
AV	PAHOVNIK, Andrej
SA	BONČINA, Andrej (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2011
IN	ANALIZA VETROLOMA NA OBMOČJU ČRNIČCA LETA 2008
TD	Diplomsko delo (Univerzitetni študij)
OP	VII, 37 str., 5 pregl., 15 sl., 0 pril., 53 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	

Leta 2008 je vihar ni veter v osrednji Sloveniji na območju 20.000 ha poškodoval več kot 500.000 m³ lesne mase, popolnoma uničenih je bilo 700 ha gozdov. Raziskava je bila omejena na območje prelaza Črničec (GGE Gornji Grad, GGO Nazarje). S 320 stalnih vzorčnih ploskev (SVP) se je z multivariatnimi metodami in logistično regresijo analiziralo podatke o drevju in gozdnih sestojih. Želelo se je ugotoviti, katere rastiščne in sestojne značilnosti vplivajo na obseg in stopnjo poškodovanosti sestojev in podati priporočila, kako pri gospodarjenju z gozdovi zmanjšati tveganja zaradi vpliva močnih vetrov. Podatki s SVP in drugo gradivo (sestojna karta, aerofoto posnetki, karta poškodovanosti) so bili dobljeni na Zavodu za gozdove Slovenije, Območna enota Nazarje. V model pojava vetroloma je bilo vključenih sedem od sedemindvajsetih spremenljivk: nadmorska višina, lega, naklon, lesna zaloga smreke, jelke in bukve ter matična podlaga. Med njimi je bila najpomembnejša matična podlaga, saj se na silikatni matični podlagi verjetnost pojava vetroloma zmanjša za količnik 0,37. Pomemben dejavnik je bila tudi lega, saj je verjetnost pojava vetroloma 1,48-krat višja na privetni strani kot na zavetni. Rezultati tudi kažejo, da je stopnja poškodovanosti sestojev z večjo primesjo listavcev znatno nižja.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	FDC 421.1:228(497.4 Črničec)(043.2)=163.6
CX	windthrow/ natural disturbance/related factors/ stand resistance
CC	
AU	PAHOVNIK, Andrej
AA	BONČINA, Andrej (supervisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB	University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources
PY	2011
TI	ANALYSIS OF WINDTHROW ON CRNIVEC SADDLE RANGE IN YEAR 2008
DT	Graduation thesis (University studies)
NO	VII, 37 p., 5 tab., 15 fig., 0 ann., 53 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	

In the year 2008 the stormy wind in central Slovenia destroyed more than 500,000 m³ of wood mass at an area of 20,000 hectares. 700 hectares of forests were completely destroyed. This research focuses on the mountain pass Črničec area (the forest economic unit Gornji Grad in the forest economic area Nazarje). 320 permanent sample plots (PSP) were analysed with multi-version methods and logistic regression to collect data on trees and forest stands. The aim was to find out which characteristics of sites and stands have influence on the scale and level of damage on stands, as well as give recommendations concerning the reduction of high winds hazard in forest management. The data from PSP and other material (stand map, air photos, damage map) was obtained from the Slovenian Forest Service, regional unit Nazarje. The windfall occurrence model includes seven of twenty-seven variables: altitude, location, incline, wood stock of spruce, fir and beech, and bedrock. The most important among them is the bedrock, since the chance of windfall decreases for a quotient of 0.37 on a silicate ground. Another important factor is the location; the chance of windfall is 1.48 higher at the windward side than at the leeward side. The results show that the damage level on stands with more deciduous trees is far lower.

KAZALO

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO.....	V
KAZALO PREGLEDNIC	VI
KAZALO SLIK.....	VII
1 UVOD.....	1
2 CILJI NALOGE	4
3 PREGLED RAZISKAV	5
4 OBJEKT RAZISKAVE.....	8
4.1 Lega	8
5 METODE DELA	13
5.1 Pridobivanje podatkov	13
5.2 Priprava in obdelava podatkov	13
6 REZULTATI	18
6.1 Sanitarno odkazilo V GGE Gornji Grad.....	18
6.2 Poškodovanost sestojev v vetrolomu.....	18
6.3 Vpliv sestojnih in rastiščnih dejavnikov na stopnjo poškodovanosti zaradi vetra ..	20
6.4 Rezultati multivariatne analize	25
7 RAZPRAVA.....	28
7.1 Režim vetrolomov in vplivni dejavniki	28
7.2 Usmeritve za gospodarjenje.....	32
8 VIRI.....	34
9 ZAHVALA.....	39

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Površine in značilnosti razvojnih faz oz. zgradb sestojev (GGN GGE Gornji Grad, 2003-2013)	11
Preglednica 2: Površine in deleži posameznih tipov drevesne sestave (GGN GGE Gornji Grad, 2003-2013)	12
Preglednica 3: Spremenljivke, ki smo jih uporabili v multivariatnih analizah	14
Preglednica 4: Površina vetroloma po stopnjah poškodovanosti (povzeto po ZGS OE Nazarje 2009)	19
Preglednica 5: Model pojava vetroloma na SVP	26

KAZALO SLIK

Slika 1: Lega območne enote Nazarje v Sloveniji (Medmrežje 1).....	8
Slika 2: Lega gozdnogospodarske enote v GGO (sprememba GGN GGE Gornji Grad, 2009).....	9
Slika 3: Klimadiagram za Gornji Grad (GGN GGE Gornji Grad, 2003 - 2013)	10
Slika 4: Pogled na vetrolom iz Kašne planine (foto: Boris Štupar, 2008).....	12
Slika 5: Sanitarni posek v GGE Gornji Grad v letih od 1994 do leta 2010 po vzrokih	18
Slika 6: Poškodovanost sestojev po štirih različnih stopnjah, s prikazom stalnih vzorčnih ploskev.....	19
Slika 7: Relativna frekvenca SVP po razvojnih fazah ločenih na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznih razvojnih fazah	20
Slika 8: Relativna frekvenca SVP po odstotkih mešanosti listavcev ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznih razredih mešanosti...	21
Slika 9: Relativna frekvenca SVP po štirih razredih lesne zaloge ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznih razredih lesne zaloge	22
Slika 10: Relativna frekvenca SVP po lesni zalogi debelega drevja $\text{dbh} \geq 50 \text{ cm}$ (vol_C) ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem volumenskem razredu vol_C	22
Slika 11: Relativna frekvenca SVP po geološki podlagi ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem razredu geološke podlage	23
Slika 12: Relativna frekvenca SVP po smeri vetra ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem razredu	23
Slika 13: Relativna frekvenca SVP na različnih višinah ločena na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem višinskem razredu geološke podlage	24
Slika 14: Relativna frekvenca SVP po različnih naklonih ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem naklonskem razredu	24
Slika 15: Relativna frekvenca SVP po dveh razredih globine tal ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem debelinskem razredu tal	25

1 UVOD

Motnje so sestavni del življenja gozda, njegovih sukcesijskih procesov in dinamike nasploh. Režim motenj je opis lastnosti motnje v danem gozdnem sestoju. Te lastnosti delimo na: pogostost, jakost in velikost porazdelitve motnje ter medsebojnega delovanja le teh (Frelich, 2002). Skupna lastnost motenj je, da moteče vplivajo na zgradbo (gozdnih) ekosistemov ter na tokove snovi in energije v njih (Pickett in White, 1985; Anko, 1993; Attiwill, 1994; Frelich, 2002).

Motnje lahko delimo na različne načina. Anko (1993) jih deli, na primer:

- po intenzivnosti na akutne in kronične;
- po časovnem trajanju na kratkotrajne (npr. ujma) in dolgotrajne (npr. vplivi imisij);
- po predvidljivosti na predvidljive (ciklične) in nepredvidljive;
- po poreklu pa na naravne, antropogene in kombinirane;
- po prostorskem obsegu npr. na globalne, regionalne, krajinske, ekosistemske in mikrorastiščne.

Glede na jakost motnje merjene s količino odmrle lesne mase Frelich (2002) razlikuje tri kategorije motenj: motnje nizkih jakosti (»low-severity disturbances«) so tiste, ki uničijo manjše površine gozdov. To so neurja, ki razpršeno podrejo po nekaj dreves. Sledijo ji motnje srednjih jakosti (»medium-severity disturbances«), ki uničijo že večje zaplate gozda. Gozd dobi mozaično strukturo z vrzelmi s površino do enega hektarja. Kot zadnje pa opisuje motnje z visoko jakostjo (»high-severity disturbances«). Te povsem uničijo več hektarske površine gozdnih sestojev.

Dejavniki, ki povzročajo motnje v gozdnih ekosistemih, so različni, prav tako je v različnih predelih sveta njihov pomen različen. Pogosti dejavniki motenj so veter, sneg, ogenj in žuželke (Schelhaas in sod., 2003).

V Evropi se najpogostejši dejavniki motenj predvsem abiotski (veter, sneg) in biotski dejavniki (gradacije insektov), mestoma pa tudi ogenj (Schelhaas in sod., 2003).

Pomen motenj je v različnih geografskih predelih različen: vetrolomi največkrat prizadenejo gozdove v alpskem svetu, sneg in žled ogrožata predvsem tanjše sestoje na nadmorskih višinah med 600 in 1000 m, požari so značilni in pogosti v Mediteranu in borealnih gozdovih. Podlubniki se pogosto pojavljajo kot sekundarne motnje, ki sledijo abiotskim, in ogrožajo predvsem zasmrečene gozdove (Pickett in White, 1985; Frelich, 2002; Schelhaas in sod., 2003; Poljanec in sod., 2008).

V srednji Evropi in tudi pri nas so od abiotskih povzročiteljev najpomembnejša veter in sneg (Schelhaas in sod., 2003; Klopčič in sod., 2009). Veter je pogost povzročitelj motenj, vetrolomi velikih in srednjih jakosti ter razsežnosti povzročajo znatno ekonomsko in ekološko škodo v gozdovih, lahko tudi nevarnost za življenje ljudi in so gonilna sila razvojne dinamike naravnih gozdov v zmernem pasu (Pickett in White, 1985; Oliver in Larsen, 1998; Klopčič in sod., 2010).

Vetrolom lahko v gozdu napravi različno velike vrzeli - od velikosti krošnje enega drevesa pa vse tja do velikih večhektarskih površin (Canham in Loucks, 1984). Vetrolom je glavni vir motenj v gozdnih ekosistemih na jugu Združenih držav Amerike (McNab in sod., 2003). V drugi polovici prejšnjega stoletja so bili viharni vetrovi v Evropi krivi za 53 % vseh poškodb gozdov (Schelhaas in sod., 2003). Vetrolomi sodijo med najpomembnejše naravne ujme tako v Evropi kot v svetu (Schelhaas in sod., 2003). V Evropi se zaradi najrazličnejših naravnih ujm na leto poseka povprečno 35 milijonov m³ lesa (Schelhaas in sod., 2003). Katastrofalni vetrolomi velikih razsežnosti v Evropi so redki, vendar naj bi se pogostost večala s klimatskimi spremembami (Schelhaas in sod., 2003). Leta 1990, je ciklon Vivian v srednji Evropi podrl okoli 100 milijonov m³ lesa. Konec leta 1999 sta viharja Lothar in Martin podrla okoli 180 milijonov m³ lesne mase. Jeseni 2002 je neurje povzročilo v večjem delu Avstrije približno 5 milijonov m³ podrte lesne mase. V januarju 2007 sta ciklona Kyrill in Emma v nemških gozdovih povzročila veliko opustošenje. Seznam se bo razširil tudi v prihodnje saj mnogi avtorji zaradi spreminjanja podnebja predvidevajo še hujše viharje (Wald ..., 2011). Na Švedskem so v zadnjih štiridesetih letih prejšnjega stoletja imeli 74 večjih vetrolomov, ki so skupaj podrli okrog 110,7 milijona m³ lesne mase (Nilson, 2004).

Naravne motnje so bile, so in bodo stalnica v slovenskih gozdovih. Zato bo treba režime motenj, ki se razlikujejo od krajine do krajine in tudi znotraj krajine upoštevati pri gospodarjenju z gozdovi (Papež, 2005). Tudi v Sloveniji je veter eden glavnih povzročiteljev motenj v gozdnih ekosistemih (Jakša in Kolšek, 2008; Klopčič in sod., 2009).

Za preprečevanje ali vsaj omejevanje posledic viharov ali snežnih neurjih je potrebno poznati zakonitosti pojavljanja vetrolomov in snegolomov, predvsem pa glavne dejavnike, ki vplivajo na pojavnost ujm, njihovega obsega in možnosti sanacije. Gozdarji lahko vplivamo predvsem na strukturo in sestavo gozdnih sestojev ter s tem tudi na odpornost sestojev na motnje. Že starejši gozdarski strokovnjaki (npr. Zupančič, 1969; Bleiweis, 1983) so spoznali, da sneg in veter povzročata poškodbe v neredčenih in sploh premalo negovanih sestojih ali pa v spremenjenih sestojih. Smrekove monokulture, kjer je bila nega zanemarjena, so značilen primer za to. Po njunem mnenju naj bi bili zasebni kmečki gozdovi znatno bolj odporni. Tudi pri intenzivnem gospodarjenju sta stabilnost in odpornost sestojev posebno pomembni, saj lahko vetrolomi in snegolomi prekrižajo ambiciozno postavljene cilje vrednostne produkcije (Zupančič, 1969; Bleiweis, 1983). Pravilno gospodarjenje z gozdovi ima pomembno vlogo pri zmanjševanju možnosti pojavljanja naravnih katastrof (Schelhaas in sod., 2003; Papež, 2005).

