

Naravne motnje na Bovškem – analiza vpliva naravnih motenj in vzrokov za njihovo pojavljanje

Natural disturbances in Bovec region – analysis of the impact and factors for the occurrence of natural disturbance

Matevž KONJAR¹, Matija KLOPČIČ²

Izvleček:

V raziskavi smo analizirali strukturo poseka na Bovškem v obdobju 1995–2020 s poudarkom na sanitarnem poseku zaradi vetra in podlubnikov ter poskušali poiskati glavne dejavnike, ki vplivajo na verjetnost pojavljanja vetrolomov in namnožitve podlubnikov. Pridobili smo podatke o količini in strukturi poseka za raziskovalno območje v obdobju 1995–2020 in podatke o šestindvajsetih lokacijah vetrolomov z znanim časom nastanka ter šestindvajsetih odsekih, poškodovanih zaradi podlubnikov. Podatke smo analizirali s pomočjo metod opisne statistike, bivariatne analize in binarne logistične regresije. V raziskovalnem območju smo zaznali izrazito povečanje sanitarnega poseka po letu 2018. Glavna vzroka sanitarnih sečenj sta bila veter in podlubniki. Binarna logistična regresija je kot ključne dejavnike za pojav vetrolomov izpostavila kamnitost in prisotnost minulih motenj ter valovitega reliefa. Bivariatne analize so pokazale tudi, da se vetrolomi pojavljajo predvsem v debeljakah z visoko lesno zalogo, ki rastejo na zmernih do strmih grebenih z južno ekspozicijo, imajo tesen ali vrzelast sklep in večji delež pomlajenih vrzeli. Binarna regresija je izpostavila tudi vpliv močnih jugozahodnih vetrov, ki prinašajo obilne padavine. Za pojav podlubnikov je binarna logistična regresija kot ključne dejavnike izpostavila količino lesne zaloge in delež iglavcev. Bivariatne analize so pokazale tudi, da se podlubniki pogosteje pojavljajo v odsekih z valovitim reliefom in jugovzhodno ekspozicijo, večjim deležem mladovij in sestojev v obnovi ter manjšim deležem drogovnjakov. Analizirali smo tudi trend večanja sanitarnega poseka po koncu proučevanega obdobja 1995–2020.

Ključne besede: naravne motnje, vetrolom, podlubniki, Alpe, vzroki, ukrepi

Abstract:

The research analysed the structure of harvested timber in the Bovec region in the period 1995–2020 with an emphasis on sanitary felling due to windthrow and bark beetle outbreaks. Research determined the main influencing factors affecting the probability of windthrow and bark beetle outbreak. From Slovenia Forest Service we acquired the data presenting the amount and structure of felling performed in research area in the period 1995–2020. He also gathered stand-, site- and climate-related data from 26 locations of windthrow with a known time of occurrence and 26 forest sections damaged by bark beetles outbreaks. Data was analysed using descriptive statistics, bivariate analyses and binary logistic regression. In the research area, we detected significant increase in the amount of sanitary felling after 2018. The main causes of sanitary felling were windthrow and bark beetle outbreaks. Binary logistic regression highlighted stoniness, the presence of past disturbance and undulating relief as key factors for the occurrence of windthrow. Bivariate analyses showed that windthrow mainly occurred on moderate to steep ridges with southern exposure, in mature stands with a high growing stock, dense or partly-opened canopy cover, and higher proportion of gaps containing regeneration stages. Analysis also proved the impact of strong south-western winds. For the occurrence of bark beetle outbreaks, the binary logistic regression highlighted growing stock and share of conifers as key influential factors. Bivariate analyses indicated that bark beetle outbreaks occurred more frequently in areas with undulating relief, south-eastern exposure, higher proportion of regenerative stages and stands under regeneration, as well as lower proportion of pole stands. We also analysed the growing trend of sanitary felling after the end of the analysed period 1995–2020.

Key words: natural disturbances, wind break, bark beetle, Alps, factors, measures

1 UVOD

1 INTRODUCTION

Naravne motnje so relativno diskretni dogodki, ki povzročijo strukturne spremembe na ravni ekosistema, združbe ali populacije, povzročijo fizične spremembe v okolju ali spremembe v dostopno-

sti virov (Pickett in White, 1985). Predstavljajo enega ključnih dejavnikov, ki vpliva na dinamiko razvoja gozdov. S pojmom režim motenj opisujemo celotno časovno in prostorsko delovanje ter povezave, ki so značilne za vse moteče dejavnike, ki se pojavljajo znotraj posameznega ekosistema

¹ M. K., mag. inž. gozd., Zavod za gozdove Slovenije, OE Tolmin. Tumov drevored 17, SI-5220 Tolmin, Slovenija. matevz.konjar@zgs.si

² doc. dr. M. K., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire, Katedra za urejanje gozdov in ekosistemske analize. Večna pot 83, SI-1000 Ljubljana, Slovenija. matija.klopac@bf.uni-lj.si

in vplivajo na njegovo delovanje, zgradbo in razvoj (Loehman in sod., 2018). Poznavanje režimov motenj omogoča razumevanje vloge motenj pri funkcioniranju, strukturi in dinamiki razvoja opazovanega ekosistema (Attiwill, 1994). Glavni moteči dejavniki razvoja gozdov zmernege pasu so suša, poplave, ogenj, veter, sneg in led, geomorfološki pojavi, insekti, bolezni, vpliv rastlinojede divjadi, človeški vnos tujerodnih vrst in človekova raba gozda (Rogers, 1996; DeLong in sod., 2013; Fischer in sod., 2013).

Vplivi podnebnih sprememb na režime naravnih motenj so opazni na globalni in lokalni ravni.

V sklopu te študije smo proučili režime delovanja naravnih motenj in njihovo spreminjanje na območju Bovške v severozahodni Sloveniji (Slika 1). Za proučevano območje, ki obsega 37.209 ha, je značilna zelo razgibana topografija (velike razlike v nadmorski višini in zelo razgiban relief), velika skupna letna količina padavin (več kot 3000 l/m²/leto) ter raznolike podnebne razmere. Prevladujejo karbonatne matične podlage. Na proučevanem območju prevladujejo Ilirski bukovi gozdovi (*Fagus*

sylvatica (*Aremonio-Fagion*)) (66 %), termofilna rastišča bukovij in bukovja na rendzinah (8 %), ruševje z vrstama *Pinus mugo* in *Rhododendron hirsutum* (6 %) in rastišča jelke in bukve (3 %). Na območju povprečna lesna zaloga znaša 237 m³/ha.

Na Bovškem je v zgodovini gospodarjenje z gozdovi prehajalo skozi različne faze. V obdobju pred drugo svetovno vojno so bili gozdovi zaradi intenzivne kmetijske rabe in drugih socio-ekonomskih dejavnikov (npr. soška fronta) podvrženi čezmernemu in netrajnostnemu izkoriščanju (Rutar, 1972). Naravno zgradbo so ohranili izključno gozdovi, ki so uspevali na težko dostopnih legah, in gozdovi, s katerimi so načrtno gospodarili v sklopu prvih gozdnogospodarskih načrtov na Slovenskem (Bončina in sod., 2014). Trend čezmernega izkoriščanja gozdov se je upočasnil po drugi svetovni vojni, predvsem zaradi opuščanja kmetijske dejavnosti in kasnejše denacionalizacije. V zadnjem obdobju je na potek in cilje gospodarjenja z gozdovi na Bovškem vplivalo predvsem znatno povečanje vpliva naravnih motenj (Marković, 2021).



Slika 1: Primer naravne motnje na proučevanem območju – vetrolom nad zaselkom Vas na Skali, Trenta.

Figure 1: Example of natural disturbance on analysed area – windthrow above settlement Vas na Skali, Trenta.

Namen te raziskave je bil proučiti vpliv naravnih motenj na razvoj gozdov in gospodarjenje z gozdovi na Bovškem. Med raziskavo smo i) ovrednotili trend vpliva naravnih motenj na gospodarjenje, ii) določili ključne motnje, ki botrujejo povečanju količine sanitarnega poseka, iii) poskušali določiti glavne rastiščne, sestojne in vremenske dejavnike, ki vplivajo na pojav motenj ter iv) pripravili nabor priporočil in ukrepov, ki bi v prihodnje lahko pripomogli k boljši prilagojenosti gozdov na vpliv naravnih motenj in podnebnih sprememb.

2 METODE

2 METHODS

2.1 Analiza poseka

2.1 Analysis of felling

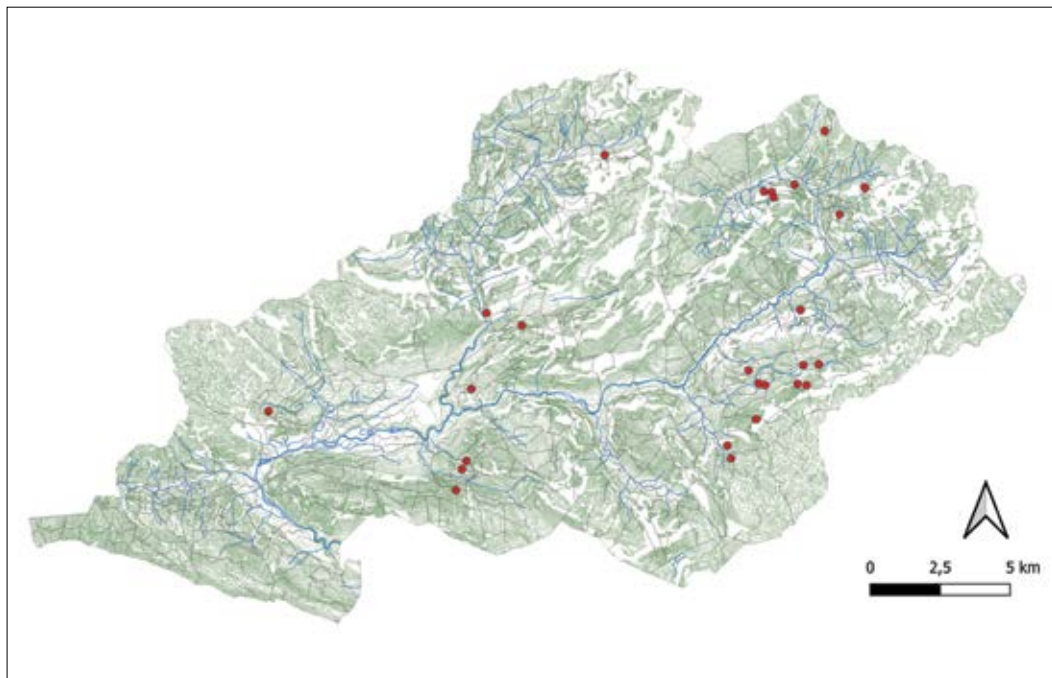
Analiza je temeljila na podatkih o količini in strukturi poseka po odsekih (baza Timber) za obdobje 1995–2020 (ZGS, 2024). Podatke smo primerjali s podatki o intenzivnosti obroda v obdobju 2011–2020 in podatki o mesečni količini padavin (ARSO, 2021).

Podatke smo najprej analizirali s pomočjo metod opisne statistike (mediana – \tilde{x} , interkvartilni razmik – IQR). Kot značilno izstopajoča smo šteli leta, v katerih je tretji kvartil (Q3) presegal več kot 1,5-kratnik interkvartilnega razmika (IQR) (Walfish, 2006). S Spearmanovovo korelacijo rangov smo analizirali korelacijo med skupno količino sanitarnega poseka in relativnim deležem sanitarnega poseka v celotnem letnem poseku ter okoljskimi dejavniki (padavine in semenski obrod).

2.2 Analiza ključnih motenj – vetrolovov in namnožitve podlubnikov

2.2 Analysis of key disturbance agents – windthrow and bark beetle outbreak

Na podlagi poročanj predstavnikov javne gozdarske službe, podatkov o poseku (ZGS, 2024) in lastnih terenskih opazanj smo analizirali dve ključni motnji, ki se pojavljata na raziskovalnem območju: vetrolom in namnožitve podlubnikov.



Slika 2:: Lokacije vetrolovov, ki smo jih vključili v analizo vplivnih dejavnikov.

Figure 2: Windthrow locations that were included in analysis of factors influencing occurrence of windthrow.

V analizo smo vključili naslednji nabor lokacij:

- 26 diskretnih lokacij vetrolomov z znanim datumom nastanka (Slika 2),
- 26 odsekov, v katerih so bile zabeležene namnožitve podlubnikov (Slika 3).

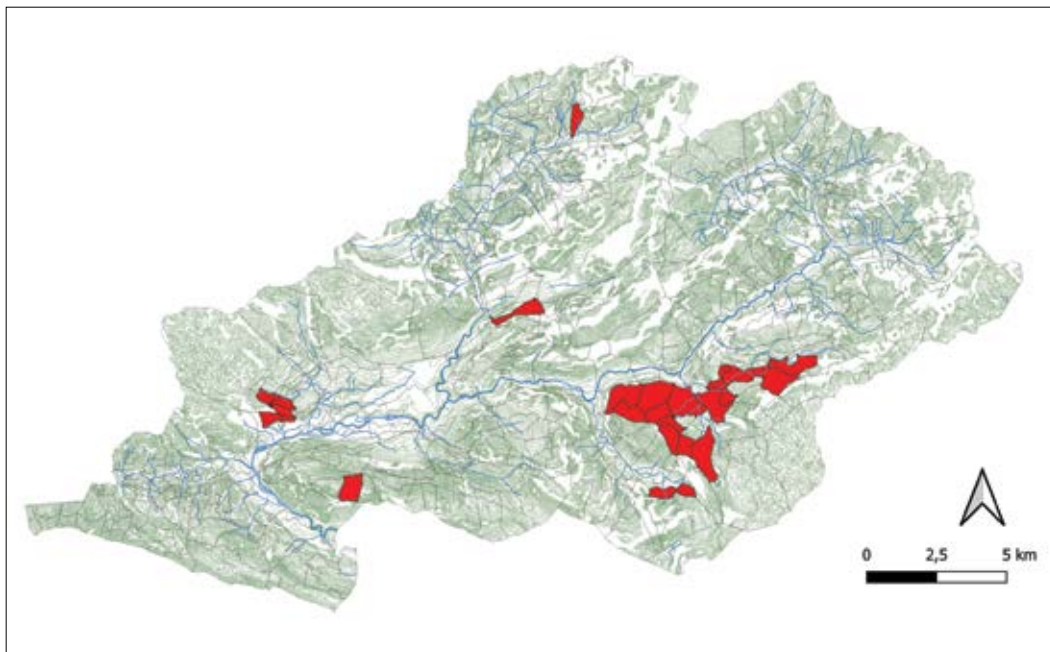
V primeru podlubnikov zaradi bolj razpršenega prostorskega delovanja motečega dejavnika izločitev podobnih točnih lokacij ni bila mogoča, zato smo se omejili na odseke.

Del podatkov smo pridobili s terensko analizo lokacij/odsekov, preostale pa iz gozdnogospodarskih načrtov (ZGS, 2014, 2017), sestojnih kart (ZGS, 2021) in zbirke podatkov o poseku Timber (ZGS, 2024). V primeru obeh motenj smo beležili podatke o lokaciji (koordinate, nadmorska višina), rastišču (ekspozicija, naklon, lega, relief, kamnitost, skalovitost, matična podlaga) in sestoji (rastiščno-gojitveni razred, razvojna faza, sklep, delež iglavcev, lesna zaloga, prisotnost prejšnjih motenj in rednih sečenj). V primeru vetrolomov smo zaradi analize na ravni sestoja beležili še sklep sestoja.

Prisotnost preteklih rednih sečenj in naravnih motenj (ter posledično sanitarnih sečenj) smo

ugotavljali iz baze Timber (ZGS, 2024). Za prag določanja prisotnosti vpliva prejšnjih rednih sečenj ali motenj smo določili leta, v katerih je skupna količina redne ali sanitarne sečnje presežala skupni povprečni letni prirastek odseka. V primeru vetrolomov smo pregledovali obdobje desetih let pred znanim nastankom vetroloma na določeni lokaciji. V primeru podlubnikov smo pregledovali obdobje prejšnjega desetletja, saj je večina namnožitev podlubnikov nastala v zadnjih treh letih. Pridobljene podatke smo povzeli z uporabo opisne statistike, nato pa je sledila analiza glavnih dejavnikov za pojav motenj.

Analizo glavnih dejavnikov za pojav vetrolomov in namnožitev podlubnikov smo izvedli v dveh korakih. Najprej smo poškodovanim odsekom znotraj raziskovalnega območja določili parne, nepoškodovane odseke, ki so bili čim bolj podobni glede na gozdni rastiščni tip, nadmorsko višino, ekspozicijo in naklon. Z uporabo bivariatnih analiz smo primerjali srednje vrednosti naštetih parametrov in preverili statistično značilnost razlik med vzorčno (poškodovanimi odseki) in



Slika 3: Lokacije odsekov, poškodovanih zaradi podlubnikov, ki smo jih vključili v analizo vplivnih dejavnikov.
Figure 3: Forest management sections that were affected by bark beetle outbreak and were included in analysis of factors influencing occurrence of bark beetle outbreak.

kontrolno skupino (nepoškodovanimi odseki). Nato smo z uporabo enake metode primerjali preostale spremenljivke in skušali prepoznati razlike med poškodovanimi in nepoškodovanimi odseki.

Na podlagi kontrolne in vzorčne skupine odsekov smo z uporabo binarne logistične regresije (Hosmer in Lemeshow, 2000) oblikovali regresijski model, s katerim smo določili glavne dejavnike, ki vplivajo na pojav vetrolomov in namnožitev podlubnikov ter ovrednotili njihov vpliv.

Zaradi izogibanja multikolinearnosti v končnem regresijskem modelu smo s Spearmanovo korelacijo rangov preliminarno preverili medsebojno povezanost neodvisnih spremenljivk; kot mejo pretesne povezanosti smo določili vrednost $r = 0,45$ (Klopčič in sod., 2009). Nadalje smo povezanost odvisne dihotomne in neodvisnih zveznih spremenljivk preverjali z Mann-Whitneyevim testom, povezanost neodvisne diskretne in preostalih diskretnih spremenljivk pa s testom χ^2 . Izločili smo spremenljivke, pri katerih je vrednost p presežala 0,25 (Klopčič in sod., 2009). S spremenljivkami, ki so izpolnjevale navedene pogoje, smo izvedli binarno logistično regresijo (Peng in sod., 2002) z uporabo metode postopnega vključevanja značilnih neodvisnih spremenljivk (ang. *Forward stepwise*). Pojasnjevalno vrednost modela smo preverjali z naslednjimi parametri: AIC, McFaddenov R^2 , Nagelkerkov R^2 in značilnostjo modela ($p < 0,05$). Napovedne verjetnosti pojava analizirane motnje (p) smo izračunali z enačbo 1:

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

kjer $\beta_{0..n}$ predstavlja regresijske koeficiente, določene z metodo najmanjših kvadratov, x pa vrednosti neodvisnih spremenljivk, vključenih v model. Končni model smo pojasnjevali s pomočjo razmerja obetov za nastanek motnje, ki temelji na razmerju med verjetnostjo, da motnja nastane in verjetnostjo, da do slednje ne pride. Spreminjanje verjetnosti pojava motnje v odvisnosti od spreminjanja vrednosti neodvisnih spremenljivk smo prikazali tudi grafično.

3 REZULTATI

3 RESULTS

3.1 Analiza poseka s poudarkom na sanitarnem poseku kot kazalniku vpliva naravnih motenj

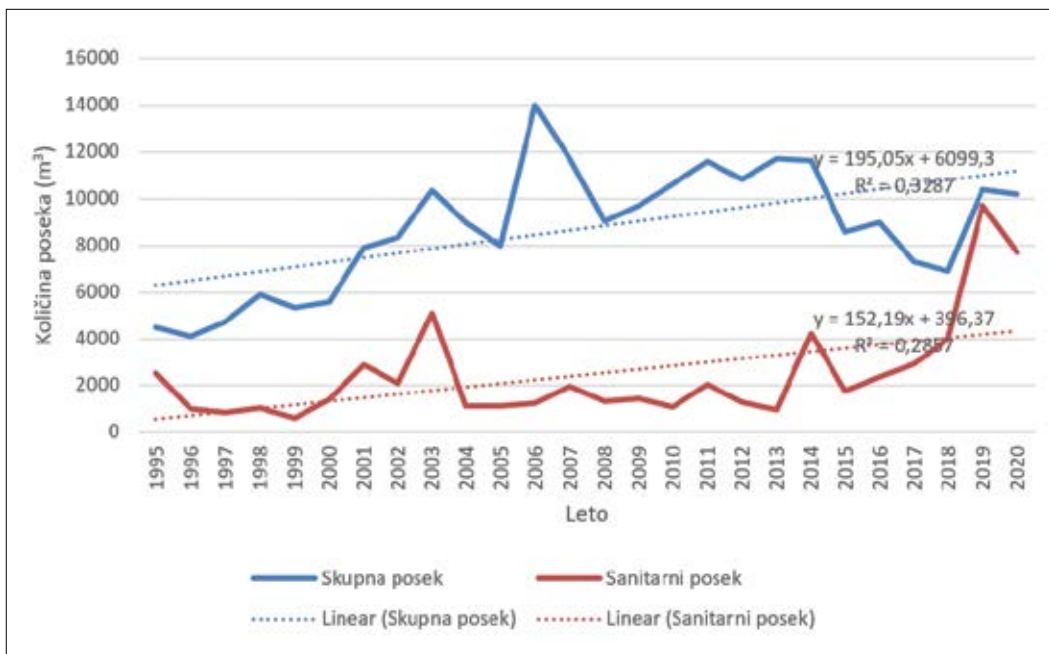
3.1 Analysis of total felling with an emphasis on the sanitary felling as an indicator of the disturbance impact

Skupni posek na proučevanem območju je med letoma 1995 in 2020 znašal 227.042 m³ (povprečno 8.999 m³ na leto; IQR = 3.536 m³). Med tipi sečenj so prevladovali negovalne sečenj (67 %) in sanitarni posek (28 %). Med drevesnimi vrstami sta v poseku prevladovali smreka (52 %) in bukev (31 %).

V analiziranem obdobju je sanitarni posek skupaj obsegal 28 % celotnega poseka (povprečno 1.600 m³ na leto; IQR = 1.665 m³). Mediana letnega deleža sanitarnega poseka je v obdobju 1995–2020 znašala 19 % (IQR = 22 %). Zaznati je bilo veliko povečanje sanitarnih sečenj v zadnjem obdobju po letu 2018, skupna količina sanitarnega poseka pa je po naših merilih značilno izstopala v letih 2019 in 2020 (Slika 4). Na raziskovalnem območju sta bila glavna dejavnika za sanitarni posek veter (47 %) in insekti (29 %). Med vrstami sta v sanitarnem poseku prevladovali smreka (69 %) in bukev (21 %).

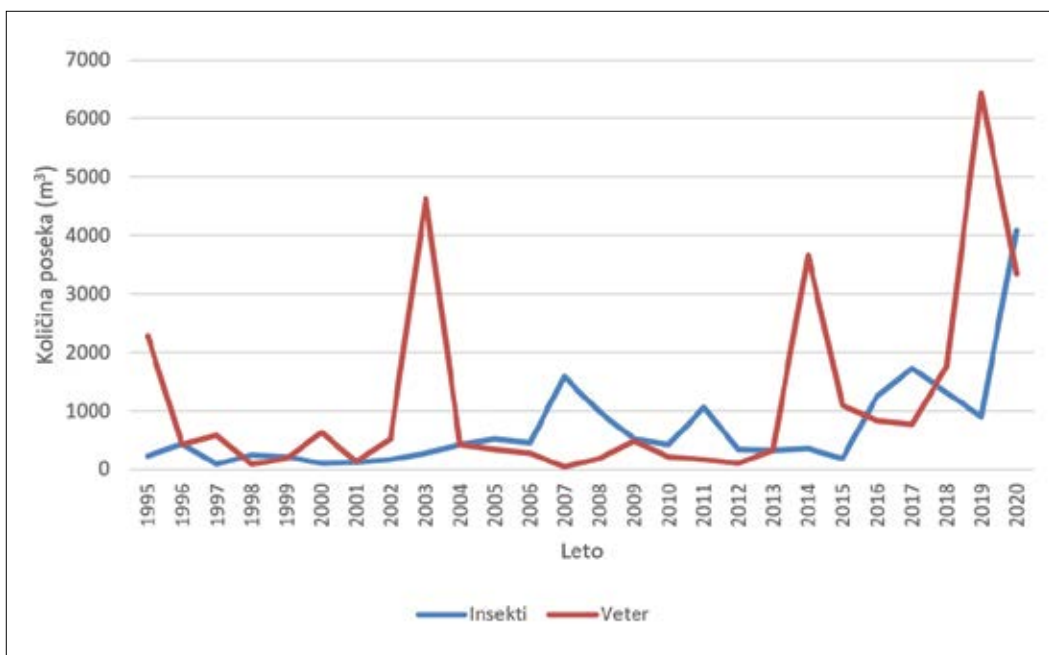
Posek zaradi vetra je bil v obdobju 1995–2020 zabeležen v 198 odsekih (39 % vseh odsekov) (Slika 6). Po količini sanitarnega poseka zaradi vetra so značilno izstopala leta 1995, 2003, 2014, 2019 in 2020 (Slika 5). Med količino sanitarnega poseka zaradi vetra in količino padavin ter intenzivnostjo obroda nismo zaznali povezave, je pa bila v kar 62 % odsekih z zabeleženimi sečnjami zaradi poškodb zaradi vetra kasneje zabeležena tudi sečnja zaradi vpliva podlubnikov.

Posek zaradi podlubnikov je bil med letoma 1995 in 2020 zabeležen v 131 odsekih (26 % vseh odsekov) (Slika 7). Skupna količina sanitarnega poseka zaradi podlubnikov je po izbranem merilu značilno izstopala zgolj v letu 2020 (Slika 5). Zaznali smo mejno korelacijo med količino padavin v februarju in količino sanitarnega poseka zaradi podlubnikov ($r = 0,39$, $p = 0,05$).



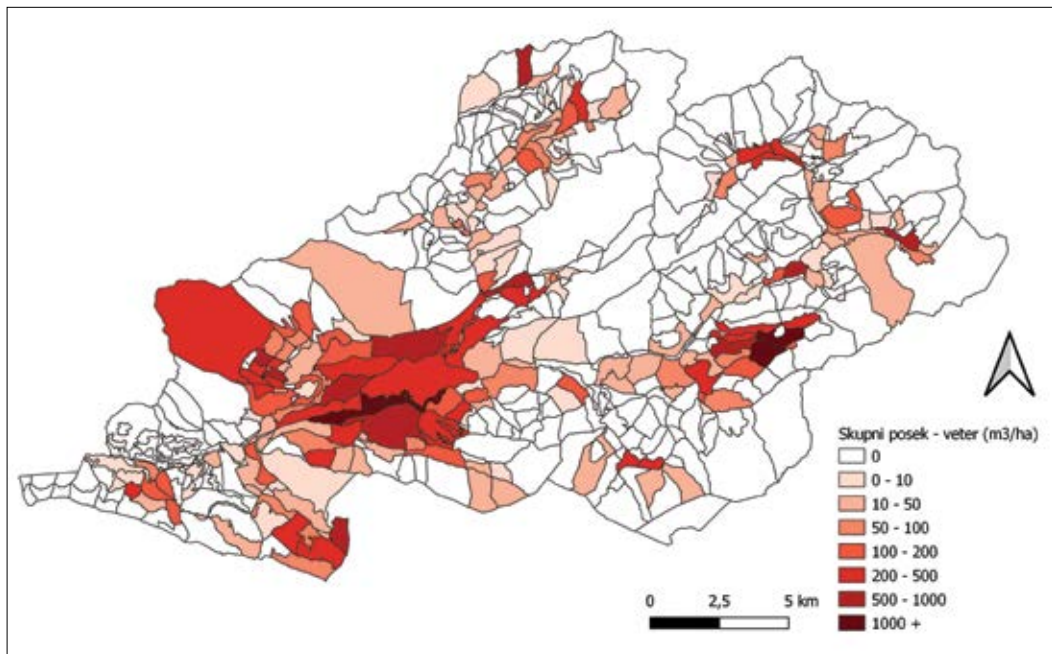
Slika 4: Dinamika skupnega in sanitarnega poseka v obdobju 1995–2020.

Figure 4: Dynamics of total and sanitary felling for the period 1995–2020.

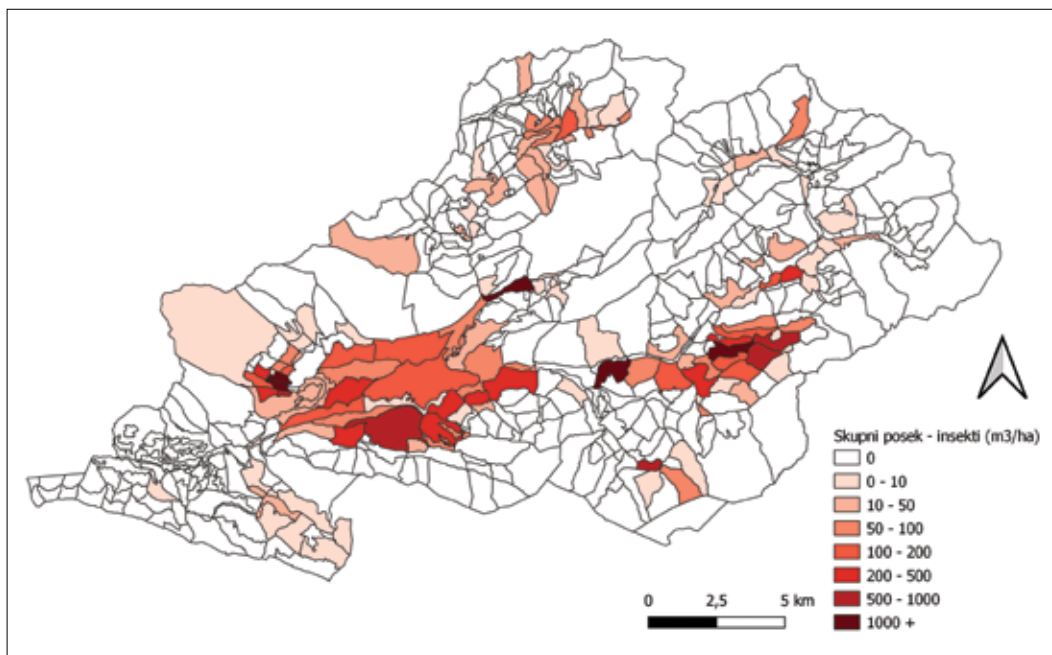


Slika 5: Trend gibanja količine sanitarnega poseka zaradi vetra in insektov

Figure 5: Sanitary felling dynamic due to windthrow and bark beetle.



Slika 6: Skupni sanitarni posek drevja zaradi poškodb zaradi vetra, razdeljen po odsekih.
Figure 6: Total amount of sanitary felling due to windthrow per forest section.



Slika 7: Skupni sanitarni posek zaradi insektov, razdeljen po odsekih.
Figure 7: Total amount of sanitary felling due to bark beetle outbreaks per forest section.

3.2 Analiza dejavnikov, ki vplivajo na pojav vetrolomov

3.2 Analysis of factor influencing the occurrence of windthrow

Vetrolomi so se najpogosteje pojavljali na nadmorskih višinah okrog 1000 m, na pobočjih z naklonom okrog 24°, z južno ekspozicijo ($\approx 180^\circ$), nižjo stopnjo kamnitosti (5 %) in višjo stopnjo skalovitosti (18 %). Prevladovala so lokacije na pobočjih (90 %) in izpostavljenih grebenih (38 %). Vetrolomi so se najpogosteje pojavljali zaradi močnih vetrov (28–29 m/s) južnih do jugozahodnih smeri (190–209°) v obdobjih z obilnimi padavinami (povprečno 102 mm v 24 ur pred dnem nastanka; povprečno 222 mm v 120 ur pred dnem nastanka).

Najpogosteje so bili poškodovani debeljaki z večjim deležem iglavcev (povprečni delež iglav-

cev 60 %), višjo lesno zalogo (povprečna LZ 400 m³/ha) in tesnim ali vrzelastim sklepom (35 % poškodovanih sestojev je imelo tesen, 39 % pa vrzelast sklep). Poškodovani sestoji so najpogosteje spadali v RGR Alpska bukovja (osrednja oblika), mešana z iglavci (v ta RGR je spadalo 35 % poškodovanih sestojev). Vetrolomi so se pojavljali v odsekih, kjer je bil značilno večji delež mladovij ($p = 0,05$), prisoten valovit relief ($p = <0,001$) in so bili sestoji v preteklosti že poškodovani zaradi naravnih motenj ($p = 0,002$).

Končni model binarne logistične regresije je vključeval tri napovedne spremenljivke (Preglednica 1). Model je bil statistično značilen ($\chi^2(48) = 20,835$; $p = 0,041$), pravilno je napovedal 69 % primerov. Mere prileganja modela podatkom so bile AIC 59,252, McFaddenov R² 0,289 in Nagelkerkeov R² 0,440.

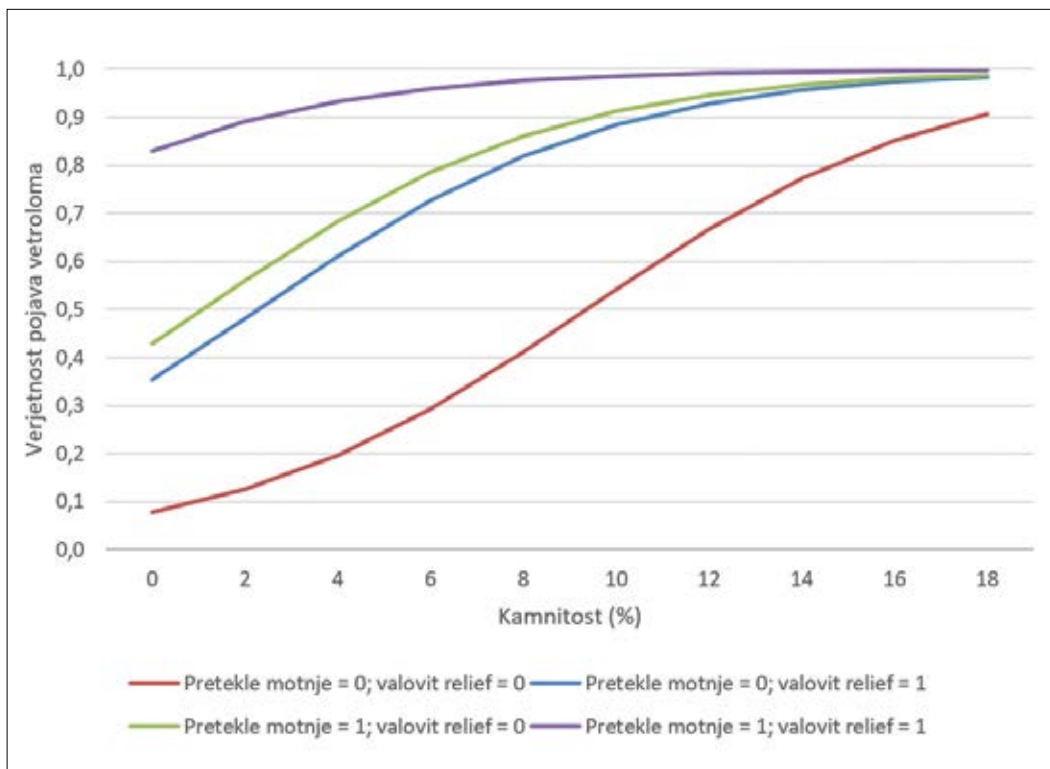
Preglednica 1: Spremenljivke, vključene v model pojava vetrolomov na Bovškem

Table 1: Variables included in the regression model predicting occurrence of windthrow in Bovec area.

Spremenljivka	β	S.E.	Odds	p
Kamnitost	0,264	0,146	1,302	0,071
Relief – valovito	1,866	0,745	6,461	0,012
Prisotnost preteklih motenj	2,184	1,150	8,880	0,058

Z modelom smo ugotovili, da se v primeru enkratnega povečanja kamnitosti glede na povprečno kamnitost (5 %) verjetnost za pojav vetroloma poveča za 30,2 % (Slika 8). Prisotnost valovitega reliefa poveča verjetnost pojava vetroloma za 6,5-krat v primerjavi z drugimi oblikami

reliefa, prisotnost prejšnjih motenj pa za 8,9-krat. Vpliv preteklih motenj in kamnitosti sta sicer statistično mejno značilna ($p = 0,058$ oziroma 0,071), a smo ju pustili v modelu zaradi znanega morebitnega vpliva obeh na pojav vetrolomov.



Slika 8: Prikaz verjetnosti pojava vetroloma v odvisnosti od deleža kamnitosti in prisotnosti valovitega reliefa ter preteklih motenj.

Figure 8: Windthrow occurrence probability in relation to stoniness and presence of undulating relief and past disturbance.

3.3 Analiza dejavnikov, ki vplivajo na pojav namnožitve podlubnikov

3.3 Analysis of factor influencing the occurrence of bark beetle outbreaks

Namnožitve podlubnikov so se najpogosteje pojavljale na strmih pobočjih (povprečni naklon več kot 30 °) z JV ekspozicijo (povprečna ekspozicija 135 °) in valovitim reliefom (delež tovrstnega reliefa 50 %). Med matičnimi kamninami je prevladoval apnenec (delež rastišč z apnencem kot matično podlago 56 %), na površini pa je bilo zaznati nizko stopnjo kamnitosti (povprečna kamnitost 5 %) in zmerno stopnjo skalovitosti (povprečna skalovitost 5 %).

Pričakovano so bili najpogosteje poškodovani sestoji z velikim deležem iglavcev (povprečni delež iglavcev 70 %, $p < 0,001$) in večjo lesno zalogo (povprečna lesna zaloga 296 m³/ha, $p = 0,009$).

Namnožitve podlubnikov so se pogosteje pojavljale tudi v odsekih z večjim deležem mladovij ($p = 0,022$), manjšim deležem drogovnjakov ($p = 0,039$) in večjim deležem sestojev v obnovi ($p = 0,043$). Podlubniki so se najpogosteje pojavljali v odsekih, ki so bili v preteklosti izpostavljeni vplivu motenj ($p = 0,021$). Glede na delež poškodovanih odsekov so bili najpogosteje poškodovani odseki v RGR Alpska bukovja (osrednja oblika), mešana z iglavci (v ta RGR je spadalo 42 % poškodovanih sestojev).

Končni model binarne logistične regresije je vseboval le dve spremenljivki (Preglednica 2). Model je bil statistično značilen ($\chi^2(49) = 27,654$; $p = 0,014$), pravilno je napovedal 77 % primerov. Mere prilaganja modela podatkom so bile AIC 50,433, McFaddenov R^2 0,384 in Nagelkerkeov R^2 0,550.

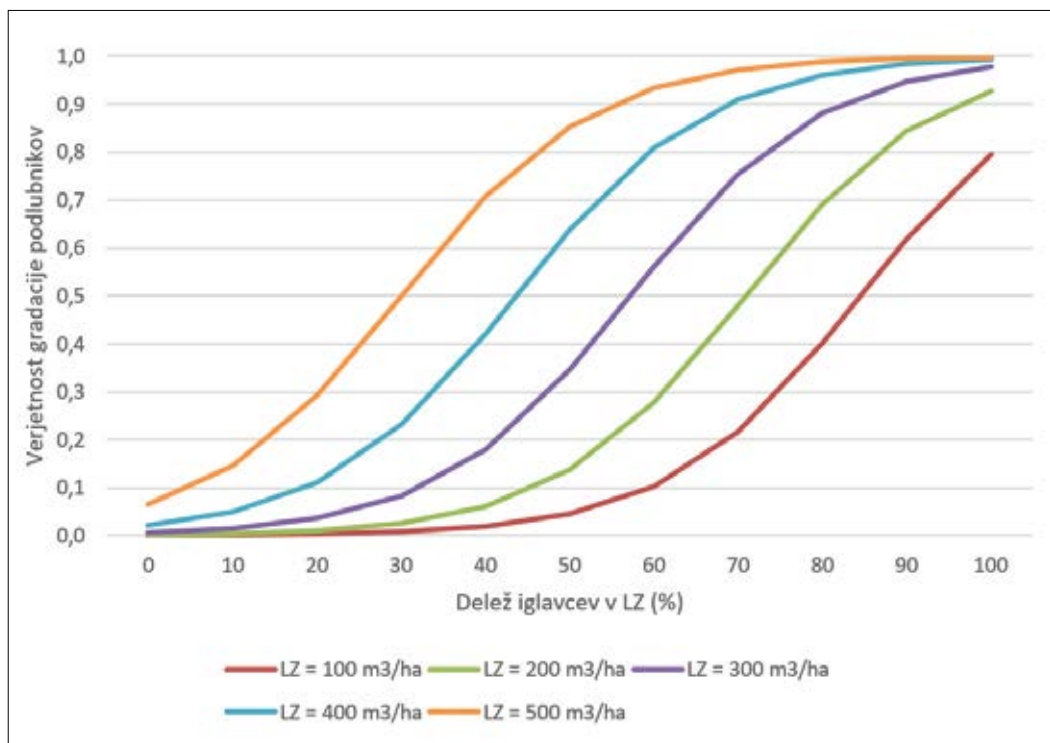
Preglednica 2: Spremenljivke, vključene v model pojava napadov podlubnikov v odsekih na Bovškem

Table 2: Variables included in the regression model predicting occurrence of bark beetle outbreak in Bovec area.

Spremenljivka	β	S. E.	Odds	P
Lesna zaloga	0,012	0,005	1,012	0,025
Delež iglavcev	0,088	0,027	1,092	<0,001

Model predvideva, da se ob enkratnem povečanju lesne zaloge v primerjavi s predhodnim stanjem verjetnost za pojav namnožitve podlubnikov v primerjavi s predhodnim stanjem poveča za

12 %, v primeru enakega povišanja deleža iglavcev pa se verjetnost v primerjavi s predhodnim stanjem poveča za 92 % (Slika 9).



Slika 9: Prikaz verjetnosti pojava gradacij podlubnikov glede na delež iglavcev v lesni zalogi (LZ) ob različno velikih lesnih zalogah.

Figure 9: Bark beetle outbreak occurrence probability in relation to proportion of conifers in growth stock and amount of total growth stock.

4 RAZPRAVA IN ZAKLJUČKI

4 DISCUSSION AND CONCLUSIONS

4.1 Analiza sanitarnega poseka na Bovškem

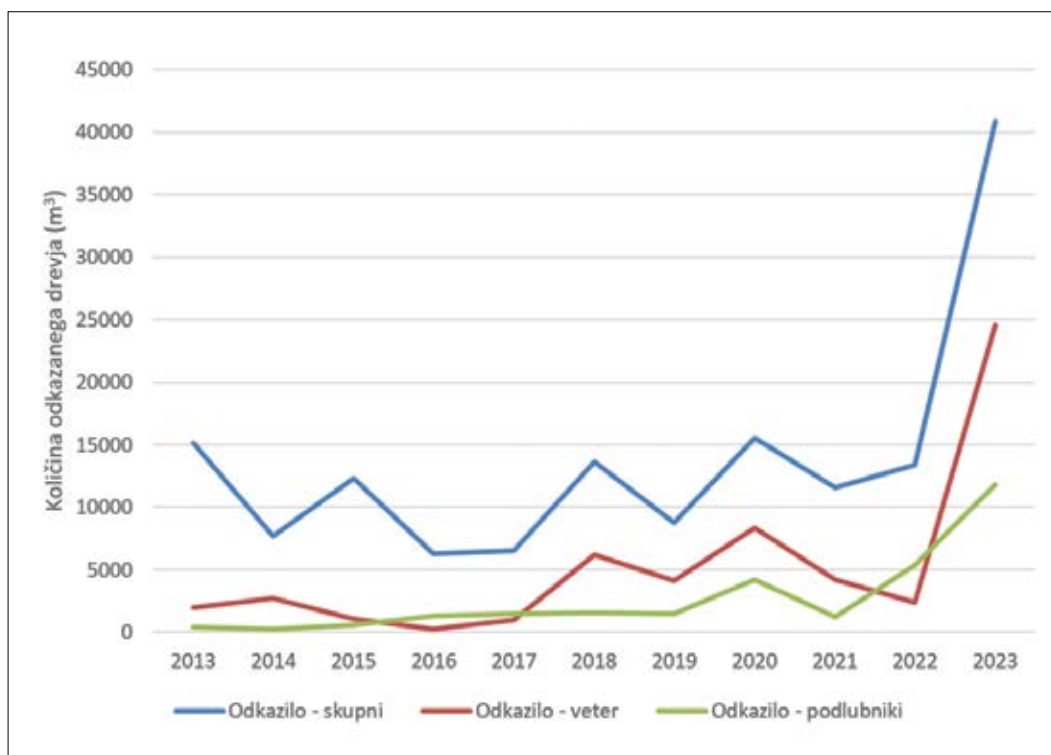
4.1 Analysis of sanitary felling in Bovec region

Iz podatkov za proučevano obdobje 1995–2020 je razviden trend večanja količine tako skupnega kot tudi sanitarnega poseka. Izrazito je predvsem povečanje sanitarnega poseka v obdobju po letu 2018. V letu 2019 je delež sanitarnega poseka dosegel kar 94 % celotnega poseka.

Trend povečevanja skupnega in sanitarnega poseka se je nadaljeval tudi po koncu primarno analiziranega obdobja (1995–2020). V letu 2021 se je skupni posek v primerjavi z najvišjo vrednostjo v proučevanem obdobju (13.985 m³) dodatno povečal za 8 % (15.156 m³), pri skupni vrednosti sanitarnega poseka pa je bilo zabeleženo kar 16 %

povečanje (11.306 m³) v primerjavi z obdobjem 1995–2020 (9.706 m³). Trend se je nadaljeval tudi v letu 2022, ko je skupni posek za 1,5-krat (13.713 m³) presegal povprečno vrednost iz proučevanega obdobja, sanitarni posek pa kar za 5,3-krat (8.552 m³). V letu 2021 je delež sanitarnega poseka znašal 70 %, v letu 2022 pa 58 % skupnega poseka (ZGS, 2024).

Z vidika vpliva naravnih motenj je bilo leto 2023 rekordno (Slika 10). Severno pobočje Polovnika in Bovško dolino je prizadel vetrolom znatnih razsežnosti. Ker sanacija vetroloma še vedno poteka, podatek o količini posekanega drevja v letu 2023 ne odraža dejanskega vpliva motnje. Kazalnika, ki bolj reprezentativno opisujeta stanje, sta količina za posek odkazanega drevja in ocena škode, ki je bila pripravljena na podlagi daljinsko pridobljenih podatkov o poškodovanih površinah. Po vetrolomu v letu 2023 je bilo za posek odkazanih 24.578 m³



Slika 10: Podatki o skupni količini odkazanega drevja zaradi vpliva vetra ter vpliva podlubnikov. Količina odkazila se z izjemo leta 2023 ujema tudi s količino opravljenega poseka.

Figure 10: Amount of tree volume selected for felling due to the impact of windthrow and bark beetle outbreak. Amount of tree volume selected for felling and volume of harvested wood match for all years with and exception of 2023.

lesne mase, skupna škoda na podlagi navedene ocene, pridobljene po prej navedeni metodi, pa je ocenjena na več kot 35.000 m³. Razlog za odstopanje med količino odkazanega drevja in oceno je dejstvo, da se poškodovani sestoji pogosto nahajajo na območjih, ki so zaradi ekstremnih terenskih razmer in same gostote podrtih dreves fizično nedostopna in na njih odkazila ni mogoče izvesti. Poleg vetroloma je bilo v letu 2023 odkazanih še 11.843 m³ iglavcev, ki so jih prizadele namnožitve podlubnikov (ZGS, 2024), čemur je najverjetneje botrovala suša v letu 2022.

Vetrolomi, ki so med proučevanjem obdobjem in tudi kasneje prizadeli raziskovalno območje, so v primerjavi z namnožitvami podlubnikov imeli večji vpliv in večjo amplitudo. Med proučevanjem obdobjem je največja letna količina sanitarnega poseka zaradi vetra za 1,9-krat presežala količino poseka zaradi podlubnikov. Časovno pojavljanje vetrolomov na raziskovalnem območju potrjuje domnevo o stohastičnem pojavljanju te motnje (Ruel, 1995). Potrdili smo tudi domnevo o povezanosti delovanja vetrolomov in podlubnikov, saj so se v 62 % primerov podlubniki pojavili v odsekih, ki so bili predhodno že poškodovani zaradi vetrolomov. To ugotovitev podpira tudi več študij (Klopčič in sod., 2009; Marini in sod., 2017; Hicks Jr., 2018; de Groot in Ogris, 2019).

Med analizo vpliva okoljskih spremenljivk na pojav obeh motenj smo zaznali zgolj mejno značilno povezavo med skupno količino padavin v februarju in količino sanitarnega poseka zaradi podlubnikov. Povezava bi lahko nakazovala na vpliv količine snežnih padavin na oskrbo z vodo v začetku rastne sezone (Hart in sod., 2017), česar pa s pomočjo naknadnih statističnih analiz nismo uspeli dokazati.

4.2 Dejavniki, ki vplivajo na pojav vetrolomov

4.2 Factors influencing occurrence of windthrow

V raziskavi smo zaznali vpliv ekstremnosti rastišča na pojav vetrolomov, kar potrjuje več študij (Ruel in sod., 1998; Klopčič in sod., 2009). Izpostavljenost sestoji na valovitem reliefu in večja kamnitost sta povečevali verjetnost pojava vetroloma. Čeprav

je bila mediana deleža kamnitosti na analiziranih lokacijah vetrolomov relativno nizka (5 %), je model dokazal značilen vpliv spreminjanja deleža stopnje kamnitosti na verjetnost pojavljanja vetrolomov, kar bi lahko razlagali z manjšo globino koreninjenja dreves na takih rastiščih (Morandage in sod., 2021). Ugotovili smo, da so se vetrolomi najpogosteje pojavljali na pobočjih z zmernimi do velikimi nakloni in valovitim reliefom, karbonatno matično podlago, manjšim deležem kamnitosti in zmernim do velikim deležem skalovitosti.

Ugotovitve iz tega sklopa se ujemajo z ugotovitvami o vplivu reliefne izpostavljenosti (Stathers in sod., 1994; Quine in sod., 1995; Ruel in sod., 1998; Klopčič in sod., 2009), ekspozicije (Schütz in sod., 2006; Klopčič in sod., 2013), talne podlage (Mergen, 1954; Stathers in sod., 1994) in vpliva preteklih motenj (Dobbertin, 2002; Ogris in sod., 2004; Klopčič in sod., 2009; Donis in sod., 2018). Tudi model je izpostavil značilen vpliv prisotnosti preteklih motenj na verjetnost pojavljanja vetrolomov. Vpliv preteklih motenj je bil sicer statistično mejno značilen ($p = 0,058$), a smo ga v modelu ohranili zaradi znanega vpliva preteklih motenj na pojav novih zaradi vpliva (notranjih) robov in posledičnega pojava turbulenc, ki podirajo robna drevesa (Klopčič in sod., 2009).

Za analizirane lokacije vetrolomov so značilni sestoji z veliko lesno zalogo in velikim deležem iglavcev. V takih sestojih prevladuje debelo drevje, ki je bolj dovzetno za vplive motenj (Ruel, 1995; Klopčič in sod., 2009). Ker gre za gospodarjene gozdove, je v določenih sestojih prisoten večji delež vrzeli, ki povečujejo delež notranjih gozdnih robov. Le-ti, kot omenjeno, vplivajo na pogostost nastajanja in intenzivnost nastalih turbulenc, ki pomembno povečujejo verjetnost za nastanek vetrolomov (Ogris in sod., 2004). Študije potrjujejo tudi vpliv starosti, lesne zaloge in deleža iglavcev na stabilnost sestojev (Stathers in sod., 1994; Quine in sod., 1995; Klopčič in sod., 2013). Vpliv deleža vrzeli, ki nastajajo zaradi preteklih motenj, posledično pa tudi vpliv deleža notranjih gozdnih robov, potrjujeta tudi primerjava vzorcev in model.

Povprečna ekspozicija pojavljanja (180 °) dokazuje povečano izpostavljenost priveternih leg. Pogosto pojavljanje vetrolomov na grebe-

nih dokazuje tudi, da so izpostavljene lege bolj ogrožene v primerjavi z drugimi. Ugotovitve nakazujejo, da vetrolome povzročajo predvsem jugozahodni vetrovi. Največje hitrosti vetrov, ki so bile izmerjene na obeh meteoroloških postajah (Bovec: 36,8 m/s; Kredarica: 44,6 m/s), so dosegale hitrosti orkanskih viharjev, za katere je značilno, da povzročajo materialno škodo in vetrolome (Hočevar in Petkovšek, 1995). Dodaten podatek, ki je nakazoval značilen vpliv jugozahodnih vetrov, je bila tudi izmerjena količina padavin, ki je nakazovala veliko namočenost tal, kar povečuje verjetnost za izruvanje dreves (Kotar, 2005). Podatki, ki smo jih zbrali, se ujemajo z ugotovitvami študij, ki navajajo vpliv hitrosti (Smith in sod., 1987; Quine in sod., 1995) in smeri vetra (Ruel, 1995) ter količine padavin na verjetnost pojavljanja vetrolomov (Busby, 1965; Kamimura in sod., 2011).

4.3 Dejavniki, ki vplivajo na pojav namnožitve podlubnikov

4.3 Factors influencing occurrence of bark beetle outbreak

Namnožitve podlubnikov so se pojavljale v odsekih z veliko lesno zalogo in pričakovano večjim deležem iglavcev, v katerih so prevladovali debeljaki in raznomerni sestoji. Vzajemni vpliv omenjenih dejavnikov je potrdil tudi regresijski model verjetnosti pojava gradacij podlubnikov. Vpliv večje lesne zaloge, večjega deleža debelega drevja (Bentz in sod., 2009; Klopčič in sod., 2009; Raffa in sod., 2015; Hicks Jr., 2018; Morris in sod., 2018; Hlásny in sod., 2019; Forzieri in sod., 2021) in deleža iglavcev (Hlásny in sod., 2019; Chisholm in sod., 2021) na pojavljanje podlubnikov poudarjajo mnoge študije.

Analiza je izpostavila tudi negativen vpliv deleža drogovnjakov na pojav namnožitve podlubnikov. Delež drogovnjakov lahko povežemo z večjo vitalnostjo srednjedobnih sestojev v primerjavi s starejšimi (Morris in sod., 2018). Večjo dovzetnost sestojev v obnovi bi lahko povezali z izpostavljanjem zrelih dreves neposrednemu sončnemu obsevanju, večji evapotranspiraciji, hitrejšemu izparevanju vode iz razgaljenih tal in posledično večjemu sušnemu stresu (Kautz

in sod., 2013). Rastiščne značilnosti odsekov, v katerih smo zaznali sečnjo zaradi podlubnikov, so zelo podobne značilnostim sestojev, v katerih se pojavljajo vetrolomi, saj gre v večini primerov za isti rastiščni tip. Podlubniki se v primerjavi z vetrolomi pogosteje pojavljajo na toplih legah z večjimi nakloni. Gre namreč za območja, ki so manj produktivna in so zaradi hitrejšega odtoka slabše oskrbljena z vodo. Povezavo med naklonom, oskrbo z vodo, rodovitnostjo in pojavljanjem podlubnikov navajajo že López-López (2004), Pérez-Camacho in sodelavci (2013), Scholten in sodelavci (2017) ter de Groot in Ogris (2019). Z ugotovitvami preteklih študij (de Groot in Ogris, 2019; Klopčič in sod., 2009) se ujema tudi zaznan značilen vpliv preteklih sanitarnih sečenj (npr. vetrolomov) na pogostost pojavljanja namnožitve podlubnikov.

4.4 Izbrana priporočila za izboljšanje prilagojenosti gozdov na vplive naravnih motenj in podnebnih sprememb

4.4 Proposed management optimisations for adaptation of forests to effects of climate change

Ugotovitve študije so potencialno prenosljive predvsem na območju JV Julijskih Alp, kjer prevladujejo mešani sestoji na jelovo-bukovih rastiščih na karbonatni matični podlagi, ki so pod vplivom mešanja alpskega in subsredozemskega podnebja. Povečan vpliv naravnih motenj in posledično povečan delež sanitarnih sečenj, ki smo ga zaznali po letu 2018, je poleg sprememb v razvoju gozdov povzročil tudi spremembe razmer za gospodarjenje z gozdovi na Bovškem (Marković, 2021). Da bi izboljšali prilagojenost proučevanih gozdov na vplive podnebnih sprememb, smo na podlagi rezultatov raziskave, študija literature in raziskovalnega dela v okviru projekta Gozdovi za prihodnost (EUKI, 2022) pripravili nabor priporočil in ukrepov, ki bi pripomogli k večji odpornosti gozdov ter dodatno pripomogli k trajnostnemu doseganju ciljev gospodarjenja z gozdovi na Bovškem in drugje.

Ukrepi in smernice na področju nege gozdov:

- priporočeno je izvajanje izbiralnega redčenja v fazi letvenjaka in mlajšega drogovnjaka z namenom zmanjšanja dimenzijskega razmerja dreves, zagotavljanja večje stabilnosti dreves

in sestojev (Stathers in sod., 1994; Ruel, 1995) ter ohranjanja kolektivne stabilnosti sestojev (Klinar in sod., 2020);

- pomembno merilo izbire drevja pri rednem poseku (t. j. redčenje ali obnova gozda) morata biti vitalnost in zdravstveno stanje drevesa. Sprotno izločanje manj vitalnih dreves je eden ključnih preventivnih ukrepov za zmanjšanje tveganja pojava motenj;
- zagotavljanje pestrejših vrstnih struktur in omejenega deleža iglavcev z opravljanjem nege v mladju in gošči (Franklin in sod., 2007);
- zagotavljanje pestrejših vertikalnih struktur, spodbujanje razvoja raznomerne sestojne zgradbe, skrb za polnilni sloj in oblikovanje stopničastega gozdnega roba (Gardiner in sod., 1996).

Ukrepi in smernice na področju obnove gozdov:

- prioritarno izvajanje obnove v bolj ogroženih gozdovih, predvsem pa premene v zasmrečenih umetno zasnovanih sestojih (Diaci, 2008; Jurc, 2020);
- oblikovanje manjših vrzeli in njihovo širjenje od manj k bolj izpostavljenim legam (Kolšek, 2011);
- v primeru otežene naravne obnove dopolnilno sajenje drevesnih vrst, ki bolje prenašajo negativne vplive vetra in podlubnikov (Fidej, 2016).

Ukrepi in smernice na področju varstva gozdov:

- določitev najbolj ogroženih sestojev oziroma rastišč;
- reden monitoring prisotnosti vplivov škodljivih biotskih in abiotskih dejavnikov (Kolšek, 2011);
- dosledno in kakovostno izvajanje sanitarnih ukrepov (sanitarne sečnje, gozdni red idr.) (DeGomez in sod., 2008);
- puščanje preživelih dreves na poškodovanih površinah (Hauptman, 2020).

Ukrepi in smernice na področju tehnologije in infrastrukture:

- zagotavljanje zadostne odprtosti najbolj ogroženih sestojev (Beguš, 2015);
- zagotavljanje primerne vzdrževanja ključnih gozdnih prometnic (Beguš, 2015);
- izbira manj invazivnih tehnologij sečnje in spravila na erozijsko ogroženih območjih (Beguš, 2015);

- načrtovanje proizvodnje glede na smer vetra in topografijo (Llorente in sod., 2017).

Ukrepi in smernice na drugih področjih gozdarstva:

- sodelovanje z lastniki glede njihovega preventivnega delovanja (pregledovanje gozdov, komunikacija z javno gozdarsko službo) (de Groot in sod., 2021);
- pogodbeno povezovanje velikih lastnikov z izvajalci zaradi trajnejšega sodelovanja, hitrejšega posredovanja in kakovostne izvedbe del (de Groot in sod., 2021).

5 ZAHVALA

5 ACKNOWLEDGEMENT

K izvedbi raziskave so pomembno pripomogli predstavniki javne gozdarske službe Zavoda za gozdove Slovenije, zaposleni na KE Bovec, ki so pripravili nabor analiziranih lokacij namnožitev podlubnikov in vetrolovov in z nami delili konkretne informacije in opravljanja s terena. Zahvala velja tudi predstavnikom odseka za gozdnogospodarsko načrtovanje Območne enote Tolmin Zavoda za gozdove Slovenije, ki so pripravili in posredovali potrebne izpise iz evidenc o poseku.

6 VIRI

6 REFERENCES

- ARSO. 2021. Uradna vremenska napoved za Slovenijo - Državna meteorološka služba RS - Arhiv meritev. <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/archive/> (27. okt. 2021).
- Attiwil P. M. 1994. The disturbance of forest ecosystems: the ecological basis for conservative management. *Forest Ecology and Management*, 63: 247–300.
- Beguš J. 2015. Ukrepi na področju gozdarstva in predelave lesa v okviro Programa razvoja podeželja 2014–2020. Ljubljana, Ministrstvo za kmetijstvo, gozdarstvo in prehrano: 19 str.
- Bentz B., Allen C., Ayres M., Berg E., Carroll A., Hansen E., Hicke J., Joyce L., Logan J., McMahon J., Macfarlane W., Munson S., Negron J., Paine T., Powell J., Raffa K., Regniere J., Reid M., Romme W., Wood D. 2009. Bark beetle outbreaks in Western North America: Causes and consequences. V: *Bark Beetle Symposium: Snowbird, Utah, november, 2005*. Salt Lake City, UT, University of Utah Press: 42 str.

- Bentz B., Jönsson A. 2015. Modeling bark beetle responses to climate change. V: *Bark beetles: biology and ecology of native and invasive species*. Vega F. E., Hofstetter R. W. (ur.). Cambridge, Massachusetts, Elsevier Academic Press: 533–553.
- Bončina A., Perko F., Kozorog E. 2014. Začetki načrtnega gospodarjenja z gozdovi na Slovenskem - Flameckovi in Lesseckovi načrti za Trnovski gozd ter bovške in tolminske gozdove, 1769-1771. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije: 413 str.
- Busby J.A. 1965. Studies on the stability of conifer stands. *Scottish Forestry*, 19, 2: 86–102.
- Chisholm P. J., Stevens-Rumann C.S., Davis T.S. 2021. Interactions between climate and stand conditions predict pine mortality during a bark beetle outbreak. *Forests*, 12, 360. doi: 10.3390/f12030360: 15 str.
- Coutts M. P. 1983. Root architecture and tree stability. *Plant Soil*, 71: 171–188. Cremer K. W., Borough C. J., McKinnell F. H. 1982. Effects of stocking and thinning on wind damage in plantations. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 25: 244–268.
- de Groot M., Diaci J., Kandare K., Krajnc N., Pisek R., Ščap Š., Stare D., Ogris N. 2021. Private forest owner characteristics affect european spruce bark beetle management under an extreme weather event and host tree density. *Forests*, 12, 346. doi: 10.3390/f12030346: 19 str.
- de Groot M., Ogris N. 2019. Short-term forecasting of bark beetle outbreaks on two economically important conifer tree species. *Forest Ecology and Management*, 450. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117495>: 8 str.
- DeGomez T., Fettig C. J., McMillin J. D., Anhold J. A., Hayes C. J. 2008. Managing slash to minimize colonization of residual leave trees by Ips and other bark beetle species following thinning in southwestern ponderosa pine. *University of Arizona, College of Agriculture and Life Sciences Bulletin*, AZ1448: 12 str. <https://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1449-2014> (20. sept 2021).
- DeLong C., Burton P., Geertsema M. 2012. Natural disturbance processes. V: *Encyclopedia of environmetrics*. 2nd ed., El-Shaarawi A. H., Piegorsch W. W.(ur.). New Jersey, John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470057339.vnn147> (10. feb 2021).
- Diaci J. 2008. Gozdnogojitveni vidiki načrtovanja donosov. *Gozdarski vestnik*, 66, 1: 28–34.
- 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.
- Donis J., Kitenberga M., Snepsts G., Dubrovskis E., Jansons A. 2018. Factors affecting windstorm damage at the stand level in hemiboreal forests in Latvia: case study of 2005 winter storm. *Silva Fennica*, 52, 4, doi: 10.14214/sf.10009: 8 str.
- EUKI. 2022. Forests for future. <https://www.euki.de/en/euki-projects/forests-for-future/> (25. julij 2022).
- Fidej G. 2016. Načini sanacij posledic ujm in uspešnost obnove sestojev na rastiščih bukovih gozdov: doktorska disertacija. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal: 131 str. http://www.digitalna-knjiznica.bf.uni-lj.si/gozdarstvo/dd_fidej_gal.pdf (20. sept 2021).
- Fischer A., Marshall P., Camp A. 2013. Disturbances in deciduous temperate forest ecosystems of the northern hemisphere: their effects on both recent and future forest development. *Biodiversity Conservation*, 22: 1863–1893.
- Forzieri G., Girardello M., Ceccherini G., Spinoni J., Feyen L., Hartmann H., Beck P., Camps-Valls G., Chirici G., Mauri A., Cescatti A. 2021. Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests. *Nature Communications*, 12, doi: 10.1038/s41467-021-21399-7: 13 str.
- Franklin J. F., Mitchell R. J., Palik B. J. 2007. Natural disturbance and stand development principles for ecological forestry (No. NRS-GTR-19). General technical report(GTR), NRS, 19, doi: 10.2737/NRS-GTR-19: 44 str.
- Gardiner B.A., Stacey G.R., 1996. Designing forest edges to improve wind stability. (Forestry commission technical paper, 16). Edinburgh, Forestry Commission: 16 str.
- Hart S.J., Veblen T.T., Schneider D., Molotch N.P. 2017. Summer and winter drought drive the initiation and spread of spruce beetle outbreak. *Ecology*, 98: str. 2698–2707.
- Hauptman T. 2020. Kaj se dogaja z jesenom pri nas?: Peto nadaljevanje. *Gozdarski vestnik*, 78, 2: 55–67.
- Hicks Jr. R. R. 2018. Chapter 4: Climatic, site, and stand factors - The southern pine beetle. *Bark Wood Boring Beetles World*. <https://www.barkbeetles.org/spb/spbbook/Chapt4.html> (18. mar. 21).
- Hlásny T., Krokene P., Liebhold A., Montagné-Huck C., Müller J., Qin H., Raffa K., Schelhaas M., Seidl R., Svoboda M., Viiri H. 2019. Living with bark beetles: impacts, outlook and management options. *European Forest Institute*: 52 str.
- Hočevar A., Petkovšek Z. 1995. Meteorologija: osnove in nekatere aplikacije: visokošolski učbenik. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozal.: 225 str. <https://repozitorij.uni-lj.si/IzpisGradiva.php?id=125906> (20. sept. 21).

- Hosmer D.W., Lemeshow S., Sturdivant R.X. 2013. Applied logistic regression. 3rd ed, (Wiley series in probability and statistics). Hoboken, New Jersey, Wiley: 518 str.
- Jurc M. 2020. Živeti s podlubniki: trajnostno upravljanje gozdov v Evropi. Gozdarski vestnik, 78, 9: 325–335.
- Kamimura K., Kitagawa K., Saito S., Mizunaga H. 2011. Root anchorage of hinoki (*Chamaecyparis obtuse* (Sieb. Et Zucc.) Endl.) under the combined loading of wind and rapidly supplied water on soil: analyses based on tree-pulling experiments. European Journal of Forest Research, 131: 219–227.
- Kautz M., Schopf R., Ohser J. 2013. The “sun-effect”: Microclimatic alterations predispose forest edges to bark beetle infestations. European Journal of Forest Research, 132: 453–465.
- Klinar B., Klopčič M., Bončina A. 2020. Poškodbe drevja zaradi abiotičnih naravnih motenj na bukovih rastiščih v Sloveniji s poudarkom na snegolomih. Acta Silvae et Ligni, 122: 53–69.
- Klopčič M., Gartner A., Bončina A. 2009. Factors related to natural disturbances in mountain Norway spruce (*Picea abies*) forests in the Julian Alps. Ecoscience, 16: 48–57.
- Klopčič M., Pahovnik A., Bončina A. 2013. Vplivni dejavniki pojava in jakosti vetrolooma na območju Črničva. Gozdarski vestnik, 71, 7/8: 331–345.
- Kolšek M. 2011. Pričakovani vplivi podnebnih sprememb na sečnjo v gozdu v Sloveniji. V: Izkoriščanje gozdnih proizvodov v slovenskem gospodarstvu, 16. nov. 2011. Ljubljana, Zavod za gozdove Slovenije: 15 str.
- Kotar M. 2005. Zgradba, rast in donos gozda na ekoloških in fizioloških osnovah. Ljubljana, Zveza gozdarskih društev Slovenije: 500 str.
- Llorente I., Hoganson H., Carson M., Windmuller-Campione M. 2017. Recognizing spatial considerations in forest management planning. Current Forestry Reports, 3, 1–9.
- Loehman R., Bentz B., DeNitto G., Keane R., Manning M., Duncan J., Egan J., Jackson M., Kegley S., Lockman I., Pearson D., Powell J., Shelly S., Steed B., Zambino P. 2018. Effects of climate change on ecological disturbance in the Northern Rockies. V: Advances in global change research. Stoffel M (ur.). Springer Nature: 115–141.
- López-López M. 2004. Growth, nutrient, and water status of Montezuma pine as affected by alder in the state of Hidalgo, Mexico: dissertation. Colorado State University: 134 str.
- Marini L., Økland B., Jönsson A. M., Bentz B., Carroll A., Forster B., Grégoire J.-C., Hurling R., Nageleisen L. M., Netherer S., Ravn H. P., Weed A., Schroeder M. 2017. Climate drivers of bark beetle outbreak dynamics in Norway spruce forests. Ecography, 40, 12: 1426–1435.
- Marković D. 2021. Opažanja glede vpliva in delovanja motenj na Bovškem. Bovec, Zavod za gozdove Slovenije. (ustni vir, 24. nov. 2021).
- Morandage S., Vanderborgh J., Zörner M., Cai G., Leitner D., Vereecken H., Schnepf A. 2021. Root architecture development in stony soils. Vadose Zone Journal, 20, 1: doi: 10.1002/vzj2.20133: 17 str.
- Morris J., Cottrell S. P., Fettig C., DeRose R. J., Mattor K., Carter V., Clear J., Clement J., Hansen W., Hicke J., Higuera P., Seddon A., Sherriff R., Stednick J., Seybold S. 2018. Bark beetles as agents of change in social-ecological systems. Frontiers in Ecology and the Environment, 16: 34–43.
- Ogris N., Džeroski S., Jurc M. 2004. Windthrow factors - a case study on Pokljuka. Zbornik gozdarstva in lesarstva, 74: 59–76.
- Peng J., Lee K., Ingersoll G. 2002. An introduction to logistic regression analysis and reporting. Journal of Educational Research, 96: 3–14.
- Pérez-Camacho M., Angel L.-L., Equihua-Martínez A., Manuel C.-A., Mendez-Montiel J. 2013. Relationships between site factors and bark beetle attack on pine trees. Journal of Biological Sciences, 13: 621–627.
- Pickett S. T. A., White P. S. 1985. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. 1st ed. Cambridge, Academic Press. 472 str.
- Quine C. P., Coutts M. P., Gardiner B. A., Pyatt D. G. 1995. Forests and wind: Management to minimise damage. Forestry Commission bulletin, 114: 40 str.
- Raffa K., Grégoire J.-C., Lindgren B. S. 2015. Natural history and ecology of bark beetles. V: Bark beetles: Biology and ecology of native and invasive species. Vega F. E., Hofstetter R. W. (ur.). Elsevier Academic Press: 1–40.
- Rogers P. 1996. Disturbance ecology and forest management: A review of the literature. General Technical Report, INT-GTR, 336: 20 str.
- Ruel J.-C. 1995. Understanding windthrow: Silvicultural implications. The Forestry Chronicle, 71, 4: 434–445.
- Ruel J.-C., Pin D., Cooper A. 1998. Effect of topography on wind behaviour in a complex terrain. Forestry, 71: 261–265.
- Rutar S. 1972. Zgodovina Tolminskega, to je: zgodovinski dogodki sodnijskih okrajev Tolmin, Bolec in Cerkljo ž njih priradovznanskim in statističnim opisom: 1882. Faksimile. Nova Gorica, Goriški muzej: 333 str.
- Scholten T., Goebes P., Kühn P., Seitz S., Assmann T., Bauhus J., Bruelheide H., Buscot F., Erfmeier A., Fischer M., Härdtle W., He J.-S., Ma K., Niklaus P.A., SchererLorenzen M., Schmid B., Shi X., Song Z., von Oheimb G., Wirth C., Wubet T., Schmidt K. 2017. On

- the combined effect of soil fertility and topography on tree growth in subtropical forest ecosystems—a study from SE China. *Journal of Plant Ecology*, 10: 111–127.
- Schütz J.-P., Götz 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: 291–302.
- Smith V. G., Watts M., James D. F. 1987. Mechanical stability of black spruce in the clay belt region of northern Ontario. *Canadian Journal of Forest Research*, 17, 9: 1080–1091.
- Spittlehouse D. L., Stewart R. B. 2003. Adaptation to climate change in forest management. *Adaptation to climate*, 4, 1: 11 str. <http://www.forrex.org/jem/2003/vol4/no1/art1.pdf> (28. mar 2021).
- Stathers R. J., Rollerson T. P., Mitchell S. J. 1994. *Windthrow handbook for British Columbia forests*. Victoria, British Columbia, Ministry of Forests Research Program: 38 str.
- Walfish S. 2006. A review of statistical outlier methods. *Pharmaceutical Technology*, 30: 82–86.
- ZGS. 2021. Pregledovalnik podatkov o gozdovih. <https://prostor.zgs.gov.si/pregledovalnik/> (27. okt. 2021).
- ZGS. 2024. Baza podatkov o odkazilu in poseku debeljadi v Sloveniji - Timber. (izpis iz baze podatkov, 5. januar 2024).
- ZGS. 2017. Gozdnogospodarski načrt gozdno gospodarske enote Soča-Trenta 2017–2026. Tolmin, Zavod za gozdove Slovenije, OE Tolmin. 171 str.
- ZGS. 2014. Gozdnogospodarski načrt gozdno gospodarske enote Bovec 2014–2023. Tolmin, Zavod za gozdove Slovenije, OE Tolmin. 187 str.