

## Presoja varovalnega učinka gozda pred drobirskimi tokovi

### *Assessment of Forest Protective Function Against Debris-Flows*

Gal FIDEJ<sup>1</sup>, Matjaž MIKOŠ<sup>2</sup>, Jernej JEŽ<sup>3</sup>, Špela KUMELJ<sup>4</sup>, Jurij DIACI<sup>5</sup>

#### **Izvleček:**

Fidej, G., Mikoš, M., Jež, J., Kumelj, Š., Diaci, J.: Presoja varovalnega učinka gozda pred drobirskimi tokovi; *Gozdarski vestnik*, 76/2018, št. 4. V slovenščini z izvlečkom in povzetkom v angleščini, cit. lit. 26. Jezikovni pregled angleškega besedila Breda Misja, jezikovni pregled slovenskega besedila Marjetka Šivic.

Varovalni gozdovi imajo pomembno vlogo pri zmanjševanju učinka različnih naravnih nevarnosti. Kljub povečevanju potreb po varovalni in zaščitni funkciji zaradi staranja gozdov in povečanega tveganja zaradi naravnih motenj ostaja aktivno upravljanje na nizki ravni. Proučili smo učinkovitost varovalnih gozdov za zaščito pred drobirskimi tokovi na severozahodu Slovenije, v Soteski med Bledom in Bohinjem, kjer sta zaradi delovanja pobočnih premikov ogroženi državna cesta in železnica. Na podlagi geološke karte in karte podvrženosti drobirskim tokovom smo ugotovili vplivno območje drobirskih tokov. Pri modeliranju njihovega širjenja smo uporabili program TopRunDF. Podatke o gozdu smo zbrali na 26 vzorčnih ploskvah, kjer smo izmerili vsa živa drevesa s prsnim premerom več kot 10 cm. Podrobno smo opisali sestoje in jih ovrednotili po metodi NaiS. Ugotovili smo, da ima gozd pomembno vlogo pri zaščiti infrastrukturnih objektov. Za uresničevanje trajnosti zaščitne vloge je treba enomerne sestoje prevzgojiti v mozaično enomerne. V sestojih, kjer gozdnogojitveni ukrepi ne zadostujejo, je treba uporabiti tehnične ukrepe. Ker s sestoji niso gospodarili več desetletij, so motnje (najpogosteje v obliki vetrolomov) pogoste. Izsledki kažejo, da je potrebno objektivno ovrednotenje varovalne in zaščitne funkcije takšnih gozdov. Priporočamo tudi aktivno nego, kar je v nasprotju z dosedanja prakso v teh gozdovih.

**Ključne besede:** varovalni gozd, zaščitni gozd, naravne nevarnosti, drobirski tok, zaščitna funkcija, Soteska

#### **Abstract:**

Fidej, G., Mikoš, M., Jež, J., Kumelj, Š., Diaci, J.: Assessment of Forest Protective Function Against Debris-Flows; *Gozdarski vestnik (Professional Journal of Forestry)*, 76/2018, vol 4. In Slovenian, abstract and summary in English, lit. quot. 26. Proofreading of the English text Breda Misja, proofreading of the Slovenian text Marjetka Šivic.

Protection forests play an important role of mitigating the influence of various natural hazards. Despite the growing need for protective functions due to aging forests and increased risk of natural disturbances, active forest management has become increasingly uncommon. Study of protection efficiency against debris flow of beech dominated forests in the Soteska gorge in NW Slovenia, where a main state road and railway are endangered was done. We assessed the starting points of the debris flow natural hazard based on a small-scale geological survey of the terrain characteristics and local debris flow susceptibility map. For determination of the run-out zones, we used the TopRunDF model. Forest structure data was obtained from 26 sample plots where all trees with DBH  $\geq 10$  cm were measured. A detailed description and delineation of forest stands following NaiS methodology was performed. Results showed that the forests stands play a crucial role in protection of infrastructural objects. For long-term protection efficiency, introduction of spatial-variable regeneration patches is needed in uniform forest stands. In areas where silvicultural measures could not provide sufficient protection, technical measures are needed. Since these forests have not been managed for several decades, natural disturbances are frequent. Research findings suggest that assessment and management of these beech dominated protection forests is necessary, contrary to the current practice of non-management in protection forests in Slovenia.

**Key words:** protection forest, natural hazards, debris flow, protective function, Soteska

<sup>1</sup> Dr. G. F., Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, 1000 Ljubljana, gal.fidej@bf.uni-lj.si

<sup>2</sup> Prof. dr. M. M., Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana, matjaz.mikos@fgg.uni-lj.si

<sup>3</sup> Dr. J. J., Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14,

1000 Ljubljana, jernej.jez@geo-zs.si

<sup>4</sup> Š. K., Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ulica 14, 1000 Ljubljana, spela.kumelj@geo-zs.si

<sup>5</sup> Prof. dr. J. D. Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire. Večna pot 83, 1000 Ljubljana, jurij.diaci@bf.uni-lj.si

## 1 UVOD

### 1 INTRODUCTION

Tradicionalna raba prostora (kmetijstvo in gozdarstvo) se v alpskem prostoru opušča, vedno večje površine pa so namenjene turistični in prometni infrastrukturi, ki potrebuje zaščito pred naravnimi nevarnostmi (Guček in sod., 2012). Varovalni gozdovi imajo pomembno vlogo pri varovanju pred geološko pogojenimi nevarnostmi, a le, če so primerno gospodarjeni, da s trajnostnimi strukturami zagotavljajo dolgoročno izpolnjevanje zaščitne funkcije. Gospodarjenje z gozdovi v Alpah je bilo dolgo v zatonu, saj je pri gospodarjenju težko zagotavljati pozitivne donose. Poleg tega podnebne spremembe povečujejo pogostost ekstremnih vremenskih pojavov, ki povečujejo jakost in pogostost naravnih nevarnosti in zmanjšujejo stabilnost gozda (Seidl in sod., 2011). V številnih alpskih deželah država subvencionira gospodarjenje z zaščitnimi gozdovi, tako npr. v Švici vlagajo 120–150 milijonov švicarskih frankov na leto, od česar 60 % sredstev porabijo za vzdrževanje ali izboljšanje varovalne in zaščitne funkcije gozda (Wehrli in sod., 2007). Da bi povečali zaščitne učinke gozda s čim manjšimi stroški, je potrebno poznavanje delovanja pobočnih procesov, njihovega vplivnega območja in vloge gozda (Lopez Saez in sod., 2011). Za usmerjanje subvencij pa je nujno treba izvesti podrobno, objektivno izločanje gozdov, ki opravljajo zaščitno funkcijo, ter pripraviti ciljne profile gozdov (smernic), ki varujejo pred določenimi naravnimi nevarnostmi. V Švici so na takšen način izvedli projekt NaiS (*Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald*; Frehner in sod., 2005). Čeprav gozd v večini primerov zagotavlja najbolj učinkovito, najcenejšo in ob tem tudi najbolj naravno in estetsko zaščito pred naravnimi nevarnostmi, pri nas praktično ne poznamo vlaganj v varovalne gozdove. Posledica je staranje varovalnih gozdov in zmanjševanje njihovega varovalnega učinka, kar je značilno tudi za gozdove v Soteski ob Savi Bohinjki. Negativne učinke naravnih nevarnosti najboljše blažijo raznomerni gozdovi, kjer prisotnost in porazdelitev dreves v prostoru zagotavljata varovanje pred naravno nevarnostjo, stalno nemoten proces pomlajevanja pa dolgoročno funkcije in t. i. elastičnost, to je sposobnost, da se gozd vrne v prvotno stanje (O'Hara, 2006).

Kljub številnim raziskavam in razvojnim projektom o alpskih gozdovih in varovalni oziroma zaščitni funkciji (Ott in sod., 1997; Brang in sod., 2006) pa je sorazmerno malo raziskav o bukovih varovalnih gozdovih, čeprav so bukovi gozdovi potencialna naravna vegetacija celotnega obrobja alpskega loka. Še zlasti malo pa je raziskav o varovalnih bukovih gozdovih jugovzhodne Evrope, kjer je bukev prevladujoča vrsta. Bukev je drevesna vrsta z nekaterimi svojstvenimi lastnostmi: neenakomerno in hkrati občasno izjemno obilno semeni (Korpel, 1995), plastičnost bukovih krošenj (lateralna rast) vpliva na hitro zapiranje sestojnih vrzeli in tako zavira razvoj mladja (Ellenberg, 1996), pomlajuje se v vrzelih in pod zastorom. Bukovi gozdovi naravno težijo k enomerni zgradbi (Leibundgut, 1982; Otto, 1994). Bukev je sencozdržna drevesna vrsta, ki pa ne prenese dolgotrajne, skoraj popolne zastrtosti, še zlasti pod zastorom lastne vrste (Meyer in sod., 2003). Poleg tega asimetričnost bukovih krošenj, ki je še posebno izražena na strminah, otežuje usmerjeno sečnjo dreves in s tem varovanje podmladka. Zato je zagotavljanje trajne prebiralne zgradbe v bukovih gozdovih zahtevnejše, na splošno pa prebiralno gospodarjenje z bukvijo terja nekoliko manjše zaloge in pogostejše ukrepanje (Schütz, 2001). Gozdna vegetacija pomembno vpliva na stabilnost pobočij, kjer vpliva na hidrološke procese in mehansko strukturo tal. Zadnje drevje zagotavlja s prekoreninjenostjo tal. Drobirski tok je gravitacijski (hiperkoncentrirani) tok mešanice zemljin, hribin (skal), vode in/ali zraka, ki se sproži z nastankom plazju pri velikem vtoku vode (Ribičič, 2001). Lahko bi ga opisali kot hitro masno gibanje zemeljskih gmot ali erozijskega drobirja zaradi delovanja težnosti ob izraziti količini vode. To je nekakšen prehod od zemeljskega plazjenja ali plazjenja tal z manjšo vsebnostjo vode h gibanju sedimenta v hudourniških ali rečnih strugah s prevladujočo prisotnostjo vode v času hudourniških ali rečnih poplav. Kot oblika masnega gibanja sedimentov po pobočjih ali hudourniških strugah so v preteklosti preoblikovali slovensko površje in so v zadnjem času vse pogostejši (Mikoš, 2001). Zaradi razpršene poselitve in goste mreže prometnic je nujna podrobnejša proučitev ogroženosti prostora zaradi njihovega delovanja (Sodnik in Mikoš, 2006). Namen raziskave je bil proučiti

možnosti nastanka in vplive drobirskih tokov na obravnavanem območju. Celoten postopek raziskave obsega: 1) opredelitev vplivnega območja drobirskih tokov s pomočjo računalniškega modeliranja in terenskih analiz; 2) izločanje gozdov, ki poraščajo vplivna območja in opravljajo zaščitno funkcijo; 3) analizo strukturnih značilnosti gozdov s poudarjeno zaščitno funkcijo; 4) ovrednotenje strukturnih značilnosti gozda glede na ciljno stanje (profil), ki zagotavljajo minimalno zaščito pred delovanjem drobirskega toka; 5) določitev smernic za gospodarjenje.

## 2 METODE

## 2 METHODS

### 2.1 Objekt raziskave

#### 2.1 Study area

Raziskovalni objekt Soteska je v predalpskem delu Slovenije. Območje raziskave zajema 207 ha strmih pobočij na desnem bregu Save Bohinjke. Pobočja se razprostirajo od 470 m (dno doline) do več kot 1100 m nadmorske višine (planota Jelovica). Pobočja so strma, pogosto prepadna in reliefno izjemno razgibana. Prevladujejo severne in severozahodne lege. Tla so plitva, prevladujejo plitve do srednje globoke močno skeletne rendzine. Pobočni gruščiči so večinoma porasli z gozdom, ponekod se pojavljajo posamični gruščnati jeziki, kjer je tal le malo. V tem območju povprečno pade 2250 m padavin na leto, pogosti so intenzivni kratkotrajni nalivi. Povprečna temperatura najhladnejšega meseca (januar) je  $-2,0^{\circ}\text{C}$ , najtoplejšega (julij) pa  $17,6^{\circ}\text{C}$ . Povprečna letna temperatura je  $7,9^{\circ}\text{C}$  (klimatološka postaja Stara fužina, nmv: 547 m, povprečje 1971–2000; ARSO, 2009). Pogoj za nastanek drobirskih tokov je zadostna količina hudourniške vode, ki nastane z zajezitvijo površinsko tekoče vode ali pogosteje, močnih lokalnih padavin. Ravno slednji so značilni za alpski svet zahodne Slovenije.

V takih razmerah prevladuje združba *Anemone trifoliae-Fagetum*, ki porašča nadmorske višine 600–1200 m na pretežno strmih nagibih na vseh legah. Je conalna združba predalpsko-alpskega fitogeografskega območja ilirske florne province. Alpski bukov gozd ima stabilno biocenotsko zgradbo (Marinček in Čarni, 2002). Združba *Anemone-Fagetum* porašča pobočja Soteske od

dna do roba planote, ponekod pred robom planote prehaja v *Homogyne sylvestris-Fagetum*. Na velikih strminah in konveksnih legah prehaja v *Ostrya-Fagetum*, ponekod *Ostrya-Ornetum*, ki se pojavlja v ekstremnih ekoloških razmerah na skalnih pečinah.

### 2.2 Zbiranje podatkov

#### 2.2 Data collection

Na pobočju desnega brega Save Bohinjke smo leta 2010/2011 na mreži 200 x 200 m zakoličili 26 trajnih raziskovalnih ploskev krožne oblike, površine 5 arov. Središče ploskve smo trajno zakoličili s kovinsko palico in jo posneli z GPS-napravo. Če je bila osnovna lokacija točke na območju daljnovoda ali v nedostopnem skalovju oz. jarku, smo točko prestavili za 50 ali 100 m in tako zagotovili primerno pokritost raziskovanega gozda. Pri popisu ploskev smo izmerili vsa živa drevesa s prsnim premerom  $\geq 10$  cm. Izmerili smo naslednje znake: drevesno vrsto, azimut, razdaljo drevesa do središča ploskve in prsni premer. Na ploskvah smo prešteli tudi mladje in manjše drevje po drevesnih vrstah v velikostnem razredu 1:  $10\text{ cm} \leq H < 1,3\text{ m}$  in 2:  $1,3\text{ m} \leq H$  in  $DBH < 10\text{ cm}$ .

Sledila je analiza podatkov, pridobljenih na terenu. Izračunali smo deleže drevesnih vrst po številu in lesni zalogi. Ker so bile med vzorčnimi ploskvami velike razlike, smo podatke združili v dva stratuma: vzorčne ploskve na vplivnem območju drobirskih tokov in ostale vzorčne ploskve. Odstopanje zgradbe gozda od ciljne prebiralne zgradbe smo preverjali z analizo porazdelitev števila dreves po debelinskih razredih, številom pomladka po drevesnih vrstah, višino lesne zaloge in oceno teksture gozda. Oblike frekvenčnih krivulj premerov smo analizirali z metodo po Janowiak in sod. (2008).

Geološki zavod Slovenije (v nadaljevanju GeoZS) je leta 2011 na podlagi terenske analize izdelal geološko karto obravnavanega območja v merilu 1 : 5000. Podrobno geološko karto smo uporabili kot temeljni vhodni podatek za izdelavo karte dovzetnosti za pojavljanje drobirskih tokov na območju Soteske. Poleg tega so nekateri geološki podatki služili kot vhodni parametri za modeliranje z modelom TopRunDF, pri čemer smo vrhove kartiranih hudourniških vršajev uporabili kot začetno točko sproščanja drobirskega toka. Za

izdelavo geološke karte smo zajeli splošne litološke in strukturno-geološke podatke, poseben poudarek pa je bil namenjen identifikaciji nesprijetih sedimentov, kot so na primer pobočni grušči, ki bi bili lahko vključeni v procese pobočnega masnega premikanja.

GeoZS je nato izdelal Karto dovzetnosti za pojavljanje drobirskih tokov; izdelana je bila po metodologiji, ki jo je GeoZS razvil postopno za različna prostorska merila in za posamezne vrste pobočnih masnih premikanj. Metodologija temelji na štirih zaporednih fazah, ki združujejo sintezo obstoječih podatkov, geostatistično modeliranje po algoritmu GeoZS (Komac, 2005) in terensko preverjanje najbolj perečih območij. Poleg podatkov o litologiji, tektonski pretrtosti kamnin in oddaljenosti od strukturnih elementov so bili pri analizah vpliva in izdelavi modela dovzetnosti uporabljeni še podatki o nadmorskih višinah, naklonu in ukrivljenosti pobočja, oddaljenosti od površinskih tokov in njihov energetski potencial ter 48-urne ekstremne padavine. Statistični model prikaže izvorna območja in območja gibanja potencialnih drobirskih tokov, ne pa tudi mesta odlaganja materiala. Model, kot končni izdelek, je prenosljiv in primerljiv na vseh nivojih opozarjanja in odločanja, omogoča neposredno uporabo pri izdelavi prostorskih načrtov ter je učinkovito orodje na področju zaščite pred geološkimi nevarnostmi.

Modeliranje odlaganja sedimentov drobirskih tokov pa smo izvedli z modelom Top Run Debris Flow (TopRunDF), različica 1.1 (Scheidl, 2009). Model je orodje za dvodimenzijsko simulacijo faze odlaganja drobirskih tokov na hudourniških vršajih. Cilj modeliranja je določanje ogroženih območij zaradi odlaganja drobirskega toka na območju hudourniškega vršaja.

Potrebni vhodni podatki za izvedbo simulacije so: digitalni model reliefa (t.i. DMR oz. DMV) in simulacijski parametri. Uporabili smo DMR, ločljivosti 12,5 m, ki smo ga pridobili od Geodetske uprave RS, in naslednje simulacijske parametre:

1) Število Monte Carlo iteracij (MCI). MCI določa lateralno razlivanje drobirskega toka. Povečevanje MCI se odraža z izrazitim širjenjem površine razlivanja drobirskega toka (Scheidl, 2009). Na podlagi testiranja smo izbrali MCI = 50.

2) Začetna točka simulacije odlaganja drobirskega toka (x,y). Kot začetne točke simulacije smo uporabili:

2a) vrh hudourniškega vršaja, kjer se začne faza odlaganja drobirskega toka. Začetne točke smo odčitali s karte podvrženosti drobirskim tokovom, ki jo je izdelal GeoZS. Ta način smo uporabili za prikaz dejanskega odlaganja drobirskega toka (Rezultat: karta odlaganja drobirskega toka na hudourniškem vršaju),

2b) labilna mesta višje na pobočju, kjer bi z veliko verjetnostjo lahko nastalo proženje drobirskih tokov. Tak način smo uporabili pri pripravi opozorilne karte drobirskih tokov (Rezultat: opozorilna karta drobirskih tokov, Slika 2).

3) Magnituda (prostornina) drobirskega toka v m<sup>3</sup>. Povprečno magnitudo je ocenil GeoZS in je pri modeliranju znašala 5000 m<sup>3</sup>.

4) Mobilnostni koeficient. Določili smo ga na podlagi testiranja in je znašal 50 oz. 100. Pri vršajih bližje dnu doline smo na podlagi testiranja uporabili vrednost 50, pri tistih višje na pobočju pa 100. Podrobnosti o metodologiji so navedene v Fidejevi nalogi (2011).

Sestoje smo opisali tudi po metodi NaiS (Frehner in sod., 2005). Rastišča, definirana v metodi NaiS, niso popolnoma identična našim rastiščem, zato smo za vsako združbo obravnavanega območja poiskali primerljivo rastišče NaiS. Kot najbolj podobno rastišče prevladujoči združbi na območju raziskave *Anemone-Fagetum*, smo izbrali rastišče *Mercuriali-/Cardamino-Fagetum typicum*, za rastišče *Ostryo-Fagetum* oz. *Ostryo-Ornetum* pa smo po viru Ellenberg in Klötzli (1972) določili *Fraxino orni-Ostryetum*. Metoda NaiS predvideva opis sestoja na podlagi rastišča in naravne nevarnosti, pri čemer moramo ločiti sestoje glede na to, ali gre za območje proženja ali infiltracije (Preglednica 1). Literatura NaiS predvideva enaka ciljna stanja za zemeljske plazove, erozijo in drobirske tokove. Ciljno stanje je drugačno v območju proženja teh pojavov in območju infiltracije, to je območju, kjer naj bi gozd zagotovil čim večjo porabo vode in tako ugodno vplival na vodno bilanco tal. Metodo smo nekoliko poenostavili, in sicer tako, da smo iz vseh kriterijev ciljnega stanja izbrali le tri: rastišče (drevesno vrsto), pomlajevanje in

**Preglednica 1:** Preglednica za ciljna stanja za gozdove, ki nudijo zaščito pred zemeljskimi plazovi, erozijo in drobirskimi tokovi (povzeto in prirejeno po NaiS; Frehner in sod., 2005; Appendix: Natural hazards)

*Table 1: Target profile for forests providing protection against landslides, erosion and debris flows (according to NaiS, Frehner et al., 2005; Appendix: Natural hazards).*

Lokacija	Potencialni vpliv gozda	Ciljno stanje glede nar. nevarnosti	Ciljno stanje glede nar. nevarnosti
		<i>minimalne zahteve</i>	<i>idealne zahteve</i>
Območje nastanka	<b>Velik</b> V primeru plitvega zemeljskega plazua (globina drsne površine največ 2 m) in površinske erozije	<b>Horizontalna struktura</b> Največja vrzel 0,06 ha, če je prisoten pomladek 0,12 ha  <b>Horizontalna struktura</b> Zastrtost krošenj stalno $\geq$ 40 % Izpolnjene zahteve minimalnega ciljnega stanja glede rastišča  <b>Mešanost DV</b> Na območju prehoda dveh rastišč upoštevamo zahteve profila bolj vlažnega rastišča	<b>Horizontalna struktura</b> Največja vrzel 0,04 ha, če je prisoten pomladek 0,08 ha  <b>Horizontalna struktura</b> Zastrtost krošenj stalno $\geq$ 60 % Izpolnjene zahteve idealnega ciljnega stanja glede rastišča  <b>Mešanost DV</b> Na območju prehoda dveh rastišč upoštevamo zahteve profila bolj vlažnega rastišča  <b>Nosilci stabilnosti</b> Brez težkih dreves in dreves, ki bi jih lahko podrl veter
	<b>Srednji</b> V primeru srednjih in globokih zem. plazov (globina drsne površine vsaj 2 m), če je mogoče vplivati na vodno bilanco zdrsne plasti	<b>Horizontalna struktura</b> Zastrtost krošenj stalno $\geq$ 30 %, izpolnjene zahteve minimalnega ciljnega stanja glede rastišča	<b>Horizontalna struktura</b> Zastrtost krošenj stalno $\geq$ 50 %, izpolnjene zahteve idealnega ciljnega stanja glede rastišča
Območje infiltracije	<b>Majhen</b> V primeru srednjih in globokih zem. plazov (globina drsne površine največ 2 m), če je vpliv na vodno bilanco zdrsne plasti majhen	<b>Pomlajevanje</b> Zagotovljeno trajno pomlajevanje	<b>Pomlajevanje</b> Zagotovljeno trajno pomlajevanje. Izpolnjene zahteve glede idealnega ciljnega stanja rastišča

prisotnost NaiS debelinskih razredov (1: 0–15 cm, 2: 15–30 cm, 3: 30–50 cm, 4: več kot 50 cm). Na podlagi teh treh kriterijev smo izločili t. i. sestoje NaiS. Odločitev za izbor le treh kriterijev ne vpliva na kasnejše odločitve o ukrepih. Za vsako kombinacijo vplivnega območja in sestoja NaiS smo opredelili smernice za ukrepanje. Na takšen način smo definirali naslednje sestoje NaiS: dobro pomlajen bukov gozd z drevesi v dveh debelinskih razredih NaiS (Slika 3, šifra 10), slabo pomlajen bukov gozd z drevesi v dveh debelinskih razredih NaiS, šifra (Slika 3, šifra 11), slabo pomlajen bukov gozd z drevesi v samo enem debelinskem razredu

NaiS (Slika 3, šifra 12), nizek gozd črnega gabra in malega jesena (Slika 3, šifra 20), redki gozd macesna in smreke na izpostavljenih legah (Slika 3, šifra 30), negozdne površine (Slika 3, šifra 0).

Vplivna območja drobirskih tokov smo opredelili na podlagi opozorilne karte. Skušali smo zajeti čim večji delež območij zelo velike verjetnosti nastanka drobirskih tokov. Pri izločanju smo uporabili modeliranje, temeljne topografske načrte v merilu 1 : 5000 (TTN5) z dobro razvidnimi prispevnimi območji posameznih hudournikov ter terenske obhode območja.

Znotraj vplivnih območij smo na podlagi TTN5 in dejanskega stanja na terenu posebej izločili hudourniške struge z robno cono, površine hudourniških vršajev pa smo dobili s pomočjo geološke karte, ki jo je izdelal GeoZS. Tako struge kot aktivni deli vršajev opredeljujejo območje, kjer gozdnogojitveno ukrepanje ni mogoče, zato smo na takih površinah predvideli (hidro)tehnične ukrepe.

### 3 REZULTATI

### 3 RESULTS

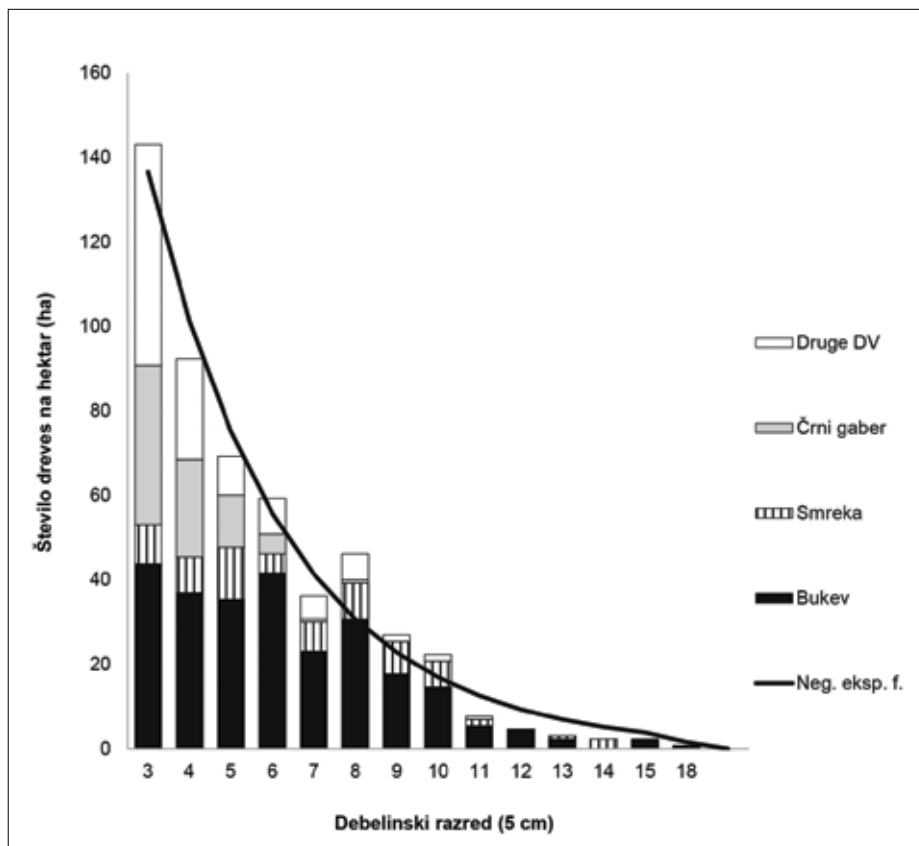
#### 3.1 Podoba gozda

#### 3.1 Forest characteristics

Povprečna lesna zaloga je bila ocenjena na 388 m<sup>3</sup>/ha (koeficient variacije 45 %). Porazdelitev lesne zaloge po razširjenih debelinskih (20 cm) razredih je bila naslednja: A 24 %, B 53 % in C 23 %. Povprečna temeljnica je znašala

30,9 m<sup>2</sup>/ha (koeficient variacije 40 %). Zgornja višina za smreko je znašala 30 m in bukev 29 m. Bukev je s 64 % prevladovala v lesni zalogi, sledila je smreka z 22 %, črni gaber s 4 %, macesen s 3 %, druge drevesne vrste (gorski javor, mokovec, jelka, mali jesen) pa 7 %. Skupna frekvenčna porazdelitev dreves nakazuje sicer negativno eksponentno funkcijo in s tem na prebiralno strukturo gozda (Slika 1). Vendar je to delno posledica različnih rastiščnih razmer, saj na strmih predelih prevladujejo toploljubne združbe s drobnejšima črnim gabrom in malim jesenom, medtem ko na manj ekstremnih rastiščih prevladujejo enomerni bukovi sestoji z večjimi premeri. Iz drevesne sestave frekvenčne porazdelitve je vidno pomanjkanje bukovih in smrekovih dreves v nižjih debelinskih razredih.

Na vsaki ploskvi smo ocenili tudi število mladja graditeljic sestojev, bukve in smreke, v dveh višin-



Slika 1: Frekvenčna porazdelitev drevesnih vrst po debelinskih razredih in negativna eksponentna funkcija  
Figure 1: Frequency distribution of tree species by diameter class and adjusted curve (negative exponential)

**Preglednica 2:** Gostote mladja bukve in smreke glede na višinski razred na hektar

*Table 2: Regeneration density of European beech and Norway spruce by height class per hectare*

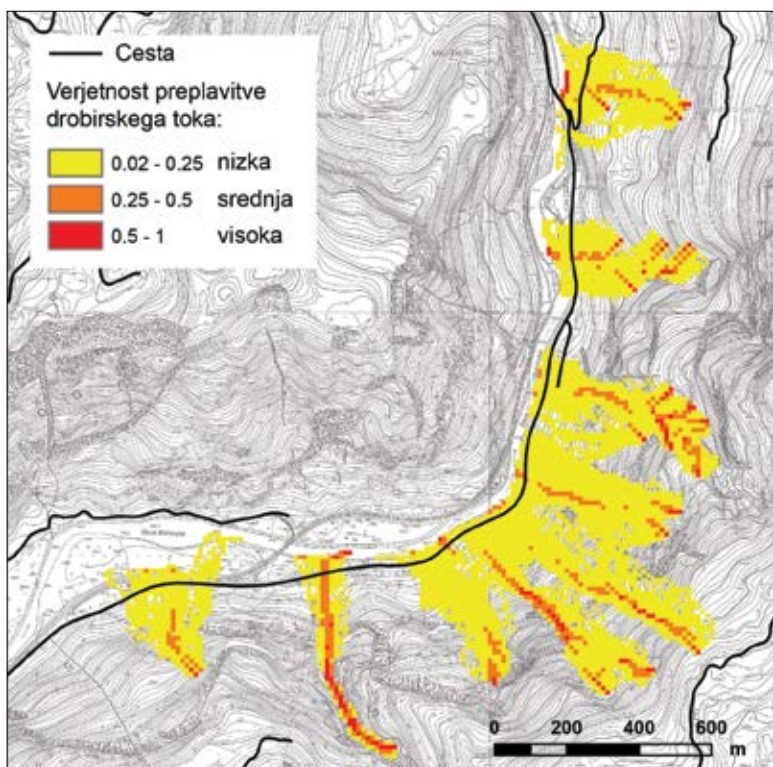
Drevesna vrsta	Višinski razred mladja		Skupaj
	$10 \text{ cm} \leq H < 1.3 \text{ m}$	$1.3 \text{ m} \leq H$ in premer < 10 cm	
Bukev	273	193	466
Smreka	489	129	618
Skupaj	762	322	1084

skih razredih (preglednica 1). Glede na to, da gre za bukova rastišča, je bukovega pomladka zelo malo, kar kaže na neprimerne mikrorastiščne razmere za klimaksne vrste. Pomladka svetloljubnih vrst (smreka, črni gaber, mali jesen) je bilo več, kar kaže na ustrežnejše, bolj odprte in skrajnostne mikrorastiščne razmere za te vrste.

### 3.2 Modeliranje drobirskih tokov

#### 3.2 Debris flow modelling

Pri izdelavi opozorilne karte vpliva drobirskih tokov s programom TopRunDF (Slika 2) smo kot točke proženj drobirskih tokov uporabili koordinate s karte podvrženosti za pojavljanje



**Slika 2:** Opozorilna karta drobirskih tokov, pripravljena s programom TopRunDF. Barvna lestvica kaže verjetnost preplavitve drobirskega toka. S črno črto je označena cesta.

*Figure 2: The debris-flow warning map prepared with the TopRunDF model. The color chart shows the debris-flow overflow probability. Black line denotes road.*

drobirskih tokov (GeoZS). Karta prikazuje vse preplavljene površine in verjetnost za preplavitev v sosednje celice. Ker prikazuje skrajni mogoč doseg drobirskega toka, je primerna za uporabo kot opozorilna karta.

### 3.4 NaiS sestoji in smernice za ukrepanje

#### 3.4 NaiS stands and guidelines

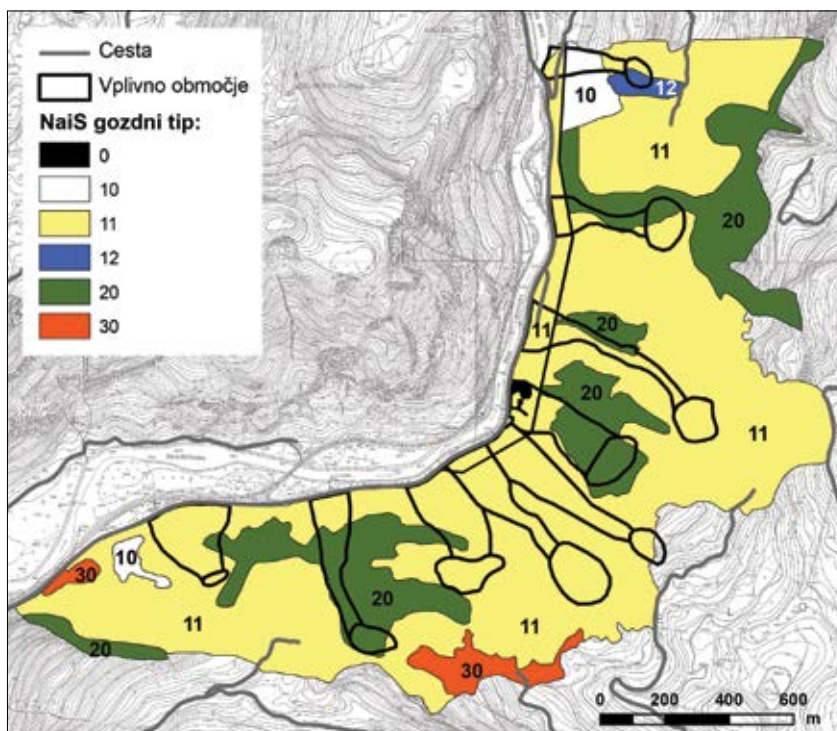
Vegetacijske sestoje NaiS smo izločili glede na kriterije (rastišče, pomlajevanje in prisotnost dreves v debelinskih razredih NaiS). Vplivno območje drobirskega toka (črna črta, slika 3) je razdeljeno na območje proženja in območje infiltracije. Na raziskovalnem območju so prevladovali odrasli bukovi sestoji s primesjo smreke brez pomlajevanja. V teh sestojih je drevje uvrščeno v dva debelinska razreda NaiS. Po površini so sledili gozdovi ekstremnih rastišč, gabrovja na pečinah ali velikih naklonih. V manjši meri smo na območju kartirali dobro pomlajen bukovo gozd z drevesi

v dveh debelinskih razredih NaiS in nizki gozd macesna in smreke.

Smernice za ukrepanje smo podali glede na kombinacijo vplivnega območja (območje proženja ali infiltracije) in vegetacijskega sestoja NaiS. Zaradi velikega števila sestojev s posebnimi smernicami (Fidej, 2011) v nadaljevanju navajamo le splošne smernice.

#### a) Območje proženja drobirskih tokov in sproščanja materiala:

Ohranjamo poraslost tal. Na površinah, kjer se je pomladek že uveljavil, odstranimo zgornjo plast in omogočimo nemoten razvoj mladih dreves. Zaradi plitvih tal in velikih naklonov pospešujemo drevesa manjših mer. Odstranjujemo drevesa velikih mer (prsni premer nad 40 cm). Gostota dreves do premera 30 cm naj bo velika, saj velika prekoreninjenost tal pomeni dobro vezanje zemljine in manj možnosti za zemeljske plazove ali usade,



Slika 3: Sestoji, izločeni po prilagojeni metodi NaiS (Frehner in sod., 2005). Številke označujejo sestoje NaiS. Črne črte predstavljajo vplivna območja drobirskih tokov, izločenih na podlagi karte podvrženosti pojavljanja drobirskih tokov, modeliranja s programom TopRunDF in terenskimi ogledi. Siva črta označuje cesto.

Figure 3: Stands delineated with the NaiS methodology (Frehner et al., 2005). Numbers denote NaiS stands. Black lines show debris flow impact areas, divided to source and infiltration areas. The grey line is a state road.



ki lahko pomenijo začetek drobirskega toka. Če se v drevesni sestavi pojavljata črni gaber in mali jesen, obe vrsti pospešujemo. V sestojih brez pomlajevanja oblikujemo razpršene vrzeli do 6 arov oz. vrzeli naj ne bodo večje od 12 arov na že pomlajenih površinah. Prevelike vrzeli na strmini omogočijo silovit razvoj trav in onemogočijo razvoj podmladka.

Na predelih, kjer prevladujeta črni gaber in mali jesen, so gostote dreves zaradi pogostega vegetativnega razmnoževanja veliko večje kot pri semenskih drevesih. Zato nizek gozd gabra in malega jesena, še zlasti v panjevski obliki, omogoča boljše zaustavljanje materiala in vezanje zemljine. Poleg tega imajo šopi črnega gabra večjo stopnjo elastičnosti kot semenska drevesa in so zato primernejši ob pogostejših motnjah. Zaradi majhnih mer in mase tudi ne pomeni nevarnosti za prevrnitev. Zaradi naštetih dejstev ga pospešujemo v vsakem primeru.

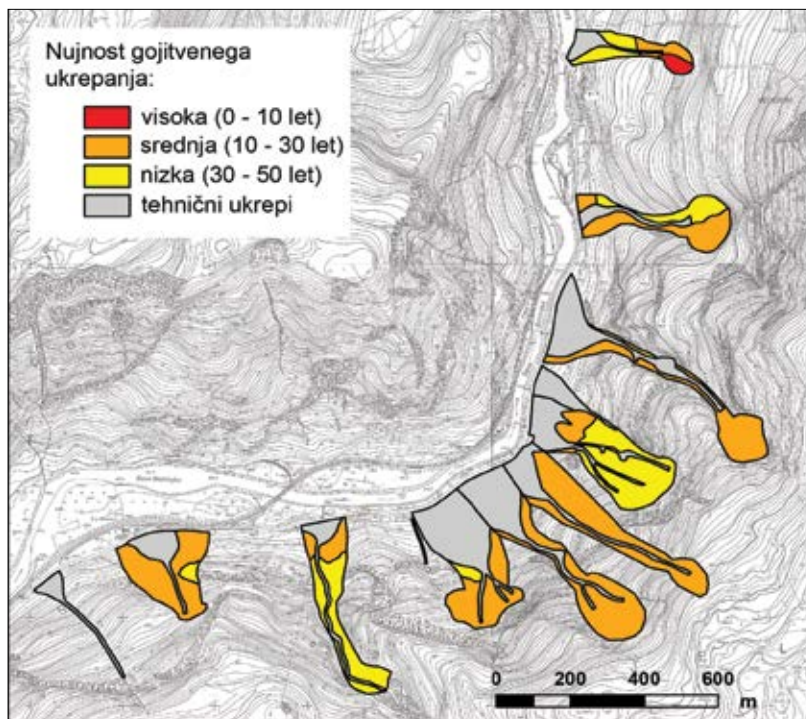
#### b) Območje infiltracije:

V sestojni zgradbi naj prevladujejo drevesa manjših mer (prsni premer do 40 cm). Ko

pomladek doseže stopnjo letvenjaka, postopoma odstranimo še preostalo nadstojno drevje. S točkovnimi sečnjami nizke jakosti zagotavljamo zadostno stopnjo raznomernosti. Zagotavljamo stalno pomlajevanje v obliki manjših vrzeli. Prevelike vrzeli na strmini spodbudijo razvoj mladju konkurenčnih trav. Pomlajevanje mora biti zagotovljeno na površini vsaj 2–5 ara/ha ali dosegati vsaj 3 % pokrovnost podmladka na vsakem ha površine.

Bolj kot je bilo stanje sestoja NaiS različno od ciljnega, večja je bila nujnost ukrepanja. Ocenjujemo, da je nujnost ukrepanja največja v slabo pomlajenih enomernih sestojih, sledijo sestoji brez pomlajevanja, a z drevjem v dveh debelinskih razredih NaiS in majhna nujnost ukrepanja v nizkem gozdu gabra in jesena.

Na območju strug in hudourniških vršajev gojitveni ukrepi niso mogoči (siva barva, Slika 4). Taka območja pokrivajo 16,5 ha površin, kar je 40 % celotnega vplivnega območja. Na teh območjih sicer prevladujejo starejši drogovnjaki in debeljaki, pomladka pa ni in njeno vzpostava



Slika 4: Nujnost gojitvenega ukrepanja v vplivnih območjih glede na sestoje NaiS  
Figure 4: Necessity of silvicultural measures in impact areas according to NaiS stands

vitev zaradi odloženega materiala kratkoročno niti ni mogoča.

Na območju strug in vršajev je mogočih več hidrotehničnih ukrepov. Glavni namen ukrepov je zaščita spodaj ležeče infrastrukture, v našem primeru ceste. Na prehodih struge v vršaj bi bila smiselna namestitvev podajno-lovilnih mrež, katerih funkcija je zadrževanje manjših drobirskih tokov in grobega materiala. Ti objekti so po navadi iz kovinskih materialov v obliki mrež. Na hudournikih z izrazito globinsko in bočno erozijo (Slika 5) je smiselno utrjevanje dna hudourniške struge s talnimi pragovi in stopnjevanje struge s prečnimi objekti (pregradami), s katerimi preprečimo nadaljnjo poglobljanje struge in rušenje brežin. Na hudournikih, ki neposredno ogrožajo infrastrukturo, bi bila smiselna izdelava preusmerjevalnih oz. vodilnih objektov, ki bi preusmerili hudourniški tok in drobirski material na manj ogroženo območje. Glavni namen teh objektov ni prestrežanje rušilnih sil, ampak preusmeritev vodnega toka oz. hudourniškega materiala. Takšni objekti morajo biti izdelani iz masivnih materialov, kot sta armiran beton ali kamen.

V predelih hudourniških jarkov (Slika 5), kjer je zaradi bočne erozije veliko odmrle drevnine, je le-to treba odstraniti ali razrezati na krajše dolžine (1–2 m). V preostalih varovalnih gozdovih zunaj vplivnih območij drobirskih tokov svetujemo odstranjevanje drevesnih ostankov iz strug hudournikov, vzpostavljanje malopovršinsko raznomerne strukture ter točkovno vzpostavljanje pomladitvenih jeder (velikosti 2–5 a). Ohranjamo delež iglavcev, zlasti jelke in macesna, medtem ko je smreka manj primerna. Priporočamo terenski ogled enkrat na leto in spremljanje stanja gozdnih sestojev.

## 4 RAZPRAVA

## 4 DISSCUSSION

### 4.1 Podoba gozda

### 4.1 Forest characteristics

Prebiralen gozd vzdržuje primerno strukturo varovalnih oziroma zaščitnih gozdov, saj zagotavlja malopovršinsko raznomerno strukturo, ki zagotavlja dolgoročno zaščito (Ott in sod., 1997;



Slika 5: Hudourniški jarek z odmrlo drevnino (foto: G. Fidej)

Figure 5: Torrential channel with dead trees (photo: G. Fidej)

O'Hara, 2006). Takšen način gojenja je primeren, saj je blizu režimu naravnih motenj alpskih bukovich gozdov, kjer se večinoma pojavljajo ujme manjših do srednjih jakosti (Leibundgut, 1982; Splechnta in sod., 2005). Porazdelitev števila dreves po debelinskih stopnjah daje vtis ustreznosti in kaže na raznomernost sestojev. Vendar pogled po posameznih drevesnih vrstah kaže na jasno pomanjkanje glavnih drevesnih vrst (bukev, smreka) v nižjih debelinskih razredih (Slika 1). Tako v spodnjih delih pobočij prevladujejo bukovi drogovnjaki in debeljaki, višje ter na ekstremnih rastiščih pa nizek gozda gabra in malega jesena. Ker je teren zlasti višje na pobočjih težko dostopen in v sestojih prevladuje bukev, je v praksi prebiralen način gojenja težko izvedljiv. Sestoji na raziskovalnem območju v veliki meri odstopajo od ciljne strukture, ki optimalno varuje pred drobirskimi tokovi. Zato priporočamo spremeno v malopovršinsko raznomen gozd z vzpostavitevjo razpršenih obnovitvenih jeder, velikosti npr. 2–5 arov. V ciljni strukturi gozda naj bodo drevesa manjših mer (do 40 cm premera), manjša lesna zaloga, večja gostota dreves v nižjih debelinskih razredih in veliko pomlajevanja. Na splošno je v Soteski malo podmladka. Deloma se pojavlja v vrzelih, vendar smo na terenu opazili veliko starejših nepomlajenih vrzeli manjših velikosti. Tudi po žledu v letu 2014, ki je zelo presvetlil sestoje na spodnjih delih pobočja, se pomladek bukve pojavlja le tu in tam. Na kamnitem terenu je pomlajevanje bukve še posebno oteženo, se pa v teh razmerah občasno pomlajuje smreka. Ob presvetlitvah na ekstremnih terenih prevladajo svetlojubne drevesne vrste (črni gaber, mali jesen).

## 4.2 Modeliranje drobirskih tokov

### 4.2 Debris flow modelling

Opozorilna karta drobirski tokov (Slika 2) prikazuje skrajni mogoč doseg drobirskega toka, kar je v skladu s Pravilnikom o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav ... (2007) ter prikazuje tudi verjetnost dosega. Prednost programa TopRunDF je preprosta uporaba, velika hitrost računanja ter hitro in preprosto pridobivanje vhodnih podatkov. Slabost je empiričnost modela, kar pomeni, da modeliranje temelji na specifičnih razmerah, v katerih je nastal. Zato

je potrebno veliko simulacij ob spreminjanju vhodnih parametrov, da ugotovimo verjetne rezultate. V času modeliranja še niso bili na voljo LiDAR-ski posnetki, ki so mnogo bolj natančni kot model reliefa. Večja natančnost pa pri modeliranju pomeni zanesljivejše simulacije gibanja in odlaganja drobirskih tokov. V našem primeru bi to pomenilo zanesljivejše meje možnega dosega drobirskega toka na opozorilni karti.

## 4.3 Sestoji NaiS in ukrepanje

### 4.3 NaiS stands and measures

Izločanje sestojev je bilo zahtevno, saj ni izrazitih ločnic med različnimi vrstami sestojev. Prehod iz bukovega gozda v gozd malega jesena in črnega gabra je lahko neposreden (npr. stičišče pobočje-pečina), večinoma pa je vmes pas združbe bukve in črnega gabra. Izločanje sestojev dodatno omejujeta reliefna razgibanost pobočij in težka prehodnost takšnega terena. Na predelih, kjer je hudourniški material zasul rastišča v conah infiltracije, se na nekaterih predelih sušijo drevesa. Na takih območjih sicer prevladujejo drogovnjaki in debeljaki, podmladka pa ni in njegova vzpostavitev zaradi odloženega materiala niti ni mogoča. Odstranjevanje tega materiala pa zaradi velikih količin ni smotno, razen ob cesti. V tem primeru gozdnogojitveni ukrepi niso mogoči. Te površine lahko prepustimo naravnemu razvoju. Gledano kratkoročno, je vprašljiv tudi nadaljnji sukcesijski razvoj, saj se ob izjemnih padavinskih dogodkih lahko ponovno naloži material, ki onemogoča nastajanje tal oz. velika količina vode spere že nastala tla. V izrazitih erozijskih jarkih in hudourniških strugah na območju vršajev predlagamo manjša in stroškovno ugodna stabilizacijska ureditvena dela, ki bi dopolnjevala gojitvene ukrepe v zaščitnih gozdovih vplivnih območij. Najpomembnejša je stabilizacija erozijskih in hudourniških strug, s čimer bi preprečili njihovo širitev v gozdni prostor (Slika 5). Skupna površina proučevanega območja meri 207 ha. Izločeno vplivno območje drobirskih tokov zavzema 42 ha oz. 20 % celotnega območja. Kar 16 ha oz. 40 % površine vplivnega območja so hudourniške struge in vršaji, na katerih gozdnogojitveno ukrepanje ni mogoče. Na preostalih 60 % (26 ha) vplivnega območja je predlagano gozdnogojitveno ukrepanje nujno.

Glede na to, da se na območju raziskave pojavljajo številne skalne pečine, je na velikem delu območja in infrastrukture možnost padajočega kamenja. V praksi bi pri izločanju zaščitnih gozdov izvedli tudi simulacije padajočega kamenja. Na takšen način bi kot zaščitni gozd izločili večino obravnavanega pobočje Soteske.

## 5 ZAKLJUČEK 5 CONCLUSIONS

Objektiven način izločanja zaščitnih gozdov, kot je prikazan v tem prispevku, bi bilo treba izpeljati na ravni celotne Slovenije. Uporaba preprostih empiričnih modelov, kot je TopRunDF, je smiselna za osnovno določanje vplivnih območij drobirskih tokov in pripravo opozorilnih kart. Za pripravo kart ogroženosti je treba uporabiti kompleksnejše matematične modele, ki so zanesljivejši. Za objektivno izločanje zaščitnih gozdov je po zgledu iz drugih alpskih držav potrebno računalniško modeliranje z modeli za naravne nevarnosti, kot so padajoče kamenje, zemeljski in snežni plazovi, hudourniki in poplavne vode. Na vsakem obravnavanem območju je treba definirati prisotne geološke nevarnosti in nato opraviti simulacije. Na takšen način bi lahko objektivno izločili območja zaščitnih gozdov, katerih površina je določena preveč subjektivno. Le strokovno in objektivno izločeni zaščitni gozdovi so lahko podlaga za prostorsko načrtovanje in dodeljevanje subvencij za gospodarjenje s temi gozdovi. Z varovalnimi in zaščitni gozdovi je treba gospodariti, saj le raznomerni sestoji zagotavljajo trajno varovanje rastišča, varovanje pred pobočnimi masnimi premiki in posledično infrastrukture.

## 6 POVZETEK

Varovalni gozdovi imajo pomembno vlogo pri zmanjševanju učinkov naravnih nevarnosti v obliki padajočega kamenja, snežnih in zemeljskih plazov ter drobirskih in hudourniških tokov. V Soteski med Bledom in Bohinjem smo proučili učinkovitost varovalnih in zaščitnih gozdov pred drobirskimi tokovi. Opredelili smo vplivno območje drobirskih tokov in z uporabo modeliranja teh pojavov izločili gozd, ki opravlja zaščitno funkcijo in varuje spodaj ležečo infrastrukturo

(cesta in železnica). Na podlagi razlik med ciljnim stanjem gozda, ki varuje pred drobirskimi tokovi, in dejanskim stanjem gozda, ugotovljenim na terenu, smo predlagali smernice za ukrepanje in določili nujnost ukrepanja za vsako posamezno vplivno območje drobirskega toka.

Proučevano območje zavzemajo strma pobočja varovalnih gozdov na 470 do 1100 m nadmorske višine na desnem bregu Save Bohinjke. Prevladujejo rastišča *Anemone trifoliae-Fagetum*, *Ostryo-Fagetum* in *Ostryo-Ornetum*. Na 26 vzorčnih ploskvah smo popisali vsa živa drevesa s prsnim premerom, večjim od 10 cm. Opravili smo popise podmladka in sestoje ocenili po metodi NaiS. Geološki zavod Slovenije je izdelal geološko karto in karto dovzetnosti pojavljanja drobirskih tokov, ki smo jo uporabili pri našem delu. Pri modeliranju drobirskih tokov s programom TopRunDF smo kot začetne točke (točke proženja) drobirskih tokov uporabili najverjetnejša mesta nastanka drobirskih tokov, ki smo jih odčitali s karte dovzetnosti drobirskih tokov. Na vzorčnih ploskvah je povprečna lesna zaloga znašala 388 m<sup>3</sup>/ha, temeljnica pa 30,9 m<sup>2</sup>/ha. Bukev je s 64 % prevladovala v lesni zalogi, sledila je smreka z 22 %, črni gaber s 4 %, macesen s 3 %, druge drevesne vrste (gorski javor, mokovec, jelka, mali jesen) pa s 7 %. Pomladka glavnih drevesnih vrst, smreke in bukke, je malo, frekvenčna porazdelitev dreves nakazuje enomerno zgradbo na spodnjih, manj strmih delih pobočij, medtem ko na bolj termofilnih rastiščih nad skalnimi pečinami prevladuje nizek gozd črnega gabra in malega jesena (*Ostryo-Ornetum*). Z modelom TopRunDF smo izdelali opozorilno karto drobirskih tokov, ki prikazuje skrajne meje dosega drobirskega toka. Za gospodarjenje s ciljem krepitve varovalne in zaščitne vloge teh gozdov navajamo splošne smernice. Prevladujejo naj drevesa manjših mer, ki so stabilnejša na strmih pobočjih. Pokrovnost lesne vegetacija naj bo čim večja, saj prekoreninjenost tal pomeni dobro vezanje zemljine in manj možnosti za zemeljske plazove in usade. Pospešujemo mali jesen in črni gaber, ki se vegetativno razmnožujeta in tvorita goste sestoje. V sestojih oblikujemo manjše vrzeli za pomlajevanje in ustvarjamo mozaično raznomen gozd. Na območjih hudourniških strug in vršajev (odloženega drobirja in hudourniškega materiala) gojitveni ukrepi niso mogoči. Ta območja zavzemajo

40 % površine vplivnega območja. Na teh območjih so za zaščito nižje ležečih infrastrukturnih objektov potrebni tehnični ukrepi v obliki hudourniških pregrad, podajno-lovilnih mrež in preusmerjevalnih oz. vodilnih objektov. V prihodnosti je treba uvesti strokovne objektivne metode, kot je modeliranje, da bi se izognili subjektivnem izločanju varovalnih in zaščitnih gozdov.

## 6 SUMMARY

Protection forests have an important role of mitigating the influence of various natural hazards such as rockfall, avalanches, landslides, torrents and debris flows. In Soteska gorge, between Bled and Bohinj, an assessment of protective forest efficiency against debris flow was performed. We defined debris flow impact areas with modelling and made a delineation of protection forests that protects the infrastructure (road and railway) against debris flows. According to the discrepancy between protection forest target profile and actual state of the structural characteristic of forest management guidelines were given and necessity for measures was defined.

Study area is represented by steep slopes with protection forests between 470 and 1100 m asl. on the right bank of Sava Bohinjka River. The dominant associations are *Anemone trifoliae-Fagetum*, *Ostryo-Fagetum* and *Ostryo-Ornetum*. Here, we established 26 sampling plots where all live trees with dbh greater than 10 cm were recorded. Regeneration was sampled and stand description was made according to NaiS method. The Geological Survey of Slovenia created the geological map and debris flow susceptibility map of the study area. For debris flow modelling we used TopRunDF model, where debris flow starting points were obtained from the susceptibility map of the study area. The average growing stock of all sample plots was 388 m<sup>3</sup>/ha and basal area accounted for 30.9 m<sup>2</sup>/ha. Beech was dominant tree species with 64 % in growing stock, followed by Norway spruce with 22 %, hop-hornbeam with 4 %, European larch with 3 % while the rest of three species (sycamore maple, whitebeam, silver fir, manna ash) accounted for 7 %. Regeneration of main tree species, beech and Norway spruce, was sparse. Frequency distribution indicates even-aged struc-

ture on lower less steep parts of the slopes, while on the upper more steep and thermophilic sites above cliff faces low forest of hop-hornbeam and manna ash prevails (*Ostryo-Ornetum*). TopRunDF model was used to develop the debris flow warning map. To enhance the protective function of forests general management guidelines are given: maintaining smaller-dimension trees is preferable, since such trees are proven to be more stable on steep slopes. Coverage of woody vegetation should be high, as a dense, interconnected root system keeps the soil together, reducing the possibility of landslides or erosion scars that can trigger a debris flow. Hop-hornbeam and manna ash should be favoured if present, as they form dense stands and easily resprout. In stands small regeneration patches should be formed and small scale irregular shelterwood structure promoted. On torrents and areas with deposited rocky debris silvicultural measures are not feasible. These areas represent 40 % of debris flow impact areas. Here, hydro-technical measures can be applied to ensure the protection of infrastructure, i.e. a series of check dams in torrents, flexible net barriers, torrent-to-fan transitions, and deflection dams can be erected. To avoid subjectivity in delineation of protection forest in the future, objective methods such as modelling need to be implemented.

## 7 VIRI

## 7 REFERENCES

- ARSO. 2009. Klimatski podatki za 30- letno obdobje, Stara fužina. 2009. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- Brang P., Schönenberger W., Frehner M., Schwitter R., Thormann J.J., Wasser B. 2006. Management of protection forests in the European Alps: an overview. *Forest Snow and Landscape Research*, 80: 23–24.
- Ellenberg H. 1996. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Ökologischer, Dynamischer und Historischer Sicht* (5th edn). Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, Germany, 1095 str.
- Ellenberg H., Klötzli F. 1972. *Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitteilungen der Schweizerische Anstalt für das forstliche Versuchswesen*, vol. 48, 930 str.
- Fidej G. 2011. *Presoja varovalnega učinka gozda pred drobirskimi tokovi v soteski Save Bohinjke: diplomsko delo*. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Fakulteta za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire).

- Ljubljana, samozaložba: 110 str.
- Frehner M., Wasser B., Schwitter R. 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Switzerland, 564 str.
- Guček M., Bončina A., Diaci J., Poljanec A., Rugani T. 2012. Gozdovi s poudarjeno zaščitno in varovalno funkcijo: značilnosti, valorizacija in gospodarjenje. *Gozdarski vestnik*, 70, 2: 59–71.
- Janowiak M.K., Nagel L.M., Webster C.R. 2008. Spatial scale and stand structure in northern hardwood forests: implications for quantifying diameter distributions. *Forest Science*, 54: 497–506.
- Komac, M. 2005. Verjetnostni model napovedi nevarnih območij glede na premike pobočnih mas - primer občine Bovec. *Geologija*, 48/2: 311–340.
- Korpel S. 1995. Die Urwälder der Westkarpaten. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, Jena, New York, 310 str.
- Leibundgut H., 1982. Europäische Urwälder der Bergstufe. Dargestellt für Forstleute, Naturwissenschaftler und Freunde des Waldes. P. Haupt, Bern, 308 str.
- Lopez Saez J., Corona C., Stoffel M., Gotteland A., Berger F., Liébault F. 2011. Debris-flow activity in abandoned channels of the Manival torrent reconstructed with LiDAR and tree-ring data. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 1247–1257.
- Marinček L., Čarni A. 2002. Komentar k vegetacijski karti gozdnih združb Slovenije v merilu 1:400.000. Ljubljana, Založba ZRC, Biološki inštitut Jovana Hadžija ZRC SAZU, Ljubljana, 60 str.
- Meyer P., Tabaku V., von Lüpke B. 2003. Structural characteristics of Albanian beech (*Fagus sylvatica* L.) virgin forests - Deductions for semi-natural forestry. *Forstwesen Centralblatt*, 122: 47–58.
- Mikoš M. 2001. Characteristics of Debris-Flows. *Ujma*, 14-15: 295–299.
- O'Hara K. L. 2006. Multiaged forest stands for protection forests: concepts and applications. *Forest snow and Landscape research*, 80, 1: 45–55.
- Ott E., Frehner M., Frey H.U., Lüscher P. 1997. Gebirgsnadelwälder: praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Verlag Paul Haupt, Bern, Stuttgart, Wien, 287 str.
- Otto H.J. 1994. Waldökologie. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 391 str.
- Pravilnik o metodologiji za določanje območij, ogroženih zaradi poplav in z njimi povezane erozije celinskih voda in morja, ter o načinu razvrščanja zemljišč v razrede ogroženosti. 2007. Ur. l. RS št. 60/07.
- Ribičič M. 2001. Debris Flow at Log pod Mangartom. *Ujma*, 14-15: 102–108.
- Scheidl C. 2009. English manual for using TopRunDF (v. 1.0). Web site, 9 str.
- Schütz J.P. 2001. Opportunities and strategies of transforming regular forests to irregular. *Forest Ecology and Management*, 151: 87–94.
- Seidl R., Rammer W., Lexer, M.J. 2011. Adaptation options to reduce climate change vulnerability of sustainable forest management in the Austrian Alps. *Canadian Journal of Forest Research*, 41: 694–706.
- Sodnik J., Mikoš M. 2006. Ocena magnitud drobirskih tokov v izbranih hudourniških območjih v Sloveniji. *Acta Geographica Slovenica*, 46, 1: 93–123.
- Splechna B.E., Gratzner G., Black B.A. 2005. Disturbance history of a European old-growth mixed-species forest - A spatial dendro-ecological analysis. *Journal of Vegetation Science*, 16: 511–522.
- Wehrli A., Brang P., Bernhard M., Philippe D., Binder F., Lingua E., Ziegner K., Klee Maye K., Dorren L. 2007. Schutzwaldmanagement in den Alpen – eine Übersicht. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 158, 5: 142–156.