Raziskave v Sloveniji na tem področju so skromne. Zaradi napovedanih podnebnih sprememb lahko pričakujemo, da se bo pojavnost vetrolomov še povečala (Kajfež-Bogataj, 2007). Na to nas opozarjajo tudi zabeleženi vetrolomi in snegolomi v Sloveniji v zadnjih letih (Poročilo ..., 2007; Jakša in Kolšek, 2008). Leta 2006 je na Jelovici viharni veter podrl 85.000 m³ lesne mase večinoma smrekovih debeljakov (Jakša in Kolšek, 2008). V Sloveniji je istega leta veter podrl 180.280 m³, kar je predstavljalo slabih 5 % celotnega poseka v Sloveniji (Poročilo ..., 2007). Leta 2008 je viharni veter na Tolminskem, Kamniškem in Gornjegrajskem območju na 20.000 ha poškodoval več kot 500.000 m³ lesne mase. Popolnoma uničenih je bilo 700 ha gozda. Največje poškodbe so bile na območju prelaza Črnivec med Kamnikom in Gornjim Gradom (Jakša in Kolšek, 2008).

Takšni dogodki so priložnost, da se na primerih nekaj novega naučimo – glede razumevanja pojavljanja vetrolomov kot tudi njihove sanacije. Izsledke pa lahko potem uporabimo za preprečevanje ali omejevanje vetrolomov ter njihovo uspešno sanacijo v podobnih okoliščinah. Raziskave vetrolomov so zelo različne (Jakša in Kolšek, 2008; Schelhaas in sod., 2003; Papež, 2005; Klopčič in sod., 2009; Klopčič, Poljanec in Bončina, 2010). Ob tem se poraja vprašanje, ali lahko s podatki iz sestojne karte in stalnih vzorčnih ploskev vsaj delno pojasnimo pojavljanje vetrolomov v izbranem območju gozdov.

2 CILJI NALOGE

Cilji raziskave so:

- analizirati poškodovanost sestojev (površina in stopnja poškodovanosti) na območju vetroloma;
- raziskati izbrane rastiščne in sestojne značilnosti, ki vplivajo na obseg poškodb sestojev na širšem območju vetroloma;
- podati priporočila za zmanjševanje tveganja pojava vetroloma.

Ob tem smo si zastavili naslednje hipoteze:

1. Stopnja poškodovanosti sestojev na vetrolomni površini je različna.
2. Sestojni parametri imajo v primerjavi z rastiščnimi dejavniki večji vpliv na pojav vetroloma.
3. Delež smreke v lesni zalogi gozdnih sestojev značilno vpliva na pojav poškodb.
4. Sestoji na silikatni podlagi (tla z nižjim pH) so bolj dovzetni za vetrolom.
5. Raznomerni sestoji so v primerjavi z enomernimi sestoji bolj odporni na pojav vetroloma.
6. Podatki s stalnih vzorčnih ploskev so primerni za preučevanje pojava vetroloma v gozdnih sestojih.

3 PREGLED RAZISKAV

Rušilno moč vetra so upoštevali že starejši urejevalci gozdov v svojih elaboratih. Tako je bila npr. za poključke gozdove že leta 1903 predpisana smer pomladitvenih sečenj od vzhoda proti zahodu, t. j. proti smeri glavnih vetrov. Na pobočjih, ki leže poševno na smer vetra, so bile namreč poškodbe večje kot na tistih, ki ležijo pravokotno nanjo (Zupančič, 1969).

Ruel (2000) je raziskoval dejavnike, ki vplivajo na vetrolom v balzamovih (*Abies balsamea*) gozdovih. Dejavniki so se nanašali od krajinskih pa vse do drevesnih parametrov. Ugotovil je, da so drevesa na globljih tleh bolj odporna na vetrolom. Balzamovec (*Abies balsamea*) je v sestojih s primesjo črne smreke (*Picea mariana*), bele smreke (*Picea glauca*) in breze (*Betula papyrifera*) najbolj dovzetan za vetrolom. Dovzetnost sestojev balzamovca za vetrolom se znatno poveča, ko sestoji presežejo starost 50 let.

Canham in sodelavci (2001) so dokazali, da povezava med velikostjo drevesa in dovzetnostjo za vetrolom pri srednjem prsnem premeru 40 cm med različnimi drevesnimi vrstami zelo variira, in sicer od skoraj popolne odpornosti pri rumeni brezi (*Betula alleghaniensis*) in sladkornem javorju (*Acer saccharum*) do najmanj dvakrat manjše odpornosti pri črni češnji (*Prunus serotina*) in rdeči smreki (*Picea rubens*).

Pelikka in Järvenpää (2003) sta raziskovala borealne gozdove, ki jih je prizadel sneg ali veter. Ugotovila sta, da so gozdovi, ki so bili pred kratkim preredčeni, bolj podvrženi poškodbam kot pa gozdovi, ki niso bili redčeni. Pretrgan sklep krošenj povečuje možnost poškodb v sestojih, še posebej zaradi vetra (Pelikka in Järvenpää, 2003).

Mayer in sodelavci (2005) so raziskovali značilnosti podrtega drevja v viharjih Lothar in Martin. Iz podatkov, zbranih na 969 raziskovalnih ploskvah, so s pomočjo multiple logistične regresije dokazali, da so sestoji na kislih tleh bolj dovzetni za vetrolom kot pa sestoji na manj kislih tleh. Opozarjajo, da je kislost tal velik dejavnik tveganja za pojav vetrolomov.

Schütz in sodelavci (2006) so raziskovali ranljivost smrekovih in bukovih sestojev v zimskem viharju Lothar 1999 v Švici. Dokazali so, da je na privetrni strani pobočja poškodovanost dvakrat večja kot pa na zavetrni strani. Strmejša pobočja (naklon večji od 50 %) so šestkrat manj dovzeta za vetrolom kot blaga pobočja (naklon pod 20 %). Dokazali so tudi, da je mešanost z listavci nad 10 % značilno zmanjšala možnost pojava vetroloma v smrekovih sestojih. Dejavniki, kot so višina sestoja, prsni premer dreves ali čas, ki je minil od zadnjega redčenja, niso bili statistično značilni za pojasnjevanje vetroloma (Schütz in sod., 2006).

Slovenija se nahaja na zmernih zemljepisnih širinah, na katerih prevladujejo zahodni vetrovi. Zaradi zavetrne lege pod Alpami in kotlinsko-dinarskega površja je za Slovenijo značilna slaba prevetrenost in velik delež brezvetrja pri tleh. Vetrovi ob nevihtah so prostorsko omejeni in dosegajo hitrosti do 40 m/s in več (Jakša in Kolšek, 2008).

Redne sečnje v zadnjih petih letih zvišujejo možnost pojavljanja vetroloma za 1,56-krat kot v neredčenih sestojih (Klopčič in sod., 2009). Klopčič in sodelavci (2010) so z logistično regresijo poskušali pojasniti in modelirati vetrolome v gozdovih Julijskih Alp. Dokazali so, da je verjetnost, da se bo vetrolom v odseku zgodil, kar 1,92-krat večja v odsekih, kjer se je predhodna ujma zgodila, kot v odsekih, v katerih sestoji v predhodnih letih niso bili poškodovani. Horizontalno bolj heterogeni odseki z več razvojnimi fazami (izraziti gozdni robovi) so bili bolj dovzetni za vetrolome kot odseki z bolj homogeno zgradbo. Za vetrolom so bili gozdni sestoji na južnih, jugozahodnih, zahodnih in severozahodnih ekspozicijah 1,24-krat bolj dovzetni kot pa sestoji na preostalih ekspozicijah. Višja lesna zaloga tankega drevja (10-29 cm) je pripomogla k večji odpornosti gozdnega sestoja, medtem ko višja zaloga debelega drevja ($d \geq 50$) povzroča večjo dovzetnost za vetrolom (Klopčič in sod., 2009). Podobno sta ugotovila tudi Jalkanen in Mattilla (2000). Starejši sestoji so na splošno bolj dovzetni za vetrolom (Ulanova, 2000). V odsekih z višjim deležem raznomernih gozdov je bila možnost pojavljanja vetroloma nekoliko nižja. V odsekih z višjim deležem mladovja pa nekoliko višja (Klopčič in sod., 2009), podobno so ugotovili tudi Indermühle in sodelavci (2005).

V Sloveniji so bile opravljene nekatere raziskave sanitarnih sečenj zaradi ujm. Največje probleme povzročajo rušilni vetrovi na Pokljuki (Zupančič, 1969). Isti avtor navaja, da je tam veter leta 1951 izruval 36.000 m^3 lesa, leta 1963 pa 51.000 m^3 lesa. Leta 1965 je vihar na Notranjskem in Kočevskem podrl 118.500 m^3 lesa (Zupančič, 1969). Isti avtor omenja tudi silovit vetrolom, ki se je zgodil leta 1965 v postojnskih gozdovih, kjer je padlo 263.045 m^3 lesa, od tega le 12 % listavcev. Od leta 1966 in do 1982 je bilo v Sloveniji uničene ali polomljene lesne mase $2.471.740 \text{ m}^3$. Od tega 47 % zaradi žleda, 29 % zaradi snega in 24 % zaradi vetra. To na leto v povprečju znese 154.484 m^3 lesne mase (Bleiweis, 1983). Iz tega je razvidno, da je v istem obdobju v primerjavi z žledolomi in snegolomi zaradi vetrnih sunkov padlo najmanj lesne mase, in sicer 596.108 m^3 (Bleiweis, 1983). Na Nazarskem gozdnogospodarskem območju je bilo v povojnem območju do leta 1966 več razmeroma majhnih vetrolomov. Največjo škodo je napravil veter leta 1954, ko je padlo 21.637 m^3 (Zupančič, 1969). Od leta 1966 in do 1982 je bilo na Nazarskem območju 35.920 m^3 lesne mase pospravljenega zaradi vetra in 69.640 m^3 lesne mase podrte zaradi snega (Bleiweis, 1983).

Povprečni evidentirani letni posek v slovenskih gozdovih je v obdobju 1995-2008 znašal približno 2,8 milijona m^3 lesne mase. Sanitarne sečnje so v obravnavanem obdobju v povprečju predstavljale 32 % celotnega poseka - v razponu od 19 % (leto 2001) do 46 % (leto 1996) (Jakša in Kolšek, 2008). V sanitarnem poseku predstavljajo sečnje zaradi žuželk 34 %, enaka količina je posledica naravnih ujm, 14 % zaradi bolezni in gliv ter 18 % zaradi drugih vzrokov. V drevesni strukturi zaradi ujm prevladujejo iglavci z 59 % lesne mase (Jakša in Kolšek, 2008). Povprečna lesna masa posekanega drevesa znaša po evidencah sečnje v obravnavanem obdobju 1995-2008 $0,75 \text{ m}^3$. Pri sanitarnih sečnjah zaradi žleda znaša povprečna lesna masa posekanega drevesa $0,38 \text{ m}^3$, zaradi vetra pa $1,12 \text{ m}^3$ (Jakša in Kolšek, 2008).

Zaradi klimatskih sprememb pričakujemo večjo pojavnost različnih motenj. Diaci (2007) meni, da bodo pri nas zaradi zviševanja temperatur, sprememb padavinskega režima, vetrovnosti, oblačnosti in naraščanja podnebnih skrajnosti najbolj prizadeti gozdovi na skrajnostnih rastiščih, sestoji rastiščem tujih drevesnih vrst in starajoči se sestoji. Slovenija

ima veliko gozdov, poleg tega leži na optimalnem območju za uspevanje gozdov, zato spreminjanje podnebja do sedaj manj občutimo kot v sosednjih državah (Diaci, 2010).

