

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

Luka NOVAK

**SESTOJNA ZGRADBA IN NEVARNOST
PADAJOČEGA KAMENJA V SOTESKI PRI
BOHINJU**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2014

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

Luka NOVAK

**SESTOJNA ZGRADBA IN NEVARNOST PADAJOČEGA KAMENJA
V SOTESKI PRI BOHINJU**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**STAND STRUCTURE AND ROCKFALL HAZARD IN SOTESKA
GORGE NEAR BOHINJ**

GRADUATION THESIS
University Studies

Ljubljana, 2014

Diplomsko delo je zaključek univerzitetnega študija gozdarstva. Opravljeno je bilo na Oddelku za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Komisija za študijska in študentska vprašanja Oddelka za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire BF je dne 18.11.2014 sprejela temo in za mentorja diplomskega dela imenovala prof. dr. Jurija Diacija, za recenzenta pa doc. dr. Janeza Pirnata.

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Podpisani izjavljam, da je diplomsko delo rezultat lastnega raziskovalnega dela. Izjavljam, da je elektronski izvod identičen tiskanemu. Na univerzo neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravici shranitve avtorskega dela v elektronski obliki in reproduciranja ter pravico omogočanja javnega dostopa do avtorskega dela na svetovnem spletu preko Digitalne knjižnice Biotehniške fakultete.

Luka Novak

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	GDK 934:233:116.64(497.4Soteska pri Bohinju)(043.2)=163.6 padajoče kamenje/varovalni gozd/varovalna
KG	funkcija/zaščita/RockyFor3D/Soteska/Bohinj/modeliranje/gospodarjenje z varovalnimi gozdovi
KK	
AV	NOVAK, Luka
SA	DIACI, Jurij (mentor)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire
LI	2014
IN	SESTOJNA ZGRADBA IN NEVARNOST PADAJOČEGA KAMENJA V SOTESKI PRI BOHINJU
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	IX, 107 str., 13 pregl., 42 sl., 8 pril., 94 vir.
IJ	sl
JJ	sl/en
AI	

Namen naloge je preučiti varovalne gozdove in proces padajočega kamenja ter določiti ogrožene odseke prometne infrastrukture v Soteski pri Bohinju. Simulacijo procesa padajočega kamenja smo opravili s programom RockyFor3D. Na terenu smo zakoličili 49 vzorčnih ploskev. Popisali smo živa drevesa s prsni premerom ≥ 10 cm. V lesni zalogi prevladujejo bukev (59 %), smreka (26 %) in črni gaber (8 %). Pregled števila dreves bukve in smreke pokaže pomanjkanje dreves v nižjih debelinskih stopnjah. Območje ogroženosti smo določili z uporabo podatkov o energiji, kar priporočajo tudi avtorji programa. Učinek gozda je premajhen za ustrezno zmanjšanje energije padajočega kamenja ter s tem zagotavljanje zaščitne funkcije pred padajočimi skalami velikosti 1 m³. Skupno je ogroženih 3.050 m železnice in 4.750 m ceste. Podatki o številu odloženega kamenja kažejo, da gozd nudi boljšo zaščito pred padajočim kamenjem, kot negozdna površina. Vpliv gozda na padajoče kamenje se povečuje z večanjem dolžine med skalnim izvorom in ogroženo infrastrukturo. Gozdnogojitveni ukrepi morajo biti usmerjeni predvsem v zagotavljanje trajne varovalne funkcije gozda. V enomernih sestojih in starejših debeljaki moramo poskrbeti za posek drevja, ne glede na pravilne razmere. Na najbolj ogroženih odsekih smo predvideli gradbeno-tehnične ukrepe v obliki dinamičnih podajno-lovilnih ograj in podaljšanja železniške galerije.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	FDC 934:233:116.64(497.4Soteska pri Bohinju)(043.2)=163.6 rockfall/protection forest/protective function/natural
CX	hazard/RockyFor3D/Soteska/Bohinj/simulation model/protective forest management
CC	
AU	NOVAK Luka
AA	DIACI, Jurij (supervisor)
PP	SI-1000 Ljubljana, Večna pot 83
PB	University of Ljubljana, Biotechnical faculty, Department of forestry and renewable forest resources
PY	2014
TI	STAND STRUCTURE AND ROCKFALL HAZARD IN SOTESKA VALLEY IN BOHINJ
DT	Graduation thesis (University Studies)
NO	IX, 107 p., 13 tab., 42 fig., 8 ann., 94 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	

The purpose of this study was to examine protective forests, their effect on rockfall hazard and to determine the endangered sections of transport infrastructure in Soteska gorge near Bohinj. For rockfall simulation, we used RockyFor3D model. We set up 49 sample plots. We recorded live trees with breast diameter ≥ 10 cm. Beech (59%), spruce (26%) and hornbeam (8%) dominated the growing stock. Number of beech and spruce trees showed a lack of trees in the lower diameter at breast height classes. Endangered areas were determined using energy data, as recommended by the program's authors. Forest effect was too small to adequately reduce energy of falling rocks, and thereby ensuring protection against 1 m³ falling rocks. Data on the number of deposited rocks suggested that the forest provided a better protection against rockfall, than non-forested area. Forest effect on rockfall increased with increasing length between the rock source and threatened infrastructure. Silvicultural measures should be focused primarily on ensuring permanent forest protective function. In uniform stands or older stands trees should be cut down, regardless of skidding conditions. In areas where silvicultural measures cannot provide sufficient protection, dynamic fences and extension of the railway anti-avalanche galleries are needed.

KAZALO

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION	IV
KAZALO.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VI
KAZALO SLIK.....	VII
KAZALO PRILOG	IX
1 UVOD.....	1
2 PREGLED LITERATURE	2
2.1 VAROVALNI GOZD	2
2.1 PADAJOČE KAMENJE	17
2.3 METODE DOLOČANJA OBMOČIJ IN NEVARNOSTI PADAJOČEGA KAMENJA	29
3 NAMEN, CILJI IN HIPOTEZE NALOGE	37
4 PREDSTAVITEV OBMOČJA RAZISKAVE.....	38
4.1 PROSTORSKA UMEŠČENOST	38
4.2 LASTNOSTI OBJEKTA RAZISKAVE	39
4.3 ANALIZA PRETEKLEGA GOSPODARJENJA IN DOGODKOV	41
4.4 FUNKCIJE GOZDOV	48
4.4 KLIMATSKE ZNAČILNOSTI.....	51
4.5 DOGODKI NA CESTI IN ŽELEZNICI TER V GOZDU	53
5 METODE DELA.....	58
5.1 TERENSKA IZVEDBA.....	58
5.1.1 Popis ploskev	58
5.1.2 Opis lastnosti terena	60
5.1.3 Popis sestojev	61
5.2 ANALIZA PODATKOV	62
5.2.1 Analiza podatkov popisnih ploskev in sestojev	62
5.2.2 RockyFor3D V5.1	63
5.2.2.1 Priprava podatkov za simulacijo in delovanje programa.....	63
5.2.2.2 Potek simulacije v program RockyFor3D	64
6 REZULTATI	68
6.1 SPLOŠNA PODOBA GOZDA	68
6.2 SIMULACIJA PADAJOČEGA KAMENJA S PROGRAMOM ROCKYFOR3D	74
7 RAZPRAVA.....	86
7.1 SPLOŠNA PODOBA GOZDA	86
7.2 SIMULACIJA S PROGRAMOM ROCKYFOR3D	87
7.3 OGROŽENOST CESTE IN ŽELEZNICE TER UKREPI.....	89
8 SKLEPI.....	93
9 POVZETEK	95
10 VIRI.....	99
ZAHVALA.....	108
PRILOGE	109

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pospeševalni in sprožilni mehanizmi padajočega kamenja ((x) – manj pomemben, x – pomemben, xx – zelo pomemben dejavnik, prirejeno po Krautblatter in Dikau, 2007)	21
Preglednica 2: Podatki o premeru skale, masi skale, dolžini skoka, višini skoka, najvišji hitrosti in najvišji energiji pri naklonu 35°, prirejeno po Rickli in sod., 2004)	22
Preglednica 3: Posek v odsekih 8v, 9v, 10v in 67a v obdobju 1979–1994	45
Preglednica 4: Posek v odsekih 8v, 9v, 10v in 67a v obdobju 1996–2014	45
Preglednica 5: Posek v odsekih 140v, 141v, 142a, 142v, 143b, 143v, 144a, 144v v obdobju 1979–1990	45
Preglednica 6: Posek v odsekih 140v, 141v, 142a, 142v, 143b, 143v, 144a, 144v v obdobju 1991–2002	46
Preglednica 7: Posek v odsekih 140v, 141v, 142a, 142v, 143b, 143v, 144a, 144v v obdobju 2003–2014	46
Preglednica 8: Letni posek v odsekih	47
Preglednica 9: Strukturne značilnosti gozda v Soteski	70
Preglednica 10: Sestojni parametri bukovih sestojev in sestojev na ekstremnih rastiščih ..	71
Preglednica 11: Število mladja po drevesnih vrstah na ploskvah	73
Preglednica 12: Podatki o številu poškodb in št. poškodovanega drevja	74
Preglednica 13: Podatki o količini in velikosti zadržanega kamenja	74

KAZALO SLIK

Slika 1: Območje varovalnih gozdov v Sloveniji (vir: Grafični prikaz ..., 2013)	5
Slika 2: Razvojne faze gozda in spremembe varovalne funkcije (priredil G. Fidej, 2011, po Dorren in Berger, 2006a)	9
Slika 3: Hipotetična odpornost dveh raznodobnih sestojev (A in B) in enodobnega sestoja (C). Sestoj A ima krajši čas obhodnje kot sestoj B. Če odpornost sestoja zagotavljajo velika drevesa, potem je najprimernejši sestoj A. Odpornost pri enodobnem sestoju je večja, vendar ima tudi večji interval nihanja (priredil S. Pintar, 2012, po O'Hara, 2006).	11
Slika 4: Hipotetična elastičnost enodobnega in raznodobnega sestoja v času obhodnje enodobnega sestoja oz. treh cikličnih ukrepanjih v raznomernem sestoju. V diagramu je predpostavljeno, da elastičnost predstavlja pomladek, ki ga običajno v enodobnem gozdu v starosti ni, v raznodobnem pa je vedno prisoten v različnih količinah (priredil G. Fidej, 2011, po O'Hara, 2006).	11
Slika 5: Preglednica korakov v projektu SilvaProtect-CH (prirejeno po Giamboni in Wehrli, 2008)	12
Slika 6: Primer določanja varovalnih gozdov po metodi SilvaProtect-CH (priredil G. Fidej, 2011, po Wehrli, 2007)	13
Slika 7: Ciljno število in prsni premer osebkov mladja za zagotavljanje varovalno-zaščitne funkcije (prirejeno po Bachofen, 2009)	16
Slika 8: Primer razmejitve območij padajočega kamenja (prirejeno po Dorren in sod., 2007)	19
Slika 9: Skica gibanja kamenja in skal glede na naklon terena (prirejeno po Dorren, 2003)	22
Slika 10: Razmejitev udarcev kamenja na vertikalni osi debla (prirejeno po Dorren in sod., 2005)	23
Slika 11: Delež kamnov in spremembe generalne smeri gibanja glede na mesto udarca (prirejeno po Dorren in sod., 2005)	24
Slika 12: Primer dinamične podajno-lovilne ograje na cesti št. SP76 pri Rabeljskem jezeru v Italiji	27
Slika 13: Maksimalni (F) in minimalni (M) senčni kot (prirejeno po Meissel, 1998, cit. po Dorren, 2003)	30
Slika 14: Metoda CONEFALL (prirejeno po Jaboyedoff in Labiouse, 2003)	31
Slika 15: Prikaz principa drevesnih zaves v programu Rockfor ^{NET} (prirejeno po Berger in Dorren, 2007)	32
Slika 16: Lokacija območja raziskave (Geopedia, 2013)	38
Slika 17: Odseki in območje raziskave v Soteski	49
Slika 18: Varovalna (temno zelena) in zaščitna (oranžna) funkcija v Soteski	50
Slika 19: Klimatološki diagram za meteorološko postajo Stara Fužina za obdobje 1971–2000 (Klimatološki podatki, 2014)	52
Slika 20: Skala (v rdečem okvirju) in podrto drevje ob progi v Soteski, odsek 140v (zajem slike Youtube, Zelenec97, 2013)	55
Slika 21: Zasuta železniška proga v Soteski septembra 2007 (foto: Aleš Zdešar)	56
Slika 22: Drobirski tok v Soteski septembra 2007 (foto: Aleš Zdešar)	57
Slika 23: Slikovni primer MOH-a (Dorren, 2012)	61

Slika 24: Začetno okno programa RockyFor3D	65
Slika 25: Porazdelitev števila dreves po drevesnih vrstah v Soteski	68
Slika 26: Porazdelitev lesne zaloge po drevesnih vrstah v Soteski	69
Slika 27: Število dreves po debelinskih stopnjah	70
Slika 28: Stabilnostni deleži po drevesnih vrstah	72
Slika 29: Karta ogroženosti E95 za prvo območje brez gozda (enote v legendi so v kJ)....	75
Slika 30: Karta ogroženosti E95 za prvo območje z dejanskim gozdom (enote v legendi so v kJ).....	76
Slika 31: Profilni graf vrednosti energij E95 za prvo območje ceste	77
Slika 32: Profilni graf vrednosti energij E95 za tretje območje ceste	78
Slika 33: Profilni graf vrednosti energij E95 za prvo območje železnice	79
Slika 34: Profilni graf vrednosti energij E95 za tretje območje železnice	79
Slika 35: Karta s številom odloženega kamenja na prvem območju brez gozda (v legendi so prikazani razredi s št. odloženega kamenja)	80
Slika 36: Karta s številom odloženega kamenja na prvem območju z dejanskim gozdom (v legendi so prikazani razredi s št. odloženega kamenja)	81
Slika 37: Karta s številom odloženega kamenja na drugem območju z dejanskim gozdom (v legendi so prikazani razredi s št. odloženega kamenja).....	82
Slika 38: Karta s številom odloženega kamenja na drugem območju s prebiralnim gozdom (v legendi so prikazani razredi s št. odloženega kamenja).....	82
Slika 39: Profilni graf števila odloženega kamenja za prvo območje ceste za vse tri scenarije.....	83
Slika 40: Profilni graf števila odloženega kamenja za tretje območje ceste za vse tri scenarije.....	84
Slika 41: Profilni graf števila odloženega kamenja za prvo območje železnice za vse tri scenarije.....	84
Slika 42: Profilni graf števila odloženega kamenja za tretje območje železnice za vse tri scenarije.....	85

KAZALO PRILOG

Priloga A: Obrazec za popis ploskev.....	109
Priloga B: Obrazec za popis terena.....	110
Priloga C: Obrazec za popis sestojev	111
Priloga D: Karta ogroženosti E95 za celotno območje Soteske brez gozda (enote v legendi so v kJ)	112
Priloga E: Karta ogroženosti E95 za celotno območje Soteske z gozdom (enote v legendi so v kJ)	113
Priloga F: Karta ogroženosti E95 za 3. območje Soteske brez gozda (enote v legendi so v kJ).....	114
Priloga G: Karta ogroženosti E95 za 3. območje Soteske z gozdom (enote v legendi so v kJ).....	115
Priloga H: Število odloženega kamenja za tretje območje Soteske z gozdom (v legendi so prikazani razredi s št. odloženega kamenja)	116

1 UVOD

Severozahodni in severni del Slovenije spada v alpski prostor, kjer je teren zelo razgiban, s strmimi pobočji, ostrimi klimatskimi pogoji in velikimi višinskimi razlikami. Gorata območja so bila vedno podvržena najrazličnejšim geomorfološkim in erozijskim procesom. V Sloveniji in drugih državah t. i. alpskega loka redno beležimo snežne in zemeljske plazove, usade, drobirske tokove, zdrse zemljin, skalne podore in padajoče kamenje. Vsi ti procesi so nevarni za človeka in njegovo lastnino, kot tudi za javno infrastrukturo (ceste, železnice, mostovi, predori, električno omrežje ipd.). Zavedati se moramo, da so ti procesi lahko nenadni in izredno siloviti. S pomočjo gozda lahko del teh procesov oz. njihov vpliv na infrastrukturo odpravimo ali deloma omilimo. Tam, kjer to ni možno, so priporočljivi gradbeno-tehnični ukrepi (predori, galerije, podajno-lovilne mreže ipd.).

V sledeči nalogi smo opravili analizo gozda in njegove varovalno-zaščitne funkcije pred padajočim kamenjem na območju Soteske med Bledom in Bohinjem. Na tem območju so cestna in železniška infrastruktura, električno omrežje, kulturni spomenik državnega pomena in manjša hidroelektrarna.

V Sloveniji ima 10 % gozdov varovalno funkcijo, znotraj tega deleža ima okoli 37 % gozdov še zaščitno funkcijo. Največji delež varovalnih gozdov ima območna enota Bled, in sicer 33,9 % (Guček, 2010). V preteklosti se ni veliko gospodarilo z varovalnimi gozdovi, predvsem zaradi tehnične zahtevnosti sečnje in spravila lesa, zahtevnosti načrtovanja ter višine stroškov gospodarjenja. Pri tem je treba poudariti razliko med varovalno in zaščitno funkcijo gozda. Varovalno funkcijo ima, ko preprečuje ali omili proces padajočega kamenja, zaščitno pa takrat, ko zaščiti ljudi in njihovo premoženje pred padajočim kamenjem.

V nalogi smo ugotovili, da lahko gozd učinkovito zaustavlja in zadržuje padajoče kamenje. Prav tako zmanjšuje hitrost in energijo padajočega kamenja, s čimer lahko skrajša njegovo pot. S pomočjo terenskega dela, analize stanja gozda in računalniške simulacije smo opredelili območje nevarnosti padajočega kamenja na celotnem cestnem in železniškem odseku na območju Soteske.

2 PREGLED LITERATURE

2.1 VAROVALNI GOZD

Človek se je zgodaj začel zavedati varovalne in zaščitne funkcije gozda. V Alpah prve prepovedi sečnje segajo v leto 1350 (Berger in Dorren, 2012). Motta in Haudemand (2000) omenjata letnico 1333 prvega pisnega vira z območja varovalnih gozdov v dolini Aoste v Italiji. Kozorog (2004) omenja kot prvo najstarejše zavarovanje gozda leto 1397 nad krajem Andermatt v Švici, kjer je gozd varoval kraj pred snežnimi plazovi. Franz Flameck je leta 1770 prvi izločil varovalne oz. zaščitne gozdove na območju današnje Slovenije. Izločeni gozdovi so bili na območju gozda Kopovišče pri Tolminu. Utemeljitev se je glasila: *»Tukajšnje grmovje in hosta pa služita bolj mimo vodeči cesti, da zadržujeta s koreninami zemljo na kamnitih tleh in tako po izbruhu močnih deževij in od strmih gora deročih vod varujeta cesto pred zasutjem s kamenjem.«*. Omenjena utemeljitev je zelo podobna današnjim kriterijem za varovalno in zaščitno funkcijo (Kozorog in sod., 2012). Kot lahko vidimo, je bil stoletja edini ukrep oz. gospodarjenje z varovalnimi gozdovi zgolj prepoved sečnje. Prvi, ki se je začel zavedati pomembnosti strateških gozdnogojitvenih ukrepov na področju varovalnih gozdov, je bil Landolt. Leta 1862 je zapisal: *»Dolgoročno bomo soočeni s problemom povečanja prestarih gozdov, če te nevarnosti nemudoma in trajno ne preprečimo.«* (Motta in Haudemand, 2000).

Zakon o gozdovih Republike Slovenije (1993) v 43. členu opredeli varovalne gozdove kot tiste gozdove, ki v zaostrenih ekoloških razmerah varujejo sebe, svoje zemljišče in nižje ležeča zemljišča, in gozdove, v katerih je izjemno poudarjena katera koli druga ekološka funkcija. Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o varovalnih gozdovih in gozdovih s posebnim namenom (2009) opredeli varovalne gozdove kot gozdove, ki varujejo zemljišča usadov, izpiranja in krušenja; gozdove na strmih obronkih ali bregovih voda; gozdove, ki so izpostavljeni močnemu vetru; gozdove, ki v hudourniških območjih zadržujejo prenatrsko odtekanje vode in zato varujejo zemljišča pred erozijo in plazovi; gozdne pasove, ki varujejo gozdove in zemljišča pred vetrom, vodo, zameti in plazovi; gozdove v kmetijski in primestni krajini z izjemno poudarjeno funkcijo ohranjanja biotske

raznovernosti ter gozdove na zgornji meji gozdne vegetacije. Uredba vsebuje tudi natančen popis gozdov oz. gozdnih oddelkov z varovalno funkcijo.

Stroka in zakonodaja loči tudi t. i. zaščitno funkcijo, ki je opredeljena v Pravilniku o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo (2010). Zaščitna funkcija je definirana kot funkcija gozda, kadar gozd neposredno nudi zaščito prometnic, naselij in drugih objektov pred naravnimi pojavi, kot so padanje kamenja in peska, snežni zameti, bočni vetrovi in zdrsi zemljišča, ter zagotavlja varnost bivanja in prometa. Poudarjeno zaščitno funkcijo opravljajo zlasti gozdovi na strmih pobočjih nad cesto ali železnico ter pod njo.

V Švici in Italiji ločijo posredno in neposredno varovalno funkcijo. Brang in sod. (2006) so definirali neposredno varovalno funkcijo gozda takrat, kadar je gozd na točno določeni lokaciji in s svojo prisotnostjo nudi zaščito objektom okoli sebe. Kot primer so navedli vas, ki jo gozd ščiti pred snežnimi plazovi. Posredno varovalno funkcijo so definirali kot prisotnost gozda v krajini in ne na točno določenem območju. S svojo prisotnostjo lahko tak gozd ščiti samega sebe in zmanjšuje erozijo ter hudourniške vode. Posredna varovalna funkcija po Brangu in sod. (2006) je podobna slovenskim definicijam varovalnega gozda. Podobno ločevanje na posredno in neposredno varovalno funkcijo sta povzela tudi Motta in Haudemand (2000).

Z varovalnimi gozdovi gospodari Zavod za gozdove Republike Slovenije. V uredbi (2009) so zakonsko določene naloge, ki jih je zavod dolžan izvajati in jih mora zagotavljati:

- pravočasno obnovo oziroma posek prestarega drevja,
- malo površinsko izvajanje sečenj,
- puščanje primerno visokih panjev pri poseku drevja na plazovitih območjih in območjih, kjer je nevarnost snežnih plazov,
- načine spravila in uporabo pravih sredstev, kot je določeno z gozdnogospodarskim načrtom gozdnogospodarske enote,
- sanacijo poškodovanih tal zaradi preprečevanja erozije,
- odstranjevanje drevja iz hudourniških strug,

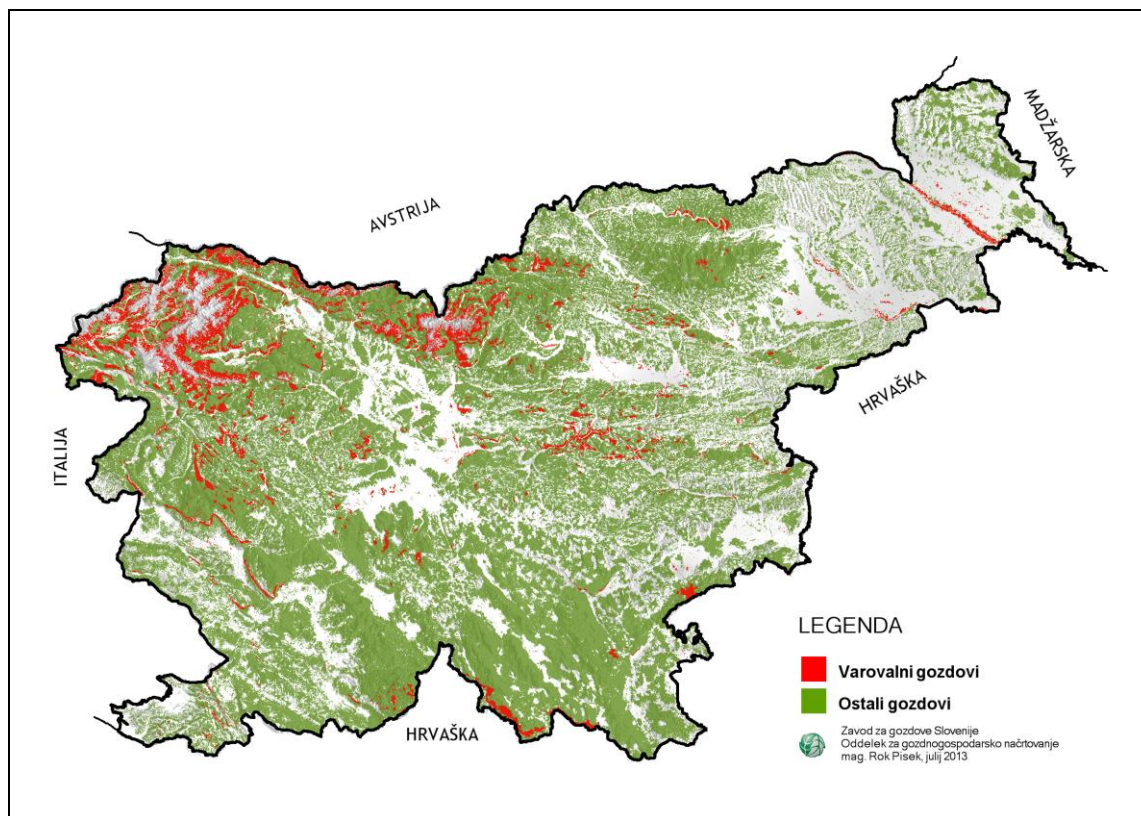
- pravočasno izvedbo vseh gozdnogojitvenih del, ki zagotavljajo ohranitev in stabilizacijo varovalne vloge gozda in
- rabo biološko razgradljivih olj pri delu s stroji in napravami.

Republika Slovenija ima po Zakonu o gozdovih (1993) predkupno pravico pri nakupu varovalnih gozdov iz 43. člena ter prvega, drugega in tretjega odstavka 44. člena tega zakona, razen če je izjemna poudarjenost funkcije, zaradi katere so gozdovi razglašeni za gozdove s posebnim namenom, v interesu lokalne skupnosti. V tem primeru ima predkupno pravico lokalna skupnost. Prav tako je v 48. členu zagotovljeno financiranje za načrtovana dela v varovalnih gozdovih in hudourniških območjih v zasebnih gozdovih ter dela, za katera mora zavod zagotoviti izvedbo.

Površina gozdov s poudarjeno varovalno funkcijo se skozi čas spreminja zaradi spremembe rabe in pomena gozdnega prostora. Z višinsko kolonizacijo, razvojem pašništva, gradnjo prometnic in povečanim izkoriščanjem gozdov se je postopoma povečala raba gorskih območij, ki so bila sicer manj primerna za poselitev in kmetijsko rabo (Guček in sod., 2012). V Franciji se je od leta 1960 turistična dejavnost razširila tudi na odročna gorska območja, ki so se jih ljudje nekoč izogibali, a danes se pričakuje, da bodo ta območja vedno varna in dostopna za turiste. Naselja so zgradili na območjih, ki so nekdanj veljala za nevarna. Prav tako se je v Alpah močno razširila infrastruktura (ceste, avtoceste, železnice, plinovodi, električno omrežje ipd.) (Berger in Dorren, 2012). Varovalni gozdovi nad železniškimi tiri in cestami v Švici so postali zelo pomembni, zato se je povečalo območje varovalnih gozdov (Frehner, 2012). S širjenjem naselij in človekove dejavnosti so se spreminjale tudi spremembe vrednotenja pomena gozdov. Neločljivo so s tem procesom povezane tudi funkcije gozdov, ki jih človek stalno spreminja glede na potrebe do gozda. V Sloveniji so merila za določanje varovalnih gozdov stalno spreminjali, zato se spreminja tudi površina varovalnih gozdov (Guček in sod., 2012).

Površina gozdov z varovalno funkcijo se razlikuje od avtorja do avtorja. Po letnem poročilu Zavoda za gozdove (2013) je v Sloveniji 98.947 ha varovalnih gozdov. Kozorog in sod. (2012) so na podlagi podatkov območnih načrtov za obdobje od 2011 do 2020

ugotovili, da obsega površina gozdov s poudarjeno varovalno funkcijo 191.552 ha, z zaščitno pa 29.958 ha. Zaščitna in varovalna funkcija se prekrivata, in sicer se 44,3 % gozdov z izjemno poudarjeno zaščitno funkcijo prekriva s prvo stopnjo poudarjenosti varovalne funkcije, 32,5 % z drugo stopnjo poudarjenosti varovalne funkcije, 23,2 % pa je ostalih gozdov ob letališčih in protivetrnih zaščitnih gozdovih. Guček in sod. (2012) so analizirali sloje funkcij iz podatkovne baze Zavoda za gozdove. Površina gozdov s prvo stopnjo poudarjenosti varovalne funkcije znaša 158.915 ha, površina gozdov s poudarjeno drugo stopnjo 269.739 ha in površina gozdov s poudarjeno zaščitno funkcijo 29.209 ha. Površina varovalnih gozdov znaša 99.248 ha. Tudi Guček in sod. (2012) so ugotovili prekrivanje funkcij. 39,8 % gozdov z zaščitno funkcijo se prekriva z gozdovi s poudarjeno prvo stopnjo varovalne funkcije, 31,6 % pa z gozdovi s poudarjeno drugo stopnjo varovalne funkcije. Na 28,6 % površin s poudarjeno zaščitno funkcijo varovalna funkcija ni bila določena.



Slika 1: Območje varovalnih gozdov v Sloveniji (vir: Grafični prikaz ..., 2013)

Pri nas in v tujini so funkcije gozdov ena od pomembnih podlag za določanje ciljev gospodarjenja. Cilje, ki jih želimo doseči, si prizadevamo opisati z merili in kazalniki. Pri

tem je treba poudariti, da vse prepoznane funkcije obstajajo zaradi antropocentrične zaznave. Najpogostejše nejasnosti pri sedanjih merilih in kazalnikih določanja funkcij so predvsem opisno opredeljeni pojmi, ki niso metodološko opredeljeni in jih tako ni mogoče primerjati v času. Velike težave imamo pri določanju meril varovalne in zaščitne funkcije, saj sta v svojem bistvu prepleteni in vsebinsko nedorečeni (Planinšek in Pirnat, 2012). Kako uspešni bomo pri gospodarjenju in določanju območij varovalnih gozdov, je odvisno tudi od same klasifikacije ter jasnosti pojmov in navodil. Diaci in sod. (2012) so na posvetu o varovalnih gozdovih ugotovili, da je objektivnejše določanje območij teh gozdov mogoče doseči z enotnimi merili, s sodelovanjem strokovnjakov drugih strok ipd. Berger in Rey (2004) sta jasno zapisala, da si gozdarji na območju Alp želijo jasnih smernic in priporočil za terenska opazovanja ter načrte nujnih ukrepanj. Države alpskega loka bi morale sprejeti skupni vodič kot orodje za odločanje o gospodarjenju z gorskimi varovalnimi gozdovi. Pri tem bi uporabljali načelo naravnega razvoja za zagotavljanje stabilnosti sestoja, ukrepali bi le takrat, ko bi to bilo resnično potrebno.

Gozdovi, še posebej varovalni, ki običajno poraščajo naravnim procesom najbolj izpostavljena območja, imajo pri nastajanju pobočnim masnih premikov pomembno, včasih celo odločilno vlogo (Jež in sod., 2012). Gozdovi lahko doloma ali v celoti preprečijo oz. omejujejo nastanek nekaterih naravnih procesov, kot so erozija, poplave, padajoče kamenje, snežni plazovi itd. (Berger in Rey, 2004). Vendar je sposobnost gozda, da učinkovito varuje pred naravnimi nevarnostmi, v veliki meri odvisna od njegove strukture in dolgoročne stabilnosti (Brang, 2001; Dorren in sod., 2004a; Varovalni gozdovi, 2012). Na primer, gozd z velikim deležem srednje debelih in debelih dreves dobro varuje pred padajočim kamenjem in plazovi (statičen pogled), vendar bo nudil slabo zaščito ob svojem staranju (dolgoročen pogled). Drugače povedano, ker v gozdu z velikim deležem debelih dreves ter s sklenjenimi krošnjami skoraj ni pomladka, ta gozd ne zagotavlja trajne poraslosti tal in ne nudi dolgoročne zaščite. Gospodarjenje z varovalnimi gozdovi je zato zahtevno, saj moramo najti kompromis med sedanjo varovalno vlogo gozda (zagotavljanje zadostnega števila debelih dreves) in vzdrževanjem dolgoročne varovalnosti (oblikovanje večplastnega gozda z zadostnim pomladkom). Ciljna struktura gozda in vrsta gospodarjenja (negospodarjenje ali aktivno gospodarjenje) sta v veliki meri odvisni od vrste nevarnosti, pred katero gozd varuje, kot tudi od položaja na pobočju v

varovalnem gozdu (območje izvora, prehodno območje in območje odlaganja). Nekatera območja, kot so izvori padajočega kamenja in plazov, ki nudijo direktno varovanje infrastrukture, zahtevajo aktivno gospodarjenje s temi gozdovi (Varovalni gozdovi, 2012).

Diaci in sod. (2012) so ugotovili, da naravni razvoj sestojev v Sloveniji kaže na pešanje zaščitnih učinkov gozda pred naravnimi nevarnostmi, na zmanjševanje odpornosti in večjo občutljivost za naravne ujme. Gospodarjenje z varovalnim gozdom v Sloveniji je v primerjavi z drugimi evropskimi alpskimi državami precej skopo. Čeprav so varovalni gozdovi v Sloveniji zaščiteni z zakonom, je v praksi dolgoročno zagotavljanje varovalne vloge resno ogroženo zaradi naslednjih problemov:

1. Splošno mnenje gozdarskih strokovnjakov je, da je neukrepanje v teh gozdovih najboljša strategija gospodarjenja z varovalnimi gozdovi.
2. Zato nam primanjkuje "dobrih praks" gospodarjenja z varovalnimi gozdovi, ki bi upoštevale gojiteljske, tehnološke in ekonomske vidike, prilagojene slovenskim razmeram v varovalnih gozdovih.
3. V večini slovenskih varovalnih gozdov se ne izvaja popisa stalnih vzorčnih ploskev na Zavodu za gozdove, zato nimamo dolgoročnih podatkov o razvoju teh gozdov, ki bi nam lahko bili v pomoč pri gospodarjenju.
4. V zadnjem obdobju se zaradi rasti prebivalstva in razvoja infrastrukture gradijo razni objekti tudi na območjih, ki so bolj ogrožena zaradi naravnih nesreč.
5. Skoraj vse gorske gozdove v Sloveniji je človek s svojim delovanjem v zadnjih nekaj stoletjih bistveno spremenil. Kot posledico imamo danes veliko varovalnih gozdov, ki so homogeni, enodobni, prestari ter brez zadostnega pomladka. Brez ustreznega gospodarjenja, ki bi ohranilo dolgoročno stabilnost, bo varovalna vloga teh gozdov resno ogrožena.
6. Večina znanja o naravnem razvoju in gospodarjenju z varovalnimi gozdovi izhaja iz mešanih gozdov, v katerih prevladujejo iglavci in ki so v osrednjih ter zahodnih Alpah. V Sloveniji v velikem delu teh gozdov prevladuje bukev, kar zahteva drugačen pristop kot v varovalnih gozdovih, v katerih prevladujejo iglavci (Varovalni gozdovi, 2012).

Motta in Haudemand (2000) sta ugotovila, da gozdnogojitveni ukrepi do danes niso bili zadostni, čeprav v zadnjih desetletjih beležimo porast zanimanja za varovalne gozdove s strani številnih institucij. Večina varovalnih gozdov na območju Alp se spopada z več problemi, kot so pomanjkanje pomlajevanja, pomanjkanje srednje starih dreves, slaba stabilnost in vse večja ranljivost pred naravnimi ujмами.

Diaci in sod. (2012) so predlagali naslednje spodbude za gospodarjenje z usmerjenim delovanjem:

- sprememba kategorizacije varovalnih in zaščitnih gozdov,
- izpopolnitev meril za določitev varovalnih in zaščitnih gozdov,
- izboljšanje inventurnih metod,
- ukrepanje v varovalnih in zaščitnih gozdovih,
- izvajanje ukrepov in nadzora,
- ureditev sistema financiranja,
- izobraževanje in delo z javnostjo,
- vključitev gospodarjenja z varovalnimi in zaščitnimi gozdovi v sistem celovitega obvladovanja ogroženosti pred naravnimi nesrečami.

Berger in Rey (2004) sta ugotovila, upoštevajoč naravne nevarnosti na določenem območju in finančni vidik, da je pri zagotavljanju zaščitne funkcije najučinkovitejši preventivni pristop, in sicer kartiranje območja nevarnosti ter prepoved gradnje infrastrukture in zasebnih objektov. Gozd razdelimo v cone v štirih korakih na podlagi arhivov, obstoječih kart, terenskega opazovanja in modeliranja. Končni izdelek je tematska karta z označenimi območji nevarnosti, prepovedjo gradnje in ikonami. Vsaka od ikon vsebuje podatke o vrsti nevarnosti, njeni stopnji učinka ter šifriran opisni del. Prav tako so dodana priporočila in navodila za gospodarjenje tako za javne kot tudi zasebne gozdove. Na koncu karte predstavijo javnosti. Metoda je v uporabi v Franciji in je obvezni del načrta za preprečevanje nevarnosti t. i. RPP – *risk prevention plan*.

Gozd je seveda kompleksen ekosistem, ki ima svoje zakonitosti. Podvržen je naravnim motnjam in ciklični razvojni dinamiki, s katero se spreminja tudi varovalno-zaščitna funkcija (Motta in Haudemnad, 2000). Razvojni krog sestoja in njegovo zmožnost

varovanja sta podrobno opisala Dorren in Berger (2006a) v t. i. panarhični teoriji, ki sta jo prilagodila glede na gozdni cikel. Gozdovi stalno krožijo oz. se razvijajo in propadajo od inicialne faze do optimalne faze in nazaj, kot je prikazano na sliki 2. V prehodu med fazami se gozdna struktura ruši ali razvija. Starejši gozd je dovzetnejši za gradacije podlubnikov, naravne motnje ipd. Tako je v času prehodov varovalna funkcija gozda zmanjšana. Celoten cikel lahko v evropskih razmerah traja 250 let.



Slika 2: Razvojne faze gozda in spremembe varovalne funkcije (priređil G. Fidej, 2011, po Dorren in Berger, 2006a)

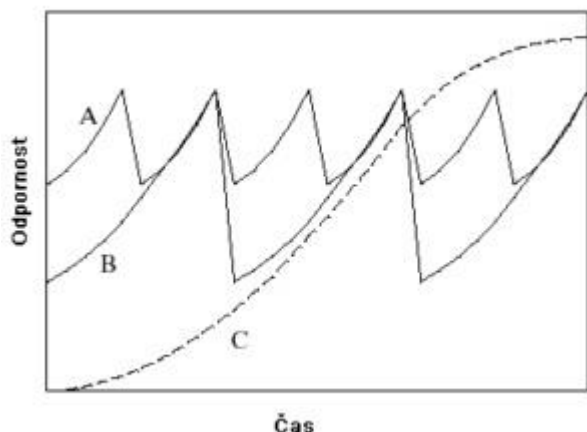
Brang (2001) je ugotovil, da se sicer gospodari z varovalnimi gozdovi, ne zagotavlja pa se odpornosti in elastičnosti varovalnega gozda pred naravnimi motnjami. Na podlagi ekologije, dinamike gozda in različnih motenj v gozdu je razvil in predstavil koncept t. i. odpornosti in elastičnosti (ang. *resistance and elasticity*). Odpornost je definiral kot relativno nespremenjenost gozda oz. sestoja glede na vpliv naravne ali človeške motnje, elastičnost pa kot hitrost, ki jo potrebuje gozd oz. sestoj za vzpostavitev prvotnega stanja pred nastopom motnje. Brang je ocenil odpornost in stabilnost švicarskih gozdov kot neprimerno. Njegove meritve kažejo, da je 68 % švicarskih gozdov enomernih. Za zagotavljanje odpornosti in elastičnosti v sklopu gospodarjenja z varovalnimi gozdovi je predlagal pet korakov:

- identifikacijo pomembnih motenj (tudi počasne spremembe),

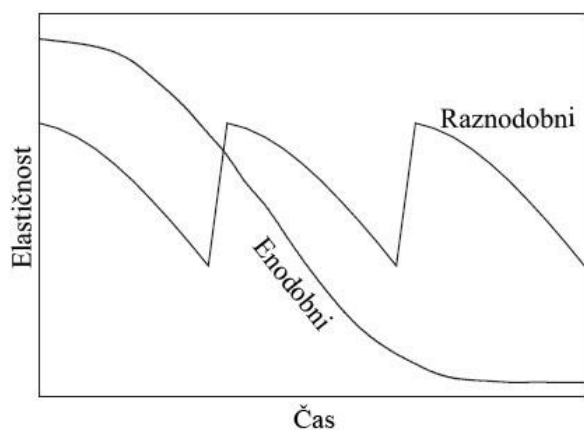
- identifikacijo značilnosti različnih motenj, ki se navezujejo na odpornost in elastičnost gozda,
- določitev spremenljivk za spremljanje teh značilnosti,
- določitev ciljne vrednosti za vsako spremenljivko,
- vključitev odpornosti in elastičnosti v gospodarjenje ter zagotovitev kontrole uspešnosti gospodarjenja.

Prednosti odpornosti in elastičnosti je ugotovil tudi O'Hara (2006). Raznodobni in raznomerni gozdovi imajo potencialno prednost pri zagotavljanju elastičnosti in odpornosti, predvsem zaradi večje pestrosti dreves v vseh debelinskih in starostnih strukturah. Pri morebitni motnji se lažje in hitreje povrnejo v prvotno stanje ali pa so popolnoma neprizadeti. Odpornost dreves proti naravnim motnjam je odvisna predvsem od čvrstosti debla (padajoče kamenje, veter ipd.), razvitosti koreninskega sistema (sidranje v zemljo) in lubja (zaščita pred mrazom, radiacijo, insekti), odpornosti sestoja od gostote in porazdelitve dreves. Elastičnost sestoja se zagotovi s pomladkom, ki preživi motnjo in ima sposobnost hitro nadomestiti uničen sestoj, ter s prisotnostjo dreves v sestoju, ki lahko preživijo motnjo (padajoče kamenje, sedimentni nanos). Večja drevesa zagotavljajo večjo odpornost pred pobočnimi premiki, kot so padajoče kamenje, plazovi, drobirski tokovi ipd. Prisotnost manjših dreves, grmovja, tudi mrtve biomase predstavlja odpornost proti drugim motnjam (grmovna plast pred vetrom, manjše drevje pred nastankom snežnih plazov ipd.).

O'Hara (2006) je medsebojno primerjal stopnje zaščite za različne raznodobne in enodobne sestoje. Najvišja stopnja odpornosti je v enodobnih gozdovih, a le v optimalni fazi. Nekoliko nižjo stopnjo varovanja nudijo raznomerni gozdovi, a zaradi relativno majhnega nihanja v strukturi sestoja nudijo trajnejšo zaščito, kot prikazuje primer na sliki 3. Enodobni sestoji namreč ne nudijo dolgotrajnejše zaščite. Ob določeni motnji bi zaradi prisotnosti mladja raznodobni gozd potreboval manj časa za vzpostavitev predhodnega stanja kot pa enodobni (slika 4).



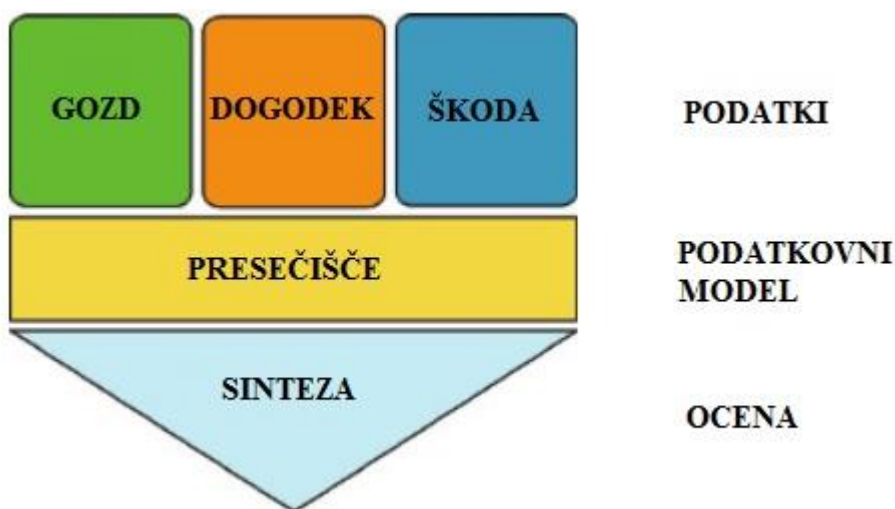
Slika 3: Hipotetična odpornost dveh raznodobnih sestojev (A in B) in enodobnega sestoja (C). Sestoj A ima krajši čas obhodnje kot sestoj B. Če odpornost sestoja zagotavljajo velika drevesa, potem je najprimernejši sestoj A. Odpornost pri enodobnem sestoji je večja, vendar ima tudi večji interval nihanja (priredil S. Pintar, 2012, po O'Hara, 2006).



Slika 4: Hipotetična elastičnost enodobnega in raznodobnega sestoja v času obhodnje enodobnega sestoja oz. treh cikličnih ukrepanjih v raznomernem sestoji. V diagramu je predpostavljeno, da elastičnost predstavlja pomladek, ki ga običajno v enodobnem gozdu v starosti ni, v raznodobnem pa je vedno prisoten v različnih količinah (priredil G. Fidej, 2011, po O'Hara, 2006).

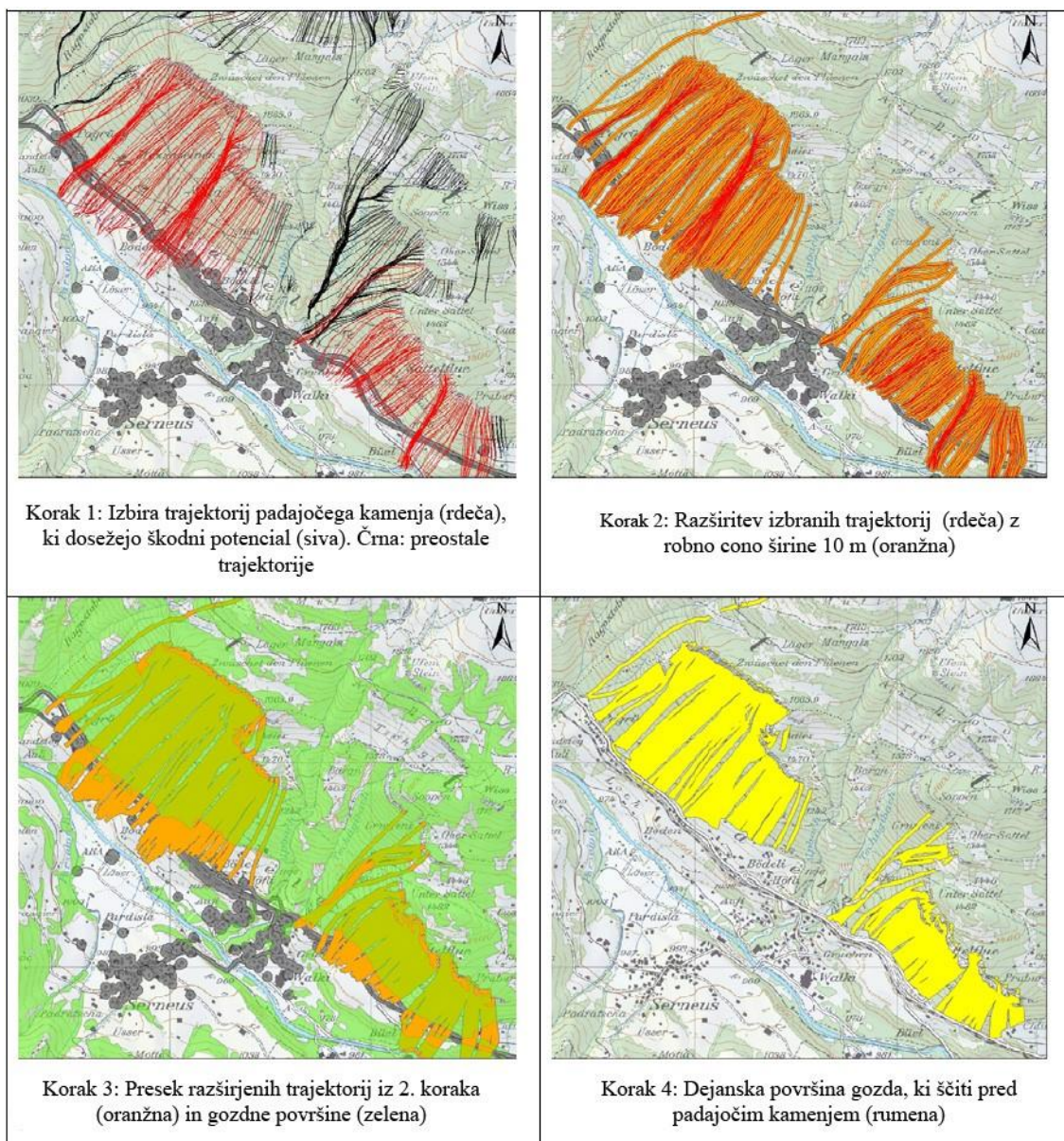
Losey in Wehrli (2012) ter Giamboni in Wehrli (2008) so opisali švicarski projekt definicije in izločanja varovalnih gozdov SilvaProtect-CH, ki se je začel leta 2003 in so ga zasnovali zvezna vlada in kantoni. Sestavljen je iz dveh faz. Prva vključuje določitev izhodišča z oblikovanjem splošno sprejete definicije varovalnega gozda. V drugi fazi so za celotno Švico simulirali procese naravnih nevarnosti, ki so jih povezali s škodnim potencialom in gozdnatim območjem. Zvezni urad za okolje je opravil modeliranje v okolju GIS s petimi moduli (primer na sliki 5 in 6):

- dogodek (geolocirani simulirani podatki za snežne plazove, padajoče kamenje, zemeljske plazove in hudourniške procese),
- škoda (geolocirani podatki za prepoznan škodni potencial),
- presečišče (presečišče modulov dogodek in škoda, s katerim se določijo območja tveganja za naravne nevarnosti),
- silva (sloj gozda),
- sinteza (prekrivanje presečišča in sloja gozda, s katerim se določijo relevantna območja gozda s poudarjeno varovalno vlogo).



Slika 5: Preglednica korakov v projektu SilvaProtect-CH (prirejeno po Giamboni in Wehrli, 2008)

Na podlagi te faze so bili oblikovani usklajeni kriteriji za izločanje varovalnih gozdov, ki so jih kantoni v izvedbeni fazi izločili. Izvedba je bila opravljena v večini kantonov, kjer izločeni varovalni gozdovi predstavljajo 48 % gozdne površine v Švici. V skladu s švicarsko zakonodajo morajo kantoni zagotavljati gospodarjenje z varovalnimi gozdovi, tako da ti gozdovi nudijo zaščito in varovanje. Od leta 2005 se kot instrument za gozdnogojitvene ukrepe in kontrolo uporabljajo smernice NaiS ("Spremljava trajnosti in uspešnosti v varovalnih gozdovih"). Smernice redno posodablja strokovnjaki z najnovejšimi dognanji in tehnologijami gospodarjenja z varovalnimi gozdovi.



Slika 6: Primer določanja varovalnih gozdov po metodi SilvaProtect-CH (prireديل G. Fidej, 2011, po Wehrli, 2007)

Frehner in sod. (2005, 2012) so opisali projekt trajnosti in preverjanja uspešnosti v varovalnih gozdovih NaiS (nemško: *Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald*), ki se je začel leta 2005 in pridobiva veljavo v vseh alpskih državah. Glavna prednost smernic je, da temeljijo na standardiziranem odločanju, ta pa na razpoložljivih informacijah. Smernice so pripravili strokovnjaki iz prakse, prav tako so bile predmet razprav v švicarski skupini za gojenje visokogorskih gozdov. NaiS temelji na sedmih načelih:

- ukrepi so usmerjeni v ohranjanje zadovoljivega varovalnega učinka,
- ukrepi morajo biti na pravem mestu, kjer je verjetno, da bodo imeli pozitivne posledice,
- ukrepi morajo biti izvedeni ob pravem času,
- ukrepi morajo biti izvedeni skladno z naravnimi procesi, gozdno dinamiko in rastiščem,
- ukrepi morajo biti prilagojeni posamičnemu sestoju, transparentno, ponovljivo in nadzorovano,
- ukrepi morajo biti učinkoviti,
- ukrepi morajo biti izvedeni z razumnim vložkom, kjer koristi krepko presegajo stroške.

Ocena potrebe po ukrepanju temelji na primerjavi trenutnega stanja in ciljnega profila gozda ob upoštevanju naravne dinamike gozda (Varovalni gozd, 2012). Za merilo se uporablja minimalni profil, tj. minimalni cilj glede naravnih nevarnosti in rastišča, ki se primerja s predvidenim razvojem sestoja v obdobju 10 in 50 let brez ukrepanja (naravna dinamika). Primerja se vse ključne lastnosti sestoja. Posredovanje je potrebno, če predvideno stanje ne dosega minimalnega profila in če je stanje možno izboljšati z učinkovitimi in razumnimi ukrepi. Za odločitve o vrsti ukrepov je potrebna podrobna analiza. NaiS za področje naravnih nevarnosti opisuje ciljna stanja za snežne plazove, zemeljske plazove, erozijo in drobirske tokove, padajoče kamenje ter hudournike in poplave (Brang in sod., 2006).

Frehner (2012) nadaljuje, da mora biti skladno s sedmimi načeli izvajanje posegov nadzorovano in njihova učinkovitost v subvencioniranem gospodarjenju z varovalnimi gozdovi preverljiva. Nova dognanja in izkušnje morajo biti čim hitreje preneseni v prakso. Preverjanje uspešnosti vključuje štiri stopnje:

- oceno izvedbe, ali so bili načrtovani posegi izvedeni na pravilni lokaciji in strokovno,
- analiza učinkovitosti: kakšen učinek imajo izvedeni posegi oz. izbrane opustitve posegov na stanje gozda,
- gozdnogojitveno preverjanje: v kakšni meri stanje gozda ustreza ciljnemu profilu,

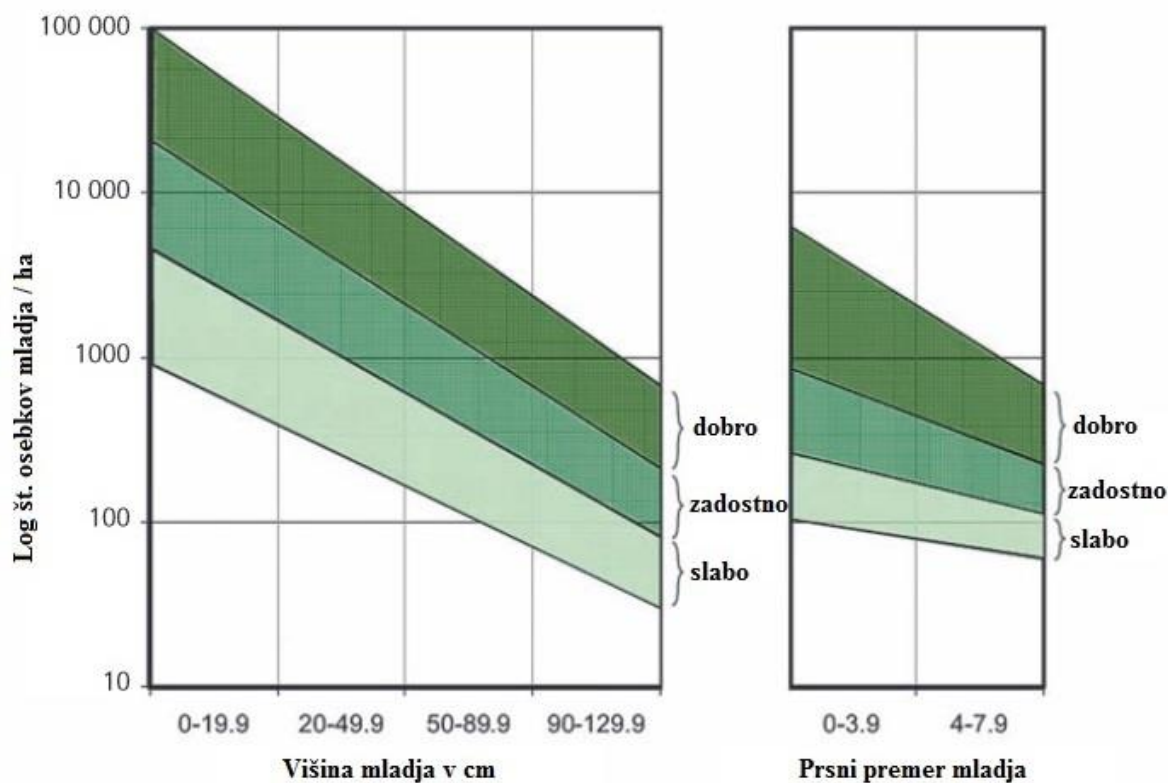
- pregled ciljev: ali so ciljni profili zadostni in primerni.

Center za visokogorsko gozdarstvo organizira številne terenske delavnice in vsak gozdar, ki ima na svojem območju varovalni gozd, se je udeležil vsaj ene. Za izmenjavo izkušenj obstaja spletna stran, kjer lahko kantoni shranjujejo podatke o svojih indikatorskih ploskvah in je dosegljiva vsakomur (Frehner, 2012).

Vienne in sod. (2008) so raziskovali vplive različnih gozdnogojitvenih ukrepov v bukovih sestojih na gostoto dreves in posledično na varovalno-zaščitno funkcijo. Lastnosti oz. profili sestojev za zagotavljanje optimalne varovalno-zaščitne funkcije so zapisani v švicarskih smernicah za gospodarjenje z gorskimi varovalnimi gozdovi. Usmeritve oz. načini gospodarjenja za doseganje teh profilov pa niso tako zelo jasno opredeljeni. Pripravili so dva scenarija, ki so ju poimenovali *redčenje* in *vrzeli*. V prvem so predvideli posek dreves, ki imajo prsni premer višji od 40 cm, v drugem scenariju pa so predvideli pripravo manjših vrzeli (velikosti do 500 m²) na površini do 10 % celotnega sestoja. Pripravili so tudi kontrolni sestoj brez ukrepanj, kjer so bili število dreves, temeljnica sestoja in skupni volumen najvišji. Za simulacijo teh scenarijev so uporabili program BWINPro. V primeru, da so skale večje od 0,2 m³ (premer $\approx$ 0,6 m), so ugotovil, da je ciljni profil v scenariju *vrzeli* prej dosežen kot pa v scenariju *redčenje*. V scenariju *redčenje* je namreč predvideno, da se odstranjujejo debelejša drevesa. Na nekaterih območjih je težko zagotavljati ciljni profil zgolj z bukvijo, zato predlagajo mešanje smreke in jelke. Ker pomlajevanje in obnova v simulaciji nista bila predvidena, je težko realno napovedati število dreves v prihodnosti. Zaključili so, da se morajo znanstvene raziskave v prihodnje bolj posvetiti raziskovanju ciljnih profilov in gozda za zagotavljanje varovalne funkcije.

Bachofen (2009) je poudaril, da je treba za zagotavljanje ali izboljšanje varovalne funkcije zagotoviti mladje, ki je zadostno po številu, primerno razporejeno in sposobno preživetja. Če ni mladja, sčasoma začne varovalno-zaščitna funkcija slabeti, ker v prihodnosti ni zadostnega števila dreves. Natančne definicije "zadostnega pomlajevanja" ni. Večina gozdarjev relativno dobro oceni število potrebnega mladja na podlagi svojih lastnih izkušenj v domačem okolju. NaiS sicer daje jasne smernice za zagotavljanje mladja,

vseeno pa bi bilo dobro določiti ciljne vrednosti. Na podlagi analize dreves s 7 stalnih vzorčnih ploskev je Bachofen določil število potrebnih dreves (slika 7).



Slika 7: Ciljno število in prsni premer osebkov mladja za zagotavljanje varovalno-zaščitne funkcije (prirejeno po Bachofen, 2009)

Pri tem je ugotovil, da je število dreves odvisno od nadmorske višine in produkcijske sposobnosti rastišča. Mortaliteta klic in nekaj let starih osebkov je zelo visoka. Zaradi majhnega števila mladja je ravnotežje gorskega gozda veliko bolj nestabilno. Tako gorski gozd potrebuje več časa, da se odzove na poškodbe in jih omili (primer elastičnosti in odpornosti). Zato sta trajnostno gospodarjenje in zagotavljanje mladja ključnega pomena za dolgoročno zagotavljanje varovalno-zaščitne funkcije. Avtor zaključuje, da ni treba zagotavljati zgolj primerne števila mladja, prsnega premera in njegove višine, temveč je treba zagotoviti tudi mehansko stabilnost celotnega sestoja (Bachofen, 2009).

Brang in Duc (2002) sta preučevala pomlajevanje v švicarskih varovalno-zaščitnih gozdovih, kjer prevladuje smreka. Tako kot Bachofen (2009) sta ugotovila, da je zelo malo raziskav, ki bi preučevala pomlajevanje v varovalno-zaščitnih gozdovih. Prav tako je zelo malo metod za ocenjevanje uspešnosti pomlajevanja na lokalni, regionalni ali državni

ravni. Brang in Duc sta pripravila model za ocenjevanje uspešnosti pomlajevanja na regionalnem ali višjem nivoju. Preučevala sta gorske gozdove, kjer je smreka dominantna vrsta (7,6 % gozdne površine v Švici). Podatke sta pridobila s stalnih vzročnih ploskev švicarskega nacionalnega gozdnega popisa. Uporabila sta statični model izbranih gorskih gozdov in objavljene podatke o pomlajevanju smreke ter tako pridobila ciljne vrednosti za površino mladja. V modelu sta predvidevala:

- čas, ki ga klice oz. mladje potrebuje, da doseže prsni premer 12 cm, je med 70 in 100 leti,
- najvišja starost, pri kateri je sestoj še zmožen nuditi najvišjo stopnjo varovalno-zaščitne funkcije, je od 250 do 350 let,
- delež mikrorastišč, kjer je možen drevesni zastor, je na 65 do 85 % površine sestoja,
- povečanje površine, kjer so klice oz. mladje, znaša od 80 do 800 %,
- stopnja odmiranja klic oz. mladja v mlajših razvojnih fazah znaša od 20 do 50 %.

Na podlagi modela sta ugotovila, da ciljna vrednost površine mladja znaša od 3 do 26 %. Ugotovila sta, da je najverjetnejša vrednost okoli 10 % površine. Širok razpon ciljnih vrednosti kaže, da so nekateri vhodni podatki oz. domneve nezanesljive oz. nenatančne ali niso jasno opredeljene. Podatke ciljnih vrednosti sta primerjala s podatki stalnih vzročnih ploskev. V Švici od 20 do 75 % gorskih gozdov ne izpolnjuje pogojev pomlajevanja. Realna vrednost je okoli 55 %. Zaključila sta, da je skrb zaradi odsotnosti pomlajevanja potrebna le v gozdovih, ki zagotavljajo varovalno-zaščitno ali proizvodno funkcijo.

2.1 PADAJOČE KAMENJE

Padajoče kamenje je geološka nevarnost. Gre za geomorfološki erozijski proces pobočnih masnih premikanj, kamor sodijo še zemeljski tokovi, drobirski tokovi in ostali masni tokovi (Jež in sod., 2012). V Sloveniji se temu problemu ne posveča pretirane pozornosti, čeprav so v letu 2007 v eni izmed slovenskih zavarovalnic prejeli 7 škodnih primerov na avtomobilih zaradi padajočega kamenja (Kunc, 2008). Podatki sicer kažejo, da se večina prometnih nesreč zgodi zaradi kamenja na cesti, ne zaradi udarcev padajočega kamenja (Horvat in sod., 2006a).

Po drugi strani se proces padajočega kamenja in skalnih podorov odvija v neposeljenem okolju ter relativno hitro, zato ostane bolj ali manj neopažen (Zorn, 2002). V zadnjem desetletju beležimo precej primerov skalnih podorov (npr. Col 2006, Srednji Vrh 2006 ter bolnica Franja 2007) in padajočega kamenja (npr. Renke 2006 in Ključ 2006) (Papež in sod., 2010). Berger in Dorren (2012) omenjata nesrečo na avtocesti Gotthard maja 2006 zaradi padajočega kamenja, kjer sta umrli dve osebi. V Sloveniji je padajoče kamenje 27. junija 2014 ubilo avstrijsko motoristko na cesti proti Jezerskemu v kraju Tupaliče (Hanc, 2014). Padajoče kamenje in skale ter skalni podori so torej pogost in nevaren pojav.

Zorn (2002) kvantitativno opredeli podore glede na velikost in prostornino odlomnega roba v 4 razrede:

- padajoče kamenje (velikost odlomnega roba 0,2–0,5 m; prostornina 0,0–0,1 m³),
- padajoče skale (velikost odlomnega roba 0,5–1,5 m; prostornina 0,1–2 m³),
- skalni podori (velikost odlomnega roba 25–100 m; prostornina 10.000–1.000.000 m³),
- podor hriba (velikost odlomnega roba ≥ 100 m; prostornina $\geq 1.000.000$ m³).

Pomanjkljivost preglednice je, da ni opredelitve med kategorijo padajočih skal in skalnih podorov. Podori so opredeljeni še z vidika starosti ter načina in oblike sprožitve. V tej nalogi se bomo posvetili zgolj padajočemu kamenju in padajočim skalam.

Zorn (2002) je razdelil učinke in posledice podorov v pokrajini na tri ločena območja delovanja:

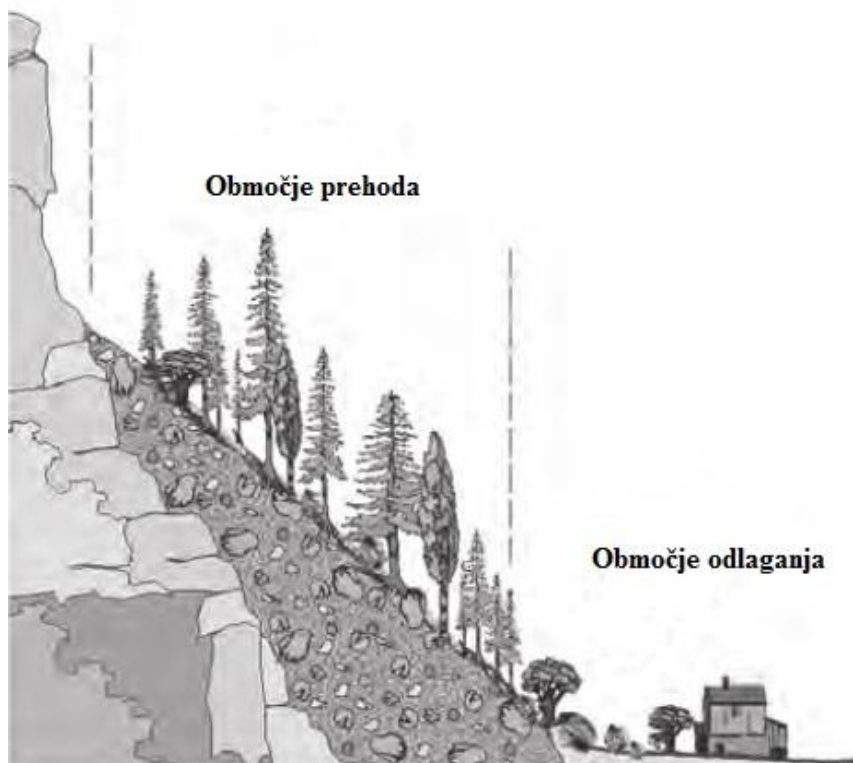
- območje nastanka (spremembe reliefnih oblik na pobočju),
- območje premeščanja (reliefne poškodbe, poškodbe prsti in vegetacije, nastanek zračnih udarov, poškodbe na infrastrukturnih in drugih objektih),
- območje odlaganja (zasutje vegetacije, objektov, komunikacijskih poti, spremembe mikroklimatskih pogojev ipd.).

Dorren in sod. (2007) so prišli do podobne razdelitve, le da je njih zanimal predvsem vidik varovalne funkcije gozda, ki jo je možno zagotoviti z gozdnogojitvenimi ali gradbeno-tehničnimi ukrepi ali obojim. Za finančno ugodnost teh ukrepov je treba vedeti, kje prihaja

do padajočega kamenja, kakšne jakosti so ti dogodki, do kakšne mere gozd zmanjša dolžino poti padajočega kamenja, višine odbojev in energije kamenja ter ali je možno izboljšati varovalne učinke gozda. Območje so razdelili na tri dele, ki so skoraj identični Zornovi (2002) razdelitvi (slika 8):

- območje nastanka, ki je navadno večja skalna stena ali strm teren z neugodnimi lastnostmi (razpoke, tekoča voda ipd.), kjer lahko ocenimo pospeševalce in sprožilce padajočega kamenja,
- območje premeščanja, ki leži med območjem nastanka in območjem odlaganja in kjer so hitrosti in odboji padajočega kamenja najvišji,
- območje odlaganja kamenja, kjer se ustavi večina padajočega kamenja.

Območje izvora



Slika 8: Primer razmejitve območij padajočega kamenja (prirejeno po Dorren in sod., 2007)

Območja se lahko prekrivajo, zato med njimi ni jasnih meja. V vseh treh območjih lahko pridobimo pomembne podatke o pogostosti in jakosti pojava padajočega kamenja, in sicer na podlagi zgodovinskih podatkov (zapisi v kronikah, zemljevidi ipd.), petrokemičnih sprememb na kamnih in odlomni površini skalne stene, količine odloženega materiala, velikosti skal ter dendrokronoloških analiz in celo radiokarbonskega datiranja. V Švici so

dendrokronološke analize v zadnjih letih pogosto v uporabi pri datiranju poškodb zaradi padajočega kamenja ter pogostnosti in jakosti pojavljanja.

Perret in sod. (2006a) so na podlagi dendrokronoloških analiz ugotovili, da se z oddaljenostjo od skalnega izvora število in višina poškodb na deblu zmanjšujeta, kar lahko pripišemo zmanjšanju hitrosti padajočega kamenja zaradi predhodnih udarcev v druga drevesa. Po drugi strani prsni premer ne igra nobene vloge pri številu poškodb na drevo.

Prav tako so Perret in sod. (2006b) na podlagi dendrokronoloških analiz ugotovili, da v zadnjih 100 letih kamenje pada pogosteje. Največ kamenja je verjetno padlo v zgodnji pomladi, v času dormantne sezone. Ugotovili so tudi vpliv temperature na padajoče kamenje. Višje temperature vplivajo na večjo pogostost, nižje na manjšo pogostost padajočega kamenja. Padavine naj ne bi imele vpliva na pogostost.

Tako Dorren in sod. (2007) kot tudi Stoffel in Parret (2006) ter Stoffel (2006) opozarjajo na previdnost pri uporabi dendrokronoloških analiz. Predlagajo bolj naključno izbiro dreves. S tem bi se izognili precenitvi ali podcenitvi pojavljanja padajočega kamenja. Prav tako moramo biti pozorni na izbiro višine in globine vzorčenja, kajti poškodbe so lahko prekrile z novo skorjo. S tem bistveno vplivamo na kakovost podatkov.

Dorren (2003) ter Krautblatter in Dikau (2007) ugotavljajo, da lahko vzroke za padajoče kamenje razdelimo na t. i. pospeševalce in sprožilce. Pospeševalni vzroki so pojavi, ki omogočajo in pospešujejo pojav padajočega kamenja, sprožilci pa so tisti pojavi, ki dejansko v trenutku sprožijo padeč kamna ali skale. Dorren (2003) ugotavlja, da je v večini primerov proženje kamenja kombinacija večjega števila faktorjev (teren, okolje, material, čas, klima ipd.). Prav tako ni vedno jasne razlike med pospeševalci in sprožilci padajočega kamenja. Tak primer je proces zmrzovanja in taljenja vode v skalnih razpokah. Krautblatter in Dikau (2007) sta pripravila preglednico pospeševalnih in sprožilnih mehanizmov (preglednica 1):

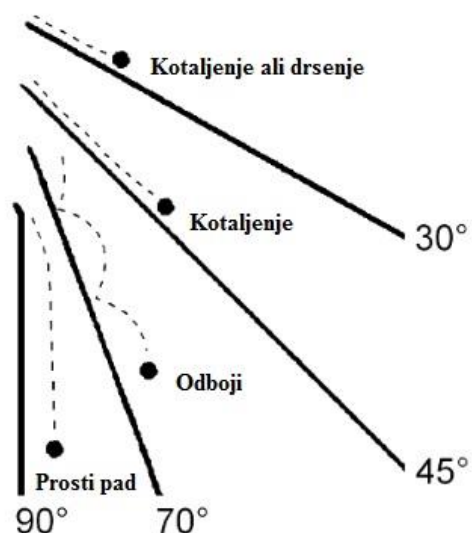
Preglednica 1: Pospeševalni in sprožilni mehanizmi padajočega kamenja ((x) – manj pomemben, x – pomemben, xx – zelo pomemben dejavnik, prirejeno po Krautblatter in Dikau, 2007)

DEJAVNIK	POSPEŠEVALNI MEHANIZEM	SPROŽILNI MEHANIZEM
padavine in vodni pritisk	x	xx
razpoke zaradi zmrzali	xx	(x)
taljenje ledu		xx
kemično preperevanje	xx	(x)
mehanski dejavniki	x	xx
potresi	x	xx
hoja živali		x
plazenje materiala		x
temperaturna nihanja	x	x
veter		x
korenine	x	(x)

Dorren (2003) je opisal gibanje padajočega kamna oz. skale, ko se loči od skalnega izvora. Gibanje kamna je odvisno predvsem od naklona terena. V grobem lahko ločimo prosti pad, odbijanje od tal, kotaljenje, drsenje in na koncu zaustavitve, ki je lahko hipna.

Do prostega pada pride zelo redko, kadar je naklon terena večji od 76° oz. ko se kamen loči od skalnega izvora. Zračni upor ne vpliva na izgubo energije. Azzoni in sod. (1995, cit. po Dorren, 2003) navajajo, da pri prostem padu pride do dveh gibanj, – premik težišča skale in vrtenje skale okoli svojega težišča. Vrtenje je še posebej pomembno zaradi spremembe smeri odboja skale pri kontaktu s terenom.

Pri naklonih terena med 76 in 45° se skala odbija in poskakuje. Pri prvem kontaktu s terenom skala oz. kamen izgubi med 75 in 86% energije in se navadno razbije na več kosov. Pod naklonom 45° pride do prehoda od odbijanja skale do kotaljenja po pobočju. Skala oz. kamen se še vedno vrti zelo hitro po robovih najdaljše stranice. Z manjšanjem naklona ter trenjem skala prične drseti po pobočju, dokler se dokončno ne ustavi. Proces ustavitve je hipen. Gibanja glede na naklon terena so prikazana na sliki 9.



Slika 9: Skica gibanja kamenja in skal glede na naklon terena (prirejeno po Dorren, 2003)

Dorren (2003) zaključi z ugotovitvijo, da je zaustavitev skale odvisna tudi od oblike ter mase skale in (ne)prisotnosti vegetacije. Večje skale imajo večjo kinetično energijo kot manjše, zato se težje ustavijo in jih najdemo dlje od izvora po padnici terena.

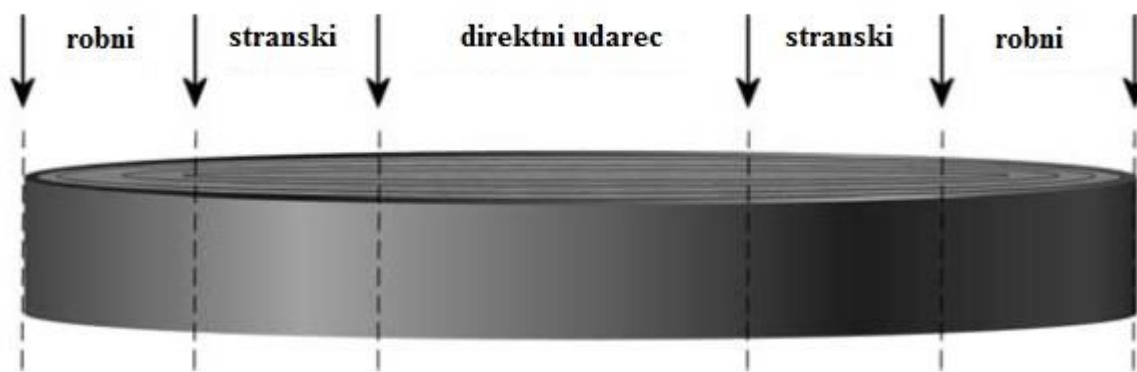
Preglednica 2: Podatki o premeru skale, masi skale, dolžini skoka, višini skoka, najvišji hitrosti in najvišji energiji pri naklonu 35°, prirejeno po Rickli in sod., 2004)

premer skale (m)	masa skale (kg)	dolžina skoka (m)	višina skoka (m)	najvišja hitrost (km/h)	najvišja energija (kJ)
0,23	25	2,2	0,3	23	0,5
0,30	50	2,2	0,3	23	1
0,37	100	5,6	0,7	36	5
0,50	250	9	1,1	46	20
0,63	500	11,2	1,4	54	50
0,80	1.000	11,2	1,4	54	100
1,10	2.500	22,4	2,8	72	500
1,35	5.000	22,4	2,8	72	1.000
1,70	10.000	33,6	4,2	88	3.000

Rickli in sod. (2004) so na podlagi poskusov zbrali podatke o različnih velikostih kamenja in njihovi energiji, dolžini in višini skoka, masi ter najvišji energiji in hitrosti pri naklonu terena 35°. Podatki so zbrani v preglednici 2.

Dorren in Berger (2006b) ter Dorren in sod. (2005) so opazovali učinek padajočega kamenja in skal na posamezno živo drevo. V občinskem gozdu Forêt Communale de Vaujany v Franciji, kjer prevladuje jelka, so izvedli praktični poskus, pri katerem so prožili kamenje in skale po gozdnem in negozdnem pobočju. Pri izračunih energije in hitrosti so si pomagali z visokohitrostnimi snemalnimi kamerami. Ugotovili so, da je vpliv posameznih živih dreves na razpršitev energije padajočega kamenja drugačen, kot so to predvidevale dosedanje raziskave.

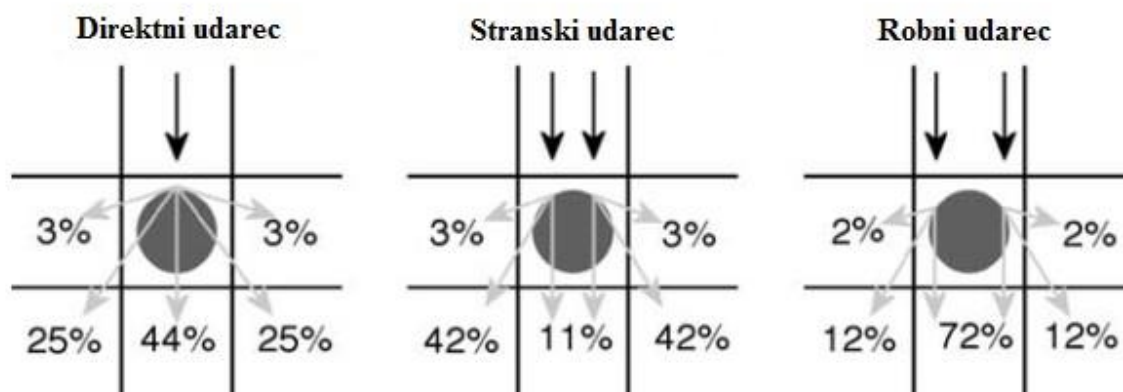
Dosedanje raziskave so temeljile predvsem na statičnih testih puljenja dreves in na dinamičnih poskusih na vzorcih lesa. Mesto udarca kamna ali skale glede na vertikalno os drevesa so ločili na tri območja: direktni, stranski in robni udarec (slika 10). Na podlagi 286 udarcev so določili, da je 63,8 % direktnih, 20 % stranskih in 16,2 % robnih. Pri tem se je 14 % skal pri direktnem udarcu popolnoma zaustavilo, pri stranskem udarcu 20 % in le pri robnem udarcu ni prišlo do zaustavitve skale.



Slika 10: Razmejitev udarcev kamenja na vertikalni osi debla (prirejeno po Dorren in sod., 2005)

Dorren in sod. (2005) so na podlagi tega poskusa ugotovili, da lahko padajoče kamenje poleg poškodb na deblu povzroči tudi izruvanje celotnega drevesa, prepolovitev debla in t. i. hula-hop učinek, kjer zaniha celotno drevo in se odlomi vrh drevesa. Prav tako so dobili

možnost primerjave hitrosti in višine odboja padajočega kamenja ter preostanek nevarnosti padajočega kamenja. Ugotovili so še, da mesto udarca vpliva na odbojni kot, ta pa na nadaljnjo smer padajočega kamenja. Delež kamnov in spremembe generalne smeri odbojev glede na mesto udarca so prikazani na sliki 11.



Slika 11: Delež kamnov in spremembe generalne smeri gibanja glede na mesto udarca (prirejeno po Dorren in sod., 2005)

Do podobnih opisov poškodb drevja je prišel tudi Zinggeler (1989, cit. po Braunner in sod., 2005). Pojavijo se deformacije koreninskega sistema, ukrivljanje in lomljenje debla, zračni upor krošnje in dinamično nihanje debla.

Dorren in sod. (2005) so pri praktičnem poskusu v občinskem gozdu v Franciji ugotovili, da se nevarnost padajočega kamenja oz. doseg kamenja do določene točke (objekta, infrastrukture ipd.) zmanjša za 63 %, če je pobočje pogozdeno. Prav tako se zmanjšata višina odboja in hitrost skale zaradi izgube oz. razpršitve energije.

Brauner in sod. (2005) citirajo Meissla (1998) in Hoesla (2001) pri navajanju možnosti za razpršitev energije padajočega kamenja na območju pogozdenih površin. Gozd omeji del energije padajočega kamenja. Koliko, je odvisno od prsnega premera dreves, gostote sestoja (razdalja med drevesi vpliva na število kontaktov s skalo) in vitalnosti sestoja. Kinetično energijo lahko razpršijo:

- debla, ki lahko absorbirajo do 80 % kinetične energije,
- grmovje oz. talna vegetacija,
- gozdna tla (Dorren (2003) navaja do 86 % absorpcije),

- hrapavost površja zaradi odmrlih dreves in skal.

Dorren in sod. (2005) so na podlagi podatkov poskusa na terenu ugotovili, da je za zmanjšanje energije padajočega kamenja pomembnejše število udarcev kot pa sama debelina drevesa. Pri tem so citirali tudi Jahna (1988), ki je ugotovil, da za zaustavitev manjših skal zadostujejo drevesa z nižjim prsnim premerom, a le če je sestoj dovolj gost. Po drugi strani Dorren in sod. (2005) citirajo Schwitterja (1998), ki priporoča, da je povprečni prsni premer sestoja večji od $1/3$ premera povprečne skale.

Jancke in sod. (2009) so se posvetili raziskavam v panjevskem gozdu. Ugotovili so, da panjevski gozd in sestoji v mlajših razvojnih fazah (ko je gostota dreves visoka) igrajo pomembno vlogo pri zagotavljanju varovalno-zaščitne funkcije pred padajočim kamenjem. Najvišjo možno zaščito nudijo pred padajočim kamenjem, ki je veliko do 20 cm. Zadovoljivo zaščito nudijo tudi pred skalami, ki so velike do 50 cm, a le če so zagotovljeni določeni pogoji (število dreves, razporeditev ipd.). Ti gozdovi pa ne nudijo zaščite pred kamenjem, ki je večje od 1 m.

Dorren in Berger (2006b) sta ugotovila, da je odvisnost med prsnim premerom jelke in maksimalno energijo, ki jo lahko razprši, eksponentna. Ta eksponentna odvisnost se lahko preslika tudi na druge drevesne vrste, pod pogojem znane vrednosti energije preloma. Na zmožnost drevesa, da razprši energijo, vpliva tudi višina udarca padajoče skale oz. kamna ob deblo.

Z gostoto sestoja je povezana razdalja med drevesi. Več avtorjev je ugotovilo, da je učinkovitost zaustavljanja padajočega kamenja odvisna od števila udarcev kamenja ob drevesa. Dorren in sod. (2005) so ugotovili, da doseže kamen oz. skala najvišjo hitrost že po 40 m gibanja po terenu. Brauner in sod. (2005) navajajo 30 m kot kritično razdaljo, ki jo potrebuje skala, da doseže najvišjo hitrost.

Gsteiger (1993) prav tako navaja, da potrebuje skala velikosti 1 m^3 40 m gibanja po pobočju, da doseže najvišjo hitrost. Predlaga, da razdalja med drevesni ne bi smela biti večja od 20 m. Razvil je koncept povprečne proste razdalje med drevesi, t. i. MTFD (*mean*

tree free distance), ki je ocena povprečne razdalje med dvema drevesoma, ob kateri udari skala. Kunc (2008) priporoča, da se pri izračunu upošteva tudi temeljnica. Ocena se izračuna po formuli (1):

$$MTFD_{ba} = \frac{Area}{Nrstems(R_{diam} + \sqrt{(4G_{tot})/(\pi Nrstems)})} \quad \dots(1)$$

Area = ocenjena velikost območja (m²)

Nrstems = št. dreves na območju

Rdiam = povprečni premer kamenja, ki pade na območje (m)

Gtot = celotna temeljnica na območju

Dorren in sod. (2005) so opazili še en zanimiv pojav. Po določenem času se razvije brezdrevesna pot za padajoče kamenje. Poimenovali so jo koridor oz. prehod (ang. *couloir*). Za preprečevanje oz. omejevanje padajočega kamenja na območju koridorja predlagajo posek dreves prečno oz. diagonalno glede na padnico terena. S tem se kamenje in skale preusmeri v gostejši sestoj ali na območje z višjo hrapavostjo. V primeru jarka ali da se je koridor spremenil v jarek, predlagajo preusmeritev skal v jarek. Na koncu jarka postavimo ustrezne gradbeno-tehnične ovire (npr. podajno-lovilne mreže). Navedli so še priporočila za posek in izbiro dreves:

- drevesa posekamo višje kot običajno (višje od 1,3 m),
- prenizek ali gnil štor deluje kot odskočna deska,
- drevo izberemo glede na njegovo rast ob koridorju,
- priporočljiv je večji prsni premer,
- primernejša so večvrhata drevesa,
- učinek poseka na pomlajevanje,
- stabilnost oz. nestabilnost izbranih dreves.

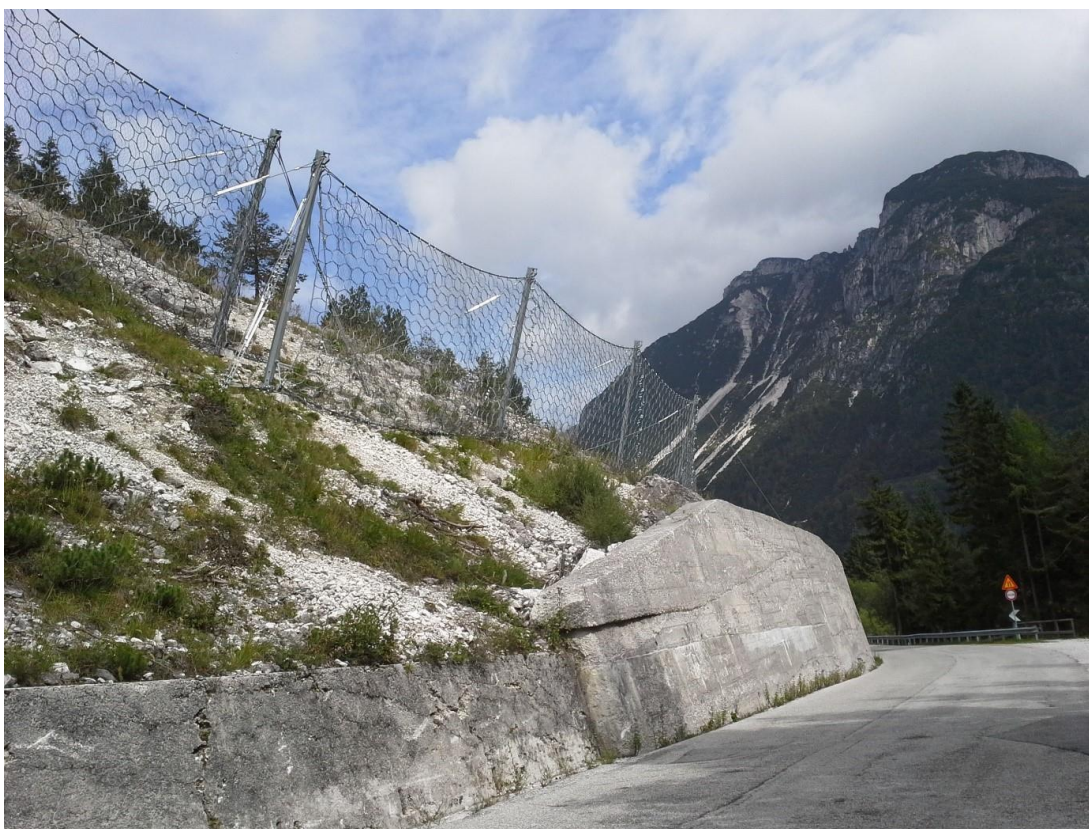
Poleg gozdnogojitvenih ukrepov imamo na voljo še gradbeno-tehnične ukrepe, in sicer naslednje hudourniške varstvene objekte za nevarnost padajočega kamenja:

- lovilne mreže,
- udarne stene,
- lovilne nasipe,

- lesene rake,
- podorne galerije.

Vsi ti objekti ne preprečujejo nevarnosti na mestu nastanka (preprečevanje vzrokov), temveč vplivajo na delovanje procesov (Mikoš, 2012). Vendar je postavitve in vzdrževanje takih objektov drago in zahtevno (Dorren, 2003). Hkrati takšni objekti pogosto predstavljajo tujek v naravnem okolju in vplivajo na naravne procese v ekosistemih (npr. spremembe naravnih prehodov divjih živali) (Skudnik in Kovač, 2012).

Sodobne dinamične podajno-lovilne ograje za zaščito pred padajočim kamenjem so po svoji konstrukciji in uporabljenih materialih zasnovane tako, da jih je možno postaviti na ogroženih odsekih ne glede na težko dostopnost terena (slika 12). Odlična protikorozijska zaščita, stalni nadzor, pravočasna zamenjava poškodovanih delov in pravočasno čiščenje ujetih odkruškov ter ostalega materiala omogočajo sodobnim varovalnim ukrepom uporabno dobo med 50 in 100 leti (Horvat in sod., 2006b).



Slika 12: Primer dinamične podajno-lovilne ograje na cesti št. SP76 pri Rabeljskem jezeru v Italiji

Osnovni način delovanja dinamičnih podajno-lovilnih ograj je v dinamičnem prenosu energije padajočega kamenja in skal. Energijo najprej delno prevzame obročasta mreža, nato se zmanjša na zavornih obročih, preostala pa se preko sider prenese na okoliška tla. Zaradi dinamičnega prenosa energije so ti objekti mnogo bolj učinkoviti od togih lovilnih objektov (Horvat in sod., 2007).

Kozorog in sod. (2012) kot primer dobre prakse navajajo izvedbo nujnih del za zaščitne gozdove v Zali pri Idriji. Pri tem ugotavljajo, da je treba v zaščitnih gozdovih praviloma gospodariti kar intenzivno in zagotovi pokritje stroškov gospodarjenja ter sečnje, ki so lahko do 3–krat višji kot v ostalih gozdovih.

Horvat in sod. (2007) so kot dober primer zaščite pred padajočim kamenjem z gradbeno-tehničnimi ukrepi izpostavili odsek regionalne ceste Kalce–Col št. R3-621/1412. Po pričevanju domačinov so se s strmega pobočja nad regionalno cesto Kalce–Col pri Colu pogosto prožili posamezni kamni in skale različnih velikosti. Nekateri kosi so se zaustavili na položnejših delih pobočja ali med drevesnimi debli, nekateri pa so dosegli cesto. Dne 12. 1. 2006 ob 6.45 se je okoli 40 m nad cesto sprožilo okoli 50 m³ kamenja in skal. Večji del materiala se je zaustavil na cesti, nekaj večjih skalnih blokov pa je doseglo stanovanjske hiše pod cesto in povzročilo manjšo gmotno škodo. Na podlagi inženirsko-geološkega poročila se je investitor (DRSC) odločil za zaščito ceste s podajno-lovilnimi ograjami v kombinaciji z mrežami visoke natezne trdnosti. Dinamične podajno-lovilne ograje se je postavilo na spodnjem delu pobočja za zadrževanje skalnih gmot z višjih predelov, z mrežami visoke natezne trdnosti pa se je utrdilo krušljive skalne stene pod podajno-lovilnimi ograjami in na mestih, kjer bi padajoče kamenje in skale lahko preskočili ograje. Z opisanimi ukrepi se je varnost prometa na omenjenem odseku bistveno povečala.

2.3 METODE DOLOČANJA OBMOČIJ IN NEVARNOSTI PADAJOČEGA KAMENJA

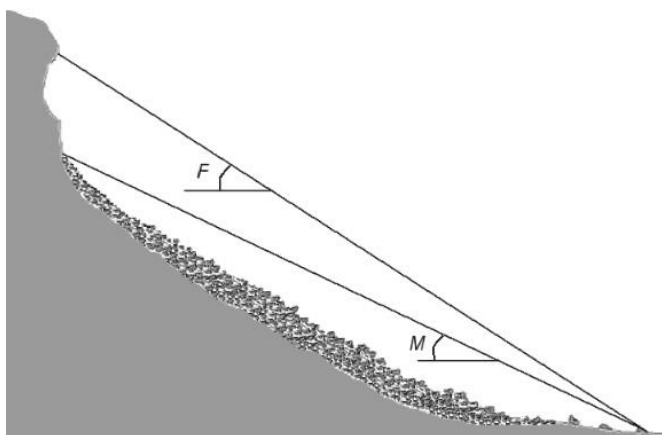
Varnost pred padajočim kamenjem lahko zagotavljamo z gradbeno-tehničnimi ukrepi, ki so relativno dragi za postavitev in hitro začnejo propadati. Finančno ugoden in samozadosten je varovalni gozd, ki ga negujemo z gozdnogojitvenimi ukrepi za zagotavljanje varovalne funkcije. Vendar v večini goratih držav ni znano, ali aktivno gospodarjenje z gozdom zagotavlja varnost pred padajočim kamenjem. Ena izmed možnosti ugotavljanja, ali varovalni gozd nudi dovolj dobro zaščito pred padajočim kamenjem, je, da opravimo terenski poskus, kjer prožimo skale in kamenje skozi različne sestoje in ugotavljamo, koliko kamenja in skal je gozd zaustavil. Ta možnost je relativno draga, zamudna in nevarna, še posebej če moramo preveriti varovalno funkcijo na večjem območju. Druga, cenejša in hitrejša metoda je uporaba različnih računalniških modelov za napovedovanje tveganja pred padajočim kamenjem. Glavni cilj uporabe modelnih pristopov je napovedovanje procesov padajočega kamenja in ocenjevanje varovalne funkcije gozdov za zaščito človeških življenj in infrastrukture na regionalni ravni. Predhodno si moramo odgovoriti na tri vprašanja: kakšni sta mehanika in dinamika gibanja padajočega kamenja, kateri računalniški modeli so že razviti in testirani ter kakšni vhodni podatki so potrebni za delovanje modela (Dorren, 2003).

Dorren (2003) ugotavlja, da je več različnih računalniških modelov, ki jih lahko uporabimo. Razdelil jih je v tri skupine:

- empirični modeli (temeljijo na povezavi med topografskimi dejavniki in dolžino izteka padajočega kamenja, primer metode senčnega kota),
- procesni (opišejo oz. simulirajo različne načine gibanja padajočega kamenja po padnici terena),
- modeli GIS (delujejo v okolju GIS ali pa temeljijo na rastrskih podatkih, ki jih zagotovi analiza GIS).

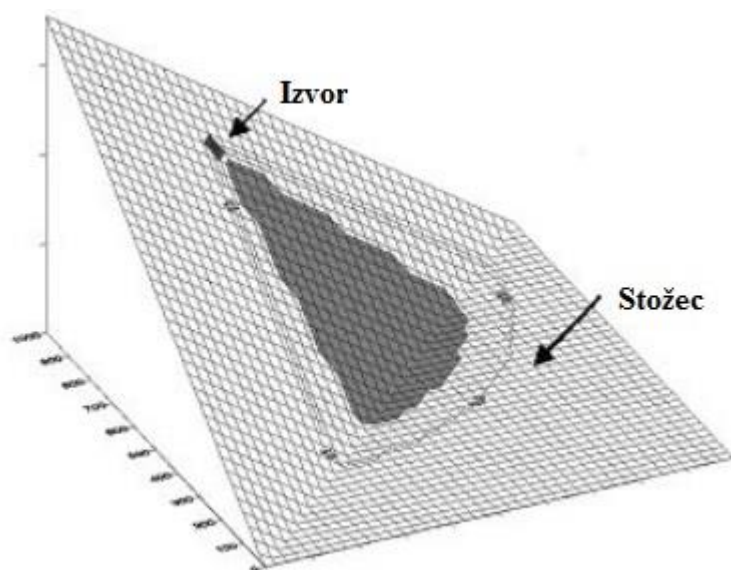
Dorren (2003) ter Jaboyedoff in Labiouse (2003) so predstavili metodo maksimalnega in minimalnega senčnega kota, ki sodi med empirične modele. Metoda je relativno hitra in poceni. Uporabna je predvsem na širšem območju za določanje najdaljše razdalje, ki jo

lahko padajoči kamen doseže po padnici terena. Maksimalni senčni kot predstavlja kot oz. črto, ki je določena z najvišjo točko skalnega izvora in točko, kjer se ustavi najbolj oddaljena skala oz. kamen. Minimalni senčni kot je podoben maksimalnemu, le da je začetna točka postavljena na dno skalnega izvora. Dorren (2003) je povzel različne avtorje in ugotovil, da se minimalni kot giblje med 22 in 30°. Jaboyedoff in Labiouse (2003) sta poudarila, da je metoda uporabna le za preliminarno določanje cone odlaganja. Za lažjo predstavbo sta oba kota prikazana na sliki 13.



Slika 13: Maksimalni (F) in minimalni (M) senčni kot (prirejeno po Meissel, 1998, cit. po Dorren, 2003)

Jaboyedoff in Labiouse (2003) sta razvila t. i. metodo stožca (program CONEFALL), ki je nekoliko spremenjena in dodelana metoda senčnega kota v okolju 3D z uporabo digitalnega modela reliefa DMR (slika 14). Tudi ta metoda je uporabna na regionalnem kot tudi na lokalnem nivoju za hitro ocenjevanje območja padajočega kamenja. Izvor padajočega kamenja predstavlja vrh stožca. V programu vnesemo vertikalni in horizontalni kot, ki predstavlja stranici stožca. S pomočjo ostalih podatkov, kot so nanosi kamenja, zapiski o dogodkih ipd., lahko dopolnimo oceno območja padajočega kamenja. Metoda je sicer v skladu s švicarskimi smernicami, toda premalo natančna za oceno nevarnosti, ki vključuje magnitudo in povratno dobo dogodkov.

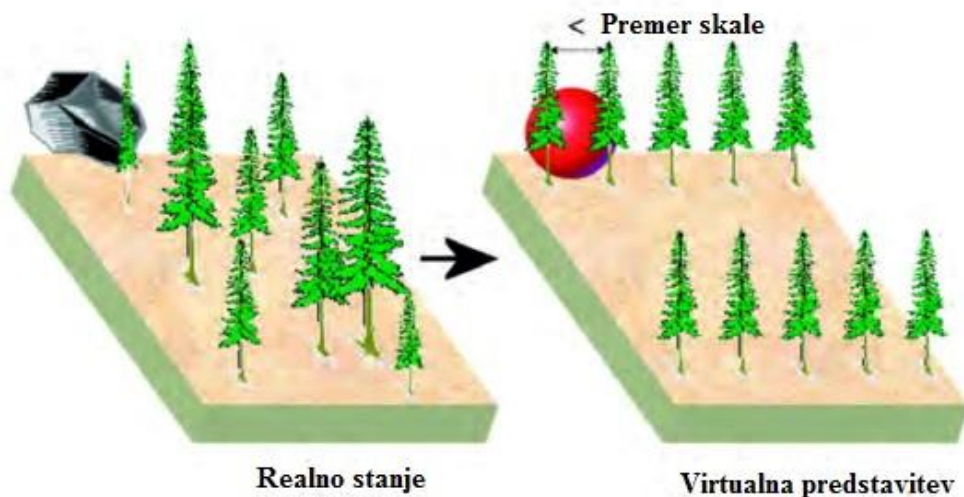


Slika 14: Metoda CONEFALL (prirejeno po Jaboyedoff in Labiouse, 2003)

Hantz in sod. (2003) so razvili metodo HGP (*historical, geomechanical and probabilistic*), s katero se ocenjuje možnost nastanka oz. porušitve nestabilnih skalnih gmot v povezavi s časom. Skale oz. območja so razdelili v štiri razrede glede na stopnjo tveganja oz. verjetnost porušitve. Magnitudo in pogostost dogodkov so ocenili s pomočjo zgodovinskih in geomehanskih analiz. Metoda je uporabna na relativno homogenem območju in tam, kjer imamo zgodovinske podatke ter geomehanske analize.

Berger in Dorren (2007, 2012) ter Bigot in sod. (2009) so predstavili program Rockfor^{NET}. Program je namenjen hitremu ocenjevanju in deluje v okolju 1D. Razvila sta ga Berger in Dorren na zahtevo odgovornih za zagotavljanje varovalne vloge gozdov. Orodje oz. program je prosto dostopen na internetni strani Ecorisqa. To orodje, ki v nasprotju s klasičnimi modeli za simuliranje poti padajočega kamenja ne zahteva obsežnega kartiranja na terenu, kvantificira varovalno sposobnost gozda in upošteva velikost in energijo padajočega kamenja. Rockfor^{NET} na podlagi majhnega podatkovnega niza izračuna varovalno sposobnost gozdnega sestoja. Vhodni podatki prikažejo globalno predstavitev resničnih pogojev in morajo biti zabeleženi na ravni posamičnega pobočja ali celotnega gozdnega sestoja. V Franciji se to orodje sedaj skoraj sistematično uporablja pri oblikovanju gozdnogospodarskih načrtov za varovalne gozdove. Za potrebe umeritve

programskega modela sta Berger in Dorren po pobočju z naklonom 31° spustila 57 skal s premerom 1 m.



Slika 15: Prikaz principa drevesnih zaves v programu Rockfor^{NET} (prirejeno po Berger in Dorren, 2007)

V osnovi gre za linije dreves oz. drevesne zaves (ang. *tree curtains*) (slika 15). Vsaka linija je medsebojno oddaljena 30 m. Razdalja med drevesi je nekoliko manjša od premera skale. Program izračuna celotno energijo, ki jo razvije padajoči kamen, po principu energijske črte (senčni kot). Za vsako drevesno zaveso program izračuna zmožnost razpršitve energije ter število zaves za razpršitev celotne energije padajočega kamenja. Zmožnost razpršitve energije je določena z drevesno vrsto in premerom sestoja. Program pretvori število potrebnih drevesnih zaves v potrebno temeljnico sestoja za razpršitev energije, na koncu pa izračuna teoretično temeljnico, na katero kamen naleti med potjo skozi sestoj. Varovalna vloga gozda je določena na podlagi razmerja med potrebno temeljnico in teoretično temeljnico. Statistični testi so pokazali, da med dejansko in teoretično temeljnico, na katero naleti kamen, ni statistično značilnih razlik. Končni rezultat programa je verjetnost nevarnosti padajočega kamenja, t. i. PRH (ang. *probable rockfall hazard*), ki predstavlja delež skal, ki preide skozi sestoj. Prsni premer sestoja, ki je tako rekoč edini vhodni podatek, močno vpliva na končni rezultat. Prednost programa je, da uporabniku ni treba umeriti orodja. Čeprav parametri programa temeljijo na meritvah na enem območju, so avtorji na podlagi podatkov drugih testov, preteklih dogodkov, gozdnih inventur in popisov zaustavljenih skal prišli do sklepa, da se program dobro obnese tudi na

drugih tipih pobočij. Med primerjavo rezultatov izmerjenih hitrosti na terenu in izračunanih hitrosti s pomočjo programa so ugotovili, da je absolutna maksimalna hitrost kamenja rahlo podcenjena, povprečna maksimalna hitrost pa precenjena.

Berger in Dorren (2012) sta predstavila nadgradnjo programa Rockfor^{NET} – program RockforLIN. Program je hitro orodje, namenjeno za conacijo varovalnega gozda. RockforLIN je numerični simulacijski model 2D za lokalizacijo verjetnih maksimalnih območij izteka padajočega kamenja, s katerim pridobimo preliminarno oceno raztrosa skalnih blokov. Temelji na modelu energijske črte (princip senčnega kota), ki omogoča ugotavljanje povezave med območjem izteka in naklonom pobočja. Maksimalen doseg skale se določi s presečiščem tal in imaginarne črte (imenovane energijska črta), potegnjene od mesta proženja z naklonom β . Za β so uporabili različne naklone: 32°, 35° in 38°. Območja med 32 in 35° imajo nizko, ampak ne nično verjetnost, da jih doseže padajoče kamenje; med 35 in 38° je srednja verjetnost, nad 38° pa visoka. Te kriterije za naklon pobočja so preizkusili z retrogradno analizo dobro dokumentiranih dogodkov v preteklosti. Orodje je bilo razvito za Arc GIS in GRASS GIS in se trenutno uporablja za kartiranje varovalnih gozdov za zaščito pred padajočim kamenjem v vseh francoskih administrativnih regijah. Podobno orodje je bilo razvito za kartiranje varovalnih gozdov za zaščito pred snežnimi plazovi.

Dorren in sod. (2006c) ter Dorren (2012) so predstavili program RockyFor3D. To je simulacijski model, ki izračuna pot enega individualnega kamna v okolju 3D. Model združuje determinacijske algoritme, ki temeljijo na fizikalnih osnovah na stohastičnem pristopu. Zaradi tega je RockyFor3D t. i. verjetnostni model poti padajočega kamenja na osnovi procesov. Program je možno uporabiti na regionalni in lokalni ravni, pa tudi na individualnem pobočju. Program se stalno posodablja od leta 1998 s pomočjo predhodno objavljenih člankov različnih avtorjev ter kasneje na temeljih terenskih opazovanj in poskusov Dorrena in sod. (2006). Na terenu so po pobočju prožili skale z znano težo in celoten proces potovanja skale posneli z visokohitrostnimi kamerami. Na podlagi teh poskusov so ugotavljali energijo in hitrost skale pri trku ob drevo. Glede na rezultate terenskih poskusov so program izboljšali, tako da lahko sedaj izračuna: območja

zaustavitve padajočega kamenja na pobočju z gozdom ali brez njega, smeri, hitrosti in energijo padajočega kamenja, udarce ob drevesa in posledično izgubo energije.

RockyFor3D izračuna pot padajočega kamenja kot vektorski podatek v prostoru 3D na osnovi izračunov zaporednih klasičnih paraboličnih prostih padov kamenja in odbojev od pobočja, pa tudi odbojev od drevja. Kotaljenje je izračunano kot zaporedje kratkih odbojev od površine. Drsenje kamenja oz. skale ni upoštevano. Potrebni vhodni podatki so rastrske datoteke ASCII, ki so sestavljene iz podatkov o lastnostih topografije terena in lastnostih površine pobočja, kot tudi parametrov, ki definirajo pogoje sprožitve kamenja (Dorren, 2012).

Dorren in sod. (2006) ugotavljajo, da imajo dosedanja modeli 3D težave predvsem pri določanju smeri in višine odboja skale, ki je definiran s koeficientom tangencialne in normalne obnove energije (tudi koeficient izgube energije). Vsi ti koeficienti so določeni na podlagi literature. Za potrebe lokalne simulacije ali simulacije na določenem terenu ni določene metode za ocenjevanje koeficienta izgube energije. Na podlagi terenskih poskusov in analiz so razvili algoritem za izračun tangencialnega koeficienta obnove. Dorren in sod. (2004b) so ugotovili, da je tangencialni koeficient obnove najpomembnejši parameter pri ugotavljanju upočasnjevanja hitrosti skal.

Dorren in sod. (2006) so na osnovi terenskih poskusov ugotovili povezavo med t. i. koeficientom MOH (ang. *mean obstacle height* – povprečna višina ovire) in tangencialnim koeficientom obnove. Dorren (2012) je razložil MOH kot hrapavost terena. Koeficient MOH je razdeljen v tri verjetnostne razrede, RG70, RG20 in RG10, ki v metrih označujejo višino ovire, na katero naleti padajoči kamen v 70, 20 in 10 % primerov.

Dorren in sod. (2006) so po primerjavi podatkov simulacije in dejanskih podatkov zaključili, da posodobljeni program RockyFor3D na lokalnem nivoju izračuna dokaj zanesljive podatke. Napaka med podatki znaša med 15 in 20 %. Program preceni povprečno hitrost padajočega kamenja in podceni višino odboja kamna. Prav tako ne upošteva preloma kamna na dva dela. Zaključili so z ugotovitvijo, da je treba za nadaljnje izboljšave programa pridobiti kvantitativne podatke o zmožnosti razpršitve energije

grmovja in podrasti (tudi panjevskega gozda), vplivu podlage pobočja (kamenine in zemljina) na padajoče skale, podatke o obliki in velikosti skal ter podatke o tangencialnem in normalnem koeficientu obnovitve energije.

Bigot in sod. (2009) so predstavili praktični primer uporabe programov RockFor^{NET} in RockyFor3D. Po večjem skalnem podoru v vasi Saint Martin le Vinoux v francoskih Alpah leta 1987 so izvedli dva tipa varovalnih ukrepov. Prvi ukrep je bil gradbeno-tehnični, drugi pa gozdnogojitveni, s ciljem povečati varovalno-zaščitno funkcijo gozda. Cilj študije je bil ugotoviti, ali so bili ti ukrepi uspešni ali ne. Ocenili so nevarnost padajočega kamenja leta 1987 pred ukrepi, danes in v prihodnosti. Uporabili so simulacijske modele za stanje gozda (pokritost z vegetacijo) v preteklosti, sedanjosti in v prihodnosti. Za povečanje pomena raziskave so uporabili prej omenjena programa. Oba modela sta pravilno napovedala zmanjšano zmožnost nujenja varovalno-zaščitne funkcije gozda pred padajočim kamenjem od leta 1987 naprej. Nadaljnje sta oba modela nakazala povečanje števila kamenja, ki doseže vznožje pobočja, od leta 1987 naprej. Rockfor3D je pokazal zvišanje deleža kamenja, ki doseže vznožje, od 11 % leta 1987 na 19 % leta 2086. Rockfor^{NET} je pokazal zvišanje deleža s 26 % leta 1987 na 56 % leta 2086. Zaključili so z ugotovitvijo, da je potreben še drugi gozdnogojitveni ukrep za povečanje varovalno-zaščitne funkcije s ciljem vzpostavitve gostega panjevskega sestoja.

Brauner in sod. (2005) so ugotovili, da je na voljo precej praktičnega znanja in izkušenj z gojenjem varovalnih gozdov, toda le malo kvantitativnega znanja za ocenjevanje vpliva padajočega kamenja na gozd in obratno. Enako velja za kvantificiranje vpliva enega individualnega padajočega kamenja oz. skale. V raziskavi so prišli do zaključka, da je za oceno ogroženosti pomembna tudi verjetnost trka skale z drevesom, ki je izražena z razdaljo med trki in izgubo energije med trkom. Razvili so dve orodji, prvo je namenjeno ocenjevanju števila trkov, drugo pa ocenjevanju potenciala za razpršitev energije. Ti dve orodji so uporabili skupaj z modelom rasti gozda PROGNAUS in s tem dosegli oceno varovalnega učinka gozda za različne scenarije gozdnogojitvenih ukrepov.

Jancke in sod. (2009) so ugotovili, da lahko panjevski gozd odigra ključno vlogo pri nujenju varovalno-zaščitne funkcije pred padajočim kamenjem. Za ugotavljanje

učinkovitosti in kvantificiranje vloge gozda so razvili 2D-model RockCop. Vsi dosednji programi so usmerjeni v odrasel visok gozd, opredeljen z drevesi, ki so različno stara in naključno razporejena. Na nižjih nadmorskih višinah (≤ 1.200 n. m. v.) v zmernejših klimah (npr. francoske Alpe) lahko precejšen delež gozdov opredelimo kot listopadni panjevski gozd. Program je podoben modelu RockFor^{NET}, le da je nekoliko poenostavljen. Upošteva odlom kamna oz. skale, posledični prosti pad, odboje od terena in prehod skozi gozd, kjer ob trkih ob drevesa izgublja energijo. Vendar program ne upošteva oblike skale, višine odbojev in površine terena. Ugotovili so, da največjo zaščito nudijo mladi sestoji (5.000–10.000 dreves/ha) in mlad panjevski gozd, star do 30 let. Zaključili so z ugotovitvijo, da panjevski gozd nudi dovolj dobro zaščito pred padajočim kamenjem, ki je veliko do 20 cm, zadovoljivo zaščito pred kamenjem, ki je veliko do 50 cm, nikakor pa ne nudi zaščite pred padajočim kamenjem, ki je večje od 1 m.

3 NAMEN, CILJI IN HIPOTEZE NALOGE

Namen diplomske naloge je preučiti proces padajočega kamenja na obravnavanem območju ter določiti ogrožene odseke cestne in železniške infrastrukture. To obsega opredelitev vplivnega območja padajočega kamenja s terenskim ogledom in meritvami, simulacijo procesa padajočega kamenja z računalniškim modelom in izločitev gozdov, ki opravljajo varovalno-zaščitno funkcijo. Namen je določiti gozdnogojitvene ukrepe za sestoje, ki smo jih izločili. Z diplomsko nalogo želimo predstaviti modeliranje kot del izločanja varovalno-zaščitnih gozdov in uporabnost tega za kasnejše načrtovanje gozdnogojitvenih ukrepov za zagotavljanje varovalno-zaščitne funkcije.

Cilji naloge so:

- s programom Rockfor3D in terenskim ogledom določiti ogrožene odseke državne ceste št. 209 in železniške proge Jesenice–Nova Gorica v Soteski pri Bohinju;
- predlagati gozdnogojitvene ukrepe v gozdu nad ogroženimi odseki ceste in železnice za zmanjšanje ogroženosti;
- tam, kjer gozdnogojitveni ukrepi ne bi bistveno zmanjšali ogroženosti, bi predlagali gradbeno-tehnične rešitve.

Opredeljene delovne hipoteze so:

- poraščenost z gozdom na območju padajočega kamenja nudi značilno boljšo zaščito pred padajočim kamenjem kot pa območje brez gozda;
- idealna – raznomerna zgradba bolje ščiti pred padajočim kamenjem kot enomerni sestoji;
- gozd oz. gostota dreves bistveno ne vpliva na zaščito pred padajočim kamenjem, če je razdalja med skalnim izvorom in ogroženim objektom kratka.

4 PREDSTAVITEV OBMOČJA RAZISKAVE

4.1 PROSTORSKA UMEŠČENOST

Območje raziskave je v Soteski med Bledom in Bohinjem (slika 16). Preučevali smo varovalne gozdove na levem in desnem bregu reke Save Bohinjke, na pobočjih nad reko do roba planot Pokljuke in Jelovice. Stanje na planotah ni predmet raziskave. Preučevano območje se začne pri mostu čez Savo Bohinjko pri hidroelektrarni z ledinskim imenom Lip in konča na ovinku ceste pred Nomenjem pod koto 489, ledinsko ime Za Mlakami (vir: Državna topografska karta Slovenije, 1:25.000). Območje je veliko 575 ha. Varovalna in zaščitna funkcija se prekrivata. Varovalna funkcija je opredeljena na 384 ha, zaščitna funkcija na 257 ha. Območje je v katastrskih občinah Bohinjska Bela, Gorjuše, Nomenj in Selo pri Bledu. Celotno območje spada pod okrilje območne enote Bled, ZGS. Pristojna krajevna enota je Bohinjska Bistrica, le majhen del spada pod okrilje KE Radovljica. Območje je razdeljeno na tri gozdnogospodarske enote: Notranji Bohinj, Radovljica – desni breg Save in Jelovica (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012).



Slika 16: Lokacija območja raziskave (Geopedia, 2013)

4.2 LASTNOSTI OBJEKTA RAZISKAVE

Nadmorska višina objekta se giblje od gladine reke Save Bohinjke na 480 m, do roba platojev Pokljuke in Jelovice na okoli 1.000 do 1.100 m (lokalno tudi 1.200 m). Teren je zelo strm, izpostavljen in mestoma tudi prepaden. Nakloni na vzorčnih ploskvah so bili od 10 do 50°. Na območju raziskave so bile prisotne vse lege pobočja, ker je dolina Soteske v obliki črke S. Na levem bregu prevladujejo vzhodne do jugovzhodne lege, na desnem bregu pa severozahodne in zahodne lege. Na večini vzorčnih ploskev smo opazili visoko stopnjo skalovitosti in kamnitosti, kar kaže, da so tla relativno plitva. Zaradi nizkih temperatur in obilne količine padavin so tla izprana. To upočasnjuje proces nastajanja tal. Na celotnem območju so prisotne skalne stene, erozijski jarki, ki se vijajo od vrha pobočij do dna doline, ter aktivna ali z gozdom poraščena melišča. Relief je jarkast, grebenast, stopničast in skokovit. Matična kamenina je dolomitiziran apnenec, ponekod se pojavljajo karbonatna morena, debeloskladovit apnenec, dolomit ter postglacialne naplavine. Na levem bregu Save na apnencu imajo visok delež razvojno mlada tla moderrendzine. Pogojena so z ostro alpsko klimo, so kislja, globoka od 12 do 15 cm in imajo slabo kapaciteto za vlago in hranilne snovi. Na strmih do zelo strmih terenih so se zaradi naglega odtekanja vode in pripeke razvile mulrendzine pod plastjo vrhnje prhnine – moderhumus, ki je biološko skoraj neaktiven in ima slabo kapaciteto za vlago. Na moreni veljajo podobne karakteristike, s tem da so tam globlja, rahla in manj stabilna tla. Na postglacialnih nanosih, pomešanih s trdno kamenino, so se poleg moderrendzin in skeletoidnih moderrendzin razvila predvsem skeletoidna izprana rjava tla. Na desnem bregu so se tla razvila največ do stopnje organogene rendzine in moderrendzine. Na zelo strmih pobočjih v Soteski sta prisotni večinoma proto in tangelrendzina. Tip krajine na območju je gozdat, le na dnu doline ob Savi Bohinjki je deloma gozdat (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012).

Razlike med rastišči na levem in desnem bregu Save Bohinjke so precejšnje. Na levem prevladujeta združbi *Ostryo-Fagetum* (združba bukve in črnega gabra) in *Ostryo Carpinifoliae-Fraxinetum orni* (združba malega jesena in črnega gabra), le okoli 22 % površine pokriva združba *Anemone trifolio-Fagetum* (alpsko bukovje s črnim telohom). Na desnem bregu prevladujeta združbi *Anemone fagetum typicum*, *Abieti Fagetum*

prealpinum typicum (predalpsko jelovo bukovje), sledi jima združba oz. subasociacija *Anemone Fagetum homogynetosum* (alpsko bukovje z gozdnim planinščkom), manjši delež predstavljajo še združbe oz. subasociacije *Abieti–Fagetum prealpinum calamagrostidetosum*, *Anemone–Fagetum laricetosum* in *Anemone–Fagetum aceretosum*. Razlika med levim in desnimi bregom je zaradi bregov, levi je namreč večinoma prisojni, desni osojni.

Združba *Anemone trifolio–Fagetum* (alpsko bukovje s črnim telohom) uspeva na nadmorski višini od 600 do 1.200 m na pretežno strmih nagibih. Geološka podlaga so triadni apnenci in dolomiti, ledeniške morene in pobočni grušči. Združba uspeva na vseh ekspozicijah. Prevladujejo plitva tla in rendzine, ki so slabo razvite. Spomladi se v teh gozdovih pojavijo trilstna vetrnica, črni teloh in pomladansko vresje. V Soteski ta združba prerašča skoraj celotno območje od reke do vrha planot. Pogostejša je na desnem bregu, na levem se pojavlja v bližini hidroelektrarne na vzhodnih legah. Na strmih naklonih in izpostavljenih legah združba prehaja v združbo bukve in črnega gabra ter združbo malega jesena in črnega gabra.

Združba *Abieti–Fagetum prealpinum typicum* (predalpsko jelovo bukovje), novo ime *Homogyno sylvestris–Fagetum*, je na prehodnem območju med predalpskim in alpskim fitogeografskim območjem, na višini od 800 do 1.400 m. Prevladuje predvsem na osojnih legah. Na dolomitiziranem apnencu in apnencih prevladujejo kraški reliefi, strma pobočja, ozki grebeni. Tla imajo dobre kemijsko-fizikalne lastnosti in so dobro rodovitna. V Soteski je združba na zgornji polovici pobočij. Subasociacijo *Abieti–Fagetum prealpinum calamagrostidetosum* (predalpsko jelovo bukovje z gozdno šašuljico) pa najdemo na še nekoliko bolj zaostrenih rastiščnih pogojih. Subasociacija *Anemone–Fagetum laricetosum* je na nekoliko boljših tleh.

Rastišče *Anemone–Fagetum homogynetosum* (alpsko bukovje z gozdnim planinščkom) je subasociacija alpskega bukovja na zelo strmih do prepadnih, osojnih, hladnih in pretežno kamnitih legah, ki se navadno spuščajo v struge potokov in hudournikov, na višini od 850 do 1.350 m. V Soteski je na območju Blatnega grabna.

Aconalna združba *Ostryo–Fagetu* (bukve in črnega gabra) pokriva na predalpskem in preddinarskem območju velike strnjene površine. Poraščajo kopaste grebene in strma, predvsem prisojna, gladka pobočja, v katera so vrezani globoki jarki. Uspevajo od nižin do približno 1.000 m nad morjem. Na dolomitni matični podlagi prevladujejo srednje globoke, zelo skeletne rendzine, na grebenih prehajajo v inicialne rendzine, v jarkih pa so rjave rendzine, mestoma tudi plitva rjava tla. Toploljubni bukovi gozdovi uspevajo v navadno humidnih razmerah Slovenije le na izrazito prisojnih legah, kjer so posebne ekološke razmere. Vendar črni gaber kljub svoji toplotoljubni naravi uspeva le v krajih, kjer letno pade vsaj 1.100 do 1.200 mm padavin in poletja niso presuha, v nasprotnem primeru se umika izrazitejšim toplotoljubnim vrstam. Biocenotska zgradba toplotoljubnih bukovih gozdov je precej labilna. V Soteski združba prevladuje na levem bregu Save Bohinjske.

Aconalna združba *Ostryo carpinifoliae–Fraxinetum orni* (malega jesena in črnega gabra) je vezana na ekstremne ekološke razmere. Najdemo jo v alpskem območju. Naseljuje izrazito prisojna strma pobočja do nadmorske višine okoli 1.000 m. Na izrazito strmih prisojnih pobočjih je združba trajen stadij, v ugodnejših ekoloških razmerah je možna sukcesija v smeri termofilnega bukovega gozda. Pojavlja se na skalnih stenah in pod njimi ter na izpostavljenih osončenih mestih, kjer so višje temperature. V tej združbi se črni gaber pojavlja v večjem številu kot mali jesen, ki je zastopan v manjšem deležu. Črni gaber se na teh rastiščih množično pojavlja v panjevski obliki (Fidej, 2011). Združba je prisotna predvsem na območju skalnih izvorov na levem bregu Soteske. Pojavlja se tudi na območju Blatnega grabna in v višjih zahodnih legah (Marinček in Čarni, 2002; Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012).

4.3 ANALIZA PRETEKLEGA GOSPODARJENJA IN DOGODKOV

Trgovskih poti, ki so med seboj povezovala kraje v starem veku, ne moremo ocenjevati v smislu sedanjih prometnih povezav. Bohinj je bil dobro povezan z južnimi kraji. Od tam je prišla prva poselitev. Vstopi v Bohinj so potekali prek gorskih prelazov Spodnjih Bohinjskih gora. V smeri proti Bledu je šla pot prek Jereke, Koprivnika, Gorjuš ter Planine za Jamo. Od tam se je spustila na Bohinjsko Belo in nadaljevala proti Bledu. Pot skozi sedanjo Sotesko ni bila možna, dokler niso rudarji v letu 1554 izklesali na levi strani Save

1,2 m široko pot. To je bila pot skozi Štenge. Prva "štenga" je bila globoka več kot 1 m, dolga 6 m in široka 1,2 m, druga "štenga" je bila dolga 15 m in široka 1,2 m. Danes so še vidni ostanki te poti, in sicer nad železnico pri prvem ovinku Save Bohinjke v bližini hidroelektrarne. Po tej poti ni bilo možno potovati s kočijo, voziti fužinarskih izdelkov iz Bohinja ali drugega blaga v Bohinj. Žiga Zois je naročil Andreju Kollerju, svojemu upravitelju na Bistrici, da izdela cesto v Soteski po desni strani reke Save. Cesto so gradili 6 let in jo dokončali leta 1789. V Soteski so zgradili tudi dva lesena mostova čez reko Savo in kamniti most čez hudournik Blatnico. Oporni zidovi lesenih mostov so še vidni. Kamniti most je močno poškodovan. Hudournik Blatnica je v neurju leta 2007 odnesel polovico mostu (Cundrič, 2002).

Bohinj sta nedvomno zaznamovala fužinarstvo in rudarstvo. Gozdovi na območju Soteske se prvič omenjajo leta 1001 kot del posestva briksenške škofije, ki so jo prejeli v dar od cesarja Henrika II. Fužinarstvo in rudarstvo je dajalo delo rudarjem, oglarjem, fužinarjem in drvarjem na Jelovici in Pokljuki ter prevoznikom lesa in železnih izdelkov. Vpliv fužinarstva in železarstva na gozdove je bil velik (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012). V 11. stoletju naj bi obstajal železarski obrat v Mošenacu na območju Soteske. Našli so več ostankov peči in žlindre (Cundrič, 2002). V času največjega pritiska je bilo samo na Jelovici okoli 2.000 kopišč za kuhanje oglja. Izsekavali so bukev, ki je dajala najkvalitetnejše oglje. V močno vrzelastih sestojih se je nato razširila paša živine, mestoma je prišlo do krčenja za pašnike in rovte (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012).

Za gozdove je dolgo veljalo, da so neizčrpen, a težko dostopen vir lesa in oglja. Vse od leta 1381, ko je bil uveden rudarski red, oz. 1406, ko je bil uveden gozdni red, so si sledili razni ukrepi, ki so bili bolj ali manj uspešni pri regulaciji izkoriščanja gozdov. Zemljiška odveza leta 1848 ni pripomogla k zmanjševanju rabe gozdov. Leta 1871 je Kranjska industrijska družba od tedanjega lastnika Ruarda kupila gozdove. Po ureditvi servitutnih pravic se je družba odločila načrtno urediti gozdove. Povečane cene lesa in povpraševanje po iglavih so zahtevali širše območje za izkoriščanje gozdov kot do takrat. Ravnatelj Kranjske industrijske družbe ing. Lambert Pantz je razvil in patentiral žičnico za spravilo lesa – nihalko z dvema vozičkoma na eno nosilko. To je bil takrat edini možen način spravila v

strminah in brezpotju. Leta 1876 je bila postavljena žičnica Podkorita, leta 1882 pa žičnica v Blatnem grabnu. Z žičnicami so tako zajeli lesno maso na območju, od koder so dotlej vozili le oglje (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012).

V 82 letih delovanja je z Jelovice spravila okoli pol milijona m³ lesa, oglja, drv in lubja. Transport se je začel jeseni z nakladanjem posekanega lesa. S prvim snegom so ga vozili furmani s konji na zgornjo postajo žičnice. Kapaciteta žičnice je znašala 30 m³ dnevno, po potrebi je delovala tudi ponoči. Na spodnji postaji so hlode valili po drči v Savo in jih plovili do grabelj ("gar") pri žagi v Soteski. Grablje so hlode preusmerile v kanal do industrijskega tira, kjer so jih ročno izvlekli. Po razrezu hlodov so rezan les prepeljali do železniške postaje Lesce (Veber in Budkovič, 1989). Leta 1886 sta bila imenovana dva gozdarja za nadzor – Tomaž Mostečnik za Jelovico in Mokri Log ter Franc Ažman za vodjo žage v Soteski. Žaga je imela dva navadna in en vezan polnojarmenik, dve krožni žagi, skobelnik za okrogle palice in stroj za luknje (Budkovič, 2010).

Ko so se začele priprave na gradnjo železniške proge Jesenice–Gorica–Trst, je bila ugodna železniška zveza pogoj za napredek in razvoj kraja. Gradnja druge železniške zveze s Trstom je bila uzakonjena 6. junija 1901, vendar so se nanjo začeli pripravljati že prej. Komisijski obhod trase je bil julija 1900; lokacijska obravnava in razlastitev zemljišč pa novembra 1902 (Rustja, 1990). Leta 1900 je ing. Pirkerju, upravitelju bohinjske gozdne uprave, ob reviziji trase bohinjske železnice uspelo uvrstiti železniško postajo v Sotesko zaradi potrebe odvoza lesa in bližine Pantzove žičnice (Gozdna kronika, 1900; Rustja, 1990). 11. novembra 1905 je že peljal prvi tovorni vlak z Jesenic v Bohinjsko Bistrico. Leta 1906 je stekel redni promet (Gozdna kronika, 1906; Rustja, 1990). V času I. svetovne vojne je bil Bohinj neposredno zaledje Soške fronte. Veliko lesa so porabili za gradnjo vojaških objektov in kurivo v visokogorju. V Soteski so gozd izsekavali za gradnjo druge obrambne črte. V bližini zahodnega železniškega mostu (Mokri Log) so kopali jarke in postavljali protipehotne ovire (Budkovič, 1999).

Konkurenca v železarstvu je bila prehuda, zato je bila KID prisiljena ustaviti fužine in posestvo l. 1890 prodati. Po šestih letih ga je kupilo avstrijsko ministrstvo za kmetijstvo za Kranjski verski zaklad, ki je bil v državni lasti. Gozdovi so bili v njegovi lasti do leta 1937.

Od 1937 do 1945 je bila lastnica ljubljanska nadškofija (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012). Med letoma 1946 in 1948 so zgradili naslednje žičnice: od oddelka 11 do Soteske, v Blatnem grabnu in od Jezerc do Soteske (Gozdna Kronika, 1948). Leta 1952 je bila žaga Soteska opuščena. Obratovala je več kot 80 let, vmes je dvakrat pogorela (Gozdna kronika, 1952). Leta 1960 je bila postavljena žičnica na območju Mokrega Loga (Gozdna kronika, 1984).

V drugi polovici 19. stoletja je začel prevladovati nemški vpliv s teorijo največjih donosov z monokulturo smreke. Kolikor bukve niso uničili fužinarji, so jo načrtno preganjali novi gospodarji. Najhujša izsekavanja bukve so bila v 20. in 30. letih prejšnjega stoletja. Sekali so na golo, drva so izdelovali iz oblovine, iz vejevja pa še vedno oglje. Tak odnos se je nadaljeval do sredine 20. stoletja. Bukev je tako v 80-letnem obdobju izgubila 80 % svojega deleža. Po 2. svetovni vojni so postali gozdovi splošno ljudsko premoženje. Velike potrebe porušene domovine so terjale visok davek, leta 1948 so v enoti Bohinjska Bistrica posekali 66.000 m³ gozda, v primerjavi s prejšnjimi 20.000 m³. Z denacionalizacijo se je spet spremenilo lastništvo v enoti – z letom 1999/2000 so del gozdov že vrnilo ljubljanski nadškofiji, za ostali del vračanje še poteka. GGE Jelovica in GGE Notranji Bohinj sta bili do leta 1973 združeni v GGE Bohinjska Bistrica. Ob prvih ureditvenih načrtih, 1871 za Martinček in 1885 za ostalo Jelovico, sta bili enoti tudi teritorialno razdeljeni na oddelke in odseke po starostnih razredih, to pomeni po zastornem sistemu gospodarjenja. Sistem je pospeševal smreko, v začetku na golo, kasneje z vzgojo mladja pod zastorom starega sestoja. Nenaraven sistem gospodarjenja in nenaravna mešanost sta pogojevala pogoste katastrofe (vetrolomi, požari ipd.), o čemer pričajo evidence sečenj od leta 1899 naprej (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012).

Podatke o poseku v posameznih oddelkih smo pridobili iz obrazcev o poseku E4, ki jih hrani KE Bohinjska Bistrica, ZGS. Podatke od leta 1979 zbirajo v digitalni obliki. Nekaj odstopanj med digitalnimi podatki in podatki v obrazcih E4 v načrtih GGE je prisotnih, toda so minimalni. Težava je tudi pri primerjavi oddelkov danes in v preteklosti, ker so bili nekateri razdeljenih na več odsekov. Primer je npr. oddelek št. 9, ki je bil včasih razdeljen na odseke a, b, c, d, e, f in v. Podatki o poseku so prikazani v preglednicah 3, 4, 5, 6 in 7.

Preglednica 3: Posek v odsekih 8v, 9v, 10v in 67a v obdobju 1979–1994

posek												
(m ³ /leto)	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1986	1987	1988	1989	1991	1994
8v	0	0	0	0	0	664	0	0	0	0	29	0
9v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.030	97	246
67a	52	35	29	34	85	0	51	94	109	0	17	0
skupaj m ³	52	35	29	34	85	664	51	94	109	1.030	143	246

Preglednica 4: Posek v odsekih 8v, 9v, 10v in 67a v obdobju 1996–2014

posek												
(m ³ /leto)	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2005	2009	2010-	skupaj	
8v	0	0	0	0	0	664	0	0	0	0	913	
9v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	81	
10v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.030	1.714	
67a	52	35	29	34	85	0	51	94	109	0	716	
skupaj m ³	52	35	29	34	85	664	51	94	109	1.030	3.424	

Preglednica 5: Posek v odsekih 140v, 141v, 142a, 142v, 143b, 143v, 144a, 144v v obdobju 1979–1990

posek												
(m ³ /leto)	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
140v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	14	0
141v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
142a	49	0	141	576	0	825	33	70	15	17	1	30
142v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33	0	0
143b	0	24	0	0	29	126	108	100	84	0	0	0
143v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	23	306
144a	189	0	76	0	0	140	29	0	0	0	0	0
144v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
skupaj m ³	238	24	218	576	29	1.091	171	170	99	63	37	336

Preglednica 6: Posek v odsekih 140v, 141v, 142a, 142v, 143b, 143v, 144a, 144v v obdobju 1991–2002

posek												
(m ³ /leto)	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
140v	23	0	13	0	5	0	471	0	0	62	0	0
141v	0	15	119	31	0	0	0	0	4	0	0	0
142a	0	0	75	78	109	24	0	64	0	0	19	20
142v	44	14	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0
143b	0	0	73	50	50	24	0	25	0	0	0	10
143v	15	0	0	37	7	6	0	0	0	0	0	0
144a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
144v	0	184	12	0	15	0	0	0	0	0	0	0
skupaj												
m ³	82	212	291	196	185	63	471	88	4	62	19	30

Preglednica 7: Posek v odsekih 140v, 141v, 142a, 142v, 143b, 143v, 144a, 144v v obdobju 2003–2014

posek											skupaj
(m ³ /leto)	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012–2014	m ³
140v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	594
141v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	176
142a	0	59	82	91	93	70	91	93	0	311	3.036
142v	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	99
143b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	761
143v	0	104	0	63	0	0	63	0	0	24	655
144a	0	0	0	0	0	0	0	0	70	241	746
144v	195	0	0	0	0	0	0	0	0	32	437
skupaj											
m ³	195	163	82	154	93	70	154	93	70	675	6.504

Večinoma je prevladoval sanitarni posek zaradi vetroloma ali žledoloma, le nekaj malega je bilo redne sečnje. Preračunan posek na letni ravni na površini 1 ha za vsak odsek je

prikazan v preglednici 8. Podatki kažejo zelo nizke intenzitete sečnje v varovalnih odsekih. Odstopajo le tisti odseki, ki so namenjeni gospodarjenju z gozdom.

Preglednica 8: Letni posek v odsekih

odsek	površina (ha)	posek ($\text{m}^3/\text{ha}/\text{leto}$)
8v	39,3	0,66
9v	42,2	0,05
10v	49,3	0,99
67a	34,7	0,59
140v	52	0,33
141v	69,7	0,07
142a	9,5	9,13
142v	51,03	0,06
143b	3,69	5,89
143v	28,6	0,65
144a	1,12	19,03
144v	44,27	0,28

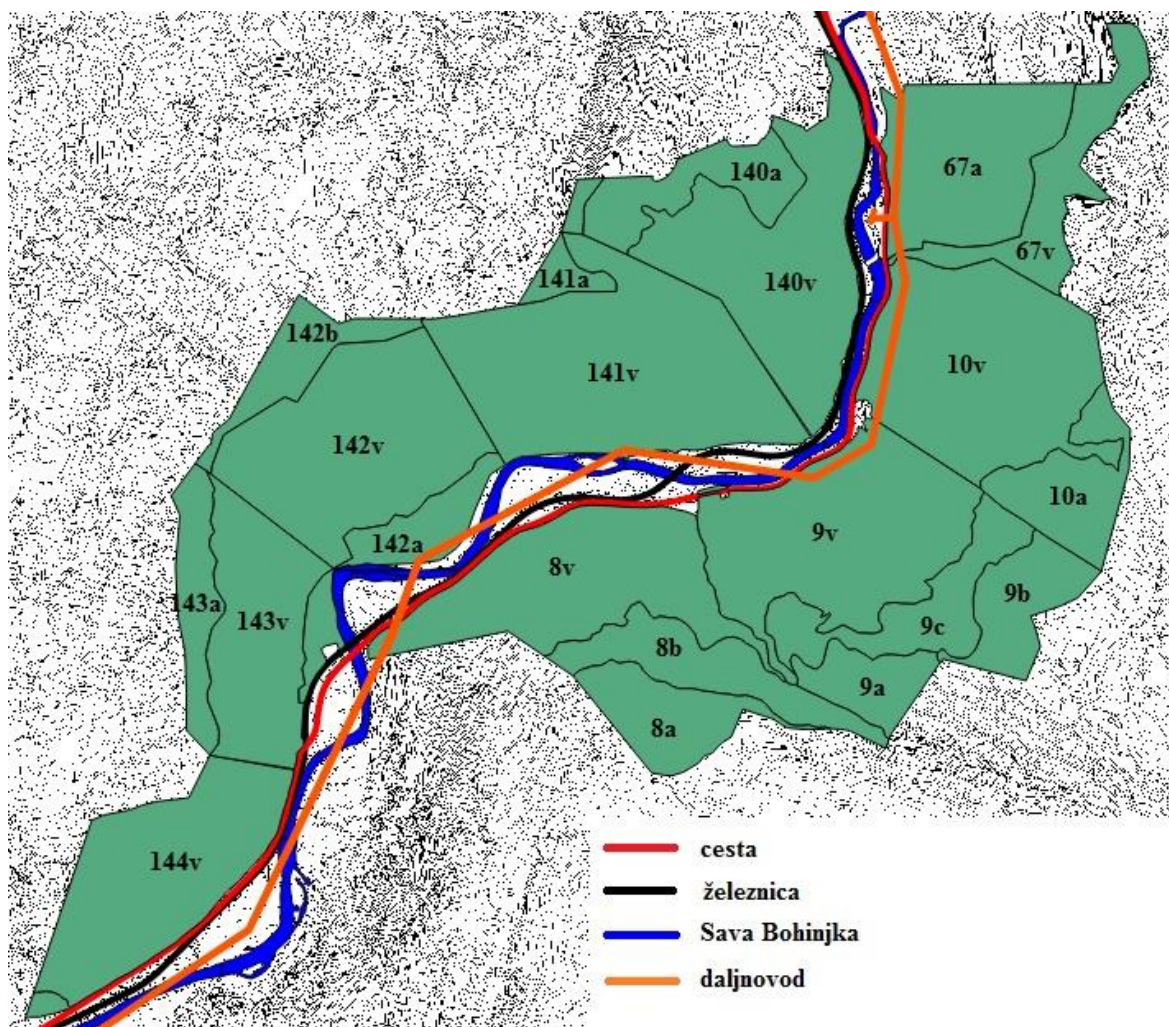
Gojitvenih in varstvenih del skoraj ni. Le v odseku 10v so v letih 1996–2001 opravili premazovanje, obžetev in dopolnilno sadnjo smreke. Površina izvedenih del v enem letu nikjer ni presegla 1 ha.

4.4 FUNKCIJE GOZDOV

V Soteski oz. na objektu raziskave so trije oddelki na desnem bregu reke Save Bohinjke, 8, 9, 10, gozdnogospodarske enote Jelovica ter oddelek 67 gozdnogospodarske enote Radovljica – desni breg Save. Na levem bregu je pet oddelkov, 140, 141, 142, 143 in 144. Omenjeni oddelki so razdeljeni še na odseke:

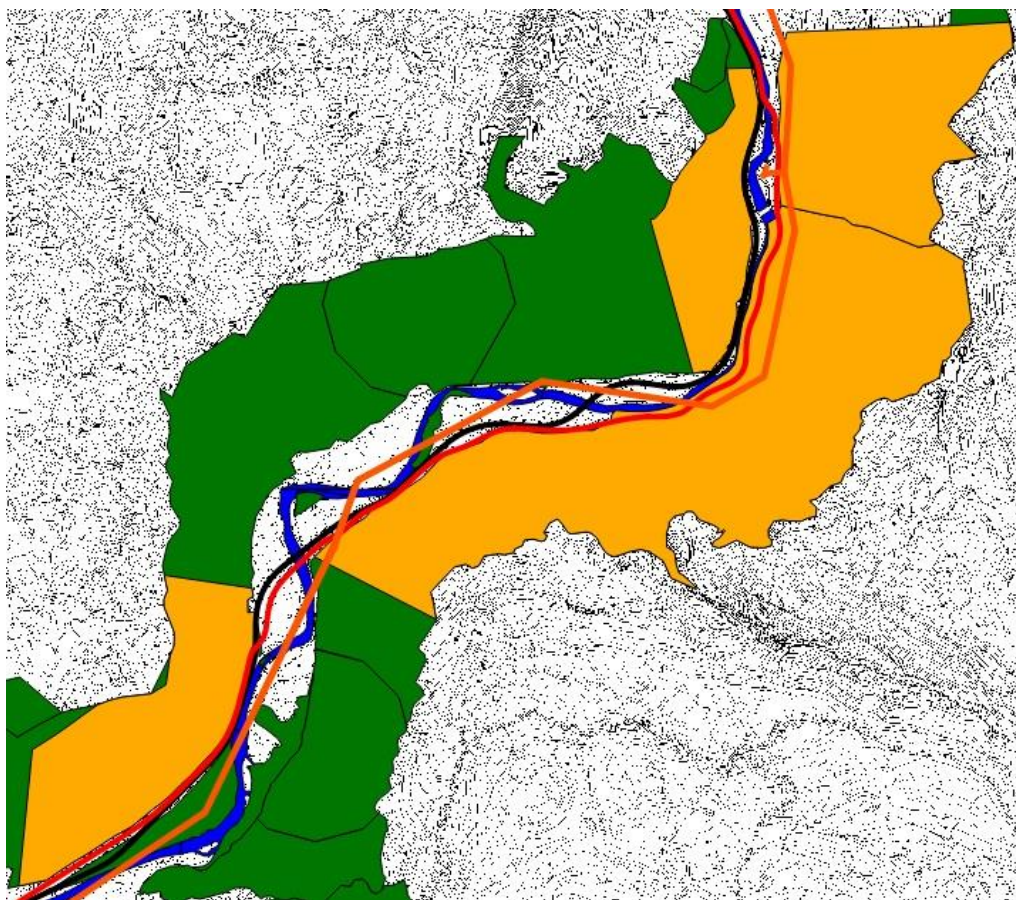
- oddelek 8; a, b in v
- oddelek 9; a, b, c in v
- oddelek 10; a in v
- oddelek 68; a in v
- oddelek 140; a in v
- oddelek 141; a in v
- oddelek 142; a, b in v
- oddelek 143; a, b in v
- oddelek 144; a in v

Odseki a, b in c so gospodarski gozdovi, ki so omejeni na planoti Pokljuke in Jelovice oz. v primeru manjših naklonov segajo tudi prek robov planot. Trije odseki na levem bregu so na dnu doline na območju Mokrega Loga. Odseki z oznako "v" so varovalni gozdovi na pobočjih Soteske. Izjema je odsek a oddelka 67, ki je na pobočju, nad njim pa pod skalno steno leži odsek v. Odseki z oznako "v" imajo prvo stopnjo poudarjenosti varovalne funkcije in s tem določajo način gospodarjenja, zato je redna sečnja v teh gozdovih prepovedana. Nad njimi, torej v odsekih a, b in c, ima gozd varovalno funkcijo druge stopnje in s tem vpliva na način gospodarjenja. Na meji med oddelkoma 8 in 9 je stalni potok Blatni graben, ki priteče iz visokogorskega barja Za Blatom in se izliva v Savo Bohinjko. Nekaj manjših vodnih virov je tudi na območju Mokrega Loga in manjše slapišče brez imena vzhodno od Mokrega Loga.



Slika 17: Odseki in območje raziskave v Soteski

Gozdovi na območju Soteske so predvsem varovalni, so pa določene tudi druge funkcije, tako da je območje pravzaprav večfunkcionalno. Na celotnem območju je na prvi stopnji poudarjena varovalna funkcija. V Blatnem grabnu je s prvo stopnjo poudarjena hidrološka funkcija, nato pa varovalna funkcija in druge socialne funkcije. Na območju odseka 8v in na območju Za Blatom je prisotna še funkcija ohranjanja biotske pestrosti in naravnih vrednot. Tam raste severna linejevka (*Linnaea borealis* L.). Skupna dolžina cestnih odsekov v Soteski, ki so ogroženi zaradi padajočega kamenja in drobirskih tokov, je 4,5 km, 1,9 km pa je železniške proge (Fidej, 2011). V veljavnem GGN za GGE Notranji Bohinj in Jelovica je na novo opredeljena tudi zaščitna funkcija na območju Soteske, in sicer na območjih nad cesto in železnico. V prejšnjem GGN ta funkcija ni bila opredeljena (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012).



Slika 18: Varovalna (temno zelena) in zaščitna (oranžna) funkcija v Soteski

Funkcijo varovanja kulturne dediščine predstavljajo gozdovi v bližini Pantzove žičnice (spodnja, srednja in zgornja postaja). Celotna žičnica je razglašena za kulturni spomenik državnega pomena (Odlok o razglasitvi ..., 2001). Je edina ohranjena gozdarska žičnica gravitacijskega oz. samotežnega tipa v Sloveniji in svetu (Vilman, 2003).

Po robu Pokljuke oz. grebenu poteka meja Triglavskega narodnega parka. Natura 2000 je opredeljena le na levem bregu Save Bohinjke, ne pa v odseku 144 in na desnem bregu. Območje je predvideno kot mirna cona za prostoživeče živali (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012). V Soteski so štiri ekološko pomembna območja: Julijske Alpe, Jelovica-Ratitovec, Sava Bohinjka s pritoki in Soteska. Na območju so tudi naravne vrednote: 7 jam (Ajdovska luknja, Langusova jama 1 in 2, Jama pri Gorjušah 2, 3 in 4 ter kraški izvir Sopotnik) ter štirje vodotoki državnega in lokalnega pomena (Sava Bohinjka, Kajdižovec, Blatnica, slapišče Soteska in Potok pod Kovačevcem) (Atlas okolja, 2014).

Celotno območje spada pod II. Lovsko-upravljalno območje Gorenjske, ki je razdeljeno na 3 lovišča: Nomenj-Gorjuše, Jelovica-Ribno in Bled (Letni lovsko upravljalni načrt, 2014). Celotno območje je v zasebni lasti, največji zasebni lastnik na desnem bregu reke Save Bohinjke je Nadškofija Ljubljana. Celotno območje je srednje požarno ogroženo, le vzhodno od Blatnega grabna po dolini navzdol je majhna požarna ogroženost. Predvidena intenzivnost gospodarjenja po pravilniku o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo je majhna. Predvideno je le redčenje do 15 % površine in spravilo s traktorjem ali kombinirano. Gozdnogojitveni cilj za gospodarski razred "varovalni gozdovi" opredeljuje stabilen raznomenen naraven gozd, ki ga gradijo stabilna, zdrava, odporna drevesa in gozdni sestoji. Torej gozd, ki je sposoben trajnega malopovršinskega pomlajevanja in zagotavlja poleg varovalne tudi druge funkcije (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012).

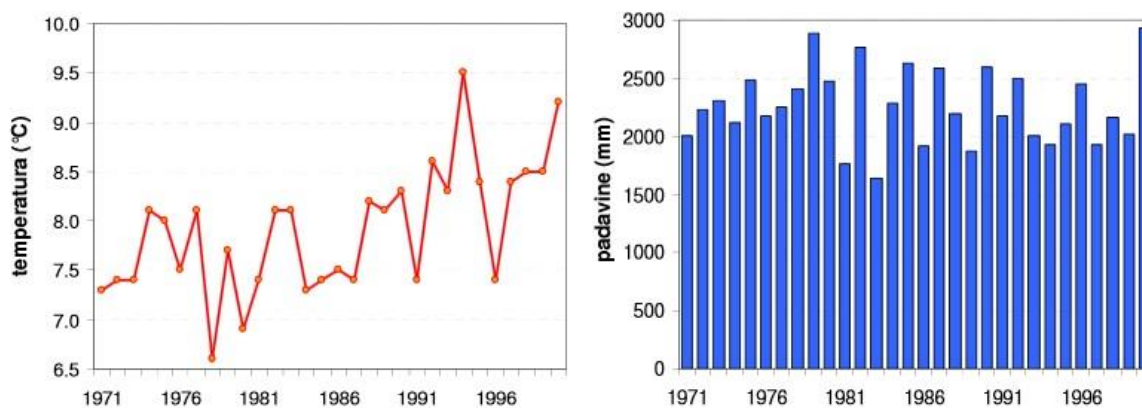
4.4 KLIMATSKE ZNAČILNOSTI

Območje Soteske leži v predalpskem in alpskem fitogeografskem območju. Tu se prepletajo mediteranski in celinski ter alpski vplivi, kar povzroča obilne padavine (v gorskem delu enote do 3.000 mm letno) in hitre spremembe vremena. Bohinjska kotlina je izrazito alpska in zaprta, s specifičnim klimatskim režimom: del jeseni, večji del zime in del pomladi vlada v kotlini toplotni obrat in z njim povezana meglenost. V poletnih mesecih pa je dobro prevetrena.

Bohinjsko gorovje predstavlja prvo večjo oviro za vlažen morski zrak, zato lahko pade v enotah Notranji Bohinj in Jelovica zelo veliko padavin. Količine padavin se zmanjšujejo od zahoda proti vzhodu in naraščajo z nadmorsko višino. Povprečna letna količina padavin je od 1.600 do 2.200 mm padavin. Prvi padavinski maksimum je v zgodnjem poletju – junija (v kotlini 200 mm, v gorovju 600 mm), drugi pa jeseni – novembra (v kotlini 290 mm, v gorovju 360 mm). Najmanj padavin pade pozimi – januarja, februarja in marca (v kotlini 150 mm, v gorovju 170–210 mm). V Soteski prevladujeta predvsem vlažen in hladen zrak (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012). Neurje septembra 2007 je bilo izjemno. Podatki za najbližjo pluviografsko postajo Gorjuše kažejo, da je v 24 urah padlo 247 mm dežja, kar je glede na povprečje skoraj celotna količina

padavin v septembru. V sosednji Bohinjski Češnjici pa je padlo 279 mm v 24 urah (Meteorološko poročilo, 2007). Letno povprečje padavin za klimatološko postajo Stara Fužina v obdobju 1971–2000 znaša 2.261 mm (slika 19) (Klimatološki podatki, 2014).

Povprečna letna temperatura je v kotlini 7 °C, v gorovju pa 4 °C. Mesečni temperaturni maksimum je julija (17 °C v kotlini in 12 °C v gorovju). Mesečni temperaturni minimum pa je v kotlini januarja (−2 °C), v gorovju pa februarja (−4 °C) (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012). Povprečna temperatura najhladnejšega meseca (januar) v Stari Fužini je −2,0 °C, najtoplejšega (julij) pa 17,6 °C. Povprečna letna temperatura je 7,9 °C. Klimatološka postaja Stara fužina je na nadmorski višini 547 m (slika 19) (Klimatološki podatki, 2014). Zadnje slane so v kotlini povprečno sredi maja, v gorovju pa konec maja. Prva slana je v kotlini v začetku oktobra, v gorovju pa sredi septembra. Primerjava zadnjih štirih obdobj (za vremensko postajo Lesce (1981–1990, 1991–2000, 2001–2009 in 2010–2011) kaže, da se povprečna letna temperatura zvišuje z 8,1 °C na 9,1 °C. Med vetrovi prevladuje jugozahodnik. Za zimsko obdobje pa je značilen severozahodnik. V kotlini in dolinah na smer vetra močno vplivata mezo in makrorelief. V enoti je nevaren tudi južni veter (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012).



Slika 19: Klimatološki diagram za meteorološko postajo Stara Fužina za obdobje 1971–2000 (Klimatološki podatki, 2014)

Sončno obsevanje je pomemben klimatološki in vegetacijski faktor. Vpliva na temperaturne razmere nekega območja, konvekcijo ter temperaturne lastnosti rastišč. Pri lokalnih razmerah je od reliefnih dejavnikov z vidika sončnega obsevanja zelo pomembna

ekspozicija pobočij in njihov naklon (Ogrin, 2002, cit. po Fidej, 2011). V Soteski so tako dobro razvidne temperaturne razlike zaradi različne obsevanosti kot posledica razlik med ekspozicijami desnega in levega brega doline. Na levem bregu, kjer prevladuje južna lega, so termofilne združbe zastopane z večjimi površinami kakor na desnem bregu, kjer se te združbe pojavljajo le na bolj izpostavljenih mestih (Fidej, 2011). Po Ogrinu (2002) ima glede sončnega obsevanja najslabše razmere gorski svet, zlasti severozahodni del Slovenije, kjer sonce sije od 1.500 do 1.800 ur letno. V Stari Fužini znaša letno povprečje sončnega obsevanja za obdobje 1971–2000 1.515 ur (Klimatološki podatki, 2014).

Območje Bohinja ima tudi nekaj vremenskih rekordov, najkasnejše sneženje v naseljih pod 500 m je bilo v Nomenju 10. 6. 1974. Prav tako je bilo v Stari Fužini najkrajše trajanje letnega sončnega sevanja leta 1972, ko je sonce sijalo le 1.271 ur (Slovenski vremenski rekordi, 2010).

4.5 DOGODKI NA CESTI IN ŽELEZNICI TER V GOZDU

Cesta in železnica predstavljata pomemben prometni koridor za prebivalce občine Bohinj. V letu 2013 je merilno mesto pri Bohinjski Beli dnevno prečkalo 3.860 vozil (Štetje, 2013). Podatki kažejo, da se promet rahlo povečuje. Železnica je v preteklosti predstavljala pomembno potniško in tovorno transportno žilo. Proga je izjemen gradbeno-tehnični spomenik. Po dograditvi leta 1906 se je povečalo izkoriščanje bohinjskih gozdov. Zaživel je turizem. Prav tako je proga predstavljala resno konkurenco tedanji južni železnici v tranzitu med Trstom in Dunajem ter naprej proti Pragi in Budimpešti. V času I. svetovne vojne je bila glavna oskrbovalna pot za bojišče na odseku med Banjško planoto, Mostom na Soči in Tolminom. V preteklosti je bila proga izjemno pomembna. Leta 1958 je bilo na relaciji Repentabor–Nova Gorica–Jesenice prepeljanega 60 % celotnega mednarodnega tranzita na jugoslovanskih železnicah (Rustja, 1990). Danes vsakodnevno vozi 7 potniških vlakov med Jesenicami in Novo Gorico ter nekaj tovornih (Vozni red, 2014). Progo so do nedavnega stalno posodabljali za vedno večje osne obremenitve (Rustja, 1990). Proga je danes primerna za tovarne vlake z osno obremenitvijo do 20 t/os (Gradbena dejavnost, 2014). Vendar so v Sloveniji prometni tokovi vezani na progo Koper–Sežana–Ljubljana ali

Ljubljana–Jesenice. Prav tako je proga izgubila pomen z dograditvijo sodobne italijanske železnice Trst–Videm–Trbiž–Beljak (Rustja, 1990).

Že med gradnjo proge so se delavci spopadali s sipkim materialom, plazenjem tal, padajočim kamenjem in snežnimi plazovi (Rustja, 1990). Pomembni dogodki, povezani s progo, cesto in gozdom, so kronološko urejeni s pomočjo gozdarskih kronik:

21. 7. 1900 – Upravitelju bohinjske gozdne uprave Pirkerju je ob reviziji trase bohinjske železnice uspelo uvrstiti železniško postajo v Sotesko.

1901 – Cesar Franc Jožef I. potrdil projekt bohinjske železnice, pričetek gradnje železnice.

18. 7. 1906 – Stekel je redni promet po železnici.

1911 – Sava je spodkopala brežino in zid pri železniški postaji Soteska.

1911– Požar v odseku 7, malomarnost lovca, požar hitro pogašen.

1912 – Požar v odsekih 140a, 141b in 144v na 28 ha. Požar omejili v dveh dneh. Škode za okoli 2000 kron. Stroški gašenja 477 kron.

1913–1914 – Gradnja poti v Mokrem Logu.

1915–1916 – Izraba lesa za postavitev protipehotnih ovir in strelskih jarkov zahodno od cestnega in železniškega mostu čez Savo.

1932 – Sava Bohinjka je spodkopala progo v 21,7 km. Bližina Mlak (Rustja, 1990).

1952 – Vetrolom v Mokrem Logu, podrtega drevja cca. 5.000 m³.

1955 – Požar v odseku 144a, vlakovna iskra.

1956 – Požar v oddelkih 141v in 143v – vlakovna iskra, vzdrževan protipožarni pas.

1956 – V oddelkih 5v in 6v se je hudournik nevarno razširil.

1957 – Požar v Soteski v odsekih 140v in 141v. Razširil se je do grebena. Pri gašenju je pomagalo 50 delavcev (verjetno GG Bled) in 100 pripadnikov JLA iz vojašnice Bohinjska Bela.

1960 – V Mokrem Logu postavljena žičnica, prepeljanih 400 m³.

1960 – Porabili 64.906 din za čiščenje in vzdrževanje protipožarnega pasu v odsekih 140v, 141v in 142v.

1962 – Mokri Log, žičnica 200 m³.

1963 – Mokri Log, žičnica 130 m³.

1986 – Delež sušic vidno narašča.

1987 – November; snegolom na območju Za Mlakami, Stara Polana, Prehod v revirju Koprivnik.

1989 – Pregnali divje naselje v Soteski, kraje drv je konec.

1993 – Konec aprila požar v odseku 144v, zanetila ga je iskra muzejskega vlaka.

18. 9. 2007 – Vodna ujma, usadi v hudourniških jarkih in strugah, nanos materiala na glavno cesto Bled–Bohinj.

Rustja (1990) omenja veliko težav s snežnimi plazovi na odseku proge Jesenice–Bohinjska Bistrica. Samo od 4. do 19. februarja 1947 je progo pri Bohinjski Beli zasulo 5 velikih snežnih plazov, ki so povzročili daljše zapore proge. Tudi snežna katastrofa leta 1952 ni prizanesla tej progi, saj se je nanjo vsulo 19 plazov. Neprekinjeno je snežilo od 12. do 16. februarja. Sprva je progovna služba še obvladovala snežno ujmo, vendar je bilo snega le preveč, tako da so morali 15. februarja za dva dni prekiniti promet. Za zaščito pred snežnimi plazovi je bila leta 1980 v Soteski v odseku 140v zgrajena galerija I. v skupni dolžini 168 m.

Precejšnje težave so na tej progi povzročale skale, ki so se trgale in kotalile s strmih bregov na progo in ogrožale promet, zato so leta 1986 na nevarnih mestih začeli nameščati naprave za odkrivanje in javljanje plazov (Rustja, 1990).



Slika 20: Skala (v rdečem okvirju) in podrtjo drevje ob progi v Soteski, odsek 140v (zajem slike Youtube, Zelenec97, 2013)

Podatki o dogodkih na cesti so bolj skopi in niso zbrani na enem mestu. To pa seveda ne pomeni, da cesta ni bila poškodovana ali zaprta zaradi neurij. Cesta je predvsem ogrožena zaradi t. i. drobirskih tokov in je bila po obilnem deževju zaradi nanosov peska in kamenja večkrat zaprta (Fidej, 2011). V Soteski so bili v zadnjih letih trije večji dogodki: poplave leta 2007, božične poplave 2009 in žledolom leta 2014.



Slika 21: Zasuta železniška proga v Soteski septembra 2007 (foto: Aleš Zdešar)

Bertalanič (2003) je poročal o zapori ceste v Soteski zaradi vetroloma dne 29. 8. 2003. Hudo neurje z nevihtami in močnim vetrom je podiralo drevesa na širšem območju severozahodne Slovenije.

Neurje, ki se je razbesnelo septembra 2007 nad Železniki, je prizadelo tudi občino Bohinj. Škulj (2011) je zapisal, da je prišlo do plazenja brežine v večjem obsegu. Z državne ceste je bilo treba odstraniti nekaj tisoč m³ gruščnatega materiala. Opravljena dela so natančno zapisana v zabeležki. Vidic (2007) je v pismu Ministrstva za infrastrukturo, Direktorata za ceste, občini Bohinj dne 13. 12. 2007 sporočil vrednost del odstranjevanja večjega plaz, ki je znašal 131.628 evrov. Zapisal je tudi, da bosta potrebna sanacija dveh uničenih podpornih zidov in zavarovanje dveh brežin. Skupna vrednost predvidenih sanacij je bila ocenjena na 500.000 evrov.

Zaradi posledic izjemnih padavinskih razmer dne 18. 9. 2007 so bili v Soteski med hudourniškimi nanosi ujeti 2 avtobusa, trije tovornjaki in 15 do 20 osebnih vozil. S stroji GP Bohinj in občinskega režijskega obrata so rešili 47 ujetih ljudi. Zaradi plazov na cesti se je ves promet preusmeril čez Pokljuko, uničena je bila tudi železniška proga. Sanacija ceste se je začela naslednje jutro (Rožič, 2007).



Slika 22: Drobirski tok v Soteski septembra 2007 (foto: Aleš Zdešar)

Kuntarič (2010) je zapisal, da je bila dne 25. 12. 2009 cesta v Soteski zaprta zaradi poplav. Promet je bil preusmerjen čez Pokljuko. Prav tako so zaradi istega neurja 26. 12. 2009 gasilci PGD Bohinjska Bela črpali vodo iz objektov HE Lip. Direkcija Republike Slovenije za ceste je v odgovoru na povpraševanje o izrednih dogodkih na cesti v Soteski odgovorila, da je bilo treba ob poplavih za božič 2009 odstraniti manjše nanose kamenja na vozišču, očistiti prepuste in obnoviti poplavljenе bankine (Škulj, 2011).

5 METODE DELA

Postopek dela je potekal v sledečem vrstnem redu:

1. Predpriprava na terensko delo.
2. Postavitev ploskev na terenu, popis drevja, sestojev in lastnosti terena na ploskvi ter opis skalnih izvorov.
3. Analiza podatkov, pridobljenih na terenu.
4. Izris sestojev, skalnih izvorov, hrapavosti v programu QGis.
5. Simulacija padajočega kamenja s programom RockyFor3D.
6. Določitev območja nevarnosti in ogroženosti zaradi padajočega kamenja.
7. Analiza podatkov in interpretacija rezultatov.

5.1 TERENSKA IZVEDBA

Raziskovalne ploskve smo postavili na obeh bregovih reke Save Bohinjke, na pobočjih na odseku od cestnega mostu pri hidroelektrarni Lip do cestnega mostu pri Mokrem Logu ter levem bregu do kraja Za Mlakami. Planoti Pokljuka in Jelovica nista bili predmet raziskave. Točke smo označevali s prvo črko S (Soteska) ter drugo črko L oz. D (levi in desni breg). Pri vsaki točki je sledila še zaporedna številka popisne ploskve (primer SD01). Ploskve smo trajno zakoličili s kovinskimi palicami dolžine 20 cm, na katere smo navezali belo-rdeč trak z oznako ploskve. Prav tako smo trak navezali na središču ploskve najbližjemu drevesu. Pri določevanju točk smo uporabljali kompas in tračni meter. Vsaki točki smo določili koordinate z napravo GPS.

5.1.1 Popis ploskev

Skupno smo na terenu zakoličili 49 ploskev, na katerih smo izvedli meritve in popise. Na levem bregu je bilo 23 točk, na desnem pa 26 točk. Raziskovalne ploskve so bile krožne oblike, velikosti 5 arov oz. krog s premerom 12,62 m. Ploskve so bile razporejene v mreži velikosti 200 x 200 m. Izhodiščna točka je bila ena izmed točk mreže stalnih vzorčnih ploskev OE Bled ZGS. V primeru, da je bila točka na območju hudourniškega jarka, nedostopnem skalovju ali pod daljnovodom, smo jo prestavili za 50 ali 100 m severno ali

južno oz. vzhodno ali zahodno. Takih točk je bilo 21. S tem smo zagotovili potrebno število točk za potrebe raziskave.

Na vsaki točki smo popisali splošne značilnosti terena:

- naklon (°)
- ekspozicijo (S, SV itd.)
- kamninsko podlago
- mikro- in makro-relief (pobočje, konveksno, konkavno, jarkasto ipd.)
- kamnitost in skalovitost (%)
- pokrovnost zeliščnega, spodnjega, srednjega in zgornjega sloja (%)
- koordinate GPS (Gauss-Krugerjeva projekcija)
- nadmorsko višino (m, s pomočjo GPS-a)

Obrazec za popis ploskev – priloga A

Pri popisu živih dreves s prsnim premerom ≥ 10 cm smo popisali sledeče znake:

- drevesno vrsto
- azimut od središča ploskve (°)
- razdaljo od središča ploskve (m)
- prsni premer v višini 1,3 m (cm)
- oceno stabilnosti (1 – dobra, 2 – zadovoljiva, 3 – slaba)
- število majhnih (≤ 10 cm²) in velikih poškodb (≥ 10 cm²)
- maksimalno globino poškodbe (mm)
- število skal oz. kamenja, ki jih je drevo zadržalo
- največjo velikost zadržane skale (v x š x d v cm)

Obrazec za popis ploskev – priloga A

Pri meritvah smo uporabljali kompas znamke SUUNTO model KB-20/360R G, tračni meter DBH, elektronsko napravo proizvajalca Haglöf model Vertex Laser VL402 in ročni GPS proizvajalca Garmin, model 60CSx. S kompasom smo merili azimute in ekspoziture;

s tračnim metrom DBH prsni premer; z napravo Vertex naklon terena, razdalje dreves od središča ploskve, višino dreves in višino začetka krošnje.

Višino smo izmerili trem središču ploskve najbližjim drevesom. Prav tako smo jim izmerili višino žive krošnje.

Na vsaki ploskvi smo popisali še mladje po drevesnih vrstah in dveh velikostnih razrednih:

- 1. razred, višina mladja od 10 cm do 130 cm ($10\text{ cm} \leq h \leq 130\text{ cm}$)
- 2. razred, višina mladja od 1,3 m do prsnega premera 10 cm ($1,3\text{ m} \leq h$ do prsnega premera 10 cm)

Na vsaki ploskvi smo kvantitativno ocenili količino mrtve biomase (podrta drevesa, štori ipd.) ter po potrebi zapisali druge posebnosti (npr. bližina jarka, vode, gradacije podlubnikov, vrzeli, skalne izvore ipd.).

5.1.2 Opis lastnosti terena

Za potrebe delovanja programa RockyFor3D smo določili lokacije skalnih izvorov, ki niso označeni na temeljnem topografskem načrtu v merilu 1:5.000 ali smo jih po potrebi popravili ter popisali. Popisali smo lastnosti terena (hrapavost in tip terena), ki so jih pripravili avtorji programa RockyFor3D. Prav tako smo na popisnih ploskvah in na prehodih med njimi spremljali spremembe v geomorfologiji terena, izrisovali hudourniške struge, erozijske jarke, nasutje materiala, nekdanje drobirske tokove ipd.

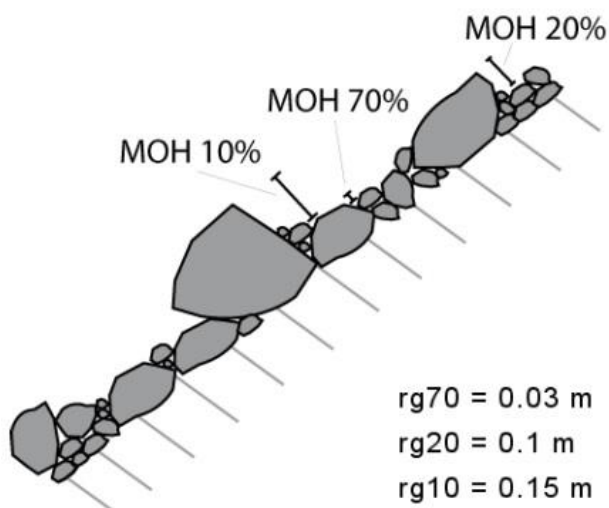
Obrazec za popis terena – priloga B

Pri popisu skalnih izvorov smo upoštevali, popisali in ocenili:

- gostoto glede na vrsto kamenine (apnenec 2.800 kg/m^3 , dolomit 2.700 kg/m^3)
- obliko padajočega kamna oz. skale (kvadratna, elipsoidna, kroglasta ali diskasta)
- velikost sproženega kamenja oz. skal (višina, širina, dolžina v m)

Pri opisu terena smo upoštevali, popisali in ocenili:

- Hrapavost terena, odvisna od t. i. MOH-a (ang. *mean obstacle height*), ki je definiran kot višina ovire padajočemu kamenju oz. skali v smeri padnice terena navzdol. MOH je razdeljen v tri verjetnostne razrede RG70, RG20 in RG10, glede na višino ovire, na katero naleti kamen v 70 %, 20 % in 10 % primerov med padcem (slika 23) (Dorren, 2012).
- Tip tal, ki smo ga določili glede na obrazec Dorrena (2012). Na voljo smo imeli sledeče tipe: reka, močvirje oz. tla, v katera se kamen popolnoma vdre, fina tla globine več kot 100 cm, fina tla globine manj kot 100 cm s primesmi peska in gramoza, grušč premera manj kot 10 cm oz. srednje kompaktna tla z manjšimi kameninskimi delci (gozdna cesta ipd.), živa skala in asfaltna cesta.



Slika 23: Slikovni primer MOH-a (Dorren, 2012)

V simulaciji smo upoštevali, da cesta in reka zaustavita vsak kamen, ne glede na velikost ali energijo.

5.1.3 Popis sestojev

Podrobne popise gozdnih sestojev smo opravili sproti na popisnih ploskvah in na prehodih med posameznimi ploskvami. Poseben poudarek je bil na stabilnosti sestoja, ki smo jo razvrstili na tristopenjski lestvici, podobno kot za drevesa (1 – dobra, 2 – zadovoljiva in 3 – slaba). Pri opisu sestojev smo bili pozorni na drevesno sestavo (delež posameznih

drevesnih vrst po številu osebkov in v lesni zalogi), debelinsko strukturo po številu dreves po razširjenih debelinskih stopnjah (A – 10 do 30 cm, B – 30 do 50 cm, C – nad 50 cm), na razvojno fazo, negovanost, zasnovo, zgradbo sestoja, pomlajevanje, sklep krošenj, simetričnost krošenj, zakoreninjenost, nagnjenost, poškodbe drevja, bolezni ipd.

Obrazec za popis sestojev priloga C

5.2 ANALIZA PODATKOV

5.2.1 Analiza podatkov popisnih ploskev in sestojev

Podatke, zbrane na terenu, smo analizirali in obdelali v programu Microsoft Excel 2013.

Splošno podobo gozda smo pridobili na podlagi analize podatkov vzorčnih ploskev. Izračunali smo delež dreves glede na drevesno vrsto po številu osebkov in delež dreves glede na drevesno vrsto po lesni zalogi. Izračunali smo število dreves na hektar za vsako ploskev ter število dreves po debelinskih stopnjah, povprečno temeljnico in lesno zalogo na hektar površine ter standardne odklone. Analizirali smo stabilnost dreves, izračunali število mladja na hektar ter analizirali število poškodb in zadržanega kamenja.

Lesno zalogo smo izračunali na podlagi drevesne višine in Čoklovih vmesnih tarif (Kotar, 2003).

Podatke za sestoje smo določili na podlagi prekrivanja izrisanih sestojev v programu Quantum Gis in podatkov vzorčnih ploskev, ki so znotraj posameznega sestojnega območja. V primeru, da je znotraj enega območja več ploskev, smo izračunali povprečje teh vrednosti.

5.2.2 RockyFor3D V5.1

RockyFor3D je simulacijski model, ki izračuna pot enega individualnega kamna v okolju 3D. Model združuje determinacijske algoritme, ki temeljijo na fizikalnih osnovah na stohastičnem pristopu. Zaradi tega je RockyFor3D t. i. verjetnostni model poti padajočega kamenja na osnovi procesov. Program je možno uporabiti na regionalni in lokalni ravni, pa tudi na individualnem pobočju (Dorren in sod., 2006c; Dorren, 2012).

V nalogi smo uporabili tri možne scenarije: območje brez gozda, območje s trenutnim gozdom in s prebiralnim gozdom.

5.2.2.1 Priprava podatkov za simulacijo in delovanje programa

Za delovanje programa RockyFor3D potrebujemo vhodne datoteke z digitaliziranimi podatki o sestojih, lastnostih terena, obstoječih ograjah in DMR. Za izris sestojev in območij z lastnostmi terena smo uporabili program Quantum GIS 2.4.0 Chugiak, ki je prosto dostopen na spletu. Za vsak sklop podatkov smo ustvarili samostojen sloj. Vsi sloji so shranjeni v vektorski obliki (t. i. *shape* datoteka s končnico .shp).

Sestoje smo izrisali s pomočjo terenskega ogleda in zapiskov ter s pomočjo digitalnega ortofoto posnetka letnik 2006. Vsak sestoj je postal samostojen poligon s podatkovno tabelo, ki vsebuje podatke o povprečnem prsnem premeru sestoja, gostoti dreves, standardnem odklonu premera dreves, deležu iglavcev in zaporedni številki sestoja. Podatke o sestojih smo izračunali s pomočjo predhodne analize v Excelovi datoteki.

Prav tako smo opravili digitalizacijo lastnosti terena in skalnih izvorov v novem vektorskem sloju. Digitalizacijo oz. izris območij smo izvedli na podlagi terenskega ogleda in temeljnega topografskega načrta v merilu 1:5.000. Vsako območje z določeno lastnostjo terena ali skalni izvor je postal samostojni poligon s podatkovno tabelo. Ta je vsebovala podatke o gostoti kamenine, obliki in velikosti kamenja, tipu tal in hrapavosti terena t. i. MOH z verjetnostnimi razredi.

Izrisali smo tudi obstoječe ograje. Njihovo lokacijo na terenu smo določili z uporabo ročnega GPS-a. Vektorski sloj vsebuje podatkovno tabelo, ki vsebuje podatke o višini ograje in njeni zaporedni številki.

Na koncu digitalizacije podatkov smo pridobili štiri vektorske (.shp) datoteke.

RockyFor3D za delovanje potrebuje rastrsko obliko datotek (.asc). Vektorske podatkovne datoteke (.shp), ki smo jih pridobili s programom Quantum GIS, smo spremenili v rastrske (.asc) datoteke s pomočjo programa SAGA GIS 2.0.4., ki je prav tako prosto dostopen na spletu. Po spremembi vektorskih (.shp) datotek smo dobili 4 rastrske (.asc) datoteke za sestoje in 9 rastrskih datotek (.asc) za lastnosti terena. Vsaka rastrska (.asc) datoteka predstavlja en parameter v podatkovni tabeli posameznega sloja.

Rastrske (.asc) datoteke smo morali za potrebe pravilnega delovanja programa RockyFor3D poimenovati s sledečimi imeni: *conif_percent.asc*, *dbhstd.asc*, *dbhmean.asc*, *nrtrees.asc* za sestojne parametre in *d1.asc*, *d2.asc*, *d3.asc*, *blshape.asc*, *rockdensity.asc*, *rg70.asc*, *rg20.asc*, *rg10.asc* in *soiltype.asc* za parametre hrapavosti terena. Prav tako smo spremenili vektorsko (.shp) datoteko DMR v rastrsko (.asc) datoteko. Velikost ene rastrske celice je bila omejena na 12,5 x 12,5 m, ker je ločljivost DMR 12,5 m.

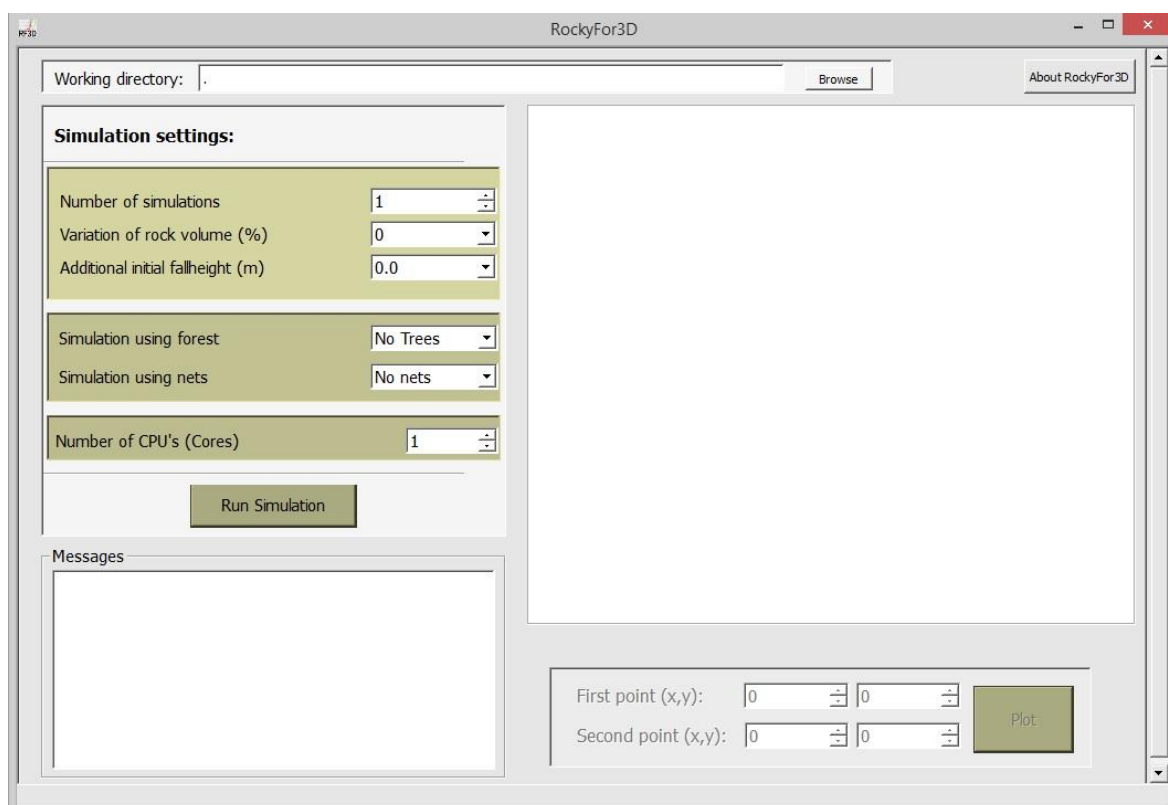
Na koncu smo rastrske (.asc) datoteke zbrali v točno določeni mapi, ki je kasneje vir podatkov za simulacijo s programom RockyFor3D.

5.2.2.2 Potek simulacije v program RockyFor3D

Ob zagonu programa (slika 24) izberemo mapo (ang. *working directory*), v kateri so potrebne rastrske (.asc) datoteke za simulacijo. V oknu programa nastavimo parametre, ki so pomembni za samo simulacijo:

- Število simulacij (ang. *number of simulations*), ki pomeni število poti posamezne skale, ki jih program proži iz vsake izvirne rastrske celice. Večje kot je število simulacij, natančnejši so rezultati.

- Variacija volumna skal (ang. *variation of rock volume %*) je odstotek naključne spremembe velikosti skale znotraj vsake posamezne simulacije poti skale.
- Dodatna začetna višina padca (ang. *aditional initial fallheight*) je višina v metrih nad DMR, s katere bo program spustil kamen oz. skalo v simulaciji. Za višino lahko vzamemo višino skalnega izvora in povečamo oz. spreminjamo začetno energijo padajočega kamenja.
- Simulacija z gozdom ali brez (ang. *simulation using forest*) ter kakšni so vhodni podatki o gozdu, t. i. rastrski (.asc) ali tekstovni (.txt).
- Simulacija z varovalnimi mrežami oz. ograjami (ang. *simulation using nets*).
- Število procesnih jeder (ang. *number of CPU's*), ki jih imamo na voljo za simulacijo (odvisno od računalnika). Več jih imamo na voljo, hitrejša je simulacija.



Slika 24: Začetno okno programa RockyFor3D

V programu RockyFor3D smo določili 3.000 ponovitev simulacij. Začetno višino padca kamenja smo nastavili na 10 m, variacijo velikost kamenja na $\pm 10\%$. Uporabili smo 2 procesni jedri (odvisno od računalnika). Program je v simulaciji s 3.000 ponovitvami iz vsakega skalnega izvora oz. rastrske celice velikosti 12,5 x 12,5 m sprožil 18.393.000 skal.

Program ima še dva dodatna začetna parametra, začetno vertikalno in horizontalno hitrost skale, ki ju ne moremo spreminjati. Oba parametra sta nastavljena na hitrost 0,5 m/s (1,8 km/h). Za povečanje vertikalne hitrosti lahko povečamo dodatno začetno višino padca.

Rezultat simulacije so nove rastrske (.asc) datoteke, ki smo jih uredili v programu Quantum GIS za lažjo predstavitev in analizo. V primeru, da smo imeli simulacijo brez gozda, smo dobili 12 novih rastrskih (.asc) datotek, v primeru simulacije z gozdom pa 14. Za razumevanje novih rastrskih (.asc) datotek je Dorren (2012) pripravil kratko pojasnilo:

- E_mean.asc: povprečna kinetična energija (vrtilna prek težišča + vrtilna prek osi) na rastrsko celico (kJ). Dorren (2012) priporoča uporabo tega parametra pri ustvarjanju karte ogroženosti.
- E_95.asc: 95–odstotni interval zaupanja povprečne kinetične energije v rastrski celici (kJ). Glede na izkušnje je vrednost dejanske energije, ki se sprosti ob padcu kamenja, med E_mean in E_95.
- Ph_mean.asc: povprečje višin odbojev kamnov, ki so potovali prek določene rastrske celice (m).
- Ph_95.asc: 95 odstotni interval zaupanja od vseh višin odbojev skal, ki so prečile določeno rastrsko celico (m). Lahko jo razumemo kot največjo višino odbojev skal, ki so prečkale določeno rastrsko celico.
- Nr_passages.asc: število skal, ki so prečkale določeno rastrsko celico.
- Nr_sourcecells.asc: iz koliko različnih izvornih celic izvira kamenje, ki je prispelo v določeno rastrsko celico.
- Reach_probability.asc: ali je verjetnost, da kamen pride v dano celico, večja ali manjša (večje oziroma manjše vrednosti na zemljevidu). Ne pove, kakšen je domet skal, temveč mesto gostitve kamenja.
- Nr_deposited.asc: število ustavljenih skal v vsaki rastrski celici.
- Rvol_deposit.asc: največji volumen skale, ki se je ustavila v določeni rastrski celici (m³).
- EL_angles.asc: rastrska (.asc) datoteka z najmanjšim kotom energijske črte na celico (v °).
- Traj_time.asc: najkrajši čas, ki ga skala potrebuje, da iz izvirnega območja doseže določeno celico (sec).

- V_max.asc: največja hitrost skale v rastrski celici (m/s).

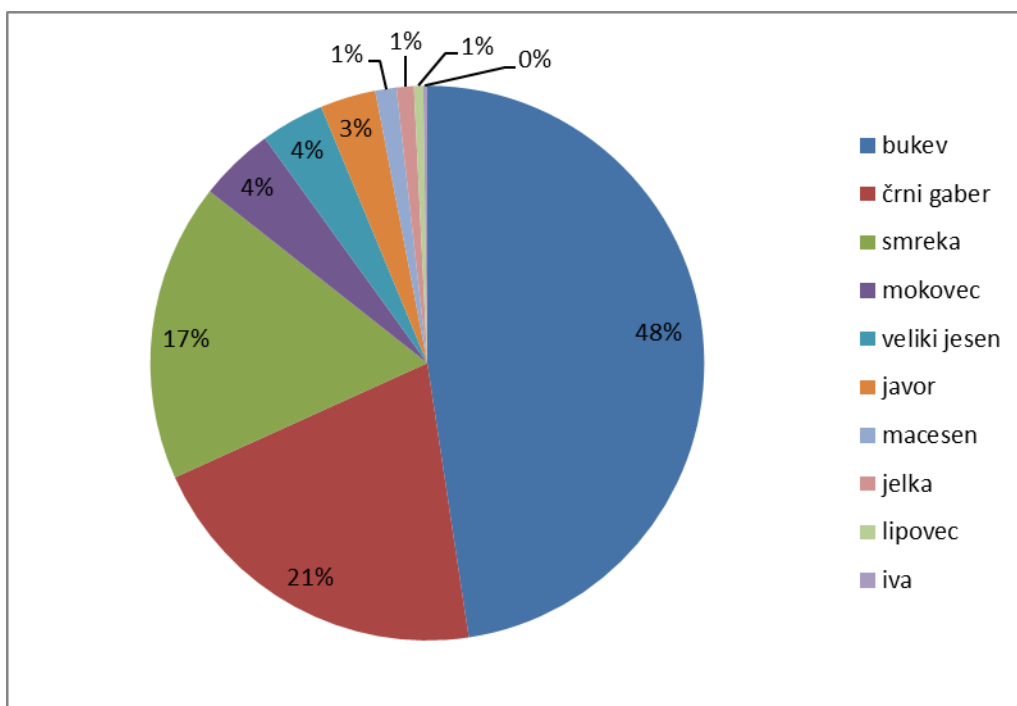
V primeru simulacije z gozdom program pripravi oz. dodatno naredi še dve rastrski (.asc) datoteki:

- Tree_impact_heights.asc: najvišje mesto udarca skale v drevo v rastrski celici (m).
- Nr_tree_impacts.asc: število udarcev v drevo rastrski celici.

6 REZULTATI

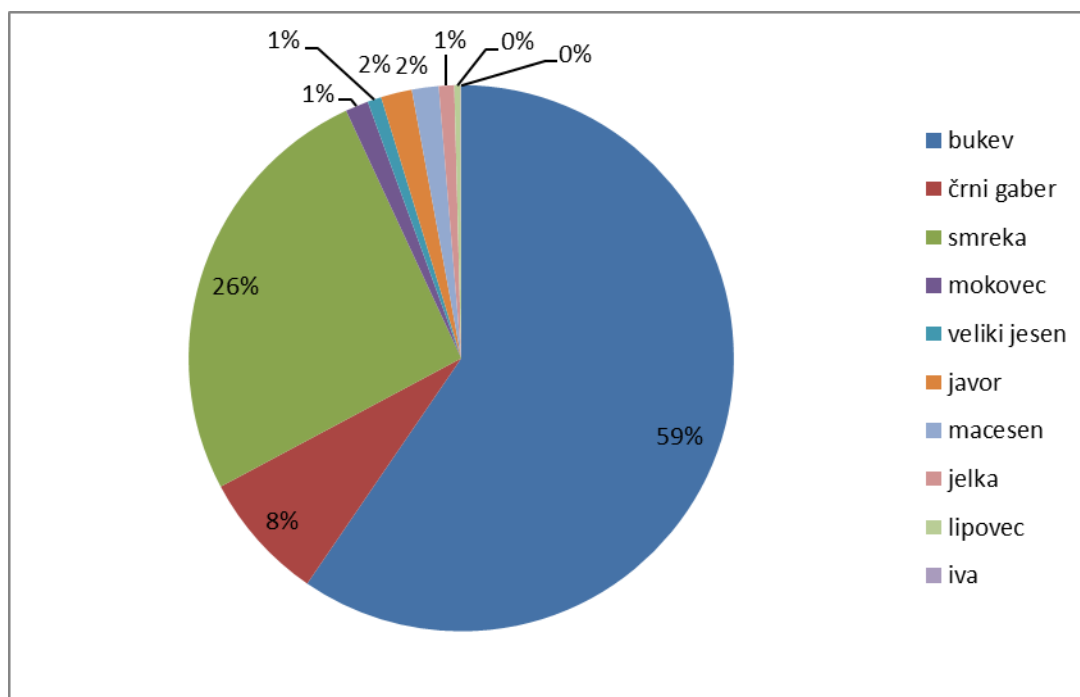
6.1 SPLOŠNA PODOBA GOZDA

Na 49 vzorčnih ploskvah smo popisali 1.294 dreves. Po številu dreves prevladujejo bukev (48 %), črni gaber (21 %) in smreka (17 %), sledijo še mokovec, veliki jesen in gorski javor (skupaj 11 %). Manj kot 3 % dreves predstavljajo macesen, jelka, lipovec in iva (slika 25), ki se pojavljajo posamično.



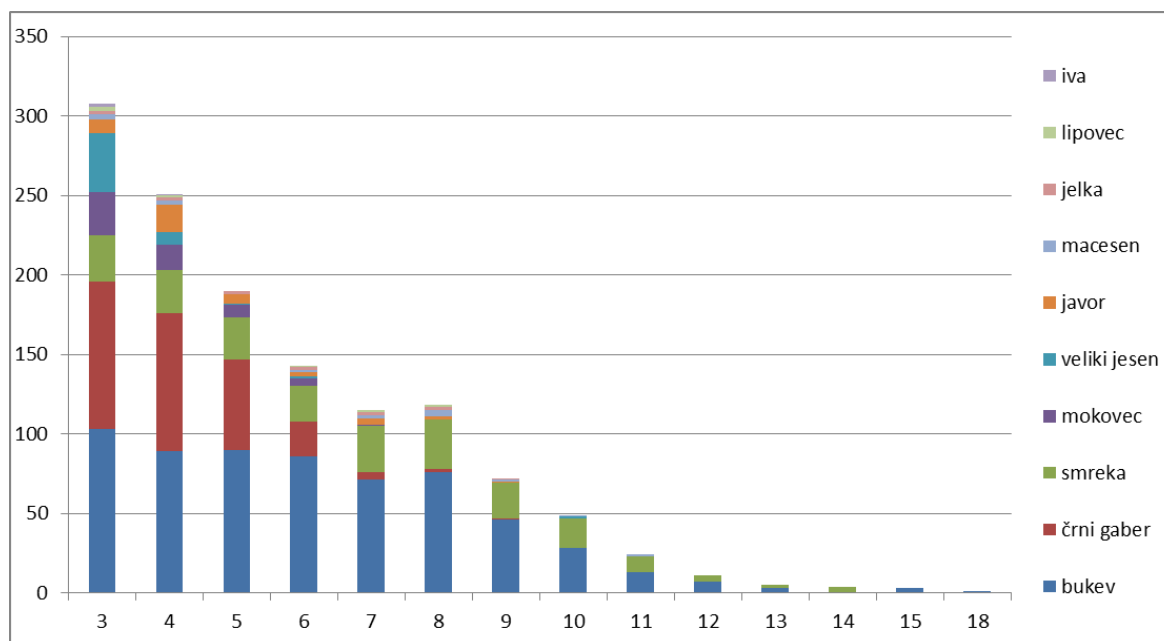
Slika 25: Porazdelitev števila dreves po drevesnih vrstah v Soteski

V lesni zalogi prevladujeta bukev (59 %) in smreka (26 %). Črni gaber je na tretjem mestu z 8 % skupne lesne zaloge. Manj kot 8 % lesne zaloge predstavljajo ostale drevesne vrste (slika 26).



Slika 26: Porazdelitev lesne zaloge po drevesnih vrstah v Soteski

Debelinska struktura prikazuje padajočo frekvenčno porazdelitev števila dreves po debelinskih stopnjah (slika 27). Rahel odklon je v 8. debelinski stopnji. V nižjih debelinskih stopnjah primanjkuje predvsem bukve in smreke. Termofilne vrste, kot so črni gaber, veliki jesen in mokovec, so prisotne v nižjih debelinskih stopnjah. V 16. in 17. stopnji ni nobenega drevesa. Najdebelejše izmerjeno drevo je bila bukev na ploskvi SD06 s prsnim premerom 85 cm.



Slika 27: Število dreves po debelinskih stopnjah

Ocenjena lesna zaloga znaša 430,7 m³/ha in je v primerjavi s podatki ZGS precej višja (140v – 295 m³/ha, 141v – 217 m³/ha, 142a – 409 m³/ha, 142v – 194 m³/ha, 143b – 569 m³/ha, 143v – 239 m³/ha, 144a – 145 m³/ha, 144v – 298 m³/ha, 8v – 158 m³/ha, 9v – 118 m³/ha, 10v – 74 m³/ha, 67a – 284 m³/ha) (Gozdnogospodarski ..., 2013; Gozdnogospodarski ..., 2012).

Preglednica 9: Strukturne značilnosti gozda v Soteski

št. ploskev	49
skupna površina ploskev (ha)	2,45
št. dreves na ploskvi	26,41
standardni odklon (KV %)	14,12 (53,47 %)
št. dreves/ha	528,16
standardni odklon (KV %)	282,46 (53,48 %)
temeljnica (m ² /ha)	31,47
standardni odklon (KV %)	11,29 (35,89 %)
lesna zaloga (m ³ /ha)	430,74
standardni odklon (KV %)	168,96 (39,23 %)

Na precejšnje razlike med posameznimi vzorčnimi ploskvami kaže podatek o koeficientu variacije pri številu dreves, temeljnici in ne nazadnje tudi pri lesni zalogi (preglednica 9). Razlike med ploskvami nakazujejo na precejšnjo površinsko raznomernost sestojev. Nekateri dosegajo zgornjo mejo sestojnih parametrov (št. dreves/ha, starejši debeljaki, pomanjkanje mladja, visoka lesna zaloga itd.), kar kaže na nujnost ukrepanja.

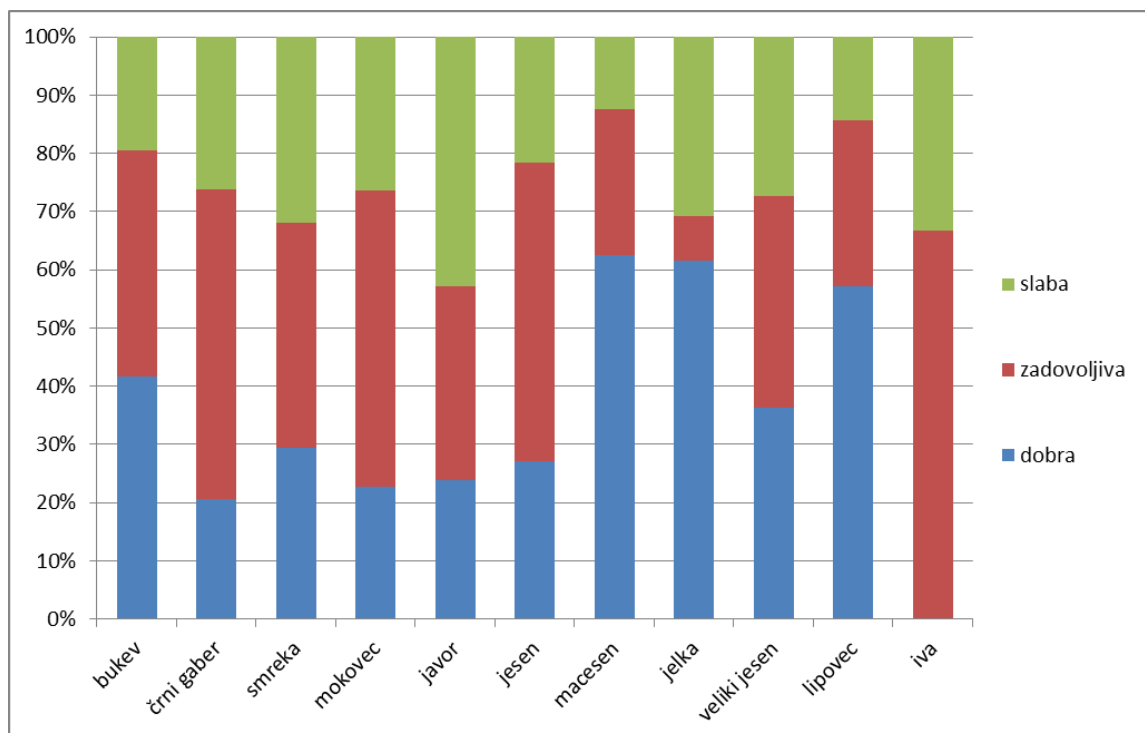
Razlog za precejšnje razlike med ploskvami je namreč v tem, da so bile vzorčne ploskve prisotne v zelo različnih sestojih. V bukovih sestojih je lesna zaloga zelo velika, število dreves pa zelo majhno. V sestojih črnega gabra in velikega jesena je situacija ravno obratna, nižja lesna zaloga, toda z zelo velikim številom dreves (preglednica 10).

Preglednica 10: Sestojni parametri bukovih sestojev in sestojev na ekstremnih rastiščih

	št. dreves / ha	DBH (cm)	delež iglavcev (%)	LZ (m ³ /ha)
sestoji č. gabra in v. jesena, 1. območje	1.620	14,8	8,1	365,6
sestoji č. gabra in v. jesena, 2. območje	700	13,4	8,6	116,7
sestoji č. gabra in bukve, 2. območje	1.040	17,5	4,1	318,0
bukov debeljak, 1. območje	335	31,4	13,3	526,0
bukov debeljak, 2. območje	480	29,7	14,1	645,0
bukov debeljak, 3. območje	390	32,1	32,3	519,0

Preglednica 10 jasno pokaže razlike med sestoji na ekstremnih rastiščih in rastiščih, ki so primerna za bukove sestoje. Precejšnja nihanja so odvisna tudi od deleža iglavcev, števila dreves in vrstne sestave. Bukovi sestoje se pojavljajo predvsem na območju med skalnimi izvori in cesto oz. železnico. Sestoji črnega gabra se pojavljajo na območjih skalnih izvorov oz. nad njimi. Del sestojev črnega gabra leži tik ob levem bregu reke Save Bohinjke, severno od nekdanje železniške postaje Soteska. Če primerjamo sliki 25 in 26, vidimo, da imamo zelo veliko število osebkov črnega gabra, a v skupni lesni zalogi predstavljajo relativno majhen delež. Smreke je po številu osebkov manj, a v skupni lesni zalogi predstavlja večji delež.

Na vsaki popisni ploskvi smo ocenili stabilnost vseh dreves (slika 28). Drevesa bukve, macesna, jelke, velikega jesena in lipovca so večinoma dobro do zadovoljivo stabilna. Drevesa smreke in črnega gabra so večinoma zadovoljivo do slabo stabilna. Stabilnost smo ocenjevali na podlagi poškodb, zakoreninjenosti, možnosti prevrnitve v prihodnosti, bolezni ipd. Na podlagi dimenzijskega razmerja R (razmerje med višino in prsnim premerom drevesa) smo ugotovili, da je 64 % dreves dobro stabilnih. Mejna vrednost razmerja R za uvrstitev drevesa med dobro stabilne je $R \leq 80$.



Slika 28: Stabilnostni deleži po drevesnih vrstah

Na vsaki ploskvi smo popisali še mladje po drevesnih vrstah in dveh velikostnih razrednih od $10 \text{ cm} \leq h \leq 130 \text{ cm}$ in od $1,3 \text{ m} \leq h$ do prsnega premera 10 cm. Podatki o številu mladja so prikazani v preglednici 11. Visoko število bukovih osebkov je bilo na točki SL06, kjer je uspevalo mladje v svetlobnem jašku. Drugod je bilo zelo malo ali skoraj nič bukovega mladja.

Preglednica 11: Število mladja po drevesnih vrstah na ploskvah

vrsta	število osebkov		
	I. razred $10\text{ cm} \leq h \leq 130\text{ cm}$	II. razred od $1,3\text{ m} \leq h$ do DBH 10 cm	skupaj
bukev	1.565	382	1.947
smreka	122	583	705
jesen	108	68	176
leska	85	0	85
mokovec	65	0	65
črni gaber	63	15	78
javor	53	20	73
nagnoj	7	4	11
lipa	4	0	4
breza	1	0	1
brest	1	0	1
bezeg	0	180	180
jerebika	0	1	1
skupaj	2.074	1.253	3.327

Na ploskvah smo popisovali še število poškodb na drevju ter število in velikost zadržanega kamenja. Ugotovili smo, da je bilo 65 % dreves poškodovanih. V povprečju je imelo vsako poškodovano drevo skoraj 5 poškodb. Prevladovala so poškodbe velike do 10 cm. Prav tako smo ugotovili, da je 31 % dreves zadržalo kamenje. V povprečju je posamezno drevo zadržalo 4,6 kamna. Povprečna velikost zadržanega kamna oz. skale je bila 21,5 x 17,6 x 15,8 cm. Podatki so zbrani v preglednicah 12 in 13. Največja zadržana skala je merila 170 x 80 x 50 cm, ki jo je zadržal javor na točki SD02.

Preglednica 12: Podatki o številu poškodb in št. poškodovanega drevja

št. poškodb < 10cm	2.128
št. poškodb > 10 cm	1.826
št. poškodovanih dreves	837
delež poškodovanega drevja	64,7 %

Preglednica 13: Podatki o količini in velikosti zadržanega kamenja

število zadržanega kamenja	1.879
povp. dolžina kamenja (cm)	21,6
povp. širina kamenja (cm)	17,6
povp. višina kamenja (cm)	15,8
št. dreves s kamenjem	406
delež dreves s kamenjem	31,4 %

6.2 SIMULACIJA PADAJOČEGA KAMENJA S PROGRAMOM ROCKYFOR3D

V simulacijah smo predvideli tri različne scenarije. Simulacijo padajočega kamenja brez gozda, simulacijo s trenutnim gozdom (podatki, zbrani na terenu) ter simulacijo s prebiralnim gozdom, ki naj bi nudil oz. zagotavljal trajno varovalno funkcijo. V simulacijah smo uporabili vhodne podatke o sestojih in hrapavosti, ki smo jih predhodno uredili, ter digitalni model reliefa.

V analizi smo uporabili podatke datotek *E_95.asc* (95-odstotni interval zaupanja povprečne kinetične energije v rastrski celici) in datoteke *Nr_deposited.asc* (število odloženega kamenja v posamezni rastrski celici).

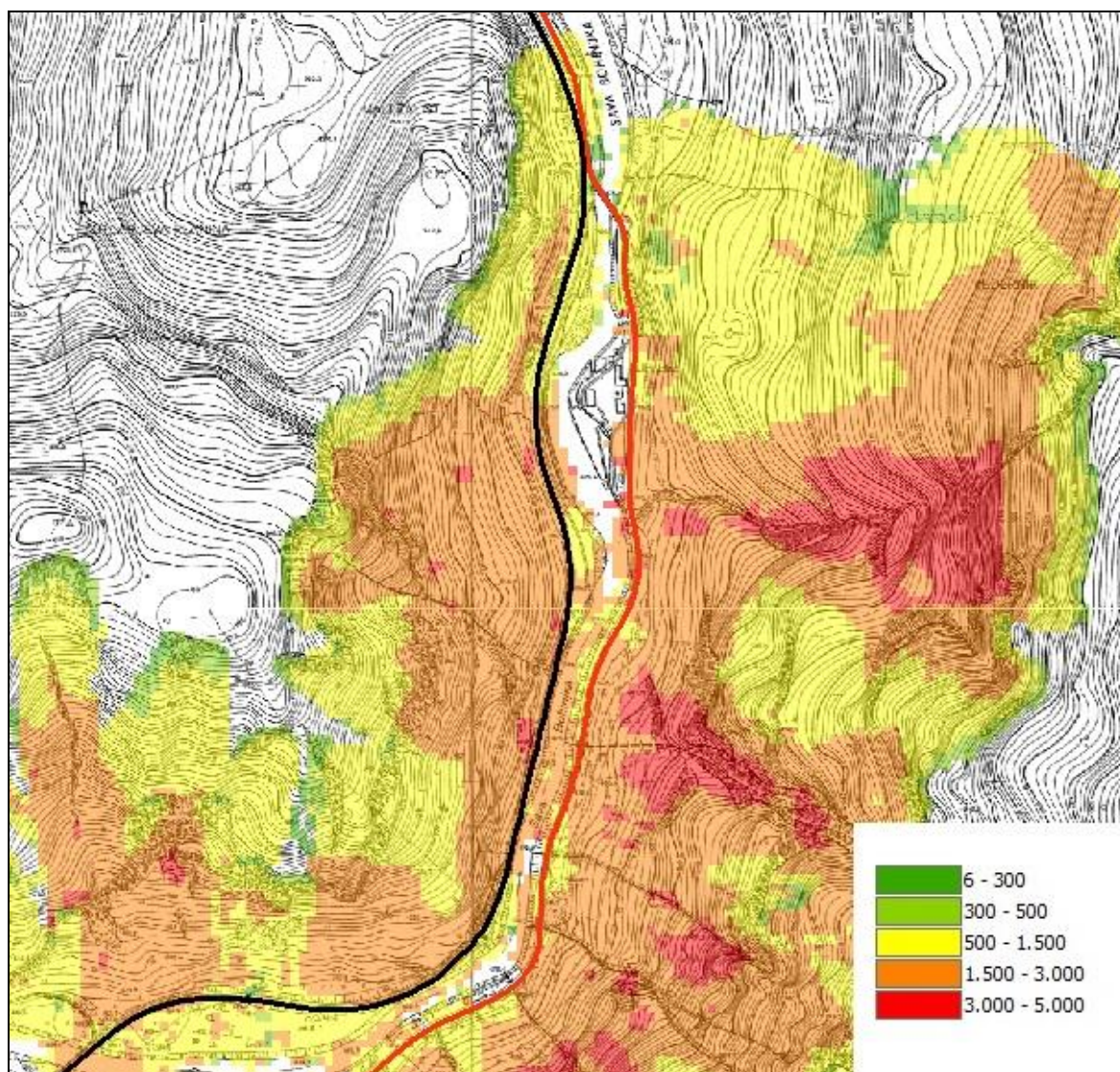
Zaradi velikega območja smo rezultate o energiji in številu odloženega kamenja na železniški progi in cesti razdelili na tri območja:

- Prvo območje od cestnega mostu pri HE Lip do vzhodnega železniškega mostu.
- Drugo območje od vzhodnega železniškega mostu do zahodnega železniškega mostu.

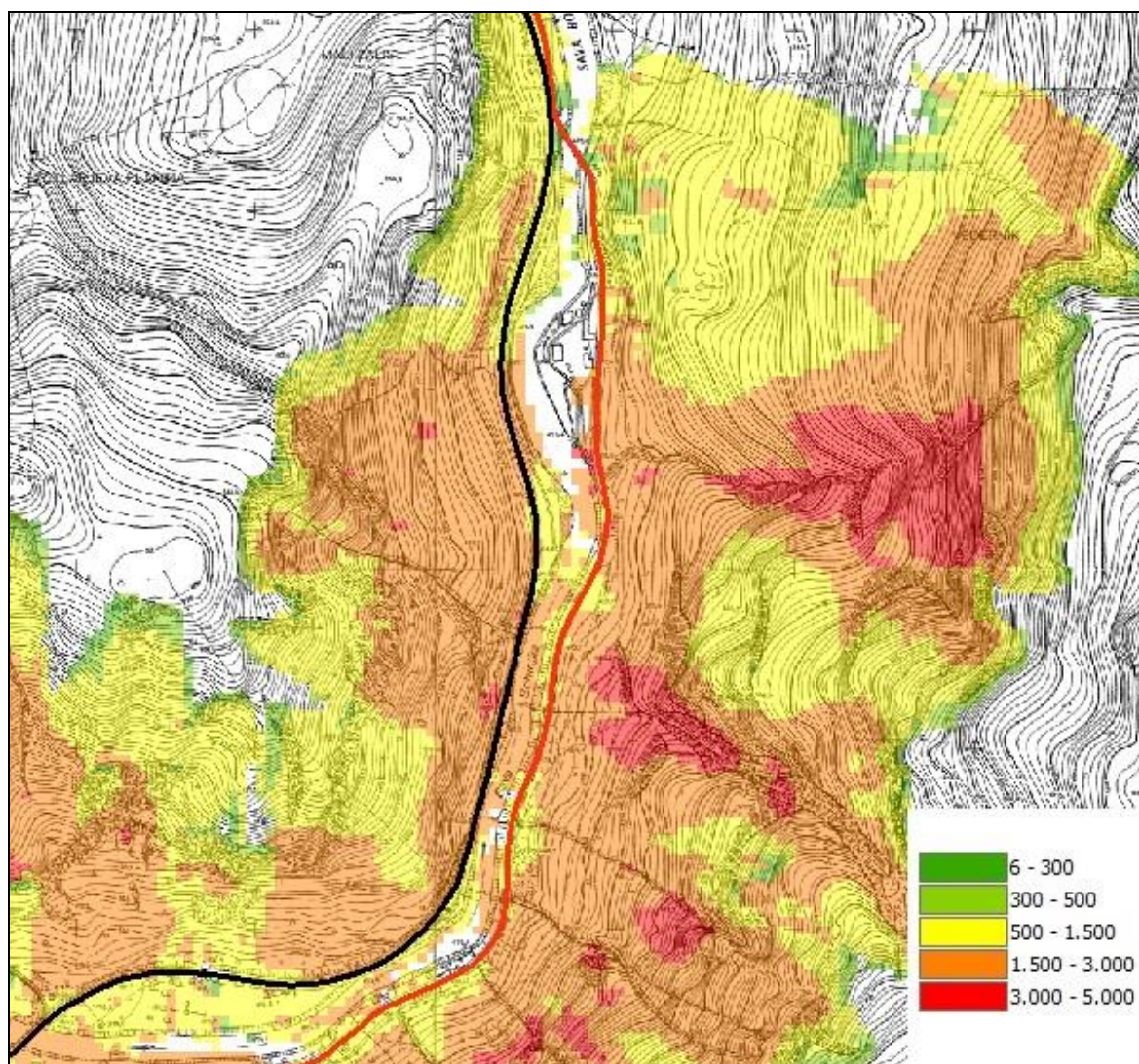
- Tretje območje od zahodnega železniškega mostu do območja Za Mlakami, na koncu raziskovalnega objekta.

Zaradi velikega območja bomo grafično predstavili prvo in tretje območje. Rezultati za celotno območje v večjem merilu so v prilogah D in E. Ker so razlike pri E95 in številu odloženega kamenja med dejanskim in prebiralnim gozdom zelo majhne ali jih skoraj ni, bomo grafično predstavili razlike med dejanskim gozdom in stanjem brez gozda.

Pri pregledu celotnega območja Soteske težko opazimo razlike pri spremembi vrednosti energije med obema scenarijema. Vidnejše razlike so pri pregledu posameznih območij.



Slika 29: Karta ogroženosti E95 za prvo območje brez gozda (enote v legendi so v kJ)



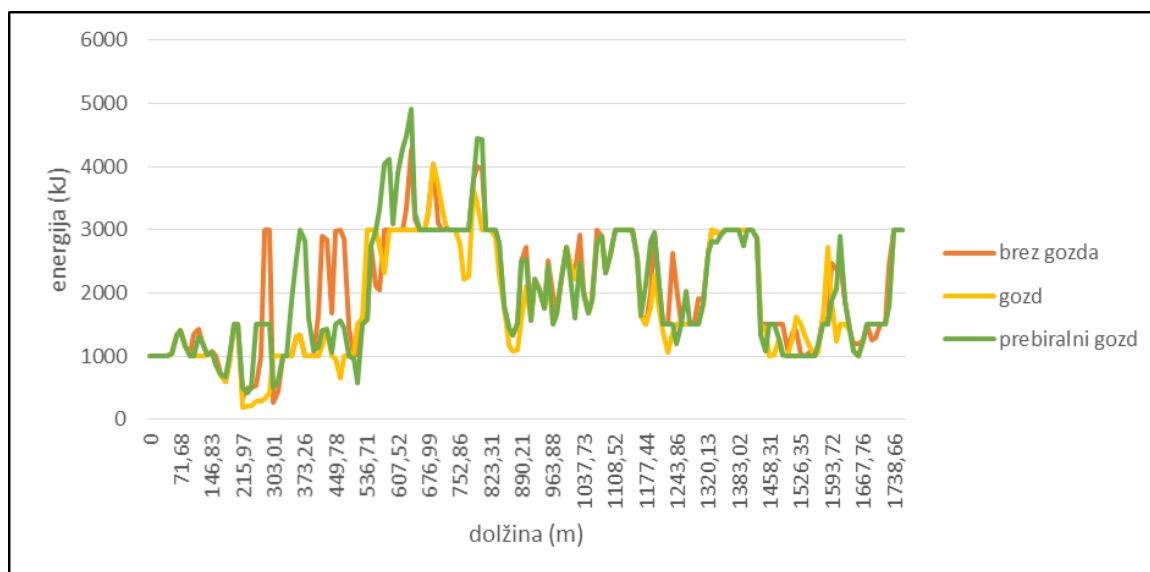
Slika 30: Karta ogroženosti E95 za prvo območje z dejanskim gozdom (enote v legendi so v kJ)

Razlike med vrednostmi energij za posamezne scenarije so pri pozornem ogledu vidne predvsem na robnih območjih posameznih energijskih polj. Posamezne rastrske celice na pobočjih spremenijo svoje energijske vrednosti. Nad železniško progo na območju pri HE Lip in protiplazovni galeriji I. se devetim rastrskim celicam znižajo vrednosti energij z od 3.000 do 5.000 kJ na 1.500 do 3.000 kJ. Nad cesto so razlike v spremembi energije rastrskih celic vidnejše. Do 40 rastrskim celicam so vrednosti padle z od 3.000 do 5.000 kJ na 1.500 do 3.000 kJ.

Pri pregledu slikovnih razlik v spremembi energij za tretje območje sprememb skoraj ne zaznamo (prilogi F in G). Le nekaterim posameznim rastrskim celicam se vrednosti energij spremenijo.

S primerjavo slik različnih scenarijev smo ugotovili, da se območja ogroženosti ceste in železnice ne spreminjajo. Razlike med scenariji so vidne le pri podrobnem pregledu območij. Razlike v energiji med scenariji so vidne na mejah posameznih energijskih razredov. Večje vidne razlike so na prvem območju, pri primerjavi scenarijev za dejanski gozd in negozdno površino (sliki 29 in 30).

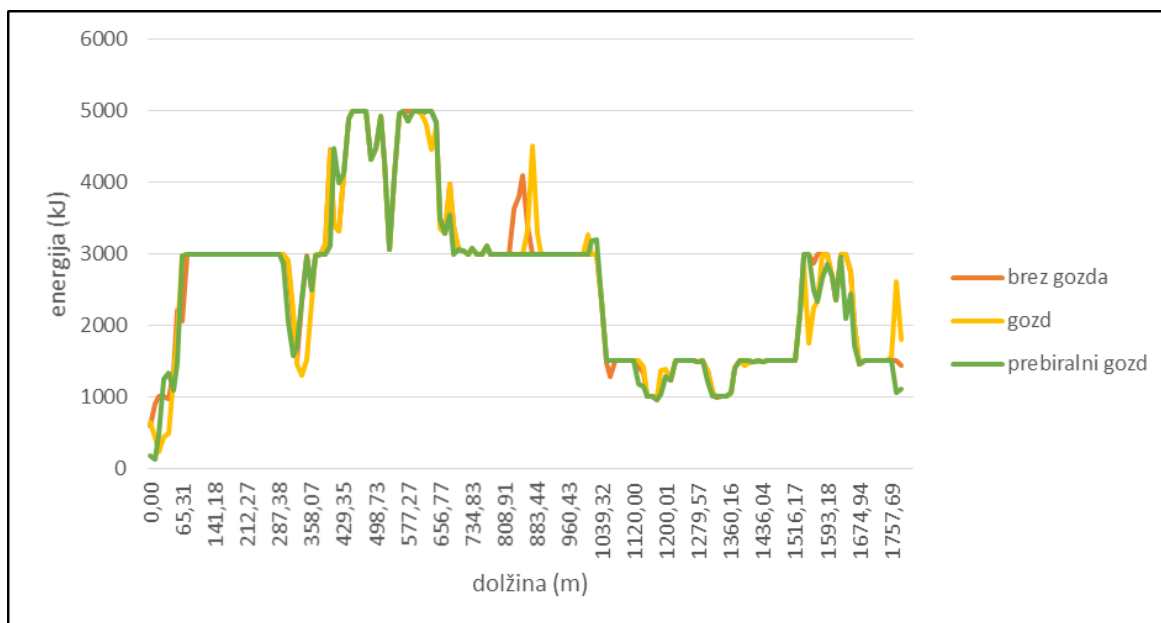
Ker so razlike med vrednostmi E95 med scenariji zelo majhne in jih s slik ne moremo razbrati, smo naredili t. i. profilne grafe rastrskih datotek, ki pokažejo vrednosti energije E95 na trasi ceste in železnice za posamezne scenarije.



Slika 31: Profilni graf vrednosti energij E95 za prvo območje ceste

Na prvem območju so razdalje od skalnih izvorov do ceste dolge od 65 do 580 m. Na profilnih grafih vrednosti energij zelo nihajo, kar je posledica velikih rastrskih celic na trasi ceste. Na sliki 31 lahko na posameznih mestih vidimo zmanjšanje energije zaradi prisotnosti gozda. Razlike med dejanskim gozdom in prebiralnim gozdom pri zmanjšanju energije so zelo majhne ali jih ni. Zmanjšanje energije lahko pripišemo daljši poti skale skozi gozd. Skala lahko na poti od skalnega izvora do ceste zadane ob več dreves in

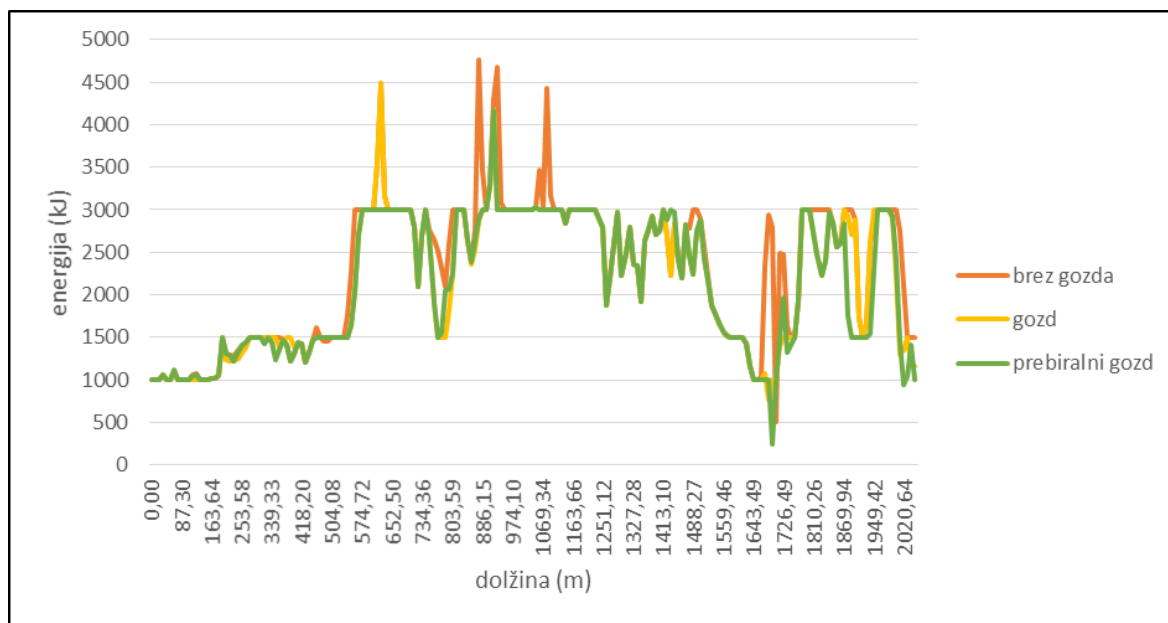
posledično izgubi več energije. Vrednosti energij na trasi ceste se v povprečju gibljejo okoli 2.040 kJ na območju brez gozda in okoli 1.860 kJ na območju z dejanskim gozdom.



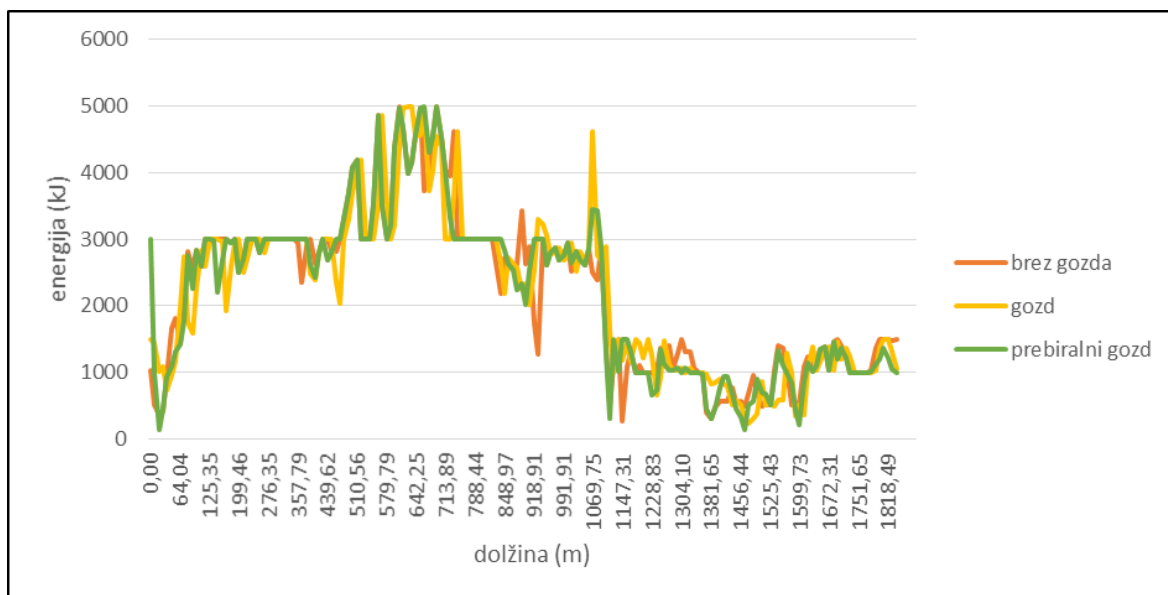
Slika 32: Profilni graf vrednosti energij E95 za tretje območje ceste

Na tretjem območju so razdalje med skalnimi izvori in cesto dolge od 5 do 187 m. V primerjavi s prvim območjem so razdalje krajše. Posledično skala udari ob manj dreves in izgubi manj energije. Povprečne vrednosti energije na trasi ceste se gibljejo od 2.640 kJ na območjih brez gozda do 2.570 kJ na območjih z dejanskim gozdom. Povprečne energije so na tretjem območju višje kot na prvem. Razlike med scenariji so majhne ali jih ni. Zaradi kratkih razdalj prisotnost gozda ne zmanjša vrednosti energij. Energijski skok med 358 in 688 m ceste za 2.000 kJ je posledica kratke razdalje med skalnim izvorom in cesto, ki znaša 5 m. Ponovno zvišanje energije na 1.516 m ceste za 1.500 kJ je spet posledica kratke razdalje med skalnim izvorom in cesto.

Podobne rezultate o vrednostih energije smo dobili na trasi železnice. Na prvem območju (slika 33), kjer so razdalje daljše, so razlike med gozdnim in negozdnim območjem vidne na treh do štirih določenih mestih. Vrednosti energij zopet nihajo zaradi velikosti rastrskih celic. Razlike med dejanskim in prebiralnim gozdom so majhne ali jih ni. Povprečna vrednost energije na območju brez gozda je okoli 2.300 kJ, na območju z gozdom pa okoli 2.100 kJ.



Slika 33: Profilni graf vrednosti energij E95 za prvo območje železnice



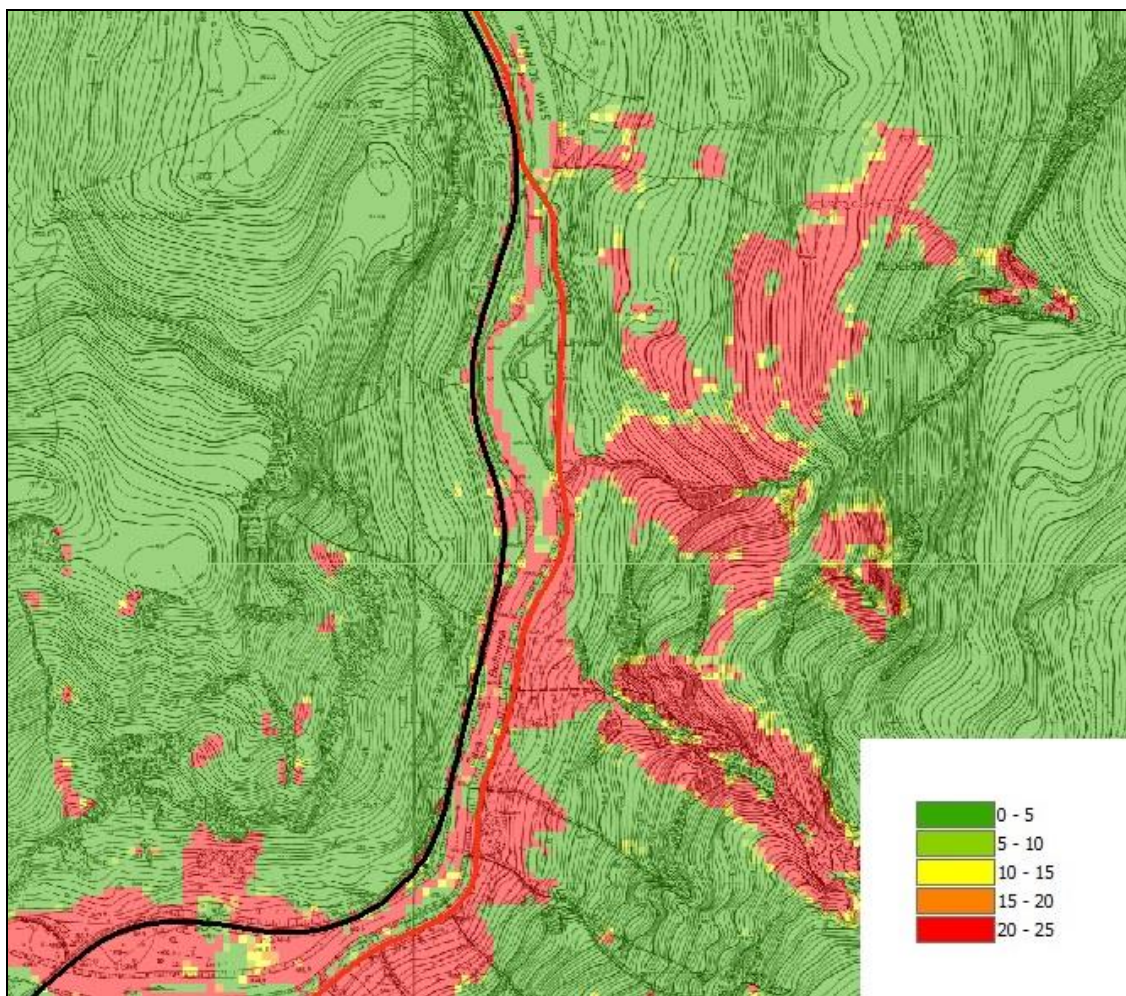
Slika 34: Profilni graf vrednosti energij E95 za tretje območje železnice

Profilni graf vrednosti energij za tretje območje železnice, kjer so razdalje med skalnimi izvori in cesto oz. železnico krajše, pokažejo, da ni večjih razlik med tremi scenariji (slika 34). Gozd torej nima velikega vpliva na zmanjšanje energije, če so razdalje krajše. Manjše vrednosti energij v drugi polovici grafa so zaradi oddaljenosti od pobočja ter ceste, ki leži med železnico in iztekom pobočja. Povprečne vrednosti energij se gibljejo okoli 2.200 kJ za območje brez gozda in tudi za območje z dejanskim gozdom.

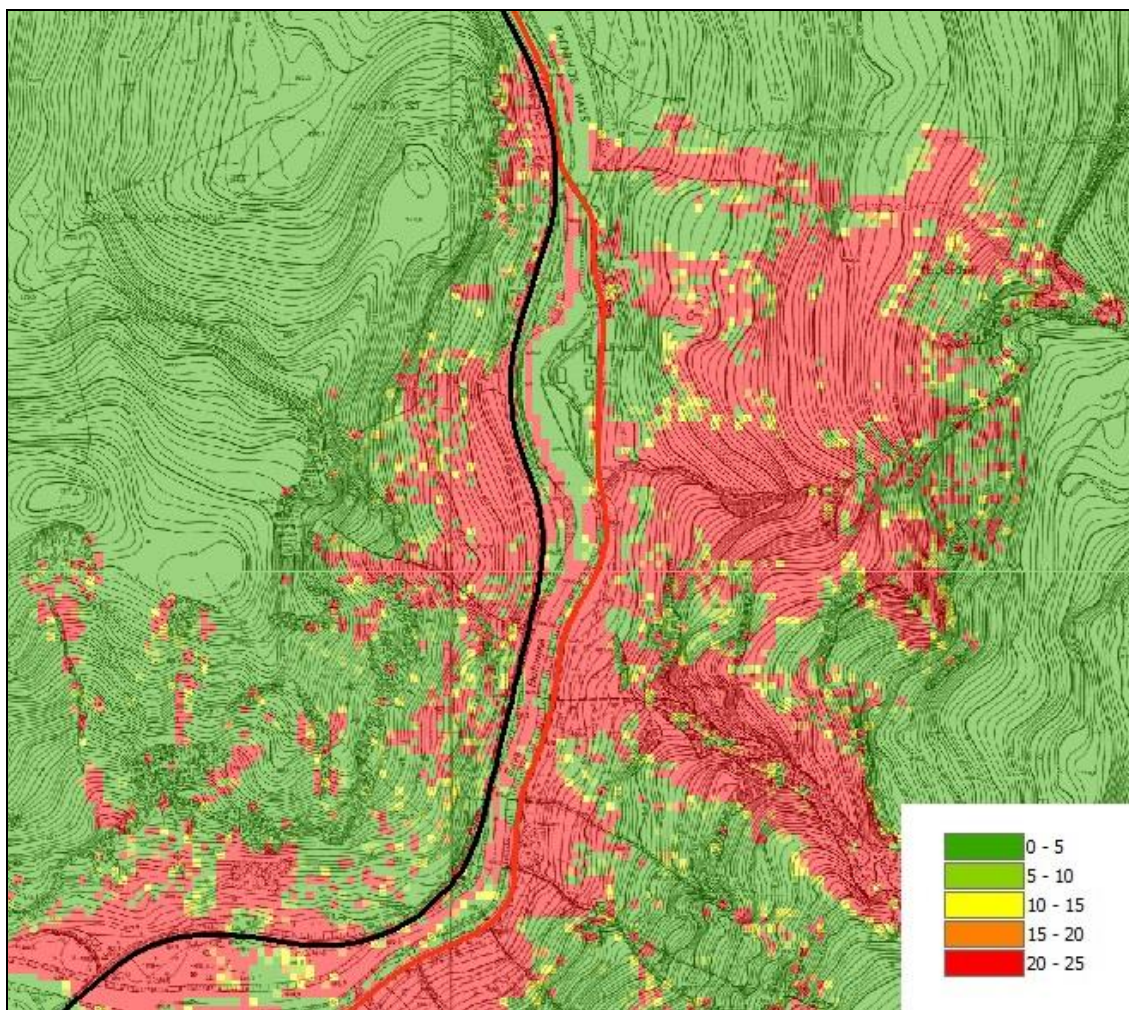
Uporaben podatek za ugotavljanje razlik med gozdnim in negozdnim scenarijem je število odloženega kamenja. Grafični prikaz nazorno pokaže razlike v številu odloženega kamenja med tremi različnimi scenariji, predvsem je vidna razlika med gozdnim in negozdnim scenarijem.

Število odloženih skal smo razdelili v 5 razredov z intervalom 5 skal. Za interval 5 skal smo se odločili na podlagi analize dejanskega števila zadržanega kamenja. Posamezno drevo, ki je zadržalo kamenje, je v povprečju zadržalo 4,6 skale.

V primeru zadržanega kamenja je razlika med scenariji na podlagi primerjave slik precej bolj opazna in očitna (sliki 35 in 36). Gozd s svojo prisotnostjo zadrži neprimerno več kamenja že na pobočju nad cesto oz. železnico.

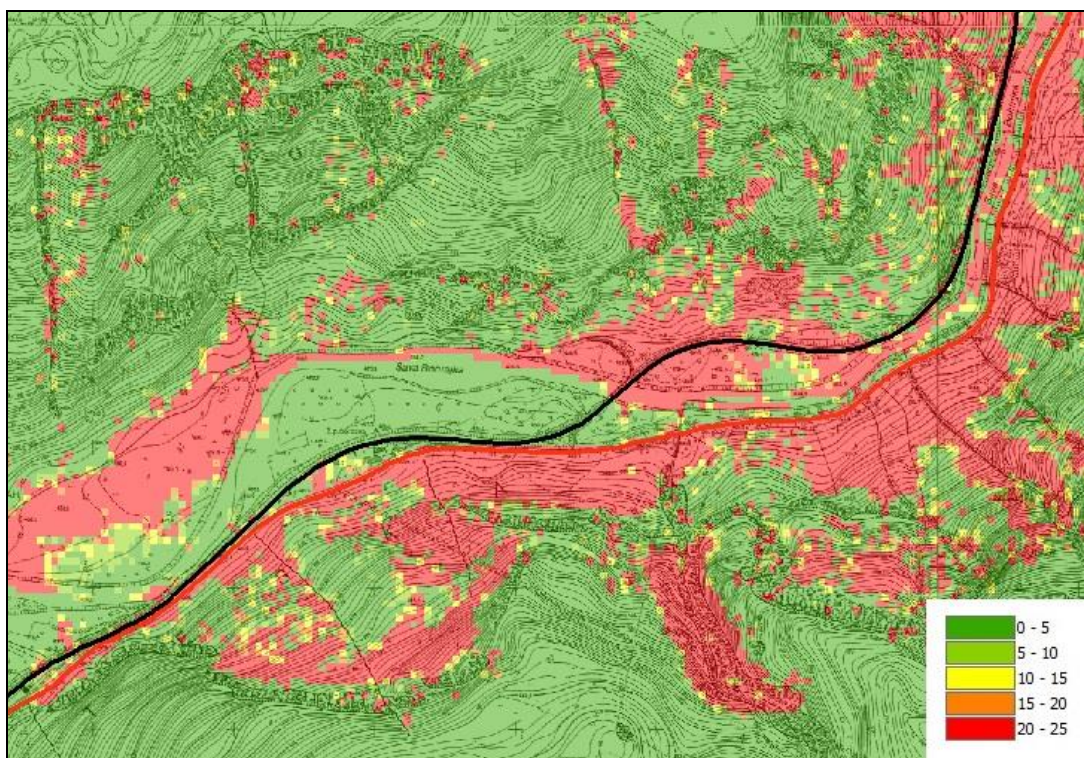


Slika 35: Karta s številom odloženega kamenja na prvem območju brez gozda (v legendi so prikazani razredi s št. odloženega kamenja)

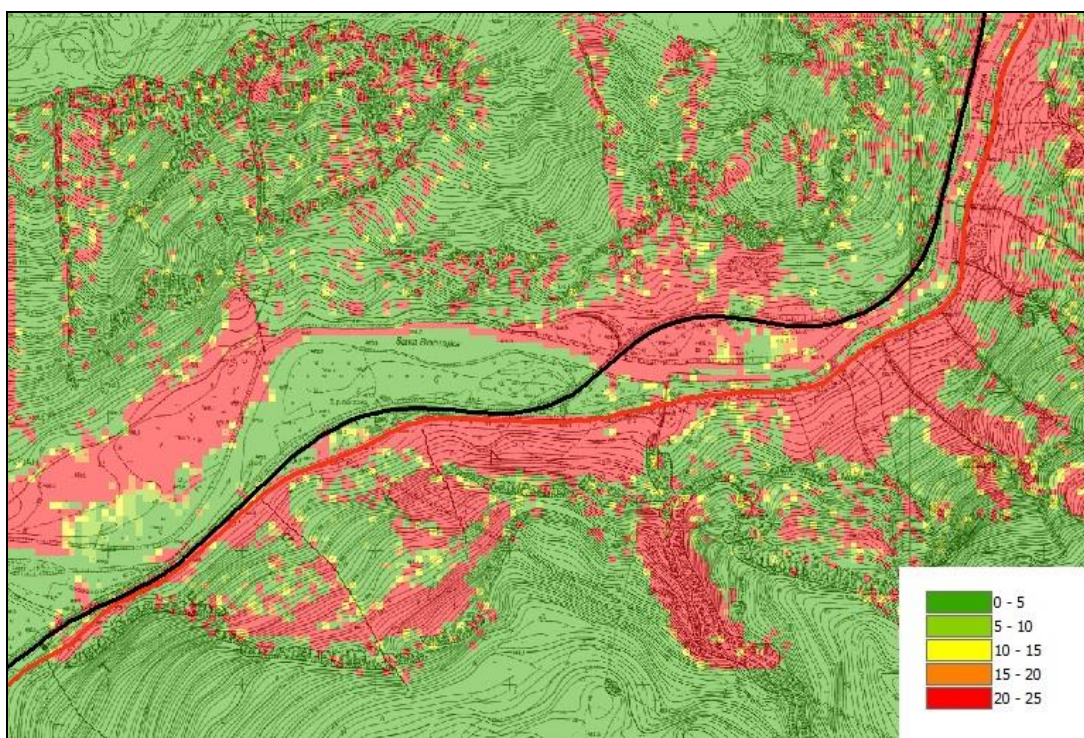


Slika 36: Karta s številom odloženega kamenja na prvem območju z dejanskim gozdom (v legendi so prikazani razredi s št. odloženega kamenja)

Zaradi vidne razlike med varovalnim učinkom dejanskega in prebiralnega gozda prikazujemo tudi drugo območje. Na levem bregu Save Bohinjke, severno od nekdanje železniške postaje Soteska, prevladujejo združbe črnega gabra in velikega jesena ter črnega gabra in bukve. Na slikah 37 in 38 je to območje nad železniško progo (označeno s črno barvo). Trenutni dejanski panjevski gozd zadrži manj skal velikosti 1 m^3 kot hipotetični prebiralni gozd na istem območju.



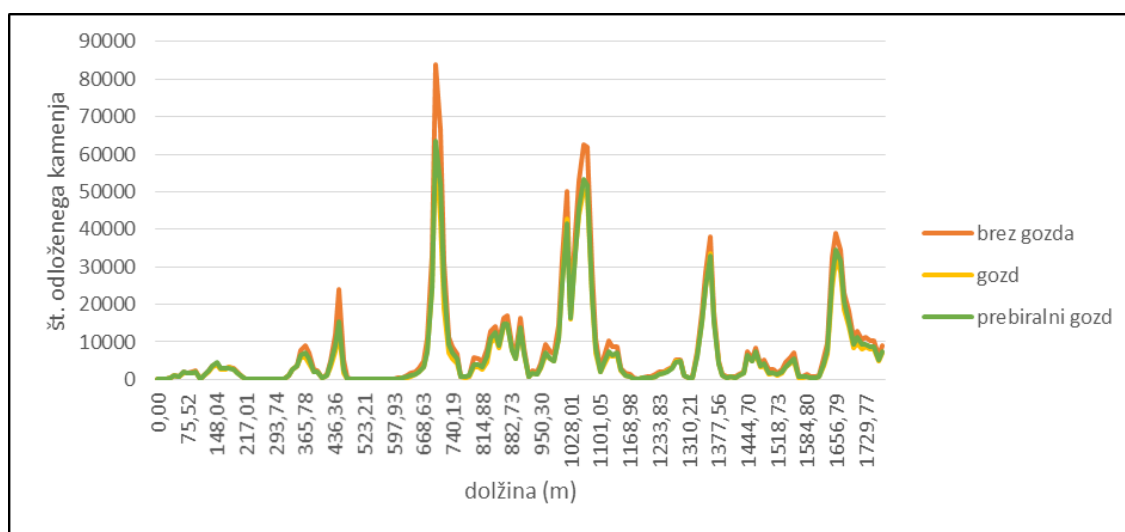
Slika 37: Karta s številom odloženega kamenja na drugem območju z dejanskim gozdom (v legendi so prikazani razredi s št. odloženega kamenja)



Slika 38: Karta s številom odloženega kamenja na drugem območju s prebiralnim gozdom (v legendi so prikazani razredi s št. odloženega kamenja)

Pri primerjavi slik prvega (slika 35) in tretjega območja (priloga H) glede na število zadržanega kamenja za dejanski gozd ugotovimo, da je gozd na prvem območju zadržal več kamenja kot na tretjem. Razdalje od skalnega izvora do ogrožene infrastrukture so na prvem območju daljše kot na tretjem. Posledično lahko gozd zadrži več skal. Z večanjem razdalje se povečuje število dreves, ki lahko uspešno zadrži padajoče skale.

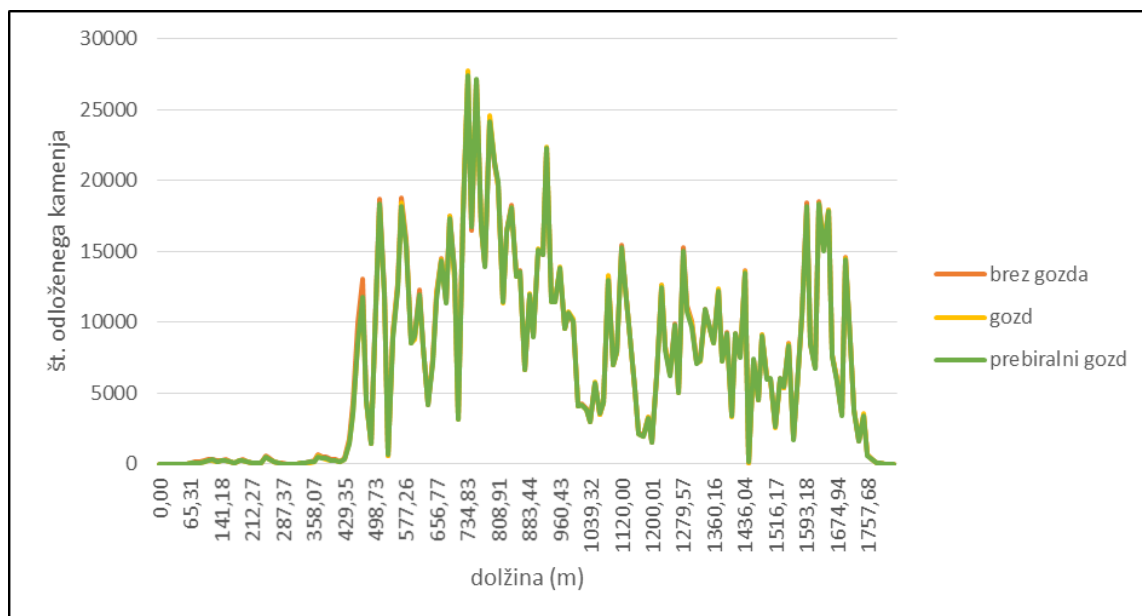
Enako kot pri analizi vrednosti energije E95 smo naredili profilne grafe za število odloženega kamenja na trasi ceste in železnice na treh območjih. Prikazali bomo le prvo in tretje območje. Visoke vrednosti odloženega kamenja so posledica simulacije s 3.000 ponovitvami. V eno rastrsko celico na trasi ceste oz. železnice so lahko skale zaradi konkavnega območja ali hudourniškega jarka prispele iz več rastrskih celic skalnih izvorov. Če je imel skalni izvor 10 rastrskih celic, je lahko hipotetično v eno rastrsko celico na trasi ceste oz. železnice prispelo 30.000 skal. V primeru, da je vrednost odloženega kamenja na določenem odseku npr. 20.000, to ne pomeni, da se dejansko odloži takšna količina kamenja v enem dogodku.



Slika 39: Profilni graf števila odloženega kamenja za prvo območje ceste za vse tri scenarije

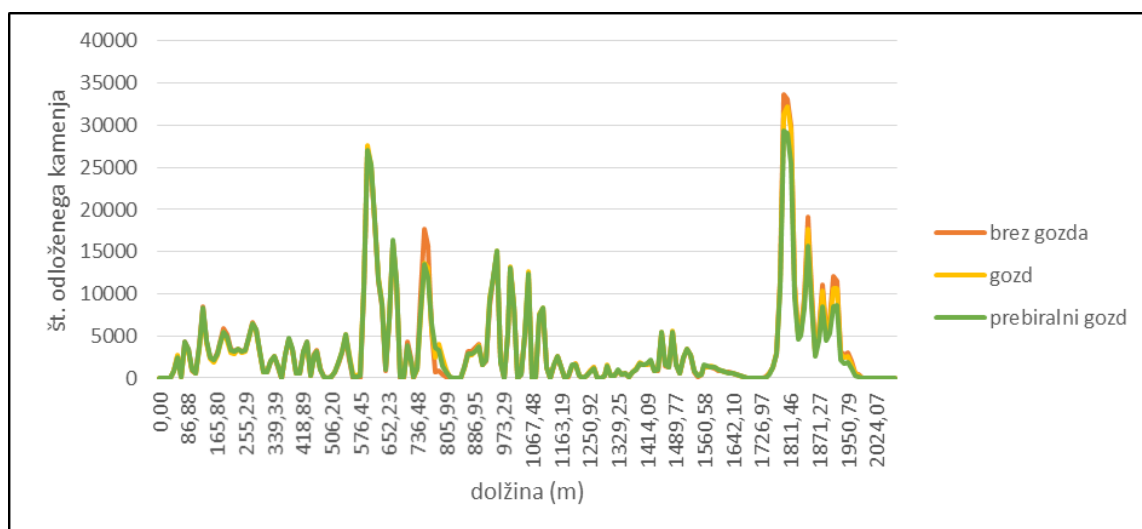
Na profilnem grafu števila odloženega kamenja za prvo območje ceste, kjer so razdalje daljše, lahko jasno vidimo razlike med gozdno in negozdno površino (slika 39). Glede na to, da so vrednosti odloženega kamenja na cesti nižje za gozdni scenarij, lahko sklepamo, da je gozd zadržal več skal že na pobočju. Povprečno število zadržanega kamenja na cesti

za negozdno območje znaša 8.278 skal, za gozdno območje pa 6.349 skal. Viški skal na določenih mestih sovpadajo z erozijskimi jarki ali bližino skalnih izvorov.



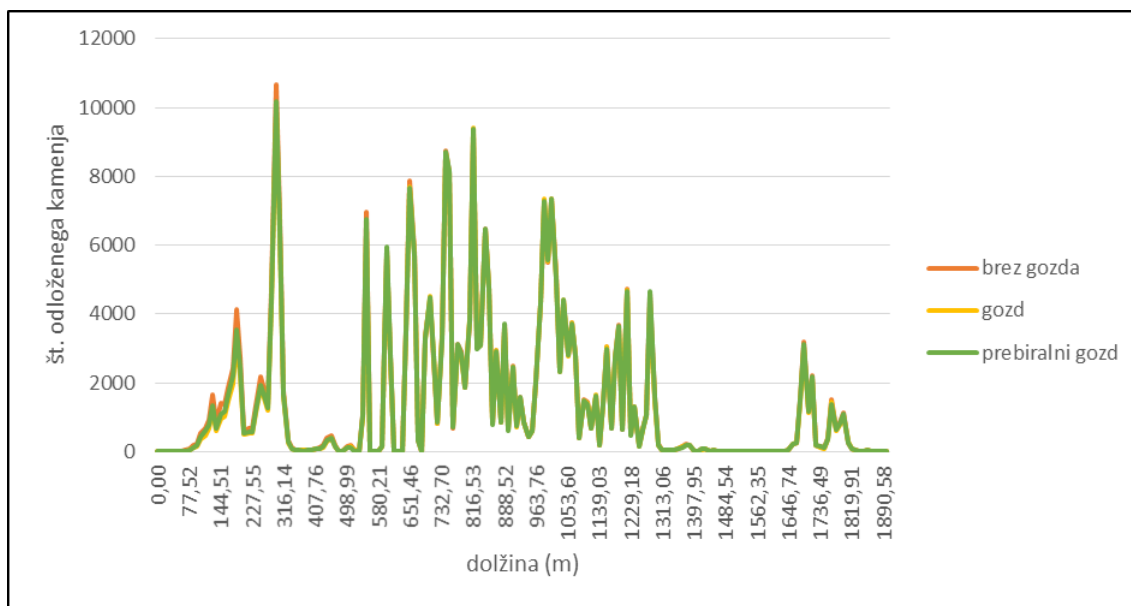
Slika 40: Profilni graf števila odloženega kamenja za tretje območje ceste za vse tri scenarije

Na tretjem območju so razdalje med skalnimi izvori in cesto krajše (slika 40). Razlike v količini zadržanega kamenja med različnimi scenariji so majhne. Majhne količine odloženega kamenja od začetka ceste pri mostu do 429 m so posledica oddaljenosti ceste od pobočja. Ko cesta prečka železnico v nadvozu, se količina odloženega kamenja močno poveča. V povprečju je bilo na trasi ceste odloženo 6.998 skal na območju brez gozda in 6.923 skal na območju z gozdom.



Slika 41: Profilni graf števila odloženega kamenja za prvo območje železnice za vse tri scenarije

Na profilnem grafu števila odloženega kamenja za prvo območje železnice lahko vidimo razlike med gozdno in negozdno površino (slika 41). Razlike so sicer nekoliko manjše kot na primeru trase ceste. Povprečno število zadržanega kamenja na trasi železnice za negozdno območje znaša 3.652 skal, za gozdno območje pa 3.454 skal. Viški skal na določenih mestih sovpadajo z erozijskimi jarki ali bližino skalnih izvorov.



Slika 42: Profilni graf števila odloženega kamenja za tretje območje železnice za vse tri scenarije

Na tretjem območju so razdalje med skalnimi izvori in železnico krajše. Med iztekom pobočja in železnico je cesta, ki deluje kot dodatna ovira za padajoče kamenje. Razlike v količini zadržanega kamenja med različnimi scenariji so majhne (slika 42). V povprečju je bilo na trasi železnice odloženo 1.458 skal v scenariju brez gozda in 1.397 skal v scenariju z gozdom. Na tem mestu smo ugotovili, da cesta ščiti železnico pred padajočim kamenjem. Na železnico je prišlo manj skal kot na cesto.

7 RAZPRAVA

7.1 SPLOŠNA PODOBA GOZDA

Naša ocena za lesno zalogo na območju Soteske znaša 430,7 m³/ha in je precej višja, kot so ocene ZGS za oddelke na istem območju. Večina naših ploskev je na območju med skalnimi izvori in cesto oz. železnico, kjer rastejo bukovi in smrekovi debeljaki. Rastišča črnega gabra in velikega jesena, kjer so drevesa manjša, so zaradi težko dostopnega terena slabše popisana. Na izpostavljenih legah smo popisali 5 ploskev. Drugi razlog za nižje ocene lesne zaloge je v izbiri tarif za izračun lesne zaloge. V diplomski nalogi smo uporabili Čoklove vmesne tarife V7 za listavce in V8 za iglavce. Zavod za gozdove zadnjih štirideset let uporablja vmesne tarife V4/5 ali V4 za listavce in V5 za iglavce za izračun lesne zaloge v odsekih na območju Soteske. Tarife, ki smo jih uporabili v diplomski nalogi, so previsoke za izračun lesne zaloge na rastiščih črnega gabra in velikega jesena. Vendar na območju med skalnimi izvori in cesto oz. železnico prevladujejo bukovi debeljaki. Tudi če bi uporabili tarife, ki jih uporablja Zavod za gozdove, bi bila naša ocena lesne zaloge še vedno višja, in sicer 316,7 m³/ha. Ocene lesne zaloge Zavoda za gozdove so nekoliko podcenjene, naše ocene pa nekoliko precenjene zaradi zgoraj omenjenih razlogov.

Na območju Soteske je mladja malo. Razvito je v vrzelih, na območjih vetrolomov ali svetlobnih jaškov, ki nastanejo zaradi propada starejšega drevja. Na prehodih med posameznimi popisnimi ploskvami smo opazili vrzeli brez mladja. V drogovnjakih in debeljakih mladja skoraj ni. Bachofen (2009) je določil ciljne vrednosti števila mladja na hektar (slika 7), pri katerih bi zagotavljali trajnost varovalne funkcije gorskega gozda. V Soteski teh vrednosti ne dosegamo (preglednica 11). Brang in Duc (2002) sta ugotovila, da bi za zagotavljanje trajne varovalne funkcije gozda potrebovali vsaj 10 % površine z mladjem na celotnem območju. Po našem mnenju tega cilja prav tako ne dosegamo.

7.2 SIMULACIJA S PROGRAMOM ROCKYFOR3D

V simulaciji smo uporabili digitalni model reliefa z natančnostjo 12,5 x 12,5 m. Manjših sprememb na terenu (jarki, večji skalni osamelci, skalni skoki ipd.) DMR z natančnostjo 12,5 x 12,5 m ne pokaže. Dovolj zgovoren primer je železniški nasip pred vzhodnim železniškim mostom, ki na DMR-ju ni viden in posledično ni upoštevan v simulaciji. Avtorji programa priporočajo natančnost od 2 x 2 m do 10 x 10 m (Dorren in sod., 2012). Stoffel in sodelavci (2006) so uporabili DMR-je z natančnostjo 1 x 1 m in 5 x 5 m, Dorren in sodelavci (2012) z natančnostjo 2,5 x 2,5 m. Z uporabo t. i. tehnologije LiDAR (ang. *light detection and ranging*) za izris digitalnega modela reliefa z natančnostjo do pol metra bi lahko dobili boljše, predvsem pa natančnejše rezultate. Vendar je tehnologija LiDAR dražja, ker vključuje letalsko ali helikoptersko snemanje terena.

V simulaciji smo izbrali kvadratno obliko skal. Avtorji programa so na testnem območju in v svoji simulaciji uporabili okrogle skale. Vpliv oblike skale še ni dovolj dobro raziskan (Dorren in sod., 2006c).

Ker smo imeli zelo veliko območje (dolžina okoli 5 km), je program za simulacijo padajočega kamenja potreboval od 3 (scenarij brez gozda) do 9 ur (scenarij z gozdom). Dorren in sod. (2006c) so raziskave in simulacijo opravili na precej manjšem območju (približno 150 x 250 m), prav tako tudi Stoffel in sodelavci (2006), kjer je največja velikost raziskovalnega objekta merila 850 m v širino in 1.500 m v dolžino, najmanjša pa le 20 x 60 m.

Dorren in sod. (2006) navajajo, da ima program RockyFor3D od 15- do 20-odstotno natančnost. Stoffel in sod. (2006) poročajo o enaki natančnosti na podlagi poskusa v Švici. Avtorji ugotavljajo, da je bil program narejen na podlagi enega samega poskusa v Franciji na točno določenem območju. Poskusi in analize v Avstriji in Švici potrjujejo natančnost in uporabnost tudi na drugih območjih (Stoffel in sod., 2006).

V našem primeru bi težko ocenili natančnost programa RockyFor3D, saj bi morali izvesti dejanski poskus na terenu. Če modelne podatke o številu zadržanega kamenja in njihovo

prostorsko razporeditev primerjamo z nemimi pričami (število poškodb na drevju, zadržano kamenje), lahko na določenih območjih ugotovimo, da t. i. neme priče nakazujejo točnost podatkov, pridobljenih s pomočjo programa RockyFor3D.

Skoraj vsi dosedanja poskusi so bili izvedenih v sestojih, v katerih prevladujejo iglavci. Pri poskusu v Franciji je bilo na območju 50 % jelke, 25 % smreke in okoli 17 % bukke (Dorren in sod., 2006). Na območju Soteske prevladujejo listavci oz. bukovi sestoji in sestoji črnega gabra na ekstremnih rastiščih. Dorren in sod. (2005) so ugotovili, da iglavci nudijo nekoliko boljšo zaščito pred padajočim kamenjem.

Podatka o energiji in številu odloženega kamenja medsebojno nista primerljiva. Z energijo lahko določimo ogrožene odseke ceste in železnice. Razlike med gozdno in negozdno površino določamo na podlagi analize podatkov o številu odloženega kamenja.

Dorren in sod. (2012) priporočajo uporabo podatkov o energiji za določanje območij ogroženosti. Pri analizi vrednosti energij smo ugotovili, da gozd v primerjavi z negozdno površino bistveno ne vpliva na zmanjšanje energije. Primerjava profilnih grafov energij je sicer pokazala, da so vrednosti energije nekoliko nižje, če je na območju gozd, vendar so razlike majhne. Pri primerjavi slik energijskih polj smo ugotovili, da se vrednosti energije zmanjšajo na robovih energijskih polj ali na območju ene rastrske celice, če je na območju gozd. Učinek gozda je tako premajhen za ustrezno zmanjšanje energije padajočega kamenja in s tem zagotavljanje zaščitne funkcije pred padajočimi skalami velikosti 1 m³.

Pri primerjavi profilnih grafov števila odloženega kamenja smo ugotovili, da je bilo na trasi ceste oz. železnice odloženo manjše število skal, če je na območju gozd. Pri primerjavi slik števila odloženega kamenja za vse tri scenarije ugotovimo, da dejanski in prebiralni gozd zadržita neprimerno več kamenja že na pobočjih nad cesto in železnico kot pa pobočje brez gozda. Tako kot Stoffel in sod. (2006) smo ugotovili, da gozd nudi boljšo zaščito pred padajočim kamenjem. Razkroj sestojnih struktur (npr. zaradi vetroloma) bi pomenil poslabšanje varovalnega učinka. Stoffel in sod. (2006) so sicer uporabili višino udarcev kamenja ob deblo za ugotavljanje razlik med gozdnim in negozdnim območjem, a so prišli do enakih ugotovitev.

Na območju Soteske lahko padajoče skale prečkajo več heterogenih sestojev. Hipoteze, da prebiralni gozd nudi boljšo zaščito kot dejanski gozd, ne moremo potrditi. Razlike vrednosti energij so majhne. V oddelku 141v sestavljata dejanski gozd sestoja črnega gabra in velikega jesena ter črnega gabra in bukve. Drevje raste v obliki panjevca, ki uspešno zadržuje kamenje do velikosti 0,2 m, pogojno do velikosti 0,5 m (Jancke in sod., 2009). V simulaciji smo uporabili skale s premerom 1 m. Če bi na tem območju teoretično rastel prebiralni gozd, bi zadržal precej več skal. Vendar je to nemogoče in nesmiselno. Nemogoče je zato, ker rastišče ne omogoča rasti prebiralnega gozda, nesmiselno pa je zaradi višine morebitnih stroškov in dejstva, da tam ni ne ceste ne železnice, ki bi jo bilo treba zaščititi.

Hipotezo o vplivu dolžine zaščitnega gozda na njegovo sposobnost zmanjševanja energije in zadrževanja skal lahko potrdimo pri primerjavi profilnih grafov ter slik prvega in tretjega območja Soteske. Prvo območje ima daljše razdalje med skalnimi izvori in cesto oz. železnico kot tretje območje. Primerjava vrednosti energij s pomočjo profilnih grafov za traso ceste pokaže, da so povprečne vrednosti na prvem območju nižje za približno 1.000 kJ kot na tretjem območju. Če primerjamo slike števila odloženih skal za prvo in tretje območje, lahko ugotovimo, da je gozd zadržal več skal že na samem pobočju nad cesto oz. železnico kot gozd na tretjem območju.

7.3 OGROŽENOST CESTE IN ŽELEZNICE TER UKREPI

Rezultati simulacije so pokazali, da so razlike med dejanskim in prebiralnim gozdom zelo majhne. Posebni gozdnogojitveni ukrepi, ki bi bili usmerjeni v spremembo dejanskega gozda v prebiralni, ne bi bili smiselni z vidika učinkovitosti in ekonomskega vidika. Dejanski in prebiralni gozd nista sposobna zmanjšati energije padajočega kamenja do te mere, da bi zaščitila cesto oz. železnico. Kar se tiče zadrževanja kamenja, sta tako dejanski kot prebiralni gozd približno enako učinkovita in vsekakor potrebna, ker nudita boljšo zaščito pred padajočim kamenjem kot pa območje brez gozda.

Gozdnogojitveni ukrepi bi morali biti usmerjeni predvsem v ohranjanje varovalne in zaščitne funkcije. Zagotavljati je treba stabilnost in vitalnost dreves. Gozd je treba razumeti

kot dinamičen sistem, ki se stalno spreminja. Različne razvojne faze nudijo različno stopnjo zaščite. Na tem temelji t. i. panarhična teorija, ki sta jo predstavila Dorren in Berger (2006a).

Motta in Haudemand (2000) sta ugotovila, da gozdnogojitveni ukrepi do danes niso bili zadostni, čeprav v zadnjih desetletjih beležimo porast zanimanja za varovalne gozdove s strani številnih institucij.

Rugani in Firm (2012) sta ugotovila, da je ukrepanje nujno v enomernih in starih sestojih, ne glede na pravilne razmere. Drevesa je treba podreti diagonalno glede na padnico terena, kajti tako delujejo kot dodatna ovira za padajoče kamenje. O'Hara (2006) je ugotovil, da raznomerni gozd trajno nudi zaščitno funkcijo. Stopnja učinkovitosti je sicer nekoliko nižja kot pri enomernem gozdu v optimalni fazi, vendar so nihanja v učinkovitosti raznomernega gozda manjša. Del sestojev v Soteski je enomernih bukovih debeljakov v optimalni fazi, kjer bo ukrepanje potrebno (oddelek 10v, deloma 8v nad cesto ter 140v, 143v in 144v nad železnico).

Dorren in sodelavci (2005) so navedli priporočila za posek in izbiro dreves:

- drevesa posekamo višje kot običajno (višje od 1,3 m),
- prenizek ali gnil štor deluje kot odskočna deska,
- drevo izberemo glede na njegovo rast ob koridorju,
- priporočljiv je večji prsni premer,
- primernejša so večvrhata drevesa,
- učinek poseka na pomlajevanje,
- stabilnost oz. nestabilnost izbranih dreves.

Jancke in sodelavci (2009) so ugotovili, da panjevski gozd in sestoji v mlajših razvojnih fazah (ko je gostota dreves visoka) nudijo zaščito pred padajočim kamenjem, ki je veliko do 20 cm. Zadovoljivo zaščito nudijo tudi pred skalami, ki so velike do 50 cm, a le če so zagotovljeni določeni pogoji (število dreves, razporeditev ipd.). Ti gozdovi pa ne nudijo zaščite pred kamenjem, ki je večje od 1 m. Sposobnost panjevskega gozda črnega gabra, da zadrži manjše kamenje kot nekakšen koš oz. mreža, smo ugotovili v oddelku 141v.

Bigot in sod. (2009) so s pomočjo programa RockyFor3D ugotavljali učinkovitost gradbeno-tehničnih in gozdnogojitvenih ukrepov za zagotavljanje varovalne funkcije gozda po večjem skalnem podoru. Na podlagi analize števila odloženega kamenja so ugotovili, da varovalna funkcija gozda slabi. Za povečanje varovalno-zaščitne funkcije so potrebni dodatni gozdnogojitveni ukrepi s ciljem vzpostavitve gostega panjevskega sestoja.

Na podlagi terenskega ogleda in rezultatov analize programa RockyFor3D smo ugotovili, da so ogroženi cestni in železniški odseki predvsem na prvem in tretjem območju. Skupno je ogroženih 1.740 m železnice na prvem območju in 1.310 m na tretjem območju. Železnica je nekoliko manj ogrožena na tretjem območju, ker je med njo in pobočjem cesta, ki deluje kot dodatna zaščita pred kamenjem.

Cesta je ogrožena na prvem območju v dolžini 2.160 m, 420 m na drugem območju in 1.360 m na tretjem območju. Cesta je bolj ogrožena na tretjem območju in nekoliko manj na prvem. Razlog je v tem, da so na prvem območju razdalje med skalnimi izvori in cesto daljše, medtem ko so razdalje na tretjem območju bistveno krajše in cesta leži tik ob pobočju.

Podatki o gostitvi kamenja oz. skal kažejo, da so problematični predvsem erozijski jarki, v katerih se padajoče kamenje in skale kanalizirajo (Dorren in sod., 2005). Nastane t. i. brezdrevesna tokava, ki se zaključi na cesti oz. železnici. Gozdnogojitveni ukrepi tu niso smiselni. Rešitev je zgolj v gradbeno-tehničnih ukrepih v obliki podajno-lovilnih mrež. Območja erozijskih jarkov so razvita predvsem na prvem območju od HE Lip do Pantzove žičnice.

Slovenske železnice so v letu 1980 zgradile protiplazovno galerijo v dolžini 168 m, ki ščiti železnico ne samo pred snežnimi plazovi, temveč tudi pred padajočim kamenjem in drobirskimi tokovi. Pred in za galerijo sta dva večja erozijska jarka in večja skalna stena. Galerijo bi bilo smiselno podaljšati za 170 m od južnega portala proti Bohinjski Bistrici in 135 m od severnega portala proti Jesenicam. Prav tako bi bilo smiselno postaviti dinamične podajno-lovilne ograje nad železniško progo pri cestnem mostu pri HE Lip, kjer so razdalje med skalnimi izvori in progo najkrajše. Skupna dolžina podajno-lovilne ograje bi znašala

okoli 440 m. Drugo območje, kjer bi bila postavitve dinamično podajno-lovilnih ograj za zaščito železnice smiselna, je na tretjem območju, kjer cesta prečka železnico v nadvozu. Skupna dolžina na tem odseku bi znašala 140 m.

Za zaščito ceste bi bila smiselna postavitve dinamičnih podajno-lovilnih ograj na drugem območju, in sicer na 420 m ceste pred zahodnim železniškim mostom. Začetek ograje bi bil približno 150 m od mostu, v bližini enojne kamnite železniške čuvajnice. Na prvem območju je cesta ogrožena predvsem zaradi drobirskih tokov in hudourniških nanosov, kar je predstavil Fidej (2011) v svoji diplomski nalogi. Cesta je najbolj ogrožena na tretjem območju od nadvoza čez železnico do območja Za Mlakami. Dinamične podajno-lovilne ograje bi bilo smiselno postaviti od nadvoza proti Bohinjski Bistrici v skupni dolžini 520 m. Drugi odsek za postavitve ograje je tik pred koncem raziskovalnega objekta na območju Za Mlakami v skupni dolžini 270 m.

8 SKLEPI

Padajoče kamenje je del geomorfoloških procesov, ki se odvijajo hitro in nenapovedano. Nevarnost se pojavi, ko so ogroženi človeška življenja, lastnina ali infrastruktura. Območje Soteske je primer alpske doline s pomembno prometno povezavo, ki jo ogroža padajoče kamenje. Naravnih nesreč ne moremo preprečiti, lahko pa omilimo njihove posledice s primernimi ukrepi.

Na območju Soteske je premalo mladja, ki je pogoj za obnovo gozda in zagotavljanje trajne zaščite pred padajočim kamenjem. Naša ocena lesne zaloge je višja od ocene ZGS. Na območju med skalnimi izvori in cesto oz. železnico rastejo večinoma sestoji starejših bukovih debeljakov. V teh sestojih pomlajevanja ni, zato bo v prihodnje treba ukrepati. Na enomerno zgradbo sestojev kaže pomanjkanje dreves bukve in smreke v nižjih debelinskih stopnjah. Z rednim gospodarjenjem v teh sestojih bi izboljšali trenutno stanje. Posebno skrb moramo posvetiti bukvi, ki je graditeljica sestojev. Na ekstremnih rastiščih prevladujejo sestoji črnega gabra in velikega jesena ter sestoji črnega gabra in bukve, kjer je gospodarjenje smiselno v primeru neposredne zaščite prometne infrastrukture.

Simulacijo padajočega kamenja, analizo vpliva gozda in določitev ogroženih območij smo opravili s programom RockyFor3D. Program potrebuje podatke o sestojih, hrapavosti terena in digitalni model reliefa. V raziskavi smo uporabili DMR, ki ima slabšo natančnost od priporočene. Ne glede na pomanjkljivost DMR-ja menimo, da je program dovolj dobro določil območja z najvišjimi vrednostmi energij in z njimi povezano ogroženostjo. Program je dober pripomoček za izločanje varovalno-zaščitnih gozdov. Rezultate programa je treba dojemati kot pripomoček, ne pa kot nekaj dokončnega in veljavnega. Za določevanje območij ogroženosti je potreben ogled terena in posvet s strokovnjaki s področja geologije, hidrologije in gradbeništva.

Območje ogroženosti smo določili z uporabo podatkov o energiji, kar priporočajo tudi avtorji programa. Ugotovili smo, da dejanski in prebiralni gozd v primerjavi z negozdno površino bistveno ne vplivata na zmanjšanje energije. Za ugotavljanje razlik med gozdno in negozdno površino smo uporabili podatek o številu odloženega kamenja. Podatki

kažejo, da gozd zagotavlja boljšo zaščito pred padajočim kamenjem kot pa negozdna površina. Hipoteze o vplivu dolžine med skalnimi izvori in cesto oz. železnico na število odloženega kamenja ne moremo ne potrditi ne ovreči. Podatki sicer nakazujejo, da se vpliv gozda na padajoče kamenja povečuje z večanjem dolžine med skalnim izvorom in ogroženo infrastrukturo. Skupno je ogroženih 3.050 m železnice in 4.750 m ceste.

Ugotovili smo, da morajo biti gozdnogojitveni ukrepi usmerjeni predvsem v zagotavljanje trajne varovalne funkcije gozda. Z njimi ne moremo vplivati na zmanjšanje energije. Vseeno so rezultati in analiza števila odloženega kamenja pokazali, da gozd nudi zaščito pred padajočim kamenjem. Morebitni goloseki ali večje spremembe v strukturi gozda in sestojev bi zmanjšali ali celo ogrozili varovalno-zaščitno delovanje gozda. Za zagotavljanje trajne varovalne funkcije gozda moramo zagotoviti stabilnost in vitalnost tako posameznih dreves kot celotnega sestoja. V enomernih sestojih in starejših debeljakih moramo poskrbeti za posek drevja ne glede na pravilne razmere. Drevje podremo prečno na padnico terena, visoke šture pa pustimo na terenu. Večjih vrzeli ne odpiramo, še posebej ne po padnici terena. Skrbeti moramo za nego mladja in gošče. Po potrebi izvedemo sadnjo na območjih, kjer je pomlajevanje oteženo.

Na podlagi analize podatkov o energiji, številu odloženega kamenja, razdalj med skalnimi izvori in cesto oz. železnico ter terenskim ogledom smo določili odseke, kjer gozd ne nudi zaščite pred padajočim kamenjem. Na teh odsekih smo predvideli gradbeno-tehnične ukrepe v obliki dinamičnih podajno-lovilnih ograj (skupna dolžina približno 1.790 m) in podaljšanja železniške protiplazovne galerije (skupna dolžina 305 m).

9 POVZETEK

Namen diplomske naloge je preučiti proces padajočega kamenja ter določiti ogrožene odseke cestne in železniške infrastrukture. Vplivno območje padajočega kamenja smo opredelili s terenskim ogledom in meritvami ter simulacijo procesa padajočega kamenja z računalniškim modelom RockyFor3D. Gozdove, ki opravljajo varovalno-zaščitno funkcijo, smo izločili in jim določili gozdnogojitvene ukrepe.

Območje raziskave je v Soteski med Bledom in Bohinjem. Preučevali smo varovalne gozdove na pobočjih nad reko do roba planot Pokljuke in Jelovice na nadmorski višini od 480 m do 1.100 m. Teren je zelo strm, izpostavljen in mestoma tudi prepaden. Preučevano območje se začne pri mostu čez Savo Bohinjko pri hidroelektrarni in konča na ovinku ceste Za Mlakami pred Nomenjem. Celotno območje spada pod okrilje območne enote ZGS Bled. Območje Soteske je razdeljeno na tri gozdnogospodarske enote: Notranji Bohinj, Radovljica – desni breg Save in Jelovica.

Na levem bregu prevladujeta združbi *Ostryo–Fagetum* (združba bukve in črnega gabra) in *Ostryo Carpinifoliae–Fraxinetum orni* (združba malega jesena in črnega gabra), le okoli 22 % površine pokriva združba *Anemone trifolio–Fagetum* (alpsko bukovje s črnim telohom). Na desnem bregu prevladujeta združbi *Anemone fagetum typicum* in *Abieti Fagetum prealpinum typicum* (predalpsko jelovo bukovje).

Na terenu smo zakoličili 49 vzorčnih ploskev krožne oblike, velikosti 5 arov. Ploskve so bile razporejene v mreži velikosti 200 x 200 m. Na ploskvah smo popisali vsa živa drevesa, ki so imela prsni premer večji od 10 cm. Skupno smo popisali 1.294 dreves. Popisali smo tudi mladje, stabilnost dreves, število zadržanega kamenja in skal. Trem središču ploskve najbližjim drevesom smo izmerili višino in dolžino krošnje. Ocenili smo tudi hrapavost terena.

Po številu dreves prevladujejo bukev (48 %), črni gaber (21 %) in smreka (17 %). V lesni zalogi prevladujejo bukev (59 %), smreka (26 %) in črni gaber (8 %). Na območju Soteske prevladujejo predvsem bukovi debeljaki, na izpostavljenih območjih pa črni gaber in veliki

jesen. Smreka se pojavlja na prehodu na planote ter ob cesti in železnici, kjer je antropogenega izvora. Mladja je zelo malo, pojavlja se predvsem v vrzelih, ki so nastale zaradi posameznih večjih podrtih dreves ali vetrolomov. Stabilnost drevja je načeloma dobra do zadovoljiva.

Skupno število dreves po debelinskih stopnjah kaže na približek padajočemu geometrijskemu zaporedju in s tem na raznomernost sestojev. Pregled števila dreves po posameznih vrstah v debelinskih stopnjah, predvsem za bukev in smreko, pokaže očitno pomanjkanje dreves v nižjih debelinskih stopnjah, kar kaže na enomernost sestojev.

Naša ocena za lesno zalogo znaša 430,7 m³/ha in je precej višja, kot je ocena ZGS za oddelke na območju Soteske. Večina naših ploskev je na območju med skalnimi izvori in cesto oz. železnico. Tu rastejo predvsem bukovi in smrekovi debeljaki. Rastišča črnega gabra in velikega jesena, kjer so drevesa manjša, so zaradi težko dostopnega terena slabše popisana. Drugi razlog za nižje ocene lesne zaloge je tudi v izbiri tarif za izračun lesne zaloge. V diplomski nalogi smo uporabili Čoklove vmesne tarife V7 za listavce in V8 za iglavce. Zavod za gozdove zadnjih štirideset let uporablja vmesne tarife V4/5 ali V4 za listavce in V5 za iglavce za izračun lesne zaloge v odsekih na območju Soteske.

Na ploskvah smo popisovali še število poškodb na drevju ter število in velikost zadržanega kamenja. Ugotovili smo, da je bilo 65 % dreves poškodovanih. V povprečju je imelo poškodovano drevo 4,7 poškodbe. Prevladovala so poškodbe, velike do 10 cm. Prav tako smo ugotovili, da je 31 % dreves zadržalo kamenje. V povprečju je posamezno drevo zadržalo 4,6 kamna. Povprečna velikost zadržanega kamna oz. skale je bila 21,5 x 17,6 x 15,8 cm.

Analizo podatkov splošne podobe gozda smo naredili v programu Excel. Sestoje in območja hrapavosti smo izrisali v programu Quantum GIS in jih s pomočjo programa SAGA GIS spremenili v rastrsko obliko. Simulacijo padajočega kamenja smo naredili s programom RockyFor3D. Analizo rezultatov simulacije smo naredili v programu ArcMap.

V simulaciji smo predvideli tri različne scenarije: simulacijo padajočega kamenja brez gozda, simulacijo s trenutnim gozdom (podatki, zbrani na terenu) in simulacijo s prebiralnim gozdom, ki naj bi nudil oz. zagotavljal trajno varovalno funkcijo.

Območje ogroženosti smo določili z uporabo podatkov o energiji, kar priporočajo tudi avtorji programa. Skupno je ogroženih 3.050 m železnice in 4.750 m ceste. Ugotovili smo, da gozd v primerjavi z negozdno površino bistveno ne vpliva na zmanjšanje energije. Primerjava profilnih grafov energij je sicer pokazala, da so vrednosti energije nekoliko nižje, če je na območju gozd, vendar so razlike majhne. Večjih razlik pri zmanjšanju energije med prebiralnim in dejanskim gozdom nismo zaznali. Pri primerjavi slik energijskih polj smo ugotovili, da se vrednosti energije zmanjšajo na robovih energijskih polj ali na območju ene rastrske celice, če je na območju gozd. Učinek gozda je tako premajhen za ustrezno zmanjšanje energije padajočega kamenja ter s tem zagotavljanje zaščitne funkcije pred padajočimi skalami velikosti 1 m³.

Za ugotavljanje razlik med gozdno in negozdno površino smo uporabili podatek o številu odloženega kamenja. Podatki kažejo, da gozd nudi boljšo zaščito pred padajočim kamenjem kot negozdna površina. Pri primerjavi profilnih grafov števila odloženega kamenja smo ugotovili, da je bilo na trasi ceste oz. železnice odloženo manjše število skal, če je na območju gozd. Pri primerjavi slik števila odloženega kamenja za vse tri scenarije ugotovimo, da dejanski in prebiralni gozd zadržita neprimerno več kamenja že na pobočjih nad cesto in železnico kot pobočje brez gozda. Hipoteze o vplivu dolžine med skalnimi izvori in cesto oz. železnico na število odloženega kamenja ne moremo ne potrditi ne ovreči. Podatki sicer nakazujejo, da se vpliv gozda na padajoče kamenja povečuje z večanjem dolžine med skalnim izvorom in ogroženo infrastrukturo.

Posebni gozdnogojitveni ukrepi, ki bi bili usmerjeni v spremembo panjevskega gozda v prebiralnega, ne bi bili smiselni z vidika učinkovitosti in ekonomskega vidika. Gozdnogojitveni ukrepi morajo biti usmerjeni predvsem v zagotavljanje trajne varovalne funkcije gozda. Morebitni goloseki ali večje spremembe v strukturi gozda in sestojev bi zmanjšali ali celo odpravili varovalno-zaščitno funkcijo gozda. Za zagotavljanje trajne varovalne funkcije moramo zagotoviti stabilnost in vitalnost tako posameznih dreves kot

celotnega sestoja. V enomernih sestojih in starejših debeljaki moramo poskrbeti za posek drevja ne glede na pravilne razmere. Drevje podremo prečno na padnico terena, visoke šore pustimo na terenu. Večjih vrzeli ne odpiramo, še posebej ne po padnici terena.

Na podlagi analize podatkov o energiji, številu odloženega kamenja, razdalj med skalnimi izvori in cesto oz. železnico ter terenskim ogledom smo določili odseke, kjer gozd ne zagotavlja zadostne zaščite pred padajočim kamenjem. Na teh odsekih smo predvideli gradbeno-tehnične ukrepe v obliki dinamičnih podajno-lovilnih ograj (skupna dolžina približno 1.790 m) in podaljšanja železniške protiplazovne galerije (skupna dolžina 305 m).

10 VIRI

Atlas okolja. Agencija Republike Slovenije za okolje in prostor.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL%40Arso&initiaIExtent=426343.36%2C129319.42%2C13.22917 (27. 9. 2014)

Azzoni A., Barbera G. L., Zaninetti A. 1995: Analysis and prediction of rockfalls using a mathematical model. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 32, 7: 709–724.

Bachofen H. 2009. Verjüngung im Gebirgswald. *Wald und Holz*, 90, 10: 47–49.

Berger F., Rey F. 2004. Mountain protection forests against natural hazards and risks: New french developments by integrating forests in risk zoning. *Natural hazards*, 33: 395–404.

Berger F., Dorren L. K. A. 2007. Principles of the tool Rockfor.net for quantifying the rockfall hazard below a protection forest. *Sweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 158, 6: 157–165.

Berger F., Dorren L. 2012. Forest and rockfalls: from applied research to protection forest management and zoning V: Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 11–13.

Bertalanč R. 2003. Viharni vetrovi v Sloveniji leta 2003. *Ujma*, 17–18: 66–70.

Bigot C., Dorren L. K. A., Berger F. 2009. Quantifying the protective function of a forest against rockfall for past, present and future scenarios using two modelling approaches. *Natural hazards*, 49: 99–111.

Brang P. 2001. Resistance and elasticity: promising concepts for the management of protection forests in the European Alps. *Forest Ecology and Management*, 145: 107–119.

Brang P., Duc P. 2002. Zu wenig Verjüngung im Schweizer Gebirgs-Fichtenwald: Nachweis mit einem neuen Modellansatz. *Sweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 153, 6: 219–227.

- 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, 1: 23–44.
- Brauner M., Weinmeister W., Agner P., Vospernik S., Hoesle B. 2005. Forest management decision support for evaluating forest protection effects against rockfall. *Forest Ecology and Management*, 207: 75–85.
- Budkovič T. 1999. Bohinj 1914–1918 med zaledjem in fronto. Celovec, Ljubljana, Dunaj, Mohorjeva družba: 229 str.
- Budkovič L. 2010. 100 let Bohinjske gozdne uprave. *Gozdarski vestnik*, 68, 10: 513–514.
- Cundrič I. J. 2002. Pozabljeno bohinjsko zlato. (*Gorenjski kraji in ljudje*, št. 21). Slovenj Gradec, Založba Cerdonis: 143 str.
- Diaci J., Beguš J., Bončina A., Breznikar A., Firm D., Grecs Z., Jošt M., Kovač M., Košir B., Kozorog E., Matijašič D., Papež J., Robek R., Rovani S., Rugani T., Zavrl B. A., Zafran J. 2012. Zaključki in usmeritve posvetovanja Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje. *Gozdarski vestnik*, 70, 7–8: 333–336.
- Dorren L. K. A. 2003. A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Progress in Physical Geography*, 27, 1: 69–87.
<http://ecorisq.org/docs/progphysgeo27.pdf> (2. 9. 2014)
- Dorren L. K. A., Berger F., Imeson A.C., Maier B., Rey F. 2004a. Integrity, stability, and management of protection forests in the European Alps. *Forest ecology and management*. 195: 165–176.
- Dorren L. K. A., Maier B., Putters U. S., Seijmonsbergen A. J. 2004b. Combining field and modelling techniques to assess rockfall dynamics on a protection forest hillslope in the European Alps. *Geomorphology*, 57, 3: 151–167.
- Dorren L. K. A., Berger F., Hir C., Mermin E., Tardiff P. 2005. Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. *Forest Ecology and Management* 215: 183–195.
- Dorren L. K. A., Berger F. 2006a. Panarchy and sustainable risk prevention by managing protection forests in mountain areas. V: *RISK21– Coping with Risks due to Natural Hazards in the 21st Century*. Amman W. J., Dannenmann S., Vulliet L. (Ur.). Monte Verita, Ascona, (Switzerland): 203–214.

- Dorren L. K. A., Berger F. 2006b. Stem breakage of trees and energy dissipation during rockfall impacts. *Tree Physiology*, 26: 63–71.
- Dorren L. K. A., Berger F., Putters U.S. 2006c. Real-size experiments and 3-D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes. *Natural hazards and earth system sciences*, 6, 1: 146–153.
- Dorren L. K. A., Berger F., Jonsson M., Krautblatter M., Mölk M., Stoffel M., Wehrli A. 2007. State of the art in rockfall – forest interactions. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 158, 6: 128–141.
- Dorren L. K. A. 2012. Rockyfor3D (v5.1) revealed – Transparent description of the complete 3D rockfall model. *EcorisQ paper*, 1–31.
http://www.ecorisq.org/docs/Rf3D_v5_1_EN.pdf (20. 9. 2014)
- Fidej G. 2011. Presoja varovalnega učinka gozda pred drobirskimi tokovi ob Savi Bohinjki v Soteski: diplomsko delo. (Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Ljubljana, samozaložba: 93 str.
- Frehner, M.; Wasser, B.; Schwitter, R., 2005. Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 564 str.
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00732/index.html?lang=de&download=NHZLpZig7t,lnp6I0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCGdoF8fWym162dpYbUzd,Gpd6emK2Oz9aGodetmqaN19XI2IdvoaCVZ,s-.pdf> (27. 8. 2014)
- Frehner M. 2012. Silviculture in protection forests – example Switzerland V: Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 7–8.
- Giamboni M., Wehrli A. 2008. Improving the management of protection forests in Switzerland – The Project SilvaProtect – CH. V: Protection of populated territories from floods, debris flows, mass movements and avalanches, vol. 2: conference proceedings, 26–30 May 2008, Dornbirn Vorarlberg Austria. Klagenfurt, International Research Society Interpraevent: 467–471.
- Geopedia. 2013. Zemljevid območja Soteske.
http://www.geopedia.si/#T105_x429888_y128648_s12_b4 (24. 9. 2014)

Gozdna kronika 1900. 1900 (neobjavljeno).

Gozdna kronika 1906. 1906 (neobjavljeno).

Gozdna kronika 1948. 1948 (neobjavljeno).

Gozdna kronika 1952. 1952 (neobjavljeno).

Gozdna kronika 1984. 1984 (neobjavljeno).

Gozdnogospodarski načrt za Gozdnogospodarsko enoto Jelovica 2012 – 2021. 2012. Bled, Zavod za gozdove, OE Bled.

Gozdnogospodarski načrt za Gozdnogospodarsko enoto Notranji Bohinj 2013 – 2022. 2013. Bled, Zavod za gozdove, OE Bled.

Gradbena dejavnost. 2014. Slovenske železnice.

http://www.slo-zeleznice.si/sl/podjetje/infrastruktura/zeleznisko_omrezje/gradbena_dejavnost (28. 9. 2014)

Grafični prikaz varovalnih gozdov. 2013. Zavod za gozdove republike Slovenije.

http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/gozdovi_SLO/Varovalni_gozdovi/Varovalni_gozdovi.jpg (1. 9. 2014)

Gsteiger P. 1993. Steinschlagschutzwald. Ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 144, 2: 115–132.

Guček M. 2010. Analiza stanja varovalnih gozdov in gozdov s poudarjeno zaščitno funkcijo: seminarska naloga. (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta. Varstvo okolja). Kranj, samozaložba: 22 str.

Guček M, Bončina A., Diaci J., Firm D., Poljanec A., Rugani T. 2012. Gozdovi s poudarjeno zaščitno in varovalno funkcijo: značilnosti, valorizacija in gospodarjenje. Gozdarski vestnik, 70, 2: 59–71.

Hanc M. 2014. Cesto na Jezersko bodo pregledovali vsak dan. Delo. 31. 7. 2014.

<http://www.delo.si/novice/slovenija/cesto-na-jezersko-bodo-pregledovali-vsak-dan.html> (4. 9. 2014)

Hantz J., Vengeon M., Dussauge-Peisser C. 2003. An historical, geomechanical and probabilistic approach to rock-fall hazard assesement. Natural hazards and earth system sciences. 6, 3: 693–701.

- Horvat A., Papež J., Černivec J. 2006a. Varstvo prometnic pred padajočim kamenjem s sistemom globoko sidranih jeklenih mrež visokih nateznih trdnosti. *Ujma*: 20, 225–229.
- Horvat A., Papež J., Koren M. 2006b. Zaščita pred padajočim kamenjem ob prometnicah z lovilnimi ograjami – pomen in način izvedbe vzdrževalnih del ukrepov. V: Zbornik referatov. 8. Slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, 25.–27. oktober 2006.: Ljubljana, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: 1–10.
- Horvat A., Koren M., Savnik P. 2007. Zaščita regionalne ceste Kalce–Col pred padajočim kamenjem. *Ujma*, 21, 119–123.
- Jaboyedoff M., Labiouse V. 2003. Preliminary assessment of rockfall hazard based on GIS data. V: Technology roadmap for rock mechanics. 10th Congress Technology Roadmap for Rock Mechanics. South African Institute of Mining and Metallurgy: 575–578.
- Jancke O., Dorren L.K.A., Berger F., Fuhr M., Köhl M. 2009. Implications of coppice stand characteristics on the rock fall protection function. *Forest ecology and management*, 251, 1: 124–131.
- Jež. J., Kumelj Š., Bavec M., Komac M., Milanič B., Celarc B. 2012. Modeliranje pobočnih masnih premikanj: primer uporabe pri oceni verjetnosti pojavljanja drobirskih tokov v Soteski v dolini Save Bohinjke V: Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 29–31.
- Klimatološki podatki za meteorološko postajo Stara Fužina. 2014. Ljubljana. Agencija republike Slovenije za okolje in prostor.
http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/table/sl/by_location/stara-fuzina/climate-normals_71-00_stara-fuzina.pdf (29. 9. 2014)
- Kotar M. 2003. *Gozdarski priročnik*. Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 414 str.
- Kozorog E. 2004. Pred sprejetjem nove uredbe o varovalnih gozdovih. *EPIcenter, Glasilo Posoškega razvojnega centra*. 5, 10–11: 12–13.
- Kozorog E., Pisek R., Matijašić D. 2012. Gospodarjenje z varovalnimi in zaščitnimi gozdovi v Sloveniji V: Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje

- in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 41–43.
- Krautblatter M., Dikau R. 2007. Towards a uniform concept for the comparison and extrapolation of rockwall retreat and rockfall supply. *Geografiska Annaler. Series A, Physical Geography*, 89 A, 1: 21–40.
www.researchgate.net/publication/229588114_TOWARDS_A_UNIFORM_CONCEPT_FOR_THE_COMPARISON_AND_EXTRAPOLATION_OF_ROCKWALL_RETREAT_AND_ROCKFALL_SUPPLY/file/60b7d52a8607279286.pdf (2. 9. 2014)
- Kunc K. (2008). Vpliv gospodarjenja na stabilnost varovalnih gozdov nad glavno cesto Godovič – Idrija: diplomsko delo (Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo). Ljubljana, samozaložba: 60 str.
- Kuntarič B. 2010. Vodna ujma med 21. in 26. decembrom 2009. *Ujma*, 24: 200–210
- Letno poročilo Zavoda za gozdove o gozdovih za leto 2012. 2013. Zavod za gozdove.
http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/PDF/LETNA_POROCILA/Por_ZGS_gozd2012.pdf (21. 8. 2014)
- Letni lovsko upravljalni načrt za II. Gorenjsko lovsko upravljalno območje za leto 2014. Zavod za gozdove, OE Kranj.
http://www.zgs.si/fileadmin/zgs/main/img/CE/lovstvo/LUN_2014/Nacrt2014_GorenjskoLUO.pdf (27. 9. 2014)
- Losey S., Wehrli A. 2012. Protection forest management in Switzerland V: Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 17–18.
- 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.
<http://gis.zrc-sazu.si/zrcgis/doc/veg/VegSloAng.htm> (25. 9. 2014)
- Meteorološko poročilo: izjemen padavinski dogodek 18. 9. 2007. Ljubljana, Agencija Republike Slovenije za okolje.
http://www.arso.gov.si/vreme/poro%C4%8Dila%20in%20projekti/padavine_18sep07.pdf (29. 9. 2014)
- Mikoš M. 2012. Kako se varovati pred hudourniki in masnimi tokovi v gozdnem prostoru?

- V: Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 53–55.
- Motta R., Haudemand J.C. 2000. Protective forests and silvicultural stability: an example of planning in Aosta valley. *Mountain research and development*, 20, 2: 74–81.
- O'Hara K.L. 2006. Multi aged forest stands for protection forests: concepts and applications. *Forest snow and landscape research*, 80, 1: 45–55.
- Odlok o razglasitvi Pantzove žičnice v Blatnem grabnu za kulturni spomenik državnega pomena. Ur. l. RS št. 66/2001.
- Papež J., Jeršič T., Černivec J. 2010. Strategija varstva pred erozijo in hudourniki v Sloveniji. V: *Naravne nesreče, knjiga 1, Od razumevanja do upravljanja*. Zorn M., Komac B., Pavšek M. (ur.). Ljubljana. Geografski inštitut Antona Melika ZRC SAZU: 113–124.
- Perret S., Baumgartner M., Kienholz H. 2006a. Inventory and analysis of tree injuries in a rockfall damaged forest stand. *European journal of forest research*, 125, 2: 101–110.
- Perret S., Stoffel M., Kienholz H. 2006b. Spatial and temporal rockfall in a forest stand in the Swiss Prealps – a dendrogeomorphological case study. *Geomorphology*, 74, 1–4: 219–231.
- Pintar S. 2012. Presoja varovalnega učinka gozda pred snežnimi plazovi na delu ceste na Vršič: diplomsko delo. (Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire). Bled, samozaložba: 74 str.
- Planinšek Š., Pirnat J. 2012. Zasnova meril in kazalnikov funkcij gozdov. *Gozdarski vestnik*, 70, 9: 348–357.
- Pravilnik o načrtih za gospodarjenje z gozdovi in upravljanje z divjadjo. Ur. l. RS št. 91/2010.
- Rickli C., Graf F., Gerber W., Frei M., Böll A. 2004. Der Wald und seine Bedeutung bei Naturgefahren geologischen Ursprungs. V: *Schutzwald und naturgefahren : forum für Wissen*. Birmensdorf, Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft: 27–34.
- Rožič B. 2007. Osemnajsti september 2007, Škoda na cestni infrastrukturi. *Bohinjske novice*. X, 10: 24 str.

- Rugani T., Firm D. 2012. Varovalni gozdovi v Sloveniji: presoja naravnih nevarnosti in gojenje gozdov. V: Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov predavanj. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 62–64.
- Rustja K. 1990. Proga predorov. (Zbirka tiri in čas). Ljubljana, Železniško gospodarstvo Ljubljana, Odsek za muzejsko dejavnost: 111 str.
- Skudnik M., Kovač M. 2012. Določanje gozdov s poudarjeno varovalno in zaščitno funkcijo – pregled metodologij v nekaterih državah EU in predlog okvirne nacionalne metodologije. V: Varovalni gozdovi: presoja naravnih nevarnosti, načrtovanje in gospodarjenje: zbornik razširjenih povzetkov. Diaci J. (ur.). Ljubljana, Biotehniška fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire: 50–52.
- Slovenski vremenski rekordi. 2010. Urad za meteorologijo, oddelek za klimatologijo, Agencija republike Slovenije za okolje in prostor.
http://www.arso.gov.si/vreme/podnebje/slo_vremenski_rekordi.pdf (29. 9. 2014)
- Stoffel M. 2006. A review of studies dealing with tree rings and rockfall activity: The roll of dendrogeomorphology in natural hazard research. *Natural hazards*, 39, 1: 51–70.
- Stoffel M., Parret S. 2006. Reconstructing past rockfall activity with tree rings: Some methodological considerations. *Dendrochronologia*, 24, 1: 1–15.
- Stoffel M., Wehrli A., Kühne R., Dorren L.K.A., Perret S., Kienholz H. 2006. Assessing the protective effect of mountain forests against rockfall using a 3D simulation model. *Forest ecology and management*, 225: 113–122.
- Škulj E. 2011. "Redno vzdrževanje – SPLOŠNO – Cesta R1–209, odseka 1089 Bled–Soteska in 1090 Soteska–Bitnje". Ljubljana, Direkcija RS za ceste, sektor za vzdrževanje in varstvo cest. gp.drsc@gov.si. (osebni vir, 4. 8. 2014)
- Štetje 2013. Ljubljana, Ministrstvo za promet, Direkcija Republike Slovenije za ceste.
http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Promet/Objave_2014/Stetje2013_NOO.pdf (28. 9. 2014)
- Uredba o spremembah in dopolnitvah Uredbe o varovalnih gozdovih in gozdovih s posebnim namenom Ur. l. RS št. 29/2009.

Varovalni gozdovi: Razvojne zakonitosti, ocena tveganj, usklajevanje gojenja gozdov in tehnologij izkoriščanj. 2012. Biotehnika fakulteta, Oddelek za gozdarstvo in obnovljive gozdne vire.

<http://web.bf.uni-lj.si/go/varovalnigozd/opis.html> (23. 8. 2014)

Veber I., Budkovič L. 1989. Pantzova žičnica, Blatni graben, 1882 – 1964: zloženska. (neobjavljeno).

Vidic T. 2007. "Ureditev regionalne ceste RT-909/1125 B. Bistrica – Vresje, pododsek Jelovške ceste v Bohinjski Bistrici, sanacija škode po neurju na regionalni cesti R1209, na odsekih 1089 Bled–Soteska in Soteska–Bitnje ter sanacija cestišča v koritih: odgovor direktorata za ceste". Ljubljana, Ministrstvo za promet, Direktorat za ceste.

http://obcina.bohinj.si/uploads/media/13.1.MZP_cesta.pdf (28. 9. 2014)

Vienne F., Bugmann H., Zingg A., Frehner M. 2008. Simulation de la structure optimale des des hêtraies de protection contre les chutes de pierres. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 159, 11: 396–405.

Vilman V. 2003. Samotežne žičnice Kranjske industrijske družbe. Kronika: časopis za slovensko krajevno zgodovino, 51, 3: 287–306.

Vozni red. 2014. Slovenske železnice.

<http://www.slo-zeleznice.si/sl/potniki/slovenija/vozniredi/vozniredscenikom?entrystation=42400&via=-1&exitstation=44700&date=29.09.2014> (28. 9. 2014)

Wehrli A., Brang P., Maier B., Duc P., Binder F., Lingua E., Ziegner K., Dorren L. 2007. Schutzwaldmanagement in den Alpen – eine Übersicht. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, 158, 6: 142–156.

Zakon o gozdovih Ur. l. RS št. 30/1993.

Zelenc97., 2013. Jesenice – Bled jezero – Bohinjska Bistrica – Most na Soči – Nova gorica (Bohinjska proga).

https://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&v=3ZWthneVSAY#t=1349 (11. 9. 2014)

Zorn M. 2002. Rockfalls in Slovene Alps. Geograski zbornik, 42: 124–160.

ZAHVALA

Zahvaljujem se prof. dr. Juriju Diaciju za mentorstvo ter usmeritve in nasvete pri pisanju diplomske naloge.

Recenzentu doc. dr. Janezu Pirnatu se zahvaljujem za recenzijo diplomske naloge.

Najlepša hvala Dejanu Firmu in Tihomirju Ruganiju za koristne nasvete pri terenskem delu, predvsem pa za hitro in požrtvovalno pomoč pri reševanju računalniških težav in pripravi računalniških podatkov.

Zahvaljujem se Galu Fideju za pomoč na terenu, predvsem za hladnokrvnost na točki SD12. Na terenu so pomagali še Katarina Flajšman, Nejc Hlebanja, Petra Kajdiž, Jernej Rebernik in Jure Tamše. Slednjemu hvala za potrpljenje na točki SL21. Vsem iskrena hvala.

Hvala Marku Gašperinu, vodji krajevne enote ZGS v Bohinjski Bistrici, za pomoč pri podatkih o preteklem gospodarjenju in za dostop do GGN načrtov.

Zahvaljujem se Špeli Velikonja za pregled diplomske naloge in Teji Bačar za lektoriranje.

Zahvaljujem se staršema, bratu, ženi in babici za pomoč, podporo in potrpljenje v času mojega študija.

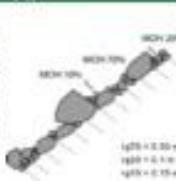
PRILOGE

Priloga A: Obrazec za popis ploskev

Št. ploskve	
Št. poligona RockyFor	
Št. sestoja	
Naklon (°)	
ekspozicija	
Kamninska podlaga	
Mikrorelief	
Makrorelief	
Kamnitost (%)	
Skalovitost (%)	
Pokrovnost zeliščnega sloja (%)	
Pokrovnost spodnjega sloja (%)	
Pokrovnost srednjega sloja (%)	
Pokrovnost zgornjega sloja (%)	
GPS X	
GPS Y	
Nadm. višina	

[illegible]

Priloga B: Obrazec za popis terena

General				
Date*		Nr. Polygon*		* each polygon represents a homogeneous unit; size depends on the mapping scale
Location*		Slope angle*	(° / %)	
Name*		Zone*	☐ start / source ☐ transit ☐ deposit	
Polygon characteristics				
1. Dominating rock (deposited in the polygon or potentially falling from release area)				
Block shape	☐ 1. rectangle	☐ 2. ellipsoid	☐ 3. Sphere	☐ 4. Disc
Block dimensions (d1, d2, d3): (m) x (m) x (m)				
Rock density (kg.m ⁻³):				
2. Soil / underground type in the polygon				
Material constituting the underground	☐ river / swamp / other material in which a rock could penetrate completely	☐ fine soil material (depth > ~100 cm)	☐ fine soil material (depth < ~100 cm) / sand/gravel mix in the valley	☐ scree (Ø < ~10 cm) / medium compact soil with small rock fragments / forest road
	☐ talus slope (Ø > ~10 cm) / compact soil with large rock fragments	☐ bedrock with thin weathered material or soil cover	☐ bedrock	☐ asphalt road
(soiltype) values needed for Rockyfor3D	0	1	2	3 4 5 6 7
3. Surface roughness in the polygon				
MOH: typical obstacle height normal to the slope surface (m) that block encounters in 70%, 20% and 10% of the cases during a rebound on the slope surface. Should be measured looking down the slope! 		MOH for 70% of the sample area (rg70) 0 - 100 (m) MOH for 20% of the sample area (rg20) 0 - 100 (m) MOH for 10% of the sample area (rg10) 0 - 100 (m)		
Lying tree stems*		Mean height =	m	Area covered = %
4. Forest*				
Representative plot size: m x m				
DBH* (cm)	* DBH: Tree diameter at breast height Record all the DBH ≥ 5 cm measured in the plot: e.g., 8, 31, 17, 13, ...			
Stems / ha				
Mean DBH (cm)		Coniferous (%)		
Stddev DBH (cm)				
Species*				
5. Rockfall activity indicators / silent witnesses*				
Mean nr. of rockfall impacts on trees*		Height(s) of rockfall impacts on trees (m)*		
Depth impact craters (m)*		Fresh, deposited rocks in Polygon*	Yes / No	
6. Remarks / sketch*				

* optional fields; these are not required for Rockyfor3D

Priloga C: Obrazec za popis sestojev

KAT.GOZDOV:	RELIEF:	POLOŽAJ V POKRAJ.:	LEGA:	ZDRUŽBA:	OHRANJENOST:
NEGOVANOST:	ZASNOVA:	RAZ.FAZA:			

Vrsta potencialne naravne nevarnosti:
Potentialni prispevek gozda (vloga):

Mesto (nastanka, tranzita, odlaganja):

STABILNOST (0-slabo, 1-zadovoljivo, 2-dobro):

DREVESNA SEŠTAVA (vrsta, oblika in stopnja):

DV									
%									

ZGRADBA

DBH struktura	A - 10 do 30 cm	B - 30 do 50 cm	C - nad 50 cm
Horizontalna (sklep):			

(Delež števila dreves)

STABILIZATORJI

Simetričnost krošenj:

Zakoreninjenost, nagnjenost, vitkost:

POMLAJEVANJE

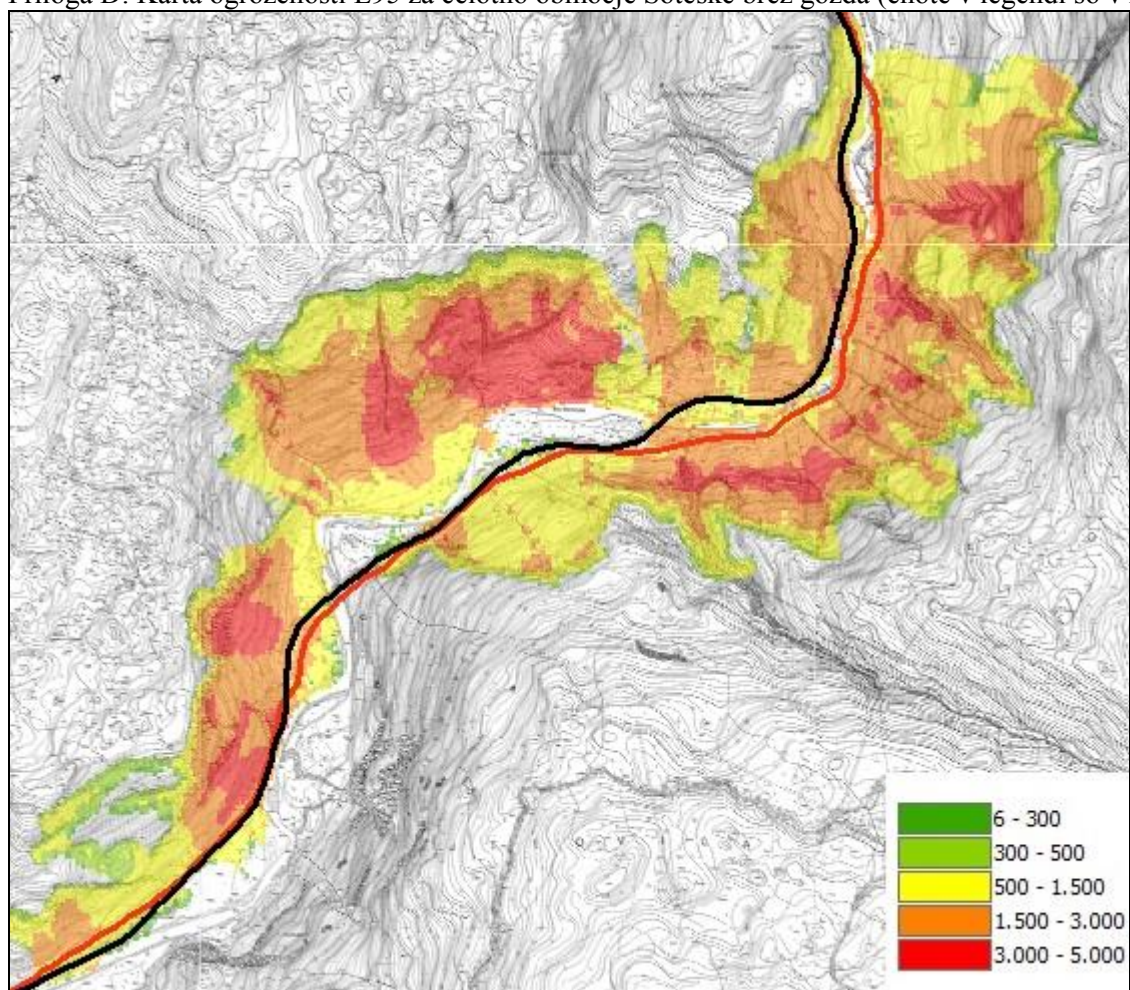
Prisotnost ugodnih mikrorastišč:

Prisotnost pomladka - 10 do 40 cm H:

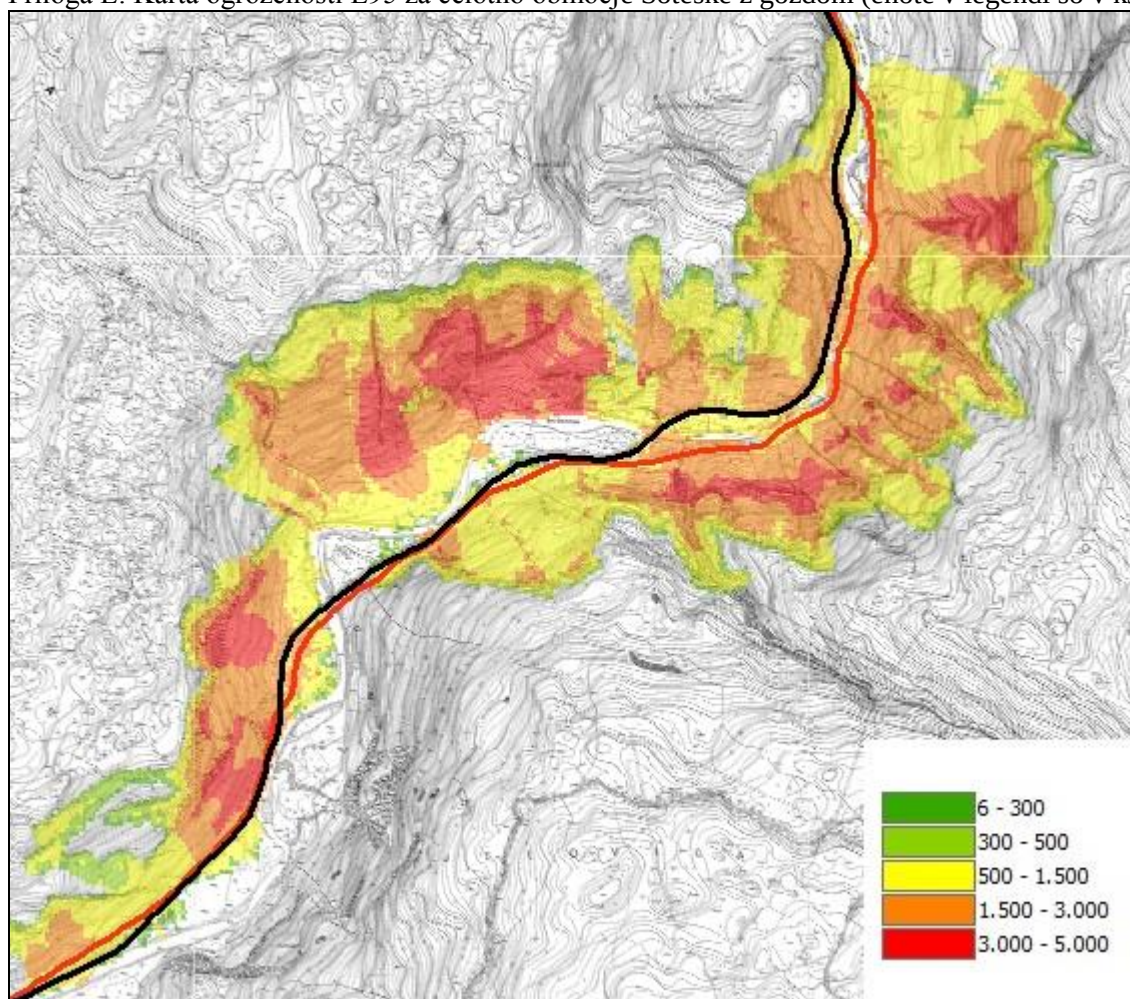
Prisotnost pomladka - 40 cm (H) do 10 cm (DBH):

POŠKODOVANOST

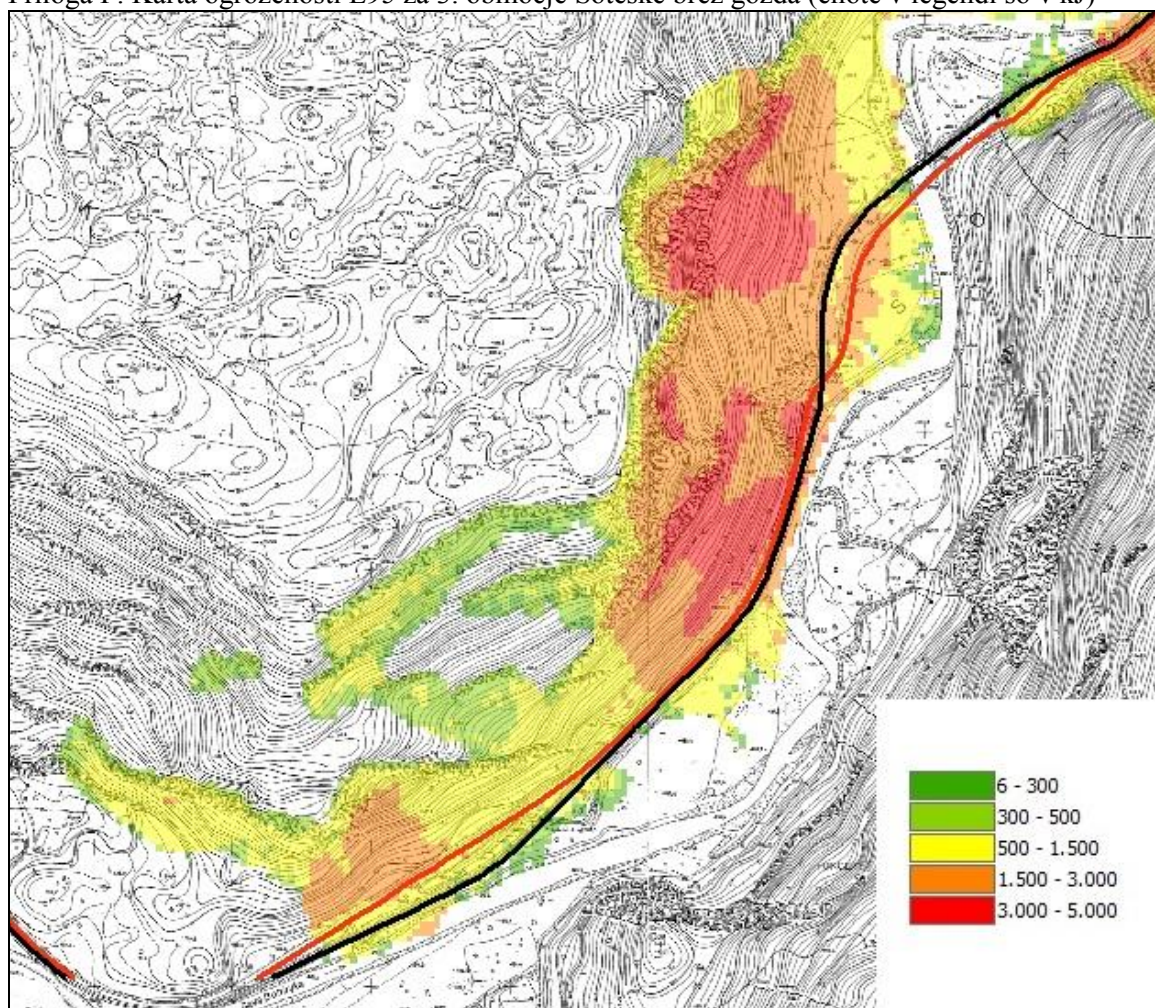
Priloga D: Karta ogroženosti E95 za celotno območje Soteske brez gozda (enote v legendi so v kJ)



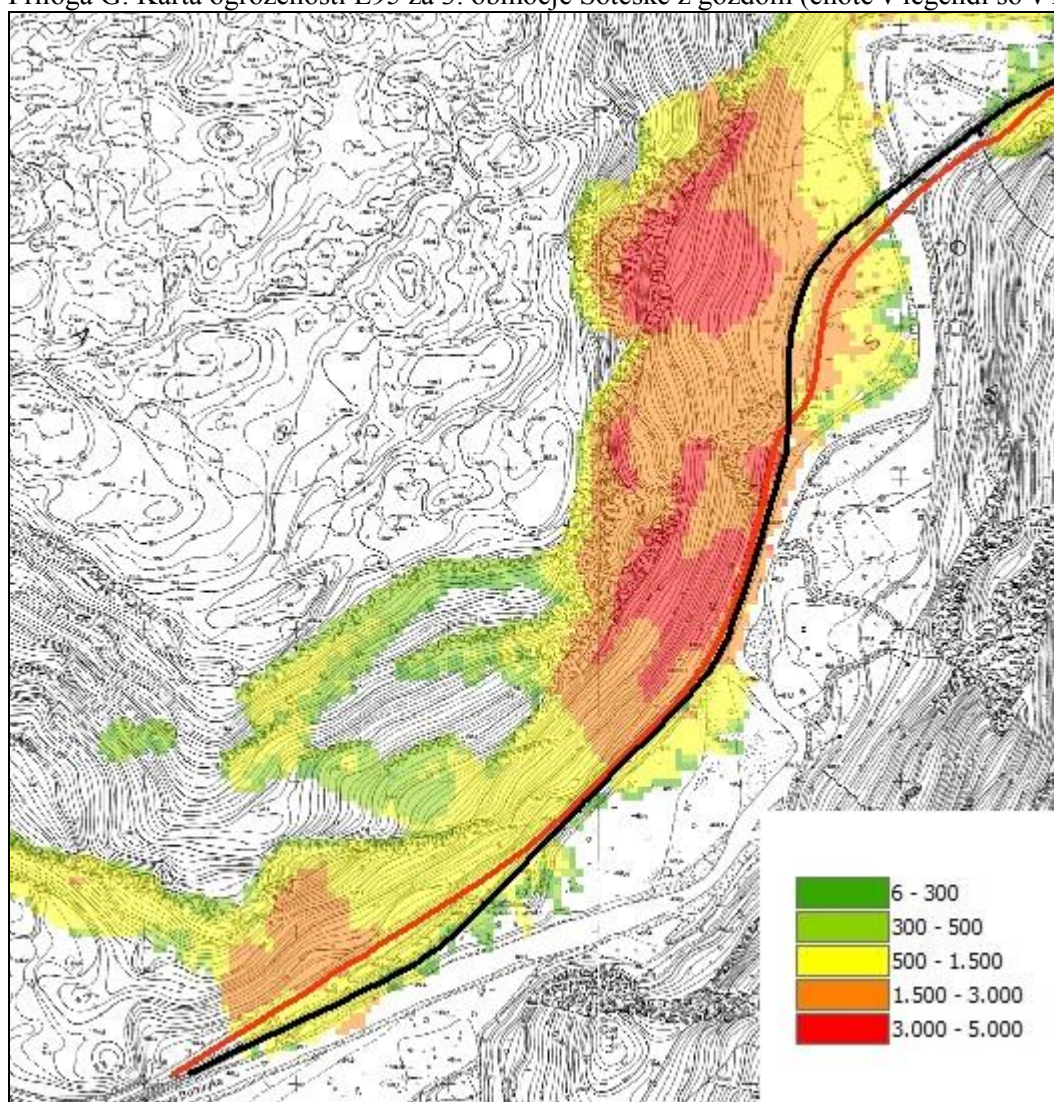
Priloga E: Karta ogroženosti E95 za celotno območje Soteske z gozdom (enote v legendi so v kJ)



Priloga F: Karta ogroženosti E95 za 3. območje Soteske brez gozda (enote v legendi so v kJ)



Priloga G: Karta ogroženosti E95 za 3. območje Soteske z gozdom (enote v legendi so v kJ)



Priloga H: Število odloženega kamenja za tretje območje Soteske z gozdom (v legendi so prikazani razredi s št. odloženega kamenja)

