

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

*Janova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Vodarstvo in
komunalno inženirstvo

Kandidat:
Sašo Štampe

Analiza nevarnosti padajočega kamenja v vasi Brezno

Diplomska naloga št.: 65

Mentor:
prof. dr. Matjaž Mikoš

Ljubljana, 27. 10. 2006

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **SAŠO ŠTAMPE** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
“ANALIZA NEVARNOSTI PADAJOČEGA KAMENJA V VASI BREZNO”.

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske separatoteke FGG. Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 18. 10. 2006

Sašo Štampe

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 551.3.053 (043.2)

Avtor: Sašo Štampe

Mentor: izr. prof. dr. Matjaž Mikoš

Somentor: doc. dr. Mihael Ribičič

Naslov: Analiza nevarnosti padajočega kamenja v vasi Brezno

Obseg: in oprema: 89 str., 10 pregl., 17 sl., 17 foto.

Ključne besede: padanje kamenja, skalni podor, analiza ogroženosti, presoja nevarnosti, nestabilnost pobočja, simulacija podornih pojavov, načrtovanje varovalnih ukrepov, dinamične pregrade

Izvleček

Nevarnosti podornih pojavov se še posebno zavedamo zadnjih nekaj deset let, saj je človekov življenjski prostor postal veliko bolj omejen in dragocen, s tem pa se je povečala uporaba prostora na bolj ogroženih območjih. Edini pravilni pristop za zmanjševanje ogroženosti pred padajočim kamenjem na določenem območju je proučevanje in razumevanje vzrokov in posledic tovrstnih pojavov. Prvi del naloge je namenjen razjasnitvi pojmov, povezanih z nevarnostjo podornih pojavov. Opisana je analiza ogroženosti na nekem območju, ki je sestavljena iz prepoznavanja nevarnosti, presoje nevarnosti in ogroženosti ter končno iz načrtovanja varovalnih ukrepov. Opisani so tudi načini, kako lahko uspešno saniramo skalne brežine. Nadalje je podan pregled načinov gibanja padajočega kamenja in pristopov k modeliranju tega gibanja. Danes so v uporabi različne vrste simulacijskih modelov, kot primer uporabe pa je naveden program Rockfall 6.1, s pomočjo katerega je izvedena ocena nevarnosti za izbrani odsek ceste v vasi Brezno v dravski dolini. Na prikazanem primeru uporabe je izračunana kinetična energija in višina odboja posameznih skal. Prikazana je razlika v dosegu in kinetični energiji posameznih skal na pobočju, ki je poraslo z gozdom in na pobočju, kjer gozda ni. Razvidna je tudi razlika v dosegu med sferično in cilindrično obliko kotaleče se skale. V zadnjem delu naloge pa je predstavljena ideja varovanja stanovanjski hiš in prometnice z uporabo dinamičnih pregrad, ki se v zadnjem času vedno bolj uveljavljajo. Opisano in prikazano je dimenzioniranje take pregrade na konkretnem primeru v vasi Brezno.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 551.3.053 (043.2)
Author: Sašo Štampe
Supervisor: assoc. prof. dr. Matjaž Mikoš
Cosupervisor: assist. prof. dr. Mihael Ribičič
Title: Stone fall hazard analysis in the village of Brezno
Notes: 89 p., 10 tab., 17 fig., 17 phot.
Key words: stone fall, rock fall, risk analysis, estimation of danger, slope instability, simulation of rock fall phenomenon, planning of safety measurements, dynamic rock fall barriers

Abstract:

We are particularly aware of rock fall hazard in the last few decades because human living space has become a lot more bounded and precious. Consequently there is increased usage of the land on the hazard areas. Studying and understanding the causes and consequences of rock fall phenomena is the only right accession for reduction hazard against stone falls on the specific area. First part of my diploma work is designed to clarification of notions related to the hazard of rock fall events. The analysis of risk estimation on some area is discussed, including recognition of the hazard, estimation of the danger in potential risk and the planning of necessary measurements. Methods of improvement of unstable slopes are described as well. Furthermore the review of modes of rock masses motion is handed and accessions to modeling of this motion. Different types of simulation models are in use today. As an example of the use there is allege program Rockfall 6.1, by which stone fall hazard assessment for selected road section in the village of Brezno in the Drava valley is carried out. Kinetic energy and bouncing height of the individual rock is presented as well. The difference in the run out zone and kinetic energy of the rocks on the forested and non-forested slope is presented, as well as the difference in the run out zone between spherical and cylindrical shape of the rolling rock. Protection solution of residential houses and the road through the village is presented in the last part with the usage of dynamic rock fall barriers, which are used more often recently. The dimensioning of such a barrier on the solid case in the village of Brezno in described and exposed.

ZAHVALA

Najprej hvala Bogu za dar življenja in vedoželjnost.

Velika zahvala gre mojima staršema, ker sta darovala del svojega življenja zame in mojo dobrobit. Hvala tebi brat Uroš za srčnost in bratsko ljubezen.

Hvala tebi Polona za potrpljenje, spodbudo in pomoč.

Velika zahvala gre mentorju izr. prof. dr. Matjažu Mikošu za spodbudo in strokovno usmerjanje, za trud se zahvaljujem tudi somentorju doc. dr. Mihaelu Ribičiču.

Zahvaljujem se tudi vsem, ki ste mi pomagali pri izdelavi diplomskega dela: izr. prof. dr. Dušanu Kogoju za geodetske nasvete, g. Dariu Durjavi za izposojanje težko dostopne strokovne literature, podjetju Geoservis d.o.o. za izposojanje geodetske opreme in obdelavo podatkov, mag. Andreju Vidmarju za pomoč pri rokovanju z geodetsko opremo na Katedri za splošno hidrotehniko in tebi prijatelj Gregor za pomoč in družbo pri meritvah.

Zahvaljujem se tudi vsem sošolkam in sošolcem za pomoč pri študiju in lepo preživeta študijska leta. Zahvala gre tudi vsem prijateljem, ki s svojim zgledom v meni prebudite željo, da bi bil vsak dan boljši človek.

Rad bi se zahvalil ge. Lidiji Živanovič za dobro voljo in potrpljenje pri urejanju vseh zadev v študijskem referatu in lektorici Petri Reisman za lektoriranje diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	PODORNI POJAVI V ALPAH, TUDI V SLOVENIJI	3
2.1	PODORI V ZADNJEM ČASU	3
2.1.1	Kamniti zdrs v dolini Vaiont	3
2.1.2	Krn in Osojnica	4
2.1.3	Javoršček	6
2.1.4	Dvojčka v Trenti	6
2.1.5	Podora na Velikem Mangartu	7
2.1.6	Zaključek	8
3	SPLOŠNI POJMI	10
3.1	NARAVNA NESREČA	10
3.2	NEVARNOST	10
3.3	TVEGANJE	11
3.4	RANLJIVOST ČLOVEKA, NJEGOVEGA PREMOŽENJA IN DEJAVNOSTI	12
3.5	ŠKODNI POTENCIAL	14
3.6	OGROŽENOST	14
4	OSNOVE ANALIZE OGROŽENOSTI	16
4.1	PREPOZNAVANJE NEVARNOSTI	17
4.2	PRESOJA NEVARNOSTI	17
4.3	PRESOJA OGROŽENOSTI	19
4.4	NAČRTOVANJE UKREPOV	21
4.4.1	Ukrepi prostorskega načrtovanja	21
4.4.2	Zavarovalništvo	22
4.4.3	Institucionalni ukrepi	22
4.4.4	Ukrepi varovanja	23
4.4.5	Načrtovanje ukrepanja v sili	24
5	POJAV MASNEGA PREMIKANJA	25
5.1	IZRAZJE POJAVA MASNEGA PREMIKANJA	25
5.2	OBLIKOVITOST IN SESTAVA POBOČJA	26
5.2.1	Oblikovitost površja	26
5.2.2	Kamninska sestava površja	27
5.3	VZROKI ZA NASTANEK POJAVA MASNEGA GIBANJA	29
5.3.1	Geološki destruktivni procesi	29
5.3.2	Vzroki in povodi za nastanek masnega gibanja	32
5.3.3	Mehanizem proženja	33
5.4	RAZVRSTITEV MASNIH GIBANJ	35
5.5	VAROVALNA FUNKCIJA GOZDA	39
6	NAČINI SANACIJE SKALNIH BREŽIN	41
6.1	STABILIZACIJA Z OJAČITVIJO	42
6.2	STABILIZACIJA Z ODSTRANITVIJO MASE	46