4 OBJEKT RAZISKAVE

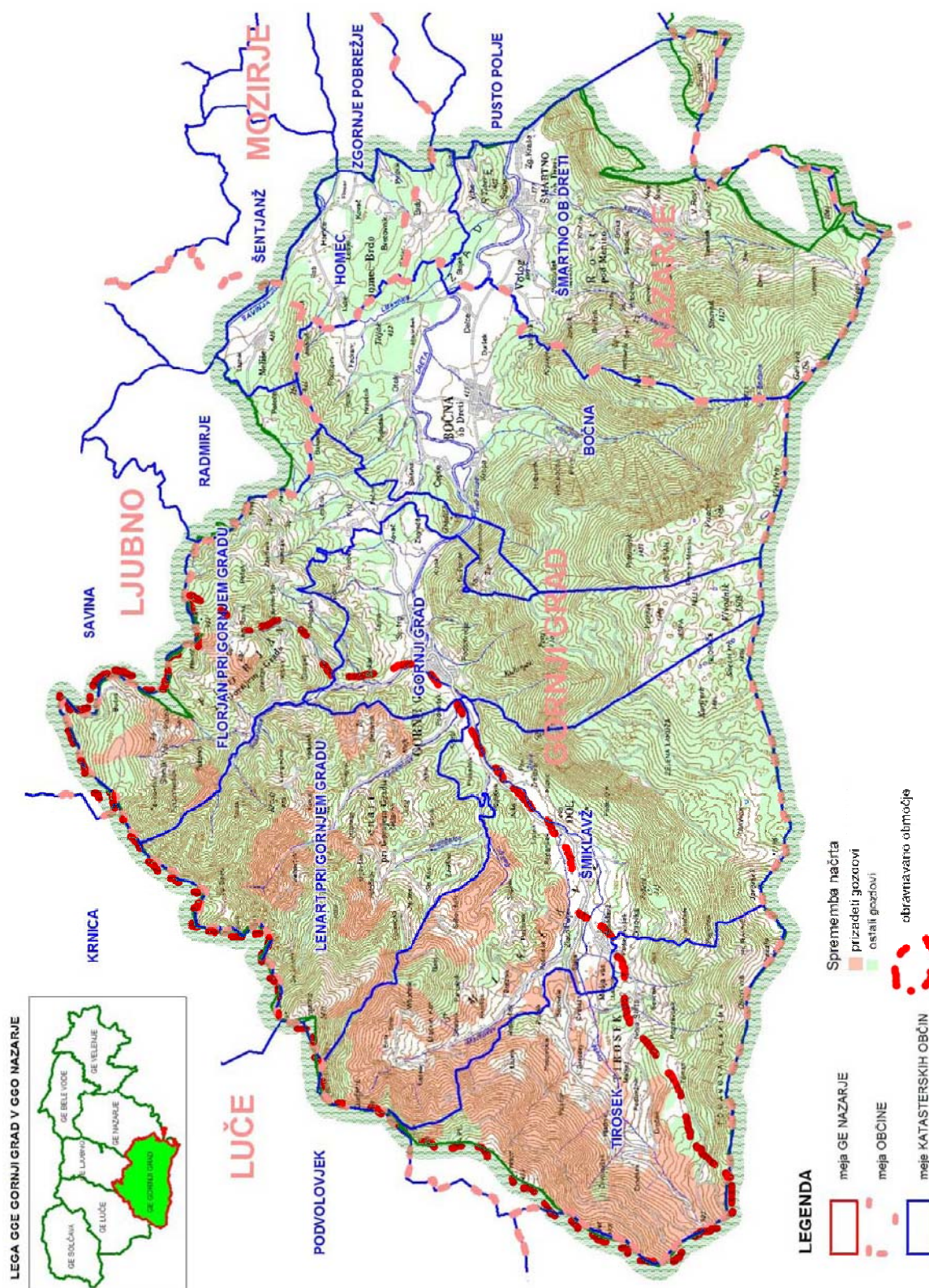
4.1 LEGA

Objekt raziskave predstavlja vetrolomna površina na širšem območju Črnavca v gozdnogospodarski enoti (GGE) Gornji Grad (slika 2). GGE Gornji Grad je ena večjih enot v nazarskem območju (v nadaljevanju OE Nazarje) (slika 1) in obsega večino povirja reke Drete.



Slika 1: Lega območne enote Nazarje v Sloveniji (Karta ..., 2011)

Površina gozdov v GGE Gornji Grad je 8.332 hektarov. Od tega je 71 % gozdov v zasebni lasti in 29 % v državni (načrt GGE, 2003). Velik odstotek državnih gozdov je bil leta 2003 še v postopku denacionalizacije.

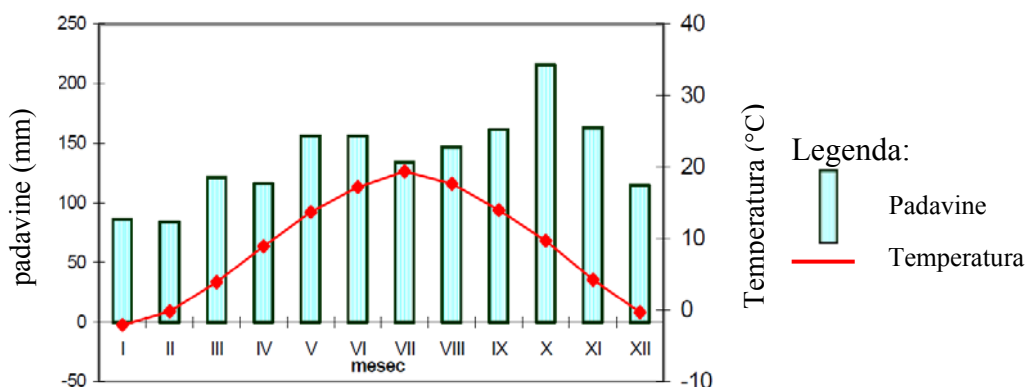


Slika 2: Lega gozdnogospodarske enote v GGO (sprememba GGN GGO Gornji Grad, 2009)

GGE Gornji Grad obsega zgornje porečje reke Drete do Kraš. Najnižja točka je ob strugi Drete in Savinje pod 370 m, najvišja pa na Menini (1507 m). Na južni strani leži apnenčasto hribovje - planotasta Menina planina (najvišji vrh Vivodnik 1507 m), proti vzhodu Krašica, Pretkovca in proti zahodu Ojstri vrh, Tomanova planina. Severno od prelaza Črnavec (902 m) pa se začne silikatno hribovje – Kašni vrh (1435 m), Lepenatka (1425 m), Slemški vrh (1108 m), ki prehaja v gričevnat svet med Savinjo in Dreto (vrh Homa – 620 m) (GGN GGE Gornji Grad, 2003-2013).

Podnebje je večinoma prehodno in se tako kot v večjem delu Slovenije prepletajo značilnosti gorskega, celinskega in oceanskega podnebja (Velkavrh, 1990). Letna količina padavin znaša med 1400 in 1600 mm (Velkavrh, 1990). Srednja letna temperatura je okrog 9 °C (Gornji Grad). Najhladnejši je januar s povprečnimi letnimi temperaturami, ki znašajo v Gornjem Gradu –1,7 ° Celzija (Kladnik, 1999; slika 3). Zadnja leta se povečuje letna temperatura, zmanjšuje pa količina padavin (GGN GGE Gornji Grad, 2003-2013). V kotlinah je značilna toplotna inverzija, zato so obrobja dolin, kotlin toplejša, kot bi pričakovali glede na nadmorsko višino.

Za GGE Gornji Grad je značilen pojav fena. Močni jugozahodni vetrovi občasno povzročajo tudi vetrolome na izpostavljenih legah. Redkeje se pojavljajo viharji severni vetrovi, ki pa povzročijo precej večje vetrolome (Preložnik, 2003).



Slika 3: Klimadiagram za Gornji Grad (GGN GGE Gornji Grad, 2003 - 2013)

Gozdnatost znaša kar 75 %. V GGE prevladujejo rastišča jelovo-bukovih gozdov (38 %), precej pa je tudi rastišč bukovij na nekarbonatnih kamninah (24 %). V tej skupini so

združeni tako jelovo-bukovi gozdovi na karbonatni podlagi kot acidofilni jelovo-bukovi gozdovi. Obsežna je tudi skupina rastišč jelke in smreke (19 %), kjer pa posebej pri smrečjih prevladujejo sekundarne združbe. Le v posebnih ekoloških razmerah in malopovršinsko se pojavljajo gozdovi plemenitih listavcev (0,5 %) in termofilni grmičavi gozdovi malega jesena ter črnega gabra (0,3 %) (Marinček in sod., 1983).

Povprečna lesna zaloga v GE je visoka in znaša 366 m³/ha. Precejšen delež lesne zaloge je v razredu nad 50 cm (pri iglavcih 25 % in pri listavcih 21 %) in v razredu 40 do 50 cm (26 % oz. 20 %) (GGN GGE Gornji Grad, 2003-2013). V GGE močno prevladujejo debeljaki (54 % površine), katerih lesna zaloga znaša (436 m³/ha). Poprečen delež pomladka v debeljakih je 7 %. Sestoji v obnovi pokrivajo 13 % površine in so močno pomlajeni, večinoma s pomladkom dobre zasnove. Visok je tudi delež raznomernih sestojev. Posamično do šopasto raznomerni sestoji (12 % površine) so deloma tipični prebiralni sestoji, deloma pa sestoji, kjer je možno prebiralno gospodariti. Na primernih (jelovih) rastiščih je zato tam oblikovan poseben gospodarski razred prebiralni gozd (GGN GGE Gornji Grad, 2003-2013).

Prirastek gozdnih sestojev znaša 8,86 m³/ha. Delež listavcev v prirastku je višji kot v lesni zalogi, kar kaže na močnejše priraščanje. Težišče prirastka je pri srednjih debelinskih razredih (pri 20 do 40 cm premera) (GGN GGE Gornji Grad, 2003-2013).

Preglednica 1: Površine in značilnosti razvojnih faz oz. zgradb sestojev (GGN GGE Gornji Grad, 2003-2013)

Razvojna faza oz. zgradba sestojev	Delež površine (%)	Lesna zaloga (m³/ha)	Srednji premer (cm)
Mladovje	3,7	0,0	0
Drogovnjak	10,2	275,2	17
Debeljak	54,0	436,2	30
Sestoj v obnovi	12,9	309,0	31
Raznomerno (ps-šp)	11,5	356,8	27
Raznomerno (sk-gnz)	7,1	305,5	25
Grmičav gozd	0,5	118,9	0
Pionirski gozd z grmišči	0,1	18,2	0

Preglednica 2: Površine in deleži posameznih tipov drevesne sestave (GGN GGE Gornji Grad, 2003-2013)

Tip drevesne sestave	Delež (%)
Bukovi gozdovi	8,0
Drugi pretežno listnati gozdovi	3,2
Gozdovi bukve in smreke	20,4
Smrekovi gozdovi	34,0
Drugi pretežno iglasti gozdovi	24,5
Drugi gozdovi iglavcev in listavcev	9,9

Raziskava je bila opravljena na območju vetroloma v GGE Gornji Grad. Obsegala je površino velikosti 5679 ha. Na tej površini je viharni veter 13. julija 2008 okrog tretje ure popoldan pustil svoje sledi (slika 2). Velik del enote je zajelo hudo neurje z močnim vetrom. Sunki vetra so po podatkih državne mreže meteoroloških postaj dosegali hitrost okoli 90 km/h, lokalno pa je veter kot »nevihtni pišč« lahko presegal hitrost 120 km/h. Na območjih od Črnavca proti Lenartu (levi breg reke Drete), kjer je bil nevihtni pišč še dodatno okrepljen zaradi konfiguracije terena, je povzročil največjo stopnjo poškodovanosti gozdov. GGE je zelo izpostavljena ekstremnim vremenskim pojavom (običajen prehod vremenskih front od jugozahoda, spuščanje zračnih mas iz Menine in Kašne planine) (sprememba GGN GGE Gornji Grad, 2009). Na površini 230 ha, kjer je bila poškodovanost sestojev največja, so pri sanaciji uporabili strojno sečnjo (sprememba GGN GGE Gornji Grad, 2009).



Slika 4: Pogled na vetrolom iz Kašne planine (foto: Boris Štupar, 2008)

5 METODE DELA

5.1 PRIDOBIVANJE PODATKOV

Podatki so bili pridobljeni na Zavodu za gozdove Slovenije, Območna enota Nazarje. To so aerofoto posnetki vetrolomne površine, digitalizirana karta vetroloma, podatki iz odsekov, podatki iz stalnih vzorčnih ploskev, podatki o sestojih.

Površine najbolj poškodovanih gozdov so na Zavodu za gozdove OE Nazarje ugotovili s pomočjo letalskih posnetkov in računalniškega programa MapInfo, s katerim so bile poškodovane površine digitalizirane na osnovi terensko izrisanih kart. Te površine so primerjali z letalskimi posnetki in jih po potrebi popravili (sprememba GGN GGE Gornji Grad, 2009).

V objektu raziskave je lociranih 340 stalnih vzorčnih ploskev (SVP). SVP so postavljene na mreži 250 m x 250 m. Od tega so bili sestoji delno ali povsem poškodovani na 66 SVP, nepoškodovani pa na preostalih 274 SVP. Zadnje meritve na teh ploskvah so bile izvedene leta 2003.

Vsi podatki so bili shranjeni v MapInfo datotekah. V tem programu smo kasneje na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire urejali podatke, oblikovali prostorski informacijski sistem ter podatke statistično obdelali.

5.2 PRIPRAVA IN OBDELAVA PODATKOV

Podatke o sestojnih in orografskih spremenljivkah iz stalnih vzorčnih ploskev smo uredili v programu MapInfo. Nekatere so že bile podane v zbirki stalnih vzorčnih ploskev, druge smo izračunali. Razvojno fazo vsake ploskve pred vetrolomom smo določili s presekom sestojne karte (ZGS, OE Nazarje) in stalnih vzorčnih ploskev. Za potrebe statistične obdelave smo nekatere kategorialne spremenljivke pretvorili v binarne kategorialne spremenljivke (preglednica 3).

Preglednica 3: Spremenljivke, ki smo jih uporabili v multivariatnih analizah

	Spremenljivka	Tip spremenljivke	Opis spremenljivke	Vključena spremenljivka*
Orografske dejavniki	elv	Zvezna	Nadmorska višina ploskve (m/100m)	da
	lega_bin	0/1	Lega (1=JV+J+JZ+Z+SZ; 0=S+SV+V)	da
	nagib	Zvezna	Nagib ploskve (°)	da
	geolog_bin	0/1	Geološka podlaga (karbonati = 1; silikati = 0)	da
	kamn	Zvezna	Kamnitost (%)	da
	skal	Zvezna	Skalovitost (%)	da
	depth	Zvezna	Globina tal (cm)	ne
	pH	Zvezna	0-14	ne
Sestojni dejavniki	vol_A	Zvezna	Volumen dreves tanjšega premera (dbh < 30 cm)	da
	vol_B	Zvezna	Volumen dreves srednjega premera (30 ≤ dbh < 50 cm)	da
	vol_C	Zvezna	Volumen dreves velikega premera (dbh ≥ 50 cm)	ne
	LZ_iglavci	Zvezna	Lesna zaloga iglavcev (m ³ /ha)	ne
	LZ_listavci	Zvezna	Lesna zaloga listavcev (m ³ /ha)	ne
	LZ_smreka	Zvezna	Lesna zaloga smreke (m ³ /ha)	da
	LZ_jelka	Zvezna	Lesna zaloga jelke (m ³ /ha)	da
	LZ_ost.iglavci	Zvezna	Lesna zaloga ostalih iglavcev (m ³ /ha)	ne
	LZ_bukev	Zvezna	Lesna zaloga bukeve (m ³ /ha)	da
	LZ_ost.listavci	Zvezna	Lesna zaloga ostalih listavcev (m ³ /ha)	ne
	LZ	Zvezna	Lesna zaloga (m ³ /ha)	ne
	n	Zvezna	Število dreves (n/ha)	da
	dg	Zvezna	Povprečno drevo (g/n)	ne
	hd	Zvezna	Razmerje višina : prsni premer	da
	g	Zvezna	Temeljnica (m ² /ha)	ne
	nrob	Zvezna	Razdalja ploskve od gozdnega roba	da
	deb	0/1	Razvojna faza debeljak	da
	drg	0/1	Razvojna faza drogovnjak	ne
	rznm	0/1	Raznomen gozd	da

* Stolpec »vključene spremenljivke« kaže, katere spremenljivke so bile vključene v postopek modeliranja, ne vključene pa so bile izključene v predhodnih analizah.

Vpliv posameznih sestojnih in rastiščnih dejavnikov smo proučevali z grafičnimi prikazi relativnih frekvenc SVP po kategorijah posameznih neodvisnih spremenljivk. SVP smo razdelili na pet razvojnih faz, ločenih na štiri stopnje poškodovanosti. Nato smo jih

razdelili na štiri razrede mešanosti, na SVP s karbonatno ter nekarbonatno podlago, na privetrno in zavetrno lego, štiri razrede lesne zaloge (LZ), na štiri razrede nagiba, štiri razrede nadmorske višine, dva razreda globine prsti in štiri razrede volumna debelih dreves ($\text{dbh} > 50 \text{ cm}$). Zadnjih pet spremenljivk smo razdelili v razrede na temelju osnovnih statističnih analiz. Povezanost med njimi in stopnjo poškodovanosti sestojev smo preverjali s kontingenčnimi tabelami in χ^2 testom.

Za raziskavo vzajemnega delovanja sestojnih in rastiščnih dejavnikov na pojav vetroloma smo uporabili multivariatno logistično regresijo (Hosmer in Lemeshow, 2000). Če govorimo o verjetnosti določenega dogodka, ki se zgodi ali se ne zgodi, je verjetnostna porazdelitev za slučajno spremenljivko, ki opisuje tak izid, binomska porazdelitev. V našem primeru je bila odvisna spremenljivka pojavnost vetroloma. Če se je vetrolom na območju, kjer je stalna vzorčna ploskev (SVP), zgodil, smo to označili kot dogodek (vrednost neodvisne spremenljivke je bila 1). Če na površini, kjer leži SVP ni bilo poškodb zaradi vetroloma, je bila vrednost neodvisne spremenljivke 0.

Verjetnost, da ima odvisna spremenljivka vrednost 1, ob upoštevanju neodvisnih spremenljivk $x_1, x_2, \dots, x_p$, se izrazi takole (Košmelj, 2001):

$$P(Y = 1 | x_1, x_2, \dots, x_p) = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p)} \quad \dots(1)$$

Iz tega sledi:

$$\ln \frac{P(Y = 1 | x_1, x_2, \dots, x_p)}{1 - P(Y = 1 | x_1, x_2, \dots, x_p)} = \log \text{it} P(Y = 1) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p \quad \dots(2)$$

Funkcija 'Logit' se izraža kot linearna kombinacija neodvisnih spremenljivk (Enačba 2).

Interpretacija posameznega parametra multivariatnega logističnega modela je:

$\exp(\beta)_i$ predstavlja razmerje obetov za i -to spremenljivko, pri upoštevanju ostalih neodvisnih spremenljivk x_j , $j = 1, \dots, p$, $j \neq i$, ki so v modelu.

V multivariatnem modelu logistične regresije so upoštevani podatki o vseh spremenljivkah. Kolikšen je vpliv ostalih spremenljivk na *i*-to spremenljivko, lahko presodimo s primerjavo ocene parametra β_i v univariatnem in multivariatnem modelu (Košmelj, 2001).

V predhodne analize za izračun pojasnjevalnih modelov smo vključili vse neodvisne spremenljivke (Preglednica 3). Da bi se pri izdelavi modela izognili multikolinearnosti, smo najprej izračunali Pearsonove korelacijske koeficiente (r) med vsemi zveznimi neodvisnimi spremenljivkami. Ena spremenljivka v paru dveh neodvisnih spremenljivk, ki je imela $r > 0,45$ (Mayer in sod., 2005), je bila izbrana in vključena v nadaljnjo proceduro, druga je bila izločena. Pri tem smo bili osredotočeni na spremenljivke, ki so nas glede na zastavljene hipoteze bolj zanimale. Sledilo je preverjanje povezanosti med odvisno in neodvisnimi spremenljivkami s kontingenčnimi tabelami in χ^2 –testom za kategorialne neodvisne spremenljivke ter t-testom za zvezne neodvisne spremenljivke. Kadar je bil $p < 0,25$, takrat je bila neodvisna spremenljivka vključena v nadaljnjo proceduro, v nasprotnem je bila izključena.

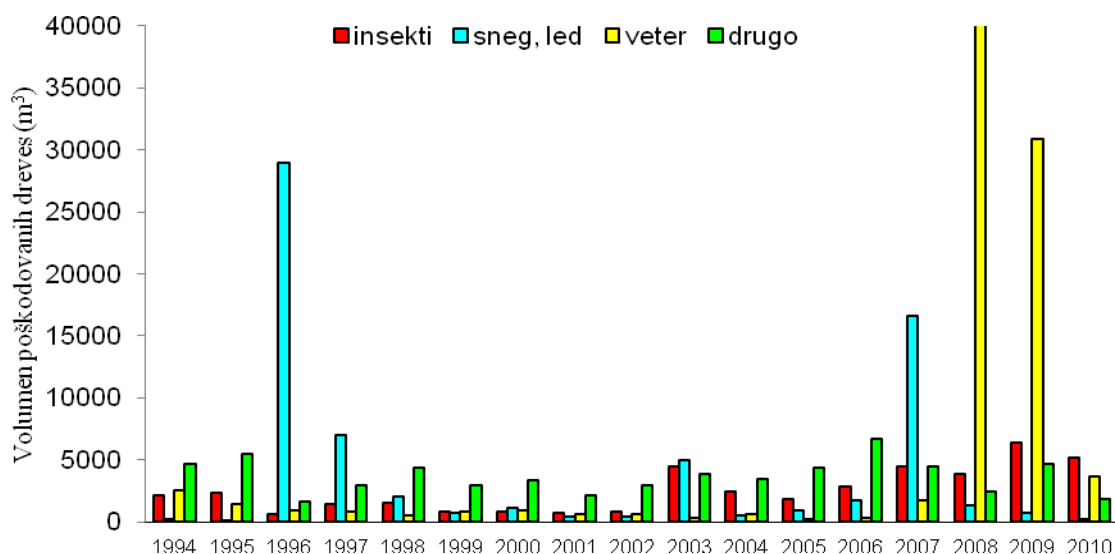
Ko smo končali s predhodnimi analizami neodvisnih spremenljivk, smo jih vključili v izračun binarne logistične regresije z metodo »Backward Stepwise (Likelihood Ratio)«, temelječi na kriteriju največje verjetnosti in z največ 20 iteracijami. Neodvisne spremenljivke so bile vključene v model pri $p < 0,5$, izključene iz njega pa pri $p > 0,10$. V model vključene neodvisne spremenljivke smo testirali z »Variance Inflation Factor« (VIF), ločeno za zvezne in kategorialne spremenljivke (Allison, 1999). VIF smo izračunali z enačbo $1/(1-R^2)$, pri čemer smo R^2 pridobili iz izračunane linearne (zvezne spremenljivke) ali logistične (kategorične spremenljivke) regresije, v kateri smo kot odvisno spremenljivko uporabili eno izmed neodvisnih spremenljivk v modelu, vse ostale neodvisne spremenljivke pa kot neodvisne. Če je bila vrednost manjša od 10, smo spremenljivko obdržali v modelu, v nasprotnem pa jo odstranili iz modela in model izračunali na novo. Model smo razlagali s pomočjo izračunanih obetov. Obete smo izračunali kot količnik verjetnosti, da se dogodek (vetrolom) zgodi in verjetnostjo, da se dogodek (vetrolom) ne zgodi (Hosmer in Lemeshow, 2000).

Izračuni so bili narejeni v statističnem programu SPSS 17.0 for Windows.

6 REZULTATI

6.1 SANITARNO ODKAZILO V GGE GORNJI GRAD

V obdobju 1994-2010 je poprečni sanitarni posek znašal 20.439 m^3 , kar predstavlja 50 % celotnega poseka. V sanitarnem poseku je bila največja količina lesa posekana zaradi vetra (50,3 %), snega in ledu (19,5 %), manj je bilo poškodb zaradi insektov (12,3 %). Ostalo predstavljajo drugi vzroki. V letu 2008 je količina sanitarnega poseka dreves zaradi vetra znašala 128.019 m^3 (iz slike je razvidno, da v letu 2008 stolpec za posek zaradi vetra ni prikazan v celoti). V letu 2009 je tudi opazen razmeroma velik sanitarni posek zaradi vetroloma, saj se je sanacija vetroloma, ki se je zgodil prejšnje leto, nadaljevala tudi v tem letu (slika 5).

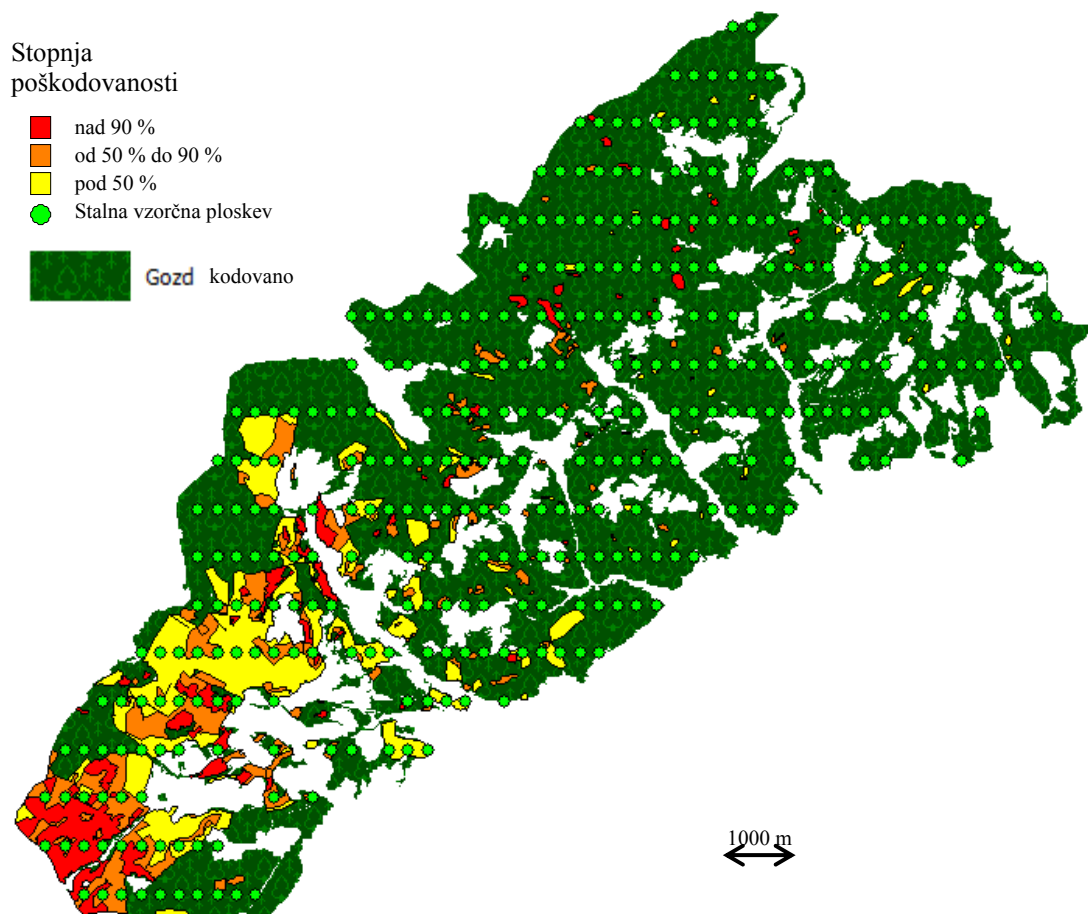


Slika 5: Sanitarni posek v GGE Gornji Grad v letih od 1994 do leta 2010 po vzrokih

6.2 POŠKODOVANOST SESTOJEV V VETROLOMU

Skupno je bilo poškodovanih 685 ha gozdov (preglednica 4), kar predstavlja 12,1 % celotne gozdne površine v gozdnogospodarski enoti. Povprečna poškodovana površina sestojev je 2,6 ha (slika 6). V GGE Gornji Grad sta rastiščno gojitvena razreda sekundarni smrekovi gozdovi na silikatih (posekano 35 % lesne zaloge) in gorski bukovi

gozdovi na karbonatih (posekano 43 % lesne zaloge) najbolj poškodovana (sprememba GGN, 2009).



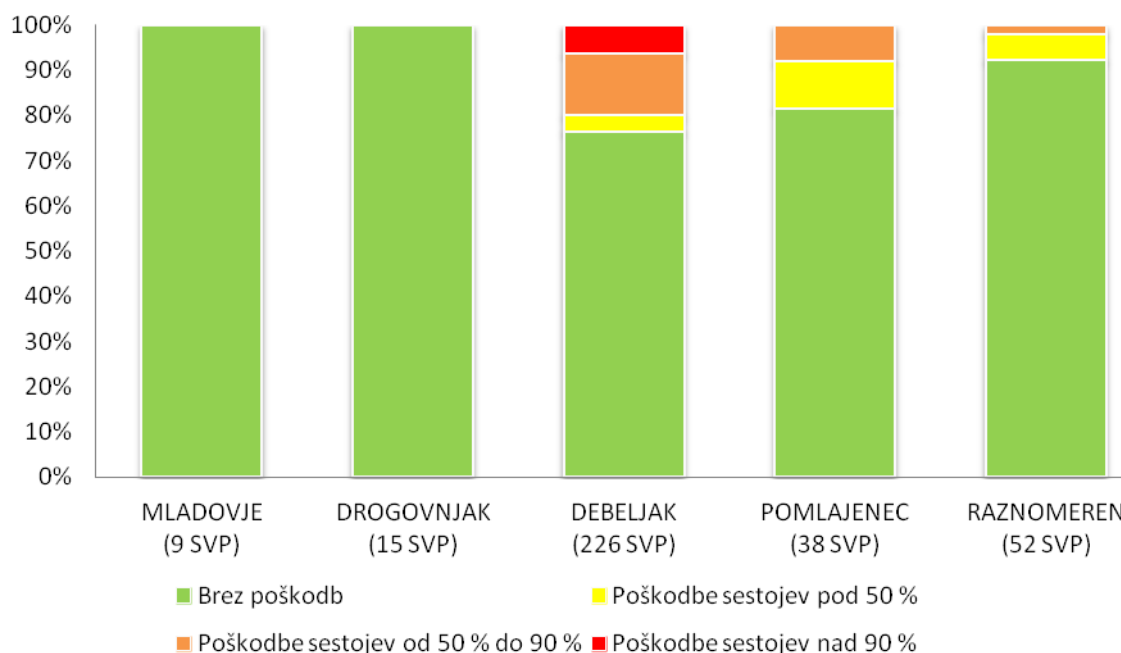
Slika 6: Poškodovanost sestojev po štirih različnih stopnjah, s prikazom stalnih vzorčnih ploskev (Izdelano in dopolnjeno na podlagi ZGS OE Nazarje 2009)

Preglednica 3: Površina vetroloma po stopnjah poškodovanosti (povzeto po ZGS OE Nazarje 2009)

Stopnja poškodovanosti	Velikost (ha)	Število SVP
Nepoškodovano	4994	274
Poškodovanost pod 50 %	324	16
Poškodovane je od 50-89 % lesne mase	217	35
Poškodovane je 90 % in več lesne mase	143	15
Skupna vsota	5679	320

6.3 VPLIV SESTOJNIH IN RASTIŠČNIH DEJAVNIKOV NA STOPNJO POŠKODOVANOSTI ZARADI VETRA

Največjo stopnjo poškodovanosti smo registrirali v sestojih debeljakov, saj je bilo 23,4 % sestojev poškodovanih, kar 6 % debeljakov pa povsem uničenih (slika 7). V raznomernih sestojih je bilo poškodb v primerjavi z debeljaki občutno manj. Delno je bilo poškodovanih le 7,7 % raznomernih sestojev; v tem sestojnem tipu nismo registrirali sestojev, ki bi bili povsem uničeni. V mladovju in drogovnjaku poškodb ni bilo. V pomlajencih smo ugotovili poškodbe na 18,4 % površine teh sestojev. Od tega je bila stopnja poškodovanosti od 50 % do 89 % na 7,9 % površine teh sestojev, povsem uničenih sestojev v pomlajencih pa ni bilo. Ugotovili smo statistično značilno povezanost med razvojno fazo in stopnjo poškodovanosti sestojev (χ^2 -test, $p = 0,027$).



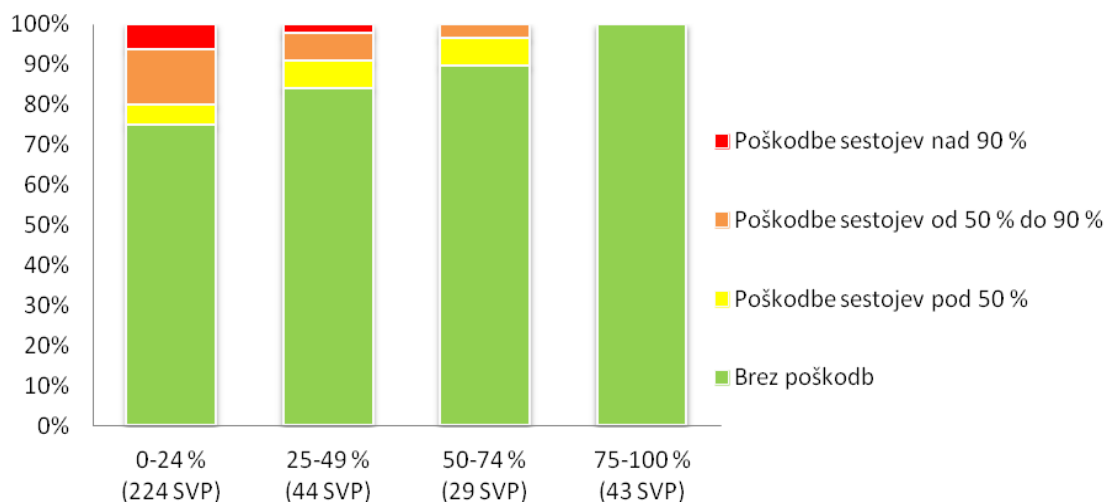
Slika 7: Relativna frekvenca SVP po razvojnih fazah ločenih na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznih razvojnih fazah

Poškodb v sestojih s primesjo listavcev, večjo ali enako od 75 % celotne lesne zaloge, ni bilo (slika 8). Nasprotno pa je največ poškodb v sestojih z najmanjšo primesjo listavcev (< 25 % lesne zaloge); na 6 % površine teh gozdov so bili sestoji povsem uničeni. Teh gozdov

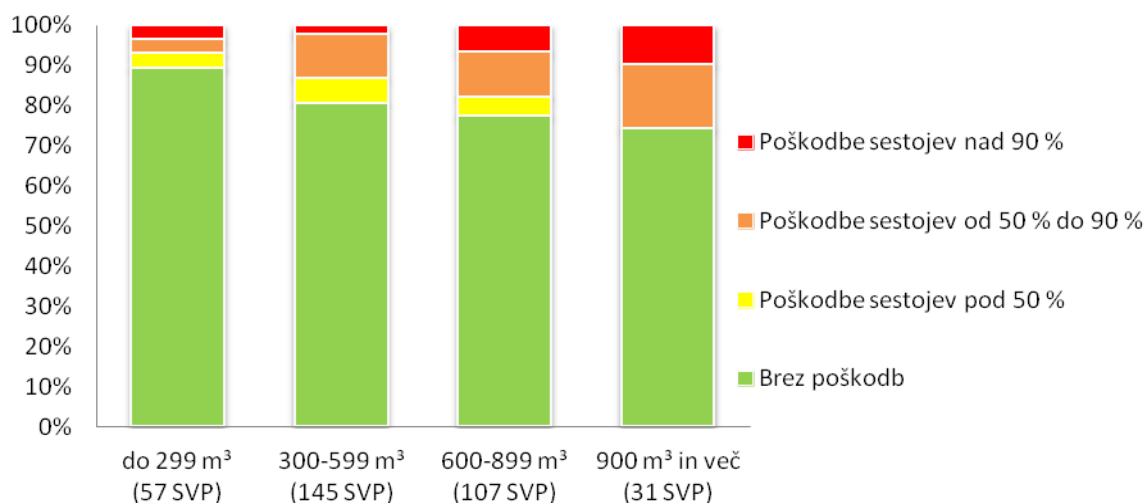
je tudi največ (224 SVP). Ugotovili smo statistično značilno povezanost med mešanostjo in stopnjo poškodovanosti sestojev (χ^2 -test, $p = 0,016$).

Sestoji z višjo lesno zalogo so bolj poškodovani. Največjo stopnjo (25,8 %) poškodovanosti smo ugotovili v sestojih z lesno zalogo nad 900 m³ (slika 9); 9,6 % teh sestojev je bilo povsem uničenih. V sestojih z manjšo lesno zalogo (do 300 m³) je bilo poškodb občutno manj, saj je bil delež poškodovanih gozdov 10,5 %. S statističnim testom nismo ugotovili statistične povezanosti med lesno zalogo (kategorizirane v štiri kategorije) in stopnjo poškodovanosti sestojev (χ^2 -test, $p = 0,221$).

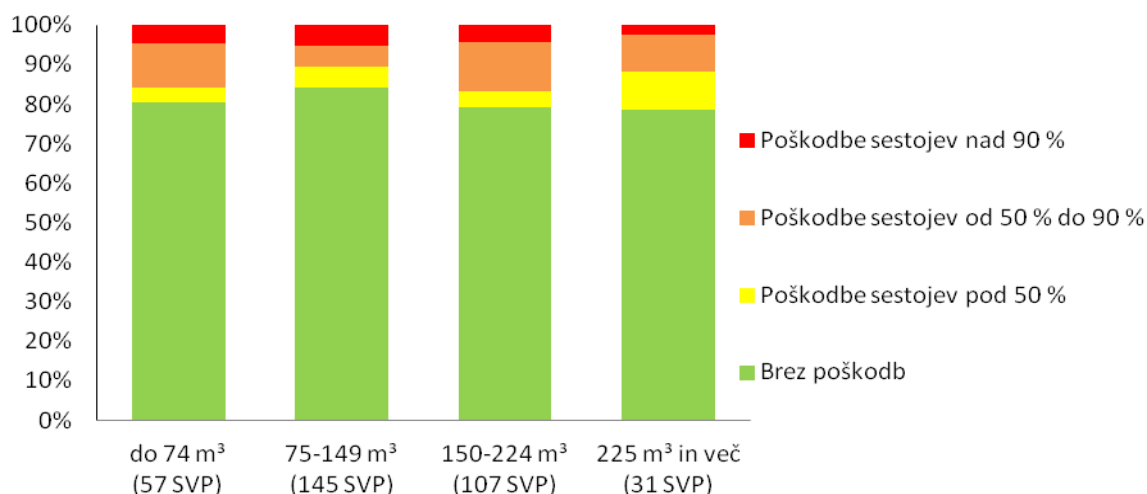
Primerjava poškodovanosti po različnih stopnjah lesne zaloge debelih dreves ((vol_C), dbh > 50 cm) nima izstopajočega razreda po odstotku poškodovanosti (slika 10). Prav tako s statističnim testom nismo ugotovili statistične povezanosti med lesno zalogo debelih dreves (kategorizirane v štiri kategorije) in stopnjo poškodovanosti sestojev (χ^2 -test, $p = 0,892$).



Slika 8: Relativna frekvenca SVP po odstotkih mešanosti listavcev ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznih razredih mešanosti



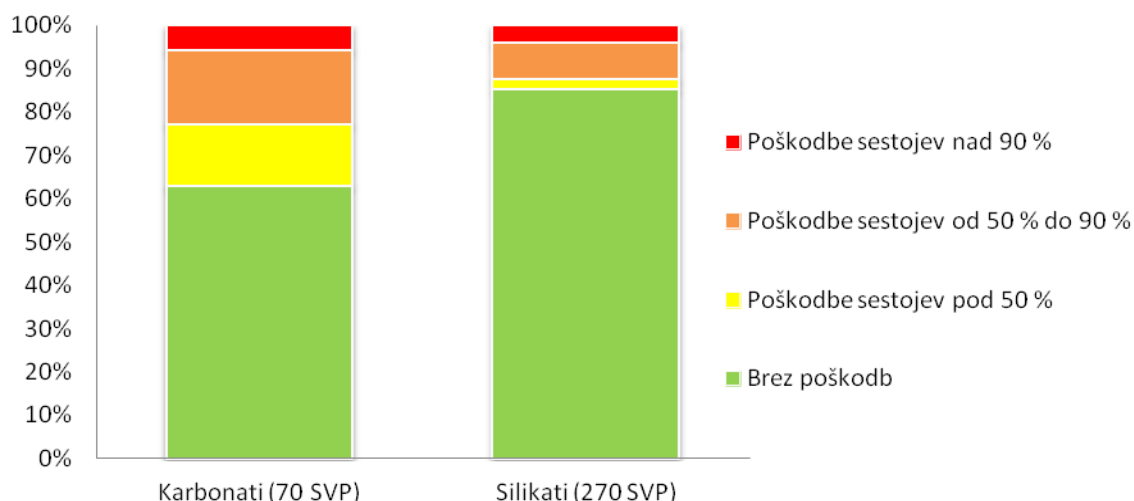
Slika 9: Relativna frekvenca SVP po štirih razredih lesne zaloge ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznih razredih lesne zaloge



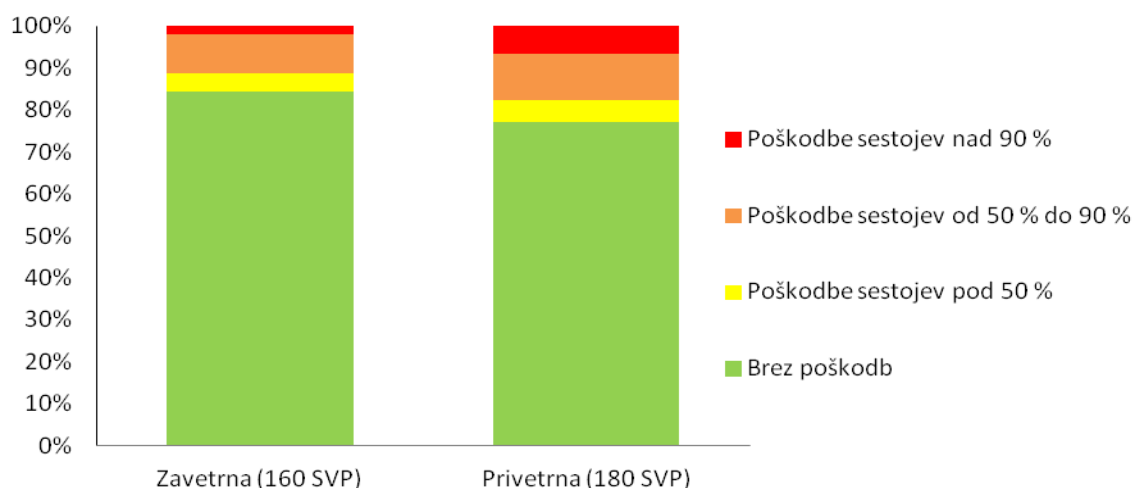
Slika 10: Relativna frekvenca SVP po lesni zalogi debelega drevja $\text{dbh} \geq 50 \text{ cm}$ (vol_C) ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem volumenskem razredu vol_C

Ugotovili smo statistično značilno povezanost med matično podlago in stopnjo poškodovanosti sestojev (χ^2 -test, $p < 0,001$). Na karbonatni matični podlagi (20,5 % vseh SVP) je bila stopnja poškodovanosti večja (37,1 %) kot na silikatni matični podlagi, kjer je znašala 14,8 % (slika 11). Na karbonatni podlagi so bili sestoji povsem uničeni na 5,7 % površine.

Sestoji, ki so uspevali na zavetrnih legah, so bili manj poškodovani (15,6 %) kot sestoji na privetrni strani (stopnja poškodovanosti: 22,8 %). Na privetrnih legah so bili sestoji povsem uničeni na 6,7 % površine (slika 12). S statističnim testom nismo ugotovili statistične povezanosti med lego (kategorizirano v dve kategoriji) in stopnjo poškodovanosti sestojev (χ^2 -test, $p = 0,153$).



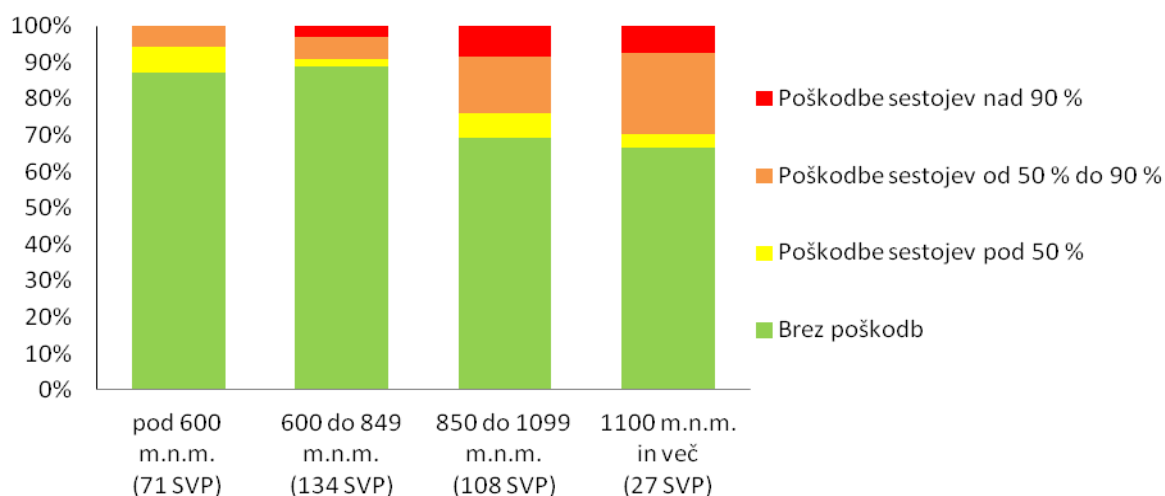
Slika 11: Relativna frekvenca SVP po geološki podlagi ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem razredu geološke podlage



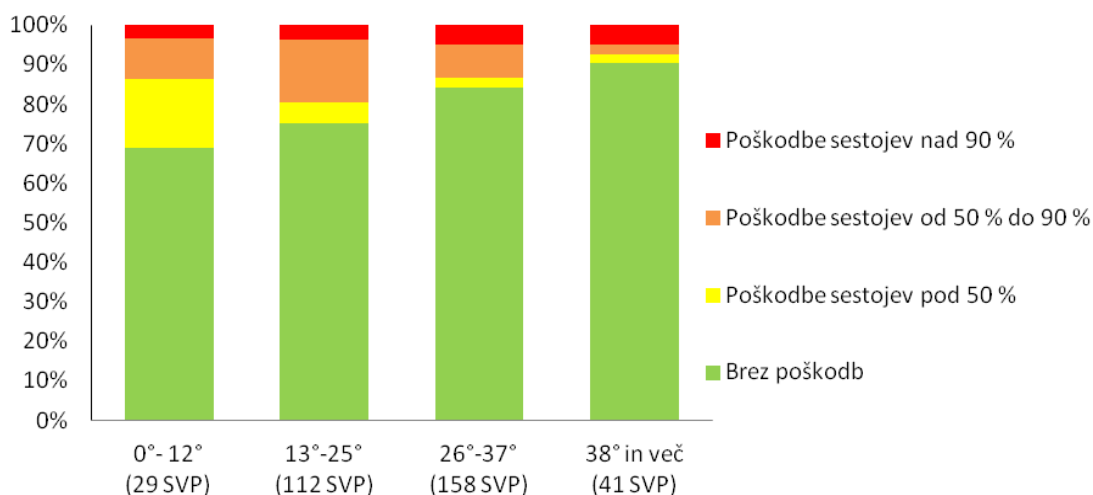
Slika 12: Relativna frekvenca SVP po smeri vetra ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem razredu

Sestoji v višjih legah so bili bolj podvrženi vetrolomu kot sestoji v nižjih legah. V najvišjem razredu nadmorske višine (nad 1100 m n.m.) je bila stopnja poškodovanosti

sestojev najvišja, saj je znašala 33,3 % (slika 13). Ugotovili smo statistično značilno povezanost med nadmorsko višino in stopnjo poškodovanosti sestojev (χ^2 -test, $p = 0,002$). Zanimivo je, da so bili sestoji na predelih z manjšim naklonom bolj poškodovani (stopnja poškodovanosti: 31,0 %) kot sestoji, ki so uspevali na strmejših predelih (slika 14). Ugotovili smo statistično značilno povezanost med naklonom tal in stopnjo poškodovanosti sestojev (χ^2 -test, $p = 0,014$).

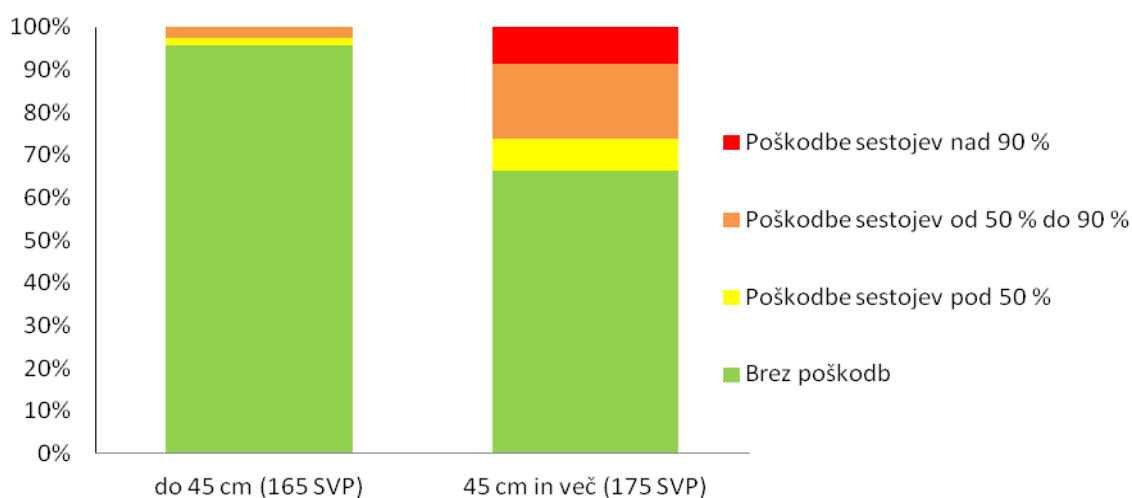


Slika 13: Relativna frekvenca SVP na različnih višinah ločena na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem višinskem razredu geološke podlage



Slika 14: Relativna frekvenca SVP po različnih naklonih ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem naklonskem razredu

Primerjavi poškodovanosti sestojev glede na dva razreda globine tal kaže, da je bila stopnja poškodovanosti sestojev na globljih tleh (> 45 cm) kar 33,7 %, 8,6 % sestojev je bilo povsem uničenih, kar je znatno več kot v sestojih na plitvejših tleh (< 45 cm), kjer je stopnja poškodovanosti znašala le 4,2 % (slika 15). Ugotovili smo statistično značilno povezanost med globino tal in stopnjo poškodovanosti sestojev (χ^2 -test, $p < 0,001$).



Slika 15: Relativna frekvenca SVP po dveh razredih globine tal ločeno na stopnje poškodovanosti; v oklepaju je navedeno število SVP v posameznem debelinskem razredu tal

6.4 REZULTATI MULTIVARIATNE ANALIZE

V pojasnjevalni model pojavljanja vetroloma je bilo od 27 spremenljivk vključenih sedem, in sicer: 1) nadmorska višina (elv), 2) lega (lega_bin) in 3) naklon (nagib) ploskve, 4) lesna zaloga smreke (LZ_smreka), 5) lesna zaloga jelke (LZ_jelka), 6) lesna zaloga bukve (LZ_bukev) ter 7) matična podlaga (geol_bin) (preglednica 5). V model vključene spremenljivke so bile statistično značilne (Waldov test, $p < 0,05$). Vrednosti VIF testa niso pri nobenem primeru presegle mejne vrednosti 10. Zaradi tega smo v vseh primerih obdržali izračunane modele. Hosmer-Lemeshow test prilagajanja podatkov modelu je pri vseh primerih pokazal, da se podatki dobro prilagajajo modelu, saj je bil χ^2 -test statistično neznačilen ($p \geq 0,05$).

Preglednica 4: Model pojava vetroloma na SVP

	B	P	S.E. (b)	obeti (EXP(b))
Constant	-3,375	0,000	0,818	
elv	0,294	0,000	0,076	1,202
lega_bin	0,545	0,089	0,320	0,676
nagib	-0,048	0,016	0,020	0,848
geol_bin	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	0,648
LZ_bukev	-0,002	0,113	0,002	0,935

Med vključenimi spremenljivkami v model pojavljanja vetroloma (preglednica 5) je bila najpomembnejša matična podlaga (geol_bin): na silikatni matični podlagi se verjetnost pojava vetroloma zmanjša za količnik 0,37 v primerjavi s karbonatno podlago ob predpostavki, da ostali dejavniki ostanejo v povprečnih vrednostih. Naslednji dejavnik, ki v modelu močno vpliva na pojav vetroloma je lega (lega_bin); na privetrni strani je verjetnost pojava vetroloma za 1,48-krat (1/0,676) višja kot pa na zavetrni strani. Od vplivnih dejavnikov velja omeniti tudi nadmorsko višino (elv): na legah, ki so za 100 metrov višja od povprečja, ki znaša 768 m, je možnost pojava vetroloma za 1,20-krat višja. Zadnja med vključenimi spremenljivkami, ki pozitivno vplivajo na pojav vetroloma, je lesna zaloga smreke. Če se lesna zaloga smreke od povprečja na SVP poveča za 100 m³/ha, se možnost za pojav vetroloma zveča za 1,07-krat. Med vključenimi spremenljivkami v model naklon terena najbolj negativno vpliva na pojav vetroloma: če se nagib površine od povprečja (26,5 °) poveča za 5 °, se možnost pojava vetroloma zmanjša za količnik 0,85. Pomembno vlogo pri zmanjševanju verjetnosti pojava vetroloma ima lesna zaloga jelke. Če se povprečna lesna zaloga jelke poveča za 50 m³/ha, se verjetnost pojava zmanjša za količnik 0,64. Kot zadnjo velja omeniti lesno zalogo bukve. Če se zaloga bukve dvigne za 50 m³/ha, se možnost vetroloma zmanjša za količnik 0,94 ob predpostavki, da ostale spremenljivke ostanejo v povprečnih vrednostih.

Rezultati in zaključki predpostavljajo, da je bil učinek vetra enako porazdeljen na celotnem raziskovalnem objektu, kar pa dejansko ne drži. Učinek močnih vetrov je stohastičen pojav, hitrosti vetra v posameznih predelih so različne, zato je tudi njegov učinek na poškodovanost sestojev lahko različen. Različno moč in tudi smer vetra je mogoče

upoštevati le za daljša obdobja, saj nam vetra karta, če je sploh na voljo, kaže poprečne ali pa prevladujoče smeri vetra in njihove hitrosti na krajinski in regionalni ravni.

7 RAZPRAVA

7.1 REŽIM VETROLOMOV IN VPLIVNI DEJAVNIKI

Vetrolo mi pomembno vplivajo na razvoj gozdov (Anko, 1993; Attiwill, 1994; Frelich, 2002). V Evropi je bil v obdobju 1950-2000 povprečni letni posek zaradi naravnih motenj 35 milijonov m³ lesa, najpogostejši dejavniki motenj so bili predvsem abiotski (veter, sneg in ogenj) (Schelhaas in sod., 2003). V Sloveniji je bil v letih 1995 - 2008 povprečni letni evidentiran posek 2,8 milijona m³ lesa, od tega je 32 % predstavljal sanitarni posek, ki ga v večji meri predstavljata sanitarni posek zaradi vetra (34 %) in žuželk (34 %) (Jakša in Kolšek, 2008). V naši raziskavi je v letih 1994-2010 v GGE Gornji Grad poprečni letni sanitarni posek znašal 20.439 m³ lesne mase, kar predstavlja 50 % celotnega poseka. V sanitarnem poseku je bila največja količina lesa posekana zaradi vetra (50,3 %). Zaradi tega je sanitarni posek in delež poškodb zaradi vetra v GGE Gornji Grad nadpovprečen. Neurje z vetrom je v GGE Gornji Grad najbolj pustošilo v letu 2008, ko je v osrednji Sloveniji poškodovalo 20.000 ha gozdov in 500.000 m³ lesne mase gozdnega drevja. Popolnoma uničenih je bilo 700 ha gozdov. Največje poškodbe so bile na območju prelaza Črnavec (Jakša in Kolšek, 2008). Le v GGE Gornji Grad je bilo skupno poškodovanih 685 ha gozdov.

Zaradi napovedanih podnebnih sprememb lahko pričakujemo, da se bo pojavnost vetrolomov povečala (Kajfež-Bogataj, 2007). Mnogi opozarjajo, da se trend pojavljanja naravnih motenj občutno povečuje (Mosandl in Felbermeier, 1999; Schelhaas in sod., 2003; Jakša in Kolšek, 2009). Za preprečevanje ali vsaj omejevanje posledic vihnih vetrov je potrebno poznati zakonitosti pojavljanja vetrolomov (režima motenj), predvsem pa glavne dejavnike, ki vplivajo na pojavnost ujm, njihovega obsega in možnosti sanacije (Frelich, 2002; Indermühle in sod., 2005; Klopčič in sod., 2009; Klopčič in sod., 2010). Gozdarji lahko vplivamo predvsem na strukturo, sestavo in prostorsko razmestitev gozdnih sestojev ter s tem tudi na odpornost sestojev na motnje. Pravilno gospodarjenje z gozdovi ima pomembno vlogo pri zmanjševanju možnosti pojavljanja in pri ustvarjanju pogojev za

manjši obseg naravnih katastrof (Oliver in Larsen, 1996; Schelhaas, In sod., 2003; Papež, 2005; Klopčič in sod., 2009).

Dejavnike, ki vplivajo na pojav vetroloma delimo na sestojne in rastiščne. Da imajo sestojni parametri v primerjavi z rastiščnimi dejavniki večji vpliv na pojav vetroloma, so dokazali mnogi raziskovalci (Ruel, 2000; Ulanova, 2000; Jalkanen in Mattilla, 2000; Pellikka in Järvenpää, 2003; Schütz in sod. 2006; Klopčič in sod., 2009). Naša raziskava je ugotovila nasprotno, saj smo z logistično regresijo ugotovili, da imajo v našem primeru rastiščni dejavniki večji vpliv na pojav vetroloma kot pa sestojni. To lahko pripisujemo temu, da je bila jakost motnje v našem primeru bistveno drugačna, saj je šlo za veter velike intenzitete in usmerjenosti na neko območje, na katerega so praktično vsi sestoji neodporni. Zaradi tega smo verjetno ugotovili večji pomen rastiščnih kot pa sestojnih dejavnikov. Podobno sta ugotovila tudi Gardiner in Quine (2000). Da so naše ugotovitve različne od drugih, je morda kriva tudi lastnost orkanskega vetra, ki je nepredvidljiv in kaotičen (Pickett in White, 1985; Attiwill, 1994; Gardiner in Quine, 2000; Frelich, 2002; Schütz in sod. 2006).

Med rastiščnimi dejavniki smo z modelom dokazali, da na pojav vetroloma najbolj vpliva matična podlaga. Če je v našem primeru sestoj uspeval na silikatni matični podlagi, se verjetnost pojava vetroloma zmanjša za količnik 0,37 v primerjavi s karbonatno podlago, ob predpostavki, da ostali dejavniki ostanejo v povprečnih vrednostih. Odvisnost podlage za nastanek vetroloma so raziskovali tudi Mayer in sodelavci (2005) v dveh viharjih »Lothar« in »Martin«. Dokazali so, da so sestoji na kislih tleh bolj dovzetni za vetrolom kot pa sestoji na manj kislih tleh. Opozarjajo, da je kislost tal velik dejavnik tveganja za pojav vetrolomov. V našem primeru je bilo ravno obratno. Podlaga dobro korelira s pH tal, zato slednjega nismo uvrstili v modeliranje z logistično regresijo, vendar se je izkazalo, da so sestoji na bolj kislih tleh (silikati) za vetrolom manj dovzetni. To gre pripisati temu, da je v našem primeru veter deloval zelo lokalno in je večina podrtega ravno na karbonatni podlagi, čeprav v vzorcu SVP predstavlja le 20,6 %. Univariatna analiza je zanimivo pokazala, da so sestoji na globljih tleh v našem primeru bolj dovzetni za vetrolom. Nasprotno je ugotovil Ruel (2000).

Drugi pomemben rastiščni dejavnik, ki je v našem primeru znatno vplival na pojav vetroloma, je lega. Na privetrni strani je verjetnost pojava vetroloma za 1,5-krat višja kot pa na zavetrni. Sestoji, ki so uspevali na zavetrnih legah, so bili manj poškodovani (15,6 %) kot sestoji na privetrni strani (stopnja poškodovanosti: 22,8 %). Na privetrnih legah so bili sestoji povsem uničeni na 6,7 % površine. Podobno so ugotovili tudi Schütz in sodelavci (2006), ki so raziskovali ranljivost smrekovih in bukovih sestojev v zimskem viharju Lothar 1999 v Švici. Dokazali so, da je na privetrni strani pobočja poškodovanost dvakrat večja kot pa na zavetrni strani. Nasprotno pa so ugotovili Klopčič in sod. (2009), saj je v njihovem primeru poškodovanost narasla na zavetrni strani. To gre pripisati temu, da sta bila vihar na Črnavcu in Lothar v Švici primer katastrofalnih motenj in so bili zato bolj poškodovani sestoji na privetrnih legah. Klopčič in sod. (2009) pa so proučevali motnje v daljšem časovnem obdobju, kjer je bilo več motenj srednjih in majhnih jakosti ter razsežnosti. Vetrovi so bili bistveno nižjih intenzitet, zato so verjetno zaradi nastalih turbulenc kot posledica reliefnih značilnosti (grebeni, rebra...) bili bolj poškodovani sestoji v zavetrnih legah.

Pomembno na pojav vetroloma vpliva tudi naklon. Če se v našem primeru nagib površine od povprečja (26,5 °) poveča za 5 °, se možnost pojava vetroloma zmanjša za količnik 0,85. Sestoji na predelih z manjšim naklonom so bili bolj poškodovani (stopnja poškodovanosti: 31,0 %) kot sestoji, ki so uspevali na strmejših predelih. Schütz in sodelavci (2006) so dokazali podobno, saj so tudi v njihovem primeru strmejša pobočja (od 50 %) bila šestkrat manj dovzetna za vetrolom kot blaga pobočja (pod 20 %). Klopčič in sodelavci (2009) pa nasprotno niso našli nobene povezave med naklonom in pojavom vetroloma.

Nadmorska višina je bila večkrat navedena kot pomemben vplivni dejavnik za vetrolom (npr. Jalkanen in Mattilla, 2000; Mayer in sod., 2005; Evans in sod., 2007; Hanewinkel in sod., 2008). V našem modelu se je tako kot v večini vetrolomov pokazalo, da se možnost pojava vetroloma z višino povečuje. Obratno pa so dokazali Mayer in sodelavci (2005), ki so dokazali, da je bil vetrolom pogostejši v nižjih legah, kar zagovarjajo s tem, da se je vihar »Lothar« že polegel preden je prek ravninske pokrajine prišel do Alp.

Sestojni parametri so bili v našem primeru manj zastopani v modelu pojava vetroloma, saj so bili v model vključene le lesna zaloga smreke, jelke in bukve, univariatne deskriptivne analize pa so kljub temu nakazale določene povezave med sestojnimi parametri in stopnjo poškodovanosti.

Sestoji z višjo lesno zalogo so bili znatno bolj poškodovani kot pa sestoji z manjšo zalogo. Preverili smo tudi stopnjo poškodovanosti sestojev po zalogi debelega drevja ($\text{dbh} \geq 50$). V model ta spremenljivka ni bila vključena, pri univariatni analizi pa nismo opazili bistvenih razlik v poškodovanosti. Podobno so ugotovili tudi Schütz in sodelavci (2006), ki pravijo, da prsni premer drevja ni statistično značilen za pojasnjevanje vetroloma. Nasprotno so dokazali Klopčič in sodelavci (2009) ter Jalkanen in Mattilla (2000), ki pravijo, da zaloga debelega drevja bistveno poveča dovzetnost sestojja za vetrolom.

V našem primeru pomembna primes bukve in jelke negativno vplivata na pojav vetroloma, medtem ko smreka na pojav vpliva pozitivno. Da s povečanjem deleža smreke zmanjšamo odpornost sestojev, so dokazali tudi mnogi drugi avtorji, npr.: Mosandl in Felbermeier (1999), Jalkanen in Mattilla (2000), Dobbartin, (2002), Spiecker in sod. (2004), Schütz in sod. (2006), Hanewinkel in sod. (2008) ter Knoke in sod. (2008). Schütz in sodelavci (2006) so dokazali, da je mešanost z listavci do 20 % v smrekovih sestojih značilno zmanjšala možnost pojava vetroloma za faktor 3,4. Dokazali so tudi, da so čisti smrekovi sestoji 2,7-3,8 krat bolj ranljivi za vetrolom kot pa čisti bukovski sestoji. Naša univariatna analiza je pokazala, da poškodb v sestojih s primesjo listavcev ≥ 75 % celotne lesne zaloge, ni bilo. Nasprotno pa je največ poškodb v sestojih z najmanjšo primesjo listavcev (< 25 % lesne zaloge); na 6 % površine teh gozdov so bili sestoji povsem uničeni. Teh gozdov je bilo tudi največ. Zupančič (1969) omenja silovit vetrolom, ki se je zgodil leta 1965 v postojnskih gozdovih, kjer je padlo 263.045 m^3 lesa, od tega le 12 % listavcev, vendar ni podatka, kolikšen je bil delež listavcev v lesni zalogi sestojev.

Univariatna analiza po razvojnih fazah oziroma sestojnih tipih je pokazala, da so bili najbolj prizadeti sestoji debeljakov, saj je bilo 23,4 % sestojev poškodovanih, kar 6 % debeljakov pa povsem uničenih. V raznomernih sestojih je bilo poškodb v primerjavi z debeljaki občutno manj. Delno je bilo poškodovanih le 7,7 % raznomernih sestojev; v tem

sestojnem tipu nismo registrirali sestojev, ki bi bili povsem uničeni. V mladovju in drogovnjaku poškodb ni bilo. V pomlajencih smo ugotovili poškodbe na 18,4 % površine teh sestojev. Od tega je bila stopnja poškodovanosti od 50 % do 89 % na 7,9 % površine teh sestojev, povsem uničenih sestojev v pomlajencih pa ni bilo. Tudi mnogi drugi avtorji navajajo, da so raznomerni gozdovi bolj odporni na pojav vetroloma, npr.: Dvorak in sod. (2001), Dobbartin (2002), Indermühle in sod. (2005), Klopčič in sod. (2009). Ulanova (2000) pravi, da so starejši sestoji na splošno bolj dovzetni za vetrolom. Medtem ko Mason (2002) govori o tem, da ni pomembne razlike v odpornosti na vetrolom med enomernimi in raznomernimi sestoji. Pravi le, da imajo drevesa v raznomernih sestojih manjše H/D razmerje in so zato bolj odporna na prelom debla. Podobno je ugotovil Dobbartin (2005), ko je preučeval posledice viharja »Lothar« v enomernih in raznomernih sestojih v Švici.

7.2 USMERITVE ZA GOSPODARJENJE

Podatki iz stalnih vzorčnih ploskev so v našem primeru bili primerni za analizo vetroloma, saj so rezultati sovpadali z drugimi raziskovalci, ki so se vetrolomov lotili z drugačnimi metodami, uporabljali pa so podobne podatke, npr.: Hanewinkel in sod. (2004), Schütz in sod. (2006), Hanewinkel in sod. (2008)...

Gozdarstvo se mora prilagajati ekstremnim vremenskim pojavom; njihovo število naj bi se celo povečevalo. Motnje v gozdnih ekosistemih so večinoma nepredvidljive. Posledic viharnege vetra ne moremo preprečiti, lahko pa jih vsaj na bolj ogroženih področjih s primernim gospodarjenjem omilimo in hkrati izboljšamo možnost obnove (sanacije) po ujmi.

Zaradi orografskih dejavnikov je širše območje Črnavca izpostavljeno vetrovom; na to opozarjajo tudi arhivski podatki. Tako se bodo nastale vrzeli zaradi novih vetrolomov lahko dodatno širile. Po naši in vseh drugih raziskavah bi lahko v čistih smrekovih sestojih s povečano primesjo listavcev (10 %-20 %) odpornost proti ujmam zelo povečali. Na ogroženih območjih priporočamo tudi zmanjšanje lesnih zalog ter povečanje raznomernosti, saj so takšni sestoji odpornejši in je škoda po nastanku vetroloma manjša in še obnova je občutno hitrejša.

Katastrofalen veter, ki so mu bili priča gozdovi na območju Črnavca je stohastičen pojav. Kjer je divjal vihar, je tudi podiral drevje. Zato težko le z eno samo raziskavo na območju Črnavca sklepamo o zakonitostih pojava vetrolomov. Zato je potrebno takšne raziskave ponavljati. V naši raziskavi smo se omejili le na območje Gornjega Grada. Vendar neurje leta 2008 ni prizadelo le območja GGE Gornji Grad, ampak tudi območja izven meja enote. Rezultati raziskave bi bili verjetno zanesljivejši, če bi bil objekt raziskave celotno prizadeto območje. Tovrstno raziskavo je zato smiselno ponoviti, ko bodo zbrani podatki iz stalnih vzorčnih ploskev za celotno območje vetroloma.

8 VIRI

- Allison P. D. 1999. Logistic Regression Using the SAS System: Theory and Application. Cary, North Carolina, SAS Institute,
- Anko B. 1993. Vpliv motenj na gozdni ekosistem in na gospodarjenje z njim. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 42, 6: 85-109
- Attiwill P. M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: The ecological basis for conservative management. Forest Ecology and Management, 63: 247-300.
- Bleiweis S. 1983. Pogostost in obseg škod zaradi ujm v slovenskih gozdovih. Gozdarski vestnik, 41, 6: 234-249
- Canham C. D., Loucks O. L. 1984. Catastrophic windthrow in the presettlement forests of Wisconsin. Ecology, 65: 803-809.
- Canham C. D., Papaik M. J., Latty E. F. 2001. Interspecific variation in susceptibility to windthrow as a function of tree size and storm severity for northern temperate tree species. Canadian Journal of Forest Research, 31: 1-10.
- Diaci J. 2007. Prilagajanje gojenja gozdov podnebnim spremembam. V: Podnebne spremembe : vpliv na gozd in gozdarstvo = Climate changes : impact on forest and forestry. Ljubljana: Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 117-132
- 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 Schaden auf dem repräsentativen 4×4-km Sanasilva-Netz. V: LOTHAR Ursachliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung. Synthese des Teilprogramms 6. (Umwelt-Materialien Nr. 184). M. Indermuhle, P. Raetz, R. Volz (ur.). Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: 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: 261–277.
- Gozdnogospodarski načrt GGE Gornji Grad 1994-2003. Nazarje, Gozdno gospodarstvo Nazarje.
- Gozdnogospodarski načrt GGE Gornji Grad 2004-2013. 2004. Nazarje, ZGS, OE Nazarje
- Gozdnogospodarski načrt GGO Nazarje za desetletje 2001-2010. 2001. Nazarje, ZGS, OE Nazarje
- 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.
- Hanewinkel M., Zhou W., Schill C., 2004. A neural network approach to identify forest stands susceptible to wind damage. *Forest Ecology and Management*, 196: 227–243.
- Hosmer D. W., Lemeshow S., 2000. *Applied Logistic Regression*. 2nd ed. New York, John Wiley & Sons
- Indermühle M., Raetz P., Voltz R. 2005. Lothar Ursächliche Zusammenhänge und Risikoentwicklung Synthese des Teilprogramms 6. *Umwelt – Materialien*, 184
- Jakša J., Kolšek M. 2009. Naravne ujme v Slovenskih gozdovih. *Ujma*, 23, 72-81.

- Jalkanen A., Mattilla 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. (Studia forestalia Slovenica, 130). Ljubljana, Biotehniška fakulteta: 13–26.
- Karta območne enote Nazarje. Zavod za gozdove Slovenije.
<http://www.zgs.gov.si/slo/obmocne-enote/nazarje/o-obmocju/index.html> (18. 2. 2011)
- Kladnik D. 1999. Kamniško-Savinjske Alpe. V: Slovenija: pokrajine in ljudje. Ljubljana, Mladinska knjiga: 108-120.
- Klopčič M., Poljanec A., Bončina A. 2010. Pojasnjevanje in modeliranje vetrolomov v gozdovih Julijskih Alp. V: Naravne nesreče 1: od razumevanja do upravljanja. Ljubljana, ZRC: 59-64
- 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 (1.- 2. del). Zbornik Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, Kmetijstvo, 77, 2: 227-238, 239-245
- Marinček L., Puncer I., Zupančič, M. 1983. Vegetacijska in rastiščna analiza za G.E. Gornji Grad - zasebni gozdovi. Ljubljana, Biološki inštitut SAZU
- Mason W. L. 2002. Are irregular stands more windfirm? *Forestry*, 75, 4: 347-355.

- Mayer P., Brang P., Dobbertin M., Hallenbarter D., Renaud J., Walthert L., Zimmermann S. 2005. Forest storm damage is more frequent on acidic soils. *Annals of Forest Science*, 62: 303–311.
- McNab H., Greenberg C., Berg E., 2004. Landscape distribution and characteristics of large hurricanerelated canopy gaps in a southern Appalachian watershed. *Forest Ecology and Management*, 196: 435–447
- Mosandl R., Felbermeier B. 1999. Auf dem Weg zum naturnahen Wald. *AFZ/Der Wald*, 17: 910–914.
- Nilsson C., Stjernquist I., Barring L., Schylter P., Jönsson A. M. in Samuelsson H., 2004. Recorded storm damage in Swedish forests 1901–2000. *Forest Ecology and Management*, 199: 165–173
- Oliver C. D., Larsen B. C. 1996: *Forest Stand Dinamic*. New York. John Wiley & Sons Inc: 467 str.
- Papež J. 2005. Motnje in dinamične spremembe vegetacije v gozdni krajini = Disturbances and dynamic changes of vegetation in the forest landscape. *Gozdarski vestnik*, 63, 2: 68-73
- 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*. B. Ruck (ur.). Karlsruhe, University of Karlsruhe: 269-276.
- Pickett S. T. A., P. S. White P. S., 1985. *The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics*. London, Academic Press.
- Poljanec A., Gartner A., Papler-Lampe V., Bončina A. 2008. Sanacija v ujmah poškodovanih gozdov. V: *Naravne nesreče 1, Od razumevanja do upravljanja*. Ljubljana, ZRC: 341-347.
- Poročilo o gozdovih za leto 2006. 2007. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije: 118 str.

- Preložnik V. 2003. Gozdnogojitvene naloge v jelovjih (*Galio-abietetum* in *Bazzanio-Abietetum*) in Zgornja Savinjska Dolina: magistrsko delo. (Univ. v Lj., BF, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal: 102 str.
- Ruel J.-C. 2000. Factors influencing windthrow in balsam fir forests: From landscape studies to individual tree studies. *Forest Ecology and Management*, 135: 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: 1620-1633
- Schütz J.-P., Götz M., Schmid W. in 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: 291–302.
- Spiecker H., Hansen J., Klieme E., Skovsgaard J. P., Sterba H., von Teuffel K. 2004. Norway Spruce Conversion - Options and Consequences. Joensuu, Finland, European Forest Institute: 269 str.
- Sprememba gozdnogospodarskega načrta za gozdnogospodarsko enoto Gornji Grad za desetletje 2004-2013. 2009. Nazarje, ZGS, OE Nazarje: 29 str.
- Ulanova N. 2000. The effects on windthrow on forests at different spatial scales: A review. *Forest Ecology and Management*, 135: 155–167.
- Velkavrh A. 1990. Podnebje. V: Zgornja Savinjska dolina. Trbovlje. EPSI: 29-34
- Wald, Forstpraxis, Waldwirtschaft.
http://www.waldwissen.net/dossier/wsl_dossier_sturm_windwurf_DE?start=0 (23. 1. 2011)
- Wraber M. in ostali. 1963. Gozdnogojitveni elaborat za območje Gozdnega gospodarstva Nazarje. Ljubljana, Inštitut za biologijo SAZU.
- Zupančič M. 1969. Vetrolomi in snegolomi v Sloveniji v povojni dobi. *Gozdarski vestnik*, 8/9: 199-208

9 ZAHVALA

Zahvaljujem se mojemu mentorju, red. prof. dr. Andreju Bončini, ki mi je skozi proces nastajanja diplome stal ob strani in sem se nanj vedno lahko obrnil.

Velika zahvala tudi dr. Matiji Klopčiču, ki mi je pomagal pri iskanju primerne literature, podal koristne nasvete in mi pomagal pri izračunih.

Hvala Zavodu za gozdove Nazarje, še posebej mag. Vidu Preložniku, ki mi je pomagal pridobiti vse potrebne delovne karte in podatke, ki sem jih potreboval pri diplomski nalogi.

Hvala dr. Alešu Poljancu za pomoč pri programu Mapinfo in recenzentu doc. dr. Alešu Kaduncu za vse koristne nasvete in predloge.

Hvala sošolci za vse lepe stvari, ki smo jih skupaj doživeli na faksu.

Hvala družini, ki so mi pomagali in me spodbujali pri študiju.

Hvala puncu Poloni.