6.3 NAČINI ZAŠČITE	47
7 MODELIRANJE PODOROV	53
7.1 DINAMIKA POJAVA	53
7.1.1 Prosti pad	53
7.1.2 Trk in odbijanje	54
7.1.3 Kotaljenje	54
7.1.4 Ustavljanje gibanja in drsenje	55
7.2 VRSTE MODELOV	56
7.2.1 Dispozicijski modeli	57
7.2.2 Empirični procesni modeli	57
7.2.3 Analitični procesni modeli.....	58
7.2.4 Modeli na osnovi GIS-a	60
7.3 PROGRAM ZA SIMULACIJO POJAVA - ROCKFALL 6.1	61
8 OCENA NEVARNOSTI ZA IZBRANI ODSEK CESTE	63
8.1 LASTNOSTI IZBRANEGA OBMOČJA	64
8.1.1 Vegetacija	66
8.1.2 Geologija	66
8.2 DOLOČANJE GEOMETRIJE POBOČJA	66
8.3 DOLOČEVANJE DOSEGA IN ENERGIJE PODORA S PROGRAMOM ROCKFALL 6.1.	68
8.3.1 Vhodni podatki.....	68
8.3.2 Izhodni podatki	70
8.3.3 Ugotovitve	73
9 DIMENZIONIRANJE ZAŠČITNIH PODAJNIH MREŽ.....	74
9.1 OSNOVE.....	74
9.2 PREDLAGANI NAČIN ZAŠČITE PRED PODOROM V VASI BREZNO.....	76
9.2.1 Sestava dinamičnih pregrad	77
9.2.2 Dimenzioniranje dinamičnih pregrad.....	78
10 ZAKLJUČEK.....	84
11 LITERATURA.....	86

KAZALO SLIK

Slika 1: Shematski prikaz parametrov tveganja (Romang, 2004)	15
Slika 2: Diagram nevarnostnih stopenj (prirejeno po Buwal et. al, 1997)	19
Slika 3: Tipična zgradba preperinskega pokrova (vir: Ribičič, 2002).....	28
Slika 4: Sidra (Geobrugg, 2003).	44
Slika 5: Konstrukcija mreže in lovilnega jarka ob pobočju (Geobrugg, 2003).....	48
Slika 6: Energijski diagram (prirejeno po Geobrugg, 2003)	51
Slika 7: Vrsta gibanja v odvisnosti od naklona pobočja (Ritchie, 1963)	53
Slika 8: Zasnova empiričnih modelov (Petje et al., 2005a)	58
Slika 9: Geometrijski kot β_g , senčni kot β_s ter srednji naklon β_n (Petje et al., 2005b).....	59
Slika 10: Pregledna karta Slovenije in lokacija vasi Brezno (vir: ZRC SAZU, 2006)	64
Slika 11: Kartografski prikaz območja in sproščanja skal v merilu 1:5000	65
Slika 12: Geometrija pobočja v vasi Brezno (razdalje so upoštevane v lokalnem merilu).....	68
Slika 13: Primer prisotnosti obstoječega gozda s premerom dreves $0,2\text{ m} \pm 10\%$	71
Slika 14: Primer sečnje pasu dreves na spodnjem delu	72
Slika 15: Skica dinamične pregrade (prirejeno po Cazzani et al., 2002).....	77
Slika 16: Točke morebitnega trčenja skale v pregrado (Cazzani et al., 2002)	81
Slika 17: Izris dinamične pregrade z izračunanimi vrednostmi.....	83

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Intenziteta pri različnih podornih pojavih.....	18
Preglednica 2: Pomen stopenj ogroženosti pri podorih (Đurović, 2004 in Buwal, 1997)	20
Preglednica 3: Pogostost porušitev ravnotežja sil v odvisnosti od vrste materiala	27
Preglednica 4: Nekatere vrste pobočnih procesov (Zorn, M., 2002 in Coch, 1995).....	36
Preglednica 5: Klasifikacija podornih pojavov (povzeto po Đurović in drugi, 2005)	39
Preglednica 5: Vrednosti parametrov za simulacijo v Rockfallu 6.1 (Petje, 2005)	69
Preglednica 6: Izbor parametrov na podlagi kalibracije modela z izbranih odstopanjem V.....	70
Preglednica 7: Vpliv števila sproženih skal na domet padajočih blokov	70
Preglednica 8: Vpliv dreves oz. njihovega premera in velikosti skale cilindrične oblike na domet podora.....	71
Preglednica 9: Primerjava dosega glede na obliko skale (sferična ali cilindrična).	72
Preglednica 10: Tabela za dimenzioniranje (Geobrugg, 2003).	79

KAZALO FOTOGRAFIJ

Fotografija 1: Dolina reke Vaiont (foto: Bromhead, E.).....	4
Fotografija 5: Jugozahodno pobočje Velikega Mangarta.....	8
Fotografija 6: Celjenje poškodb na deblu zaradi udarca skale (foto: avtor, 2006).....	40
Fotografija 7: Vgrajevanje sidr (Janod, 2006).	43
Fotografija 8: Nanašanje brizganega betona (Janod, 2006).....	45
Fotografija 9: Poseben stroj imenovan »Pajek« za odstranjevanje skal (Vertec, 2006).	46
Fotografija 10: Razstreljevanje nestabilnih delov (Vertec, 2006).....	47
Fotografija 12: Zavesa (Maccaferri, 2006).....	49
Fotografija 13: Dinamične pregrade in detajli (Geobrugg, 2003).	50
Fotografija 14: Podor Berebica v Trenti in izgradnja cestne galerije (Zorn, 2002).	52
Fotografija 15: Ogrožen odsek ceste Kalce – Col in skalna stena nad njo (foto: avtor, 2006).	63
Fotografija 16: Vas Brezno, magistralna cesta in energetski koridor na obravnavanem pobočju (foto: avtor, 2006).....	65
Fotografija 17: Sproščanje blokov s skalne stene (vir: Higra, 2005).	76

1 UVOD

Veliko ljudi se zaveda minljivosti svojega življenja, morda živijo v prepričanju, da so le gore zares večne, a vendar tudi gore počasi izginjajo zaradi spreminjanja reliefa, česar pa z našimi človeškimi očmi zaradi kratkosti našega doživetja v glavnem ne opazimo.

Gore, ogromne gmote kamnin, ki se bohotijo daleč nad človekovim pogledom iz doline, so res videti večne in neuničljive. Gore so bile vedno deležne velikega občudovanja, so simbol mogočnosti, nadnaravnosti, vendar pa kmalu vidimo, da temu ni čisto tako. Dejavniki, kot so veter, voda v vseh svojih oblikah, temperaturna nihanja in gravitacija počasi, vendar stalno sproščajo in odnašajo material z gora v doline. Občasno se zgodi, da se v dolino nepričakovano odvalijo velike kamninske gmote ali kar cela pobočja (kar imenujemo podori), zato se relief v Alpah relativno hitro spreminja.

Podori se pojavljajo povsod v gorah, zanimivo pa je, da za številne manjše podore oz. odlome pravzaprav nikoli ne izvemo, saj so pogostejši na neobljudenih oz. nenaseljenih in odročnih območjih. Nanje nas opomnijo šele geomorfni procesi večjih razsežnosti (odlomi, skalni in gorski podori), ki povzročijo veliko škodo na stanovanjskih objektih in infrastrukturi (Pavšek, 1994). Skalni in gorski podori so eden najvidnejših in najhitrejših geomorfni procesov sploh. Pojavijo se na strmejših pobočjih v gorskem svetu, lahko pa tudi na strmih bregovih rek in klifnih morskih obalah.

Zanimivo je to, da se s preučevanjem podorov ukvarjajo strokovnjaki več znanstvenih panog, na primer geologi, gozdarji, geografi in tudi vodarji. Čeprav vsaka od omenjenih strok malo drugače obravnava in definira podore, jih vse uvrščajo k »pobočnim procesom« ali »pojavom masnega gibanja« tj. pojavom premeščanja gradiva, ki nastanejo zaradi vpliva gravitacije. Podori so pomemben del denudacije površja (ogolitve tal zaradi erozije). Pri pobočnih procesih poznamo tri temeljne načine premikanja gradiva: tok, plazenje in padanje (Zorn in Komac, 2002, Đurović, 2004), čeprav je načinov gibanja pri masnih gibanjih več (Mikoš, 2000).

Vse oblike pobočnih procesov so zelo pomembne in seveda ogrožajo vse, kar jim pride na pot, vendar sem se želel pri izdelavi svoje diplomske naloge omejiti samo na podorne pojave.

Podore bi lahko opisali kot pojav, ki nastane, ko se del trdne kamnine odlepi od strmega pobočja in pade v nižje ležeči predel. Na začetku premikanja je pogosto najprej zdrs (planarni ali klinasti), nato pa sledi padanje. Vse je odvisno od nagiba in oblike brežine in drugih dejavnikov. Podori so najpogostejši na skoraj vertikalnih pobočjih, kjer je kamnina že precej razpokana. Razpokanost oblikuje kamnino v bloke, ki se lahko odlepijo od strmega pobočja skorajda kadarkoli. Te procese lahko pospešijo človeški posegi v pobočja, kot so na primer cestni useki ali miniranje pobočij ali pa naravni dogodki, ki so se zgodili v preteklosti in so podorni pojavi posledica le-teh na nekem območju, npr. potresi (Vidrih in Ribičič, 1999).

Te naravne procese in njihove dostikrat katastrofalne posledice pa lahko s pomočjo našega razumevanja in znanja velikokrat omilimo ali celo preprečimo. Že v petdesetih letih dvajsetega stoletja so inženirji poskušali podorne pojave opisati in opredeliti vzroke za njihov nastanek. Prvi resni pristopi so se zgodili z načrtovanjem prostora in analizami ogroženosti v njem. Pojavile so se karte nevarnosti in ogroženosti. Šele z razvojem računalnikov pa so se razvili tudi prvi simulacijski modeli, ki so upoštevali geometrijo pobočja in velikosti skale. Danes pa poznamo že tridimenzijske računalniške programe, ki zmorejo zelo natančno določiti trajektorije (krivulje poti) morebitnih padajočih skal in večjih blokov.

Najprej sem v nalogi opisal nekaj primerov podorov pri nas, nato raziskal pojme, povezane z določanjem nevarnosti in ogroženosti prostora zaradi podorov. V nadaljevanju sem se posvetil pojavu masnega gibanja, še posebno podorom. V zadnjem delu naloge pa sem na izbranem pobočju s pomočjo računalniškega simulacijskega programa določil doseg in energijo padajočih skal in na podlagi ustreznih računskih vrednosti predlagal zaščitne objekte v obliki zaščitnih podajnih mrež.

2 PODORNI POJAVI V ALPAH, TUDI V SLOVENIJI

Podorne pojave (v nadaljevanju podore) delimo glede na čas sprožitve na: *prazgodovinske podore* (nastali so v pleistocenu in v prazgodovinskem obdobju holocena), *zgodovinske podore* (nastali so v času pisanih zgodovinskih virov) in *podore v zadnjem času* (nastali v zadnjih letih oziroma desetletjih) (Zorn, 2002b).

Najbolj poznan prazgodovinski podor je nedvomno podor v Flimsu v Švici, največji podor v Alpah nasploh. Odloženega naj bi bilo med 7 in 9 km³ gradiva, pripisujejo mu starost najmanj 8300 let (Zorn, 2003). Med prazgodovinske štejemo tudi podore na Dobraču (današnja Avstrija, Ziljske Alpe), ki se ponašajo z med 800 in 900 milijonov m³ odloženega gradiva, ki se je odložilo na okrog 30 km² velikem območju in verjetno zajezilo reko Ziljo (Zorn, 2002a). Med najbolj znane zgodovinske podore pa spadajo zgodovinski podori na Dobraču v 14. stoletju.

2.1 Podori v zadnjem času

V sedanjem času smo priča nestabilnostim na pobočjih pravzaprav vsakodnevno. V visokogorju se na meliščih preko celega leta zbirajo nove skale ter grušč. Zanimivo je, da največ na novo odlomljenega materiala pade na melišča spomladi, ko se temperature dvignejo nad ledišče in se razpoke in permafrost začno odtajati (Vrhovec, 2003), vendar gre pri tem, razen nekaj izjem, za večinoma manjše odlome.

2.1.1 Kamniti zdrs v dolini Vaiont

Katastrofa v dolini Vaiont ni bila tragedija samo za žrtve ogromnega vala in njihove žrtve, ampak tudi tragedija za strokovnjake in inženirje (Erismann, 2001).

Na pobočju gore Toc (Monte Toc, slika 2.9) je oktobra 1963 nastal kamniti zdrs s prostornino do 270 milijonov m³, ki je s hitrostjo okoli 30 m/s zgrmel v akumulacijsko jezero hidroelektrarne v dolini reke Vaiont (vzhodni pritok reke Piave, Severna Italija). Nastal je

ogromen val (okrog 50 milijonov m³ vode), ki je preskočil 262 m visok jez (jez je ob tem ostal nepoškodovan) in z veliko udarno močjo uničil vasi pod njim ob reki Piavi (udarni val je bil tu visok kar od 70 do 90 m). Zdrs je nastal v 5 do 15 cm debelih glinenih plasteh v apnencu, ki so vpadale 35 ° proti dolini. Do sprožitve naj bi prišlo zaradi antropogenega spreminjanja nivoja vode v jezeru in s tem nivoja talne vode v pobočjih. Katastrofa je terjala 1900 življenj (Zorn, 2003), nekateri avtorji pa omenjajo 2600.



Fotografija 1: Dolina reke Vaiont (foto: Bromhead, E.).

2.1.2 Krn in Osojnica

Ob velikonočnem podoru v Zgornjem Posočju 12.4.1998 (magnituda 5,8; intenziteta 7.-8. stopnje po EMS, evropski makrosezmični lestvici) naj bi nastalo okrog 100 podorov. Le redka skala v dolini Lepene in pod Krnom je ostala nepremaknjena (Vidrih in Ribičič, 1998).

Premaknjenega je bilo nekaj milijonov m³ materiala. Pas z največjimi poškodbami poteka od Bovca po jugozahodnih grebenih nad dolino Lepene, preko Krnskega pogorja, do izvira Tolminke in planine Polog nad Tolminom. Največ gradiva se je sprožilo na jugozahodni steni Krna (2244 m) in na Osojnici nad dolino Tolminke.



Fotografija 2: Jugoahodna stran Krna (Vidrih, 1998).

V vsakem od obeh primerov se je sprožilo okrog milijon m³ materiala. Pri krnskih podorih gre za sedem večjih podorov, podorno gradivo pa je zasulo okrog 15 ha veliko območje. V drugem primeru pa so podori na Osojnici poškodovali severovzhodno, vzhodno in jugovzhodno pobočje gore in zasuli preko 30 ha veliko območje (Zorn, 2002).



Fotografija 3: Podor na Osojnici (Vidrih, 1998).

2.1.3 Javoršček

V Zgornjem Posočju je še nekaj starejših podorov iz ne tako oddaljene preteklosti. Podor na Javorščku v Bovški kotlini (1557m; AS, 2005, str. 72, C2), ki se je sprožil 8. 8. 1950 (slika 2.10). Pravzaprav gre bolj za primer zdrsa po plastovitosti, kjer se je sprožilo okrog 80.000 m³ materiala.



Fotografija 3: Podor z Javorščka (Natek, K., vir Zorn, 2002b).

2.1.4 Dvojčka v Trenti

V ozkih gorskih dolinah z ledeniško preoblikovanimi pobočji pogosto prihaja do »podorov dvojčkov«, ko nastaneta podora na nasprotnih pobočjih. Ravno tako sta nastala zelo znana podora v Zgornjesoški regiji »podora Dvojčka« v Spodnji Trenti (AS, 2005, str. 73, C1). Prvi podor je nastal nad domačijo Plajer na levem bregu Soče (slika 2.11). Sprožil se je med 28. in 29. 6. 1989 s severozahodnega pobočja gore Mala Tičarica (1797 m) v Spodnji Trenti, kar je imelo za posledico preselitev kmetije in popravila poškodovanih komunikacij (Pavšek, 1996).



Fotografija 4. Podor nad domačijo Plajer (Zorn, 2002).

Nasproti prvemu pa se je nekaj let kasneje sprožil podor Berebica nad domačijo Fačer, in sicer je do večjih odlomov prišlo 19. 12. 1993 in pa 27. 7. 1998. Posamezni skalni bloki so merili od 0,5 do 100 m³. Podor je ogrozil omenjeno domačijo in obakrat poškodoval tudi regionalno cesto Bovec-Kranjska Gora v dolžini okrog 150 m, na krajšem odseku je bila povsem zasuta z ostanki drevja, drobirjem, kamenjem in velikimi skalami (slika 2.12). Področje so naredili precej bolj varno za voznike s tem, ko so maja 2001 odprli 280 m dolgo cesto galerijo (Pavšek, 1994; Zorn, 2002).

2.1.5 Podora na Velikem Mangartu

Oktobra 1995 sta se vršnem delu jugozahodne stene Velikega Mangarta (2679 m, AS, 2005, str. 47, A2), četrtega najvišjega vrha v Sloveniji (slika 2.13) sprožila dva podora, nekoliko manjši (po različnih virih) v četrtek, 26. ali petek 27. oktobra in večji v nedeljo, 29. oktobra. Ocena podornega materiala je bila med 300.000 in 400.000 m³. Do podora je prišlo 120 do 150 m pod vrhom Velikega Mangarta, torej na nadmorski višini 2550 m, nad travnatimi strminami, ki jim domačini pravijo Planja. Podor bi lahko razdelili na tri odseke (Pavšek, 1996):

- zgornji del (od 2550 do 2000 m), ki sega od odlomnega mesta do vznožja ostenja ima povprečni naklon 55°

- srednji del (od 2000 do 1650 m), ki obsega zgornji, bolj strmi del Velikega žleba do drevesne meje z naklonom med 30° in 35°
- spodnji del (od 1650 do 1400 m), ki obsega spodnji, položnejši del Velikega žleba, ki se izteka že globoko v gozdu nad dolino Loške Koritnice z naklonom 30°.

Na srečo podor z Velikega Mangarta ni povzročil nobene materialne škode, saj so se skalne gmote ustavile še pred njihovim prihodom v dno doline. Zaradi velikega naklona pobočij, zapletene geološke zgradbe in intenzivnih mehaničnih in kemičnih procesov preoblikovanja kamnine lahko v tem delu Velikega Mangarta pričakujemo nove odlome in podore.



Fotografija 5: Jugo zahodno pobočje Velikega Mangarta.

2.1.6 Zaključek

V tem poglavju (2.1) sem poskušal opisati nekatere večje podore izmed teh, ki so se zgodili v ne tako zelo oddaljeni preteklosti. Seveda je podorov pri nas še bistveno več in se dogajajo skoraj dnevno, vendar sem se poskušal dotakniti samo tistih največjih in najbolj odmevnih, ker je na nekaj straneh praktično nemogoče zaobjeti tudi vse manjše podorne pojave.

Prednost pri raziskovanju in proučevanju podornih pojavov v bližnji preteklosti je med drugim v tem, da zagotovo vemo, da gre za podore in ni ugibanj, ali gre morda za kakšno čelno moreno ledenikov. Seveda pa je najpomembnejši namen proučevanje podornih pojavov

v današnjem času zagotoviti varnost ljudi, ki živijo na teh področjih in njihovega imetja, oziroma predvideti nevarnost, s katerimi nam ti pojavi grozijo. Ko govorimo o možnostih, da lahko pride do podornega pojava na nekem določenem območju, lahko uporabimo različne pokazatelje, ki nam služijo pri presoji, lahko pa se uporabimo tudi računalniško modeliranje posameznih skalnih blokov ali večje skalne gmote.

3 SPLOŠNI POJMI

3.1 Naravna nesreča

Človek je v svojem bivalnem, delovnem in sploh življenjskem okolju izpostavljen vrsti različnih nevarnosti, ki jih povzročajo nesreče. Naravne nesreče (angl. danger) so posledica nevarnosti, ki nastopijo ob naravnih pojavih. O naravnih in drugih nesrečah pa lahko govorimo šele, ko je posamezni vrsti nevarnosti izpostavljeno večje število ljudi, predvsem pa njihova intenziteta in prostorska ter časovna razširjenost, ko se nevarnosti sprevržejo v dejansko ogroženost ter prizadenejo večja območja in večje število ljudi, vodi k naravnih in drugim nesrečam (Brilly et al., 1999).

Okoljske nevarnosti (angl. environmental hazards) so definirane kot ekstremni naravni dogodki na Zemlji, ki imajo neugodne učinke na ljudi in stvari v določenem prostoru in času. Lahko so geofizikalni in meteorološki dogodki (potresi, poplave, suše, plazovi, orkani, vulkanski izbruhi ...) ter tudi onesnaženja in ostale tehnološke nevarnosti. Torej nevarnost se nanaša na medsebojno delovanje človeka in ekstremnih dogodkov. Okoljske oz. naravne nevarnosti so ogrožajoči dogodki, ki lahko povzročijo škodo tako v fizikalnem kot v sociološkem prostoru in ne samo v času dogodka, temveč tudi na dolgi rok.

Večina avtorjev se strinja, da nesreča nastopi, kadar je nevarnost realizirana, vendar je ustrežnejše reči, da nesreča nastopi, kadar je ogroženost realizirana (Đurović et Mikoš, 2006).

3.2 Nevarnost

Nevarnost (angl. hazard) je neka danost za katerikoli neugoden pojav, ki je povezan s potencialno nesrečo in lahko povzroči veliko škodo. Obstajajo tri vrste nevarnosti: *spremljana* (iz izkušenj, z modelnimi preiskavami, izračuni), *pogojna* (v sedanjih okoliščinah ne obstaja, vendar je pričakovana ob spremembi okolja) in *dokazana* (je že bila in je pustila za seboj sledi) (Mikoš, 1997).

Naravne nevarnosti so posledica nenadnih sprememb. Geomorfološko jih lahko razdelimo v endogene (notranje), eksogene (zunanje) in tiste, ki jih sprožijo klimatske spremembe ali

sprememba rabe tal. Geomorfološke nevarnosti so posledica nestabilnosti zemeljskega površja, kjer pa je ključno poznavanje pogostosti in intenzitete (jakost, moč) pojavljanja nekega dogodka za ocenjevanje naravne nevarnosti (Natek, 2003).

Značilno za padajoče kamenje in podore je, da je pri veliki verjetnosti pojavljanja dogodka (dnevni pojavi), njihova intenziteta majhna. Pozornost velja usmeriti na dogodke z veliko intenziteto, kjer vedno obstaja velika nevarnost, ne glede na pogostost pojavljanja (skalni, gorski podor). Dogodki z zelo majhno verjetnostjo pojavljanja (več kot cca. 300 let) imajo lahko katastrofalne posledice, vendar jih je zelo težko predvideti ali napovedati, da do njih pride, se zavemo, takrat ko se že zgodijo (Đurović, 2004).

Vemo, da so naravni pojavi, ki se odražajo kot nesreče ter pomenijo največjo nevarnost za ljudi in okolje, v Sloveniji razmeroma pogosti. Leta 1994 je Državni zbor RS sprejel Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami (Zakon, 1994), leta 2002 pa Nacionalni program varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami (Zakon, 2002), ki upošteva vse nevarnosti naravnih in drugih nesreč, ki ogrožajo ljudi, živali, premoženje, kulturno dediščino in okolje. Naravne nesreče so po tem programu potres, poplava, zemeljski plaz, snežni plaz, visok sneg, močan veter, toča, žled, pozeba, suša, množični pojav nalezljivih človeških, živalskih ali rastlinskih bolezni in druge nesreče, ki jih povzročijo naravne sile. Program navaja, da so najpogostejše naravne nesreče: neurja s točo, zemeljski plazovi, podori, usadi, poplave, žled in druge vremenske nepravilnosti.

3.3 Tveganje

Med pojmom nevarnost in ogroženost je velika razlika in tveganje predstavlja vmesno stopnjo, pri čemer škodni potencial ni ovrednoten, ve se samo, da obstaja. Obstaja veliko definicij tveganja. Pojem tveganje (angl. risk) se uporablja kot možnost izgube ali poškodb, nevarnost pa kot izvor nesreče. Tveganje je tista ogroženost, ki jo zavestno sprejmemo kot sprejemljivo. UNDRO (United Nations Disaster Relief Organization) podaja kvantitativno definicijo tveganja R (Đurović et Mikoš, 2006):

$$R = E \cdot (H \cdot V) , \quad (1)$$

kjer je tveganje R produkt verjetnosti nastopa nevarnosti H , ranljivosti V in socialnih elementov E .

Precej bolj splošno razširjena je opredelitev tveganja, ki jo podaja UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) in upošteva tudi izpostavljenost potencialno škodnih objektov:

$$R = H \cdot V \cdot P, \quad (2)$$

pri čemer je tveganje zmnožek verjetnosti nastopa nevarnosti, ranljivosti in potencialne izgube P.

Določitev tveganja je pomembni del preventivnih ukrepov pred plazovi, ko se plazenje še ni pojavilo. Preventivne ukrepe lahko delimo na strokovni del, pri katerem se določa tveganje, in dejavnosti, ki se izvajajo za izogibanje in zmanjševanje tveganja. Na osnovi ocene tveganja se izdelajo karte potencialnega plazenja tal ob upoštevanju določenih scenarijev in verjetnosti nastopa.

Kljub izboljšavam pri prepoznavanju tveganja in napovedovanju se plazna aktivnost v svetu povečuje, in sicer zaradi naslednjih vzrokov:

- naraščanje urbanizacije in razvoja na območjih, nagnjenih k plazenju;
- nadaljevanje krčenja gozdov na teh območjih;
- naraščanje regionalnih padavin, kar ima vzrok v spremenjenih klimatskih razmerah.

3.4 Ranljivost človeka, njegovega premoženja in dejavnosti

Pojem ranljivost (angl. vulnerability) za razliko od pojma nevarnosti, ki vključuje predvsem naravne pogoje za nastanek poplav, erozije, plazov z določeno verjetnostjo pojava, opredeljuje ceno škode človekove dejavnosti, kjer osebna varnost oziroma človekovo življenje predstavljata neprecenljivo vrednost (Brilly et al., 1999). Naravne nesreče se dogajajo po celem svetu, vendar je ranljivost človeka večja v državah v razvoju. Prvi razlog je v tem, da se te države nahajajo na področjih, ki so geološko-geomorfološko bolj aktivna in drugi razlog je povezan z zgodovinskim razvojem teh držav, kjer so ekonomske, socialne, politične in kulturne razmere slabe in posledično to vpliva na visoko stopnjo ranljivosti.

Splošna definicija ranljivosti ne obstaja, navadno se pojem uporablja v takem pomenu, da ga je moč razumeti. Ponavljajoče dogodke ljudje vzamejo za del »normalnega življenja«, medtem ko na redke ali nove nesreče običajno gledajo z vidika preživetja. Ljudje razumejo pojme, povezane s tveganjem, glede na svoje izkušnje. Ranljivost je močno odvisna od dojetanja ljudi. Stopnja sprejemljivega tveganja je med ljudmi različna in je odvisna do izobrazbe, spola, lokacije in drugih ekonomskih, socialnih in političnih razmer (Petje, 2005).

Nesreča deluje na človeka, njegovo delovanje in okolje kot nekakšen šok oz. stres, ki lahko v trenutku ali pa na dolgi rok prizadene ali celo prekine normalen vsakdanji življenjski tok. Vsaka skupina ljudi pa različno definira ranljivost okolja; od geofizikalnih, inženirskih, tehnoloških pogledov, do socialnih, političnih in ekonomskih. Ranljivost bi lahko definirali kot izpostavljenost skupine ljudi ali posameznikov nekakšnemu stresu (tj. smrti, izgubi premoženja, nevarnosti) na določenem območju in vsebuje veliko komponent. Ena izmed teh je sposobnost prilagajanja, ki je povezana z dostopnostjo sredstev, ekonomskim razvojem, sposobnostjo napovedovanja pojavljanja nevarnosti, s sprejemanjem razmer, ki jih nevarnosti sprožijo, ter planiranjem ukrepov. Institucije so tiste, ki so odgovorne za izdelavo plana za nevarnosti ali spreminjanje okoljskih razmer in s tem se socialna varnost poveča. Ker je znotraj populacije navadno več različnih skupin ljudi, imajo nevarnosti na te skupine ljudi različen vpliv. Izkušnje kažejo, da so najbolj ranljivi revni ljudje, ki so prisiljeni, da živijo na najbolj ogroženih območjih.

Ranljivost lahko ločimo glede na fizično, socialno, okoljsko in ekonomsko. Ker je ranljivost funkcija lastnosti vložkov in intenzitete pojava, jo je potrebno oceniti za vsak naraven pojav posebej. Ocenimo se kot funkcija vrste elementa T in intenzitete I : $V = f(T, I)$. Če vrednotimo ranljivost po količini, pridemo do numerične vrednosti, ki se za vsak vložek nahaja med 0 in 1. Ranljivost človeškega življenja, kot najbolj ranljiv vložek izrazimo z verjetnostjo, da imamo lahko ob nastopu določenega pojava mrtve, ranjene ali ljudi brez strehe nad glavo. Ranljivost ekonomskih dobrin je izražena kot delež ekonomske vrednosti, ki je poškodovana ob nastopu pojava.

3.5 Škodni potencial

Škodni potencial predstavlja skupek možne škode v nevarnem dogodku, tj. izgubljeno materialno vrednost v odvisnosti od količine uničenih ali poškodovanih vložkov glede na stopnjo njihove ranljivosti, pri čemer ima človeško življenje neprecenljivo vrednost:

$$\text{škodni potencial} = \text{ranljivost vložkov} \times \text{vrednost vložkov} . \quad (3)$$

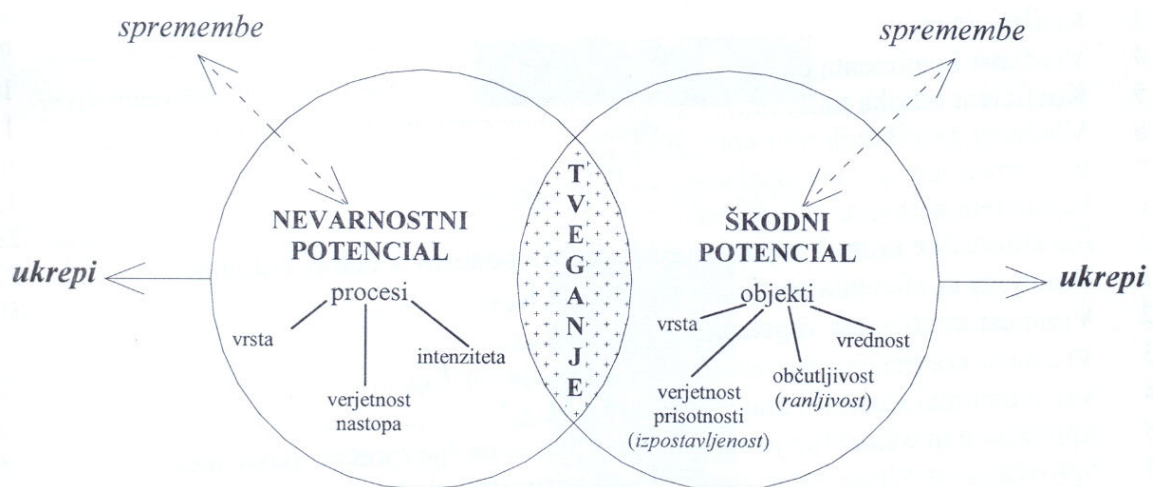
Ranljivost vložkov nakazuje na to, kako poškodovani bi bili vložki (zgradbe, ljudje, ostalo) ob nastopu naravnega pojava določene intenzitete, vrednost vložkov pa se določi z identifikacijo in popisom ljudi, zgradb ali ostalih elementov na nekem območju, ki so podvrženi potencialni nevarnosti, in kjer je to potrebno, z ocenitvijo njihove ekonomske vrednosti.

3.6 Ogroženost

Ogroženost je verjetnost, da bodo ob nastopu nevarnosti prizadeti izpostavljeni vložki (ljudje, njihovo imetje) in je odvisna od nevarnosti, ranljivosti in časa izpostavljenosti. Po Unescu velja naslednja opredelitev (Mikoš, 1997):

$$\text{ogroženost} = \text{naključje} \times \text{ranljivost} \quad (4)$$

Pojem naključje ali slučajnost nam pove, kako pogosto in s kakšno intenziteto naravni pojav ogroža neko človekovo dejavnost (osebno ali ekonomsko), z drugimi besedami, kakšna nevarnost preti na neko človekovo dejavnost. Pojem ranljivost pa opredeljuje ceno oz. stroške te človekove dejavnosti, kjer seveda človeško življenje oz. njegova osebna varnost predstavlja neprecenljivo vrednost. Ogroženost prikažemo z različnimi stopnjami ogroženosti, ki jih določamo po območjih, navadno z barvami. Le ta se močno poveča, če naraste raba prostora in gostota prebivalstva. Določamo jo z vrednostmi med 0 in 1.



Slika 1: Shematski prikaz parametrov tveganja (Romang, 2004; vir Đurović in Mikoš, 2006).

4 OSNOVE ANALIZE OGROŽENOSTI

V petdesetih in šestdesetih letih prejšnjega stoletja se je zaradi višanja števila prebivalcev npr. v alpskih deželah (Avstrija, Švica, Francija, tudi Slovenija) skokovito povečala raba prostora. Ker pa je prostor omejena dobrina, so ljudje začeli vedno bolj posegati tudi po ogroženih območjih zaradi zemeljskih plazov (Mikoš, 1997). Posledično večja raba prostora je vodila tudi v večjo občutljivost prostora, saj se je zaradi človekovega poseganja v naravo pospešilo napredovanje nekaterih naravnih procesov in vzporedno tudi škodni potencial v tem prostoru. Pojavila se je potreba po poenotenju določanja ocene ogroženosti in po izdelavi načrtov območij ogroženosti za različne tipe ogroženosti (hudourniki, plazovi, snežni plazovi, poplave, podorni pojavi ...).

Sistem varstva v obliki načrtov ogroženih območij je poleg gradbenih, varstvenih in zaščitnih ukrepov (gradbena dela, postavitve objektov in naprav) osnovna stopnja zaščite ogroženih območij in izdelovanje načrtov lahko razumemo kot usmerjeno delovanje za varnejšo prihodnost ljudi, ki živijo na teh območjih. Običajno se pri izdelavi kart ogroženosti prostor razdeli v območja z različno stopnjo ogroženosti. Gradnja na najbolj ogroženih območjih se običajno odsvetuje ali pa prepove, če pa je gradnja že v teku, se le-ta lahko podredi posebnim pogojem gradnje.

Ocene in analize ogroženosti se uporabljajo v naravnem, tehničnem, sociopolitičnem in ekonomskem okolju. Ogroženost bi lahko opredelili ko kakovostno in količinsko označitev neke škode glede na možnost nastopa in dosega škodnega potenciala.

Pri ravnanju z naravnimi tveganji uporabljamo postopek po korakih, pri čemer je pomembno, da izvedemo vse korake (Buwal et al., 1997; Đurović, 2004):

1. korak: Prepoznavanje nevarnosti: kaj se lahko kje dogodi?
2. korak: Presoja nevarnosti: kako pogosto in kako močno se lahko dogodi?
3. korak: Presoja ogroženosti: kateri vložki in v kolikšni meri so ogroženi z nastopom nevarnosti?
4. korak: Načrtovanje ukrepov: kako se lahko zaščitimo?

4.1 Prepoznavanje nevarnosti

Osnova vsake presoje nevarnosti masnih gibanj je dokumentacija vseh opazovanj in meritev iz preteklosti in sedanjosti, ki kažejo na obstoječo nevarnost. Pri tem je nujno poznavanje kakovosti opazovanj, ki lahko temeljijo na ocenah, preračunih ali meritvah. Kot podlaga nam služi topografska karta, ki vsebuje podatke o morfologiji terena, geološka karta pa vsebuje informacije o litološki sestavi površja. Metodo opisa pojava izberemo glede na cilj projekta, tipologije pojavov, metodologije zbiranja podatkov in dostopnosti informacij. Podatke o preteklih dogodkih dobimo iz zgodovinskih kart in zgodovinskih podatkov, kar nam zelo pomaga pri napovedih povratne dobe. **Karta pojavov** (obseg in lokacija pojava) je osnova za izdelavo karte nevarnosti v drugem koraku.

4.2 Presoja nevarnosti

Drugi korak obsega izdelavo **kart nevarnosti**. Na osnovi vseh razpoložljivih podlag se poda verjetnost nastopa in intenziteto pojava ter napove obseg možnih dogodkov. Nevarnost na določenem območju je prikazana skozi tri nevarnostne stopnje, ki so označene z rdečo, modro in rumeno barvo; rumeno bela šrafura označuje dogodke z veliko povratno dobo. Karta nevarnosti je podlaga za določitev škodnega potenciala in služi kot ekonomski kazalec upravičenosti zaščitnih ukrepov.

Ocena intenzitete

Intenziteta predstavlja mero za moč pojava. Za njeno določitev obstajajo različni pristopi; lahko izhajamo iz različnih parametrov, po katerih intenziteto klasificiramo v razrede: hitrost, volumen; velikokrat gre za empirične in deterministične ocene, ki temeljijo na fizikalnih modelih za določitev bilance energije podora; tretji način pa upošteva posledice (žrtve) in ekonomske vrednosti sanacije pojava.

V Švici (Buwal et al., 1997; preglednica 1) mejne vrednosti za nevarnostne razrede določijo glede na škodno delovanje (ljudje in objekti) na poseljenih območjih. Intenziteta je razdeljena na visoko, srednjo in nizko. Iz tega izhaja, da je najbolj merodajni parameter energija ob trku.

Preglednica 1: Intenziteta pri različnih podornih pojavih.

Vrsta nevarnosti		intenziteta		
		močna	srednja	šibka
podor	padajoče kamenje	E > 300 kJ	300 kJ > E > 30 kJ	E < 30 kJ
	odlom skal	<i>300 kJ udarne energije še prenese AB zid</i>		<i>30 kJ udarne energije še prenese lesen železniški prag iz hrasta</i>
	skalni podor	E > 300 kJ	<i>Vedno je dosežena visoka intenziteta.</i>	
	gorski podor			

Presoja verjetnosti nastopa

Časovna napoved daje informacije o absolutni nevarnosti. Pri masnih gibanjih so navedbe o verjetnosti nastopa nenatančne. Masna gibanja so pogosto proces, ki se ne ponovi več, zato navajanje povratne dobe ni smiselno. Bolj smiselno je oceniti verjetnost nastopa dogodka v času določene rabe na tem prostoru:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n \quad (5)$$

n = obdobje rabe

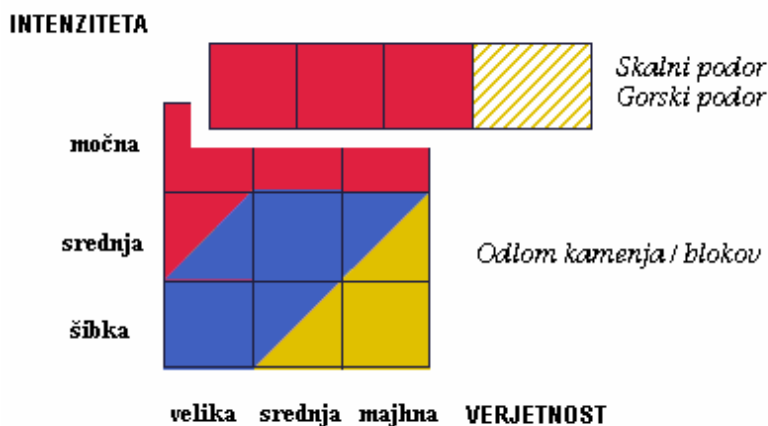
T = povratna doba dogodka

P = verjetnost nastopa dogodka

Recimo, da je doba rabe 30 let (aktivna doba rabe prostora za eno generacijo), potem velja:

- verjetnost dogodka s povr. dobo 30 let je 64 % ,
- verjetnost dogodka s povr. dobo 100 let je 26 % in
- verjetnost dogodka s povr. dobo 300 let pa je 10 %.

Nevarnostne stopnje



Slika 2: Diagram nevarnostnih stopenj (prirejeno po Buwal et. al, 1997)

Intenziteto nevarnostnih stopenj nam povedo poškodbe na objektih in ogroženost ljudi zunaj in znotraj objektov:

- **močna** (udarci kamenja in skalovja povzročijo znatne poškodbe, nastanejo udarne luknje v zidovih, ljudje in živali so močno ogroženi tudi znotraj objektov, pogosto so poškodbe nosilne konstrukcije objektov tako velike, da ne moremo preprečiti evakuacije in uničenja objektov, površinske infrastrukture so lahko močno poškodovane ali celo prekinjene)
- **srednja** (udarci kamenja povzročijo na zidovih večje ali manjše poškodbe, vendar pri tem ne prizadenejo stabilnosti objekta, vrata so močno poškodovana ali uničena, ljudje in živali so ogroženi zunaj objektov, popravila objektov se lahko izvedejo s sprejemljivimi vlaganji, površinska infrastruktura je lahko poškodovana in za kratek čas prekinjena)
- **šibka** (lahko nastanejo udarne luknje v zidovih, ljudje in živali so komajda ogroženi).

4.3 Presoja ogroženosti

Ogroženost ljudi, živali in prostora je pri nenadnih dogodkih, kot so podori, velika, in sicer zato, ker se pri hitrih pojavi ohranja začetna količina ogrožencev na nekem območju. Ob pravočasnem opozorilu pa se lahko količina ogrožencev precej zmanjša (npr. ljudje in živali

evakuiramo na varno), kar pomeni, da se zmanjša ranljivost in s tem posledično tudi ogroženost prostora. Čas od prvega opozorila pa do dogodka imenujemo *opozorilni čas*.

Opozorilni čas je pri podornih procesih zelo kratek, saj večinoma nastopijo zelo hitro, tako da praktično ni časa za evakuacijo. Vendar pa nas lahko na podorni dogodek pogosto že nekaj dni prej opozori padajoče kamenje in skalovje, kar nam lahko pomaga, da pravočasno začnemo z ustreznimi ukrepi (nadzor, opozorilnimi sistemi) in odredimo evakuacijo.

Na **kartah ogroženosti**, ki jih izdelamo kot pomoč pri odločanju, izrazimo stopnjo ogroženosti (podobno kot pri kartah nevarnosti nevarnostne stopnje) v štirih oz. petih razredih, označenih s štirimi barvami: močna, srednja, šibka, preostala in zanemarljiva ogroženost.

Preglednica 2: Pomen stopenj ogroženosti pri podorih (povzeto po Đurović, 2004 in Buwal et al., 1997)

Ogroženost	Barvna oznaka	Kriterij glede na ranljivost	Pomen za območje poselitve
močna	rdeča	Ogrožene so osebe zunaj in tudi znotraj stavb, uničenje objektov je zelo verjetno.	Območje prepovedi Gradnja objektov in naprav, namenjenih zadrževanju oseb in živali, ni dovoljena. Zazidljiva, še nepozidana stavbna zemljišča, se morajo prevrednotiti v nezazidljiva zemljišča. Pri obstoječih naseljih se za zelo nizke verjetnosti dogodka predvidijo varstveni ukrepi.
srednja	modra	Ogrožene so osebe zunaj stavb, škoda na objektih je zelo verjetna, vendar ob upoštevanju pravil varne gradnje ne pričakujemo uničenja stavb.	Območje zapovedi Gradnja objektov dovoljena ob spoštovanju pogojev gradnje. Posebno občutljivih objektov ni dovoljeno graditi in praviloma niso dopustne nove gradbene cone.
šibka	rumena	Osebe so komajda ogrožene, poškodbe na objektih so neznatne.	Območje opozoril Na teh območjih obstaja obveznost za opozarjanje na nevarnost. Lastnike zemljišč in objektov je potrebno opozoriti na obstoječo ogroženost in na mogoče ukrepe za preprečitev škode.
preostala	rumeno bela	Ogrožene so osebe zunaj in tudi znotraj stavb, uničenje objektov je zelo verjetno.	Območje preostale ogroženosti Območje zajema izjemne dogodke s povratno dobo, daljšo od 300 let. Za občutljive objekte je nujno planiranje ukrepov v sili. Izogibamo se objektom z velikim škodnim potencialom.
zanemarljiva	bela	Po sedanjem poznavanju obstaja zanemarljiva ali nična ogroženost.	Območje zanemarljive ogroženosti Gradnja objektov lahko poteka brez omejitev.

4.4 Načrtovanje ukrepov

Najbolj jasno je, da je najbolje izogniti se gradnji na območjih, ki so izpostavljena plazovom oz. podorom. Vendar pa so določeni objekti, ki jih ne moremo izvzeti iz nevarnega območja (npr. ceste in železnice), pogosto pa naraščanje prebivalstva, življenjskega standarda in omejen prostor narekujejo gradnjo objektov na območjih, ki jih potencialno ogrožajo podori.

Načrtovanje ukrepov na ogroženih območjih delimo na tri nivoje:

- S pasivnimi ukrepi (prostorsko načrtovanje) se zmanjša možni obseg škod, ne da bi vplivali na potek dogodka. Takšni ukrepi naj bi zagotovili tako rabo, ki ustreza tveganjem. Varstvo objektov se zagotovi v postopku izdaje gradbenega dovoljenja.
- Z aktivnimi ukrepi (ukrepi varovanja) vplivamo na potek dogodka, pri čemer praviloma vplivamo na verjetnost, ne pa tudi na intenziteto delovanja.
- Z zasilnimi ukrepi (načrtovanje ukrepanja v sili) preprečujemo najhujše ob dogodkih, ki presegajo naša pričakovanja. Vzpostavimo zgodnje opozarjanje, službo opozarjanja, organiziramo evakuacijo, pomoč ob katastrofah in druga hitro uporabna sredstva pomoči.

4.4.1 Ukrepi prostorskega načrtovanja

Ukrepe prostorskega načrtovanja uporabljamo takrat, ko je obstoječa varnost območja enaka želeni varnosti. Prostorsko načrtovanje je v pristojnosti občin ali regij oz. države, če gre za večje območje. Pri tem gre za dejavnosti pristojnega organa, ki morajo upoštevati naravne nevarnosti, in sicer: izdelava in odobritev načrtov rabe; načrtovanje, gradnja in spreminjanje objektov in naprav; podeljevanje koncesij in dovoljenj za objekte in naprave; saniranje pobočij ali varnostni ukrepi.

Za vsa ogrožena območja je treba pripraviti načrte za alarmiranje in evakuacijo. Najbolj moramo biti pozorni do objektov, v katerih se zadržuje veliko ljudi, ki jih je težje evakuirati (bolnišnice, domovi, šole), objektov, na katerih dogodki manjše intenzitete lahko povzročijo veliko materialno škodo (skladišča z nevarnimi snovmi, deponije), objektov, pri katerih lahko pričakujemo veliko finančno škodo (telefonske centrale, elektronske naprave, naprave s pripravo in s preskrbo s pitno vodo, čistilne naprave).

4.4.2 Zavarovalništvo

Zavarovanje pred naravnimi nesrečami ni ukrep za zmanjšanje škod, ampak družbena solidarnostna pomoč. Zavarovanja so sredstvo, da lahko živimo s preostalo ogroženostjo. Solidarnostni koncept sloni na porazdelitvi škode na čim večje število oseb, kar pride do izraza zlasti ob večjih dogodkih (skalni podori, gorski podori, veliki zemeljski plazovi). Obenem preventiva pred pogostimi majhnimi dogodki prispeva k lastni odgovornosti. Zavarovalnice lahko dejavno prispevajo k zmanjšanju škodnega potenciala s tem, da povsod tam, kjer je zavarovanec prepuščen povečanim tveganjem, ne pokrijejo škode, omejijo izplačilo škode ali ga pogojujejo (Đurović, 2004). Za zavarovalnice bi bila dobrodošla tudi izdelava celovitih kart nevarnosti zaradi različnih pojavov in bi bilo priporočljivo, da bi tudi same prispevale del sredstev, kar bi pripomoglo k hitrejši izdelavi kart nevarnosti. Z zavarovalništvom ne rešimo vseh problemov, še vedno velik del stroškov za reševanje in saniranje posledic naravnih nesreč preide v breme državnega proračuna ali proračune prizadetih lokalnih skupnosti. Morda bi lahko bila dolgoročna rešitev možnost uvedbe zakonsko obveznega premoženjskega zavarovanja kot načina preventivnega varstva pred naravnimi nesrečami (Ferlan in Mikoš, 2002).

4.4.3 Institucionalni ukrepi

Oblikovanje komisij za ocenjevanje ogroženosti kot interdisciplinarnih strokovnih teles je nujnost. Pristojne so za izdelavo in dopolnitev kart nevarnosti in kot posvetovalni organ podpirajo uresničevanje teh kart. Praviloma se omejijo na svetovanje in pripravo razpisov, v nobenem primeru ne sprejemajo odredb ali odločb. Komisije morajo sestavljati predstavniki strokovnih mest, ki jih zadeva upravljanje z naravnimi nevarnostmi: vodarstvo, gozdarska služba, prostorsko planiranje, gradbena uprava, zavarovanje objektov, predstavniki prizadetih občin. Naloge komisije so:

- nadziranje, strokovno presojanje in dopolnjevanje kart nevarnosti;
- svetovanje pri uresničevanju predlogov o naravnih nevarnostih v usmeritvenih načrtih in načrtih rabe;
- svetovanje upravnim organom in zavarovalnicam;
- preverjanje načrtov območij nevarnosti;

- presoja investicijskih načrtov na območjih nevarnosti;
- podpora pristojnim upravnim organom pri naravnih nesrečah;
- delo z javnostjo.

4.4.4 Ukrepi varovanja

Ukrepi varovanja zmanjšujejo preostalo ogroženost zaradi podorov in padajočega kamenja, skupaj s prostorskim načrtovanjem pa predstavljajo tudi preventivne ukrepe. Med te ukrepe štejemo:

- zbijanje ali sidranje skalnih skladov,
- podpiranje nestabilnih skalnih delov s pomočjo podpornih konstrukcij, ki jih lahko delimo na: enostavne podporne konstrukcije (kamniti zidovi, gabioni, montažne konstrukcije) in podporne zidove ali stebre (betonski zidovi, zidovi s peto, sidrani zidovi),
- oblaganje pobočja z mrežami za varstvo pred padajočim kamenjem,
- čiščenje skalne površine,
- nanos z brizganim betonom (zaščita pred preperevanjem),
- razstrelitev nestabilnih blokov,
- prestrezne in preusmeritvene konstrukcije,
- prestrezne mreže,
- pogozdovanje (varstveni gozd).

Seveda se lahko od primera odvisno ti ukrepi uporabljajo samostojno ali v kombinaciji. Vsekakor pa ni dovolj, da te objekte enkrat zgradimo oz. vzpostavimo njihovo delovanje, ampak je zelo pomembno njihovo vzdrževanje in pregledovanje (npr. pregled in čiščenje prestreznih mrež, ponovni nanos brizganega betona, ponovno napetje sider). Poleg vseh teh naštetih ukrepov imamo pri podornih pojavih možnost predvidevanja smeri, hitrosti in dolžine poti podornega materiala, kar je predvsem odvisno od: trdnosti kamnine, topografije pobočja in odbojnega koeficienta. S pomočjo ustreznih računalniških programov lahko določimo trajektorijo padanja večjih kamnov in tako predvidimo morebitni katastrofalni dogodek.

4.4.5 Načrtovanje ukrepanja v sili

Preventivni ukrepi ne morejo izločiti vseh nevarnosti in za omejitev tiste ogroženosti, ki je ne moremo preprečiti s preventivnimi ukrepi, tj. za preprečitev najhujšega ob dogodkih, ki presega naša pričakovanja, je potrebno načrtovati opozorilne in alarmne sisteme, ki služijo kot podpora reševalnim ukrepom. Dandanes, ko imamo na voljo toliko materialnih sredstev in opreme (helikopterji, daljinsko zaznavanje, radijske zveze, opozorilni sistemi, težka gradbena mehanizacija), je ukrepanje v sili veliko bolj učinkovito, kot je to bilo nekoč. Postopek zasilnega ukrepanja v sili je naslednji (povzeto po Ribičič, 2002):

Ob pojavu ogrožajočega dogodka odločitve o nujnih ukrepih sprejema poveljnik Civilne zaščite občine, v kateri se dogodek pojavlja, ob katastrofalnih dogodkih večjih razsežnosti pa poveljnik Civilne zaščite regije ali države. Ob izvajanju prvih ukrepov se vzpostavi monitoring premikanja podorne mase, če se le-ta premika počasi. Vendar je monitoring bolj primeren za pojave plazenja, kjer se pojavljajo dosti manjše hitrosti (nekaj m/dan), kot pa pri podornih pojavih (nekaj m/s).

5 POJAV MASNEGA PREMIKANJA

Definicij in razlag o tem, kaj je masno premikanje (gibanje), je v domači in tuji literaturi izredno veliko. Pri opredelitvi samega pojava se pojavljajo različna pojmovanja med različnimi, sicer sorodnimi strokami, kot so geološka, geotehnična, geografska in hidrotehnična stroka. Še vedno niso čisto jasne razlike v pojmovanju med vzroki, povodi in posledicami masnih gibanj.

Kako pomembna je za obravnavo masnih gibanj dogovorjena terminologija strokovnega področja, se lahko dostikrat pokaže, ko se zgodi nek pojav večje razsežnosti in se pojavi potreba po poenotenju izrazov med strokami.

5.1 Izrazje pojava masnega premikanja

Na področju izrazja erozijskih pojavov je bilo napisanih nekaj predlogov za poenotenje izrazov med strokami (geografska, geološka, geotehnična in hidrološka) in nastalo je nekaj predlogov večjezičnih slovarjev s strani hidrotehnikov (Mikoš, 2000; Đurović, 2004).

Geografi za gibanje gmote oz. mase nizdol pobočja uporabljajo termin »pobočni procesi«, s čimer imenujejo vse pojave premeščanja gradiva, ki nastanejo zaradi gravitacije in so pomemben dejavnik denudacije površja (denudacija – ogolitev tal zaradi erozije). Sopotensko v geografiji in geomorfologiji uporabljajo tudi izraza »graviklastični procesi« in »premikanje zemeljskih gmot« (Zorn in Komac, 2002). V geologiji označujejo masna gibanja s pojmom »plazenje«, ki vključuje tudi pojava padanje kamenja in blatnih tokov, plazenje pa je gibanje zemeljskih ali hribinskih mas po pobočju pod vplivom gravitacije (Ribičič, 2002).

V hidrotehniko se najpogosteje uporabljata izraza masno (masovno) gibanje oz. odnašanje (Mikoš, 2000) in podorna ali plazna (težnostna) erozija. Đurović (2004) navaja, da avtorji v švicarski literaturi ločujejo med dvema oblikama prelaganja gmot (masnega premika): masno gibanje in masni transport, pri čemer gre pri masnem gibanju za prelaganje materiala pod vplivom sile teže z enega na drug kraj brez pomoči transportnega medija (led, sneg, voda), kot je to prisotno pri masnem transportu.

Masno gibanje (angl. mass movement) je v splošnem pojav, ko pride do premestitve tal ali podtalja oz. hribinskega materiala vzdolž pobočij v odvisnosti od številnih naravnih in antropogenih dejavnikov oziroma od neposrednega učinka gravitacijskih sil. Geologi (Ribičič, 2002) poznajo tri tipične vrste geološko destruktivnih (razkrojevalnih) procesov: preperevanje, erozijo in plazenje (masno gibanje). Erozija sestavlja celoten proces razpadanja oz. preperevanja kamnin, njihov transport z višjih delov navzdol in odlaganje v nižje ležečih predelih, torej lahko rečemo, da preperevanje predstavlja primarno fazo, masno premikanje pa sekundarno fazo erozijskega procesa.

5.2 Oblikovanost in sestava pobočja

V zvezi z masnimi premiki obstajajo osnovni parametri, ki so v daljših časovnih obdobjih bolj ali manj stalni, to so: geološka sestava in oblikovitost površin. Ti parametri določajo osnovno dovzetnost pobočij za nestabilnost, ki se začne že pri samem nastanku hribine in njenih fizikalno-kemičnih lastnostih, ki vplivajo npr. na njeno preperevanje in erozijo. Po pobočju usmerjena drseča gibanja hribin in zemljin so rezultat strižnega loma in v splošnem nastopijo na srednje strmih in strmih brežinah ter pobočjih. Tak primer so alpske doline, ki so se z napredovanjem ledenikov v času ledenih dob formirale v obliki črke U, po dokončni stalitvi ledu, ki jih je podpiral, pa so ostala nestabilna in prestrma pobočja.

5.2.1 Oblikovanost površja

(povzeto po Mikoš, 1995)

Pri površju ločimo tri značilnosti njene oblikovitosti:

- orientacijo površin,
- nagib površin in
- hrapavost površin.

Orientacija površin določa predvsem mikroklimatske razmere, saj vpliva na osončenost neke lege in s tem tudi na rastiščne pogoje, kar posledično pomeni rast določene vegetacijske združbe. Nagib površine je zelo pomemben pokazatelj potencialne ogroženosti prostora, saj lahko že na osnovi nagiba površine sklepamo, ali je lahko površina plazovito območje. Z nagibom pobočja se večajo erozijske sile vode in vpliv težnostne erozije, kar zmanjšuje odpor

zrn kamnin oz. zemljin in povzroči premik gmote. Hrapavost površine nima velikega pomena za hitra premikanja gmote, ampak pri počasnem plazenju snežne odeje.

5.2.2 Kamninska sestava površja

(povzeto po Ribičič, 2002)

Pri masnih gibanjih nastopajo naslednji sestavni deli zemeljskega površja:

- hribina ali kamnina (magnetska, metamorfna, karbonatna, klastična)
- polhribina (glinovci, meljevci)
- pobočni nanosi (grušči, vršaji, morene)
- zemljina (gline, melji, peski, gruščiči).

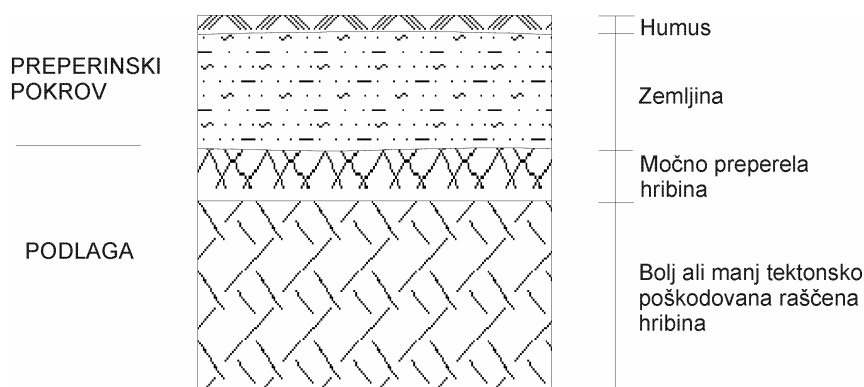
Od vrste kamnin, ki sestavljajo zemeljsko površje, je odvisno, do kakšne vrste masnega gibanja lahko pride v primeru porušitve notranjega stabilnostnega stanja (več v poglavju 3.4). Stabilnostno stanje in pojavi masnega gibanja pa so v prvi vrsti odvisni od trdnosti hribine, kar prikazuje preglednica 3.

Preglednica 3: Pogostost porušitev ravnotežja sil v odvisnosti od vrste materiala.

material	ravnotežje sil
ZELO TRDNE HRIBINE	Pojavov porušenja naravnega ravnotežja skorajda ni.
TRDNE HRIBINE	Pojavi porušenega naravnega ravnotežja so zelo redki. Pod strmimi pobočji, zgrajenimi iz karbonatnih kamnin, so pogosto melišča ali pobočni gruščiči, ki so močno podvrženi plazenju, posebej, če so v podlagi drobnozrnate klastične kamnine.
SREDNJE TRDNE HRIBINE	Pojavi porušenega naravnega ravnotežja so pogosti na kamninah, ki imajo debel preperinski pokrov.
POLHRIBINE	Zelo pogosti zdrsi debelega preperinskega pokrova.
PRODNE ZEMLJINE	Porušitev naravnega ravnotežja ni, razen neposredno ob strugah rek in potokov.
MEŠANE ZEMLJINE	Zelo redke porušitve naravnega ravnotežja manjših dimenzij ob strugah potokov in na območjih človeških posegov.
MOČVIRSKO-JEZERSKE ZEMLJINE	Porušitev naravnega ravnotežja ni, nevarnost obstaja samo ob nepravilnih človeških posegih.

Za slovensko hribovito in gričevnato ozemlje je značilno, da matično kamnino prekriva bolj ali manj debel preperinski pokrov (slika 3). Preperinski pokrov je nastal kot posledica razpadanja hribine (kamnine ali zemljine) pod vplivom zunanjih sil, kot sta fizikalno in kemično

preperevanje. Njegova značilnost je, da se nahaja na mestu preperevanja, to se pravi, da ni prišlo do dodatnega transporta rahlejših zemljinskih sedimentov.



Slika 3: Tipična zgradba preperinskega pokrova (vir: Ribičič, 2002)

Ob vznožju zelo strmih pobočij, posebno če so hribine bolj podvržene preperevanju, pogosto nastanejo pobočni grušči. Te sestavljajo glinasto meljnata osnova, v kateri leže kompaktni kosi kamnine. V alpskem svetu pa pogosto nastopajo vršaji, ki so ponavadi sestavljeni iz karbonatnih kosov kamnin različnih velikosti in predstavljajo posebno vrsto grušča, ki nima primešanih drobnih frakcij.

Podori se v gorskem svetu pojavljajo vsak dan in povzročajo večje število smrtnih žrtev v svetu kot druge velike naravne porušitve ravnotežja (Petje, 2005). Pogostosti in velikosti podorov in padanja skal se ne da napovedati, zato ogrožajo infrastrukturo in človeška življenja. V Sloveniji se podori pojavljajo v gorskem svetu, pri zelo strmih in navpičnih pobočjih, padajoče kamenje in skale pa predstavljajo stalno grožnjo v številnih cestnih in železniških usekih (umetne brežine). Pri možnostih za nastanek podorov pa igra pomembno vlogo trdnost hribine oz. kamnine. Namreč, kjer prevladuje zemljina ne prihaja do podorov, ampak so možne druge oblike pobočnih procesov.

5.3 Vzroki za nastanek pojava masnega gibanja

5.3.1 Geološki destruktivni procesi

(povzeto po Ribičič, 2002)

Poznamo tri tipične vrste destruktivnih procesov, ki delujejo pod vplivom eksogenih sil (tistih, ki delujejo na površju zemeljske oble): **erozija**, **preperevanje** in **masno gibanje**. Ti procesi se med seboj prepletajo in delujejo istočasno ali drug za drugim.

Erozija je proces odnašanja površinskih prsti in zemljin na izpostavljenih lokacijah. Zgornje rahlejšje odložene sloje (humus, preperinski pokrov, nanose) odnaša voda (včasih tudi veter, sneg ali led) ob močnejših padavinah. Posledica erozije je, da se odkrijejo kamnine v podlagi, ki so na ta način ranljivejše za delovanje destruktivnih (uničevalnih, razdiralnih) sil in se zaradi tega njihovo preperevanje pospeši. Intenzivnost erozije pa je odvisna od hitrosti preperevanja kamnin. Čim bolj so kamnine odporne proti preperevanju, tem počasneje bo potekal celotni ciklus preperevanje – erozija. Iz tega je razvidno, da morajo biti za delovanje erozije izpolnjeni določeni pogoji, in sicer:

- ustrezna kamnina, ki je zaradi lastnosti podvržena preperevanju,
- nagib pobočja, čim bolj je strm, tem večja je moč erozije,
- konfiguracijska oblikovanost terena, ki omogoča erozijsko delovanje vode.

Erozijo, ki je v svoji preprosti obliki posledica delovanja eksogenih naravnih sil (veter, voda, sneg, led, težnost in temperaturna nihanja), pospešujejo tudi drugi dejavniki, kot so tektonska zdobljenost kamnin, plastovitost kamnin pa tudi antropološki dejavniki zaradi izkopov strmejših brežin pri gradnji različnih infrastrukturnih objektov (ceste, železnice, komunalni in komunikacijski vodi).

Naslednji tak proces je **preperevanje**, pri katerem prehaja kamnina iz bolj obstoječega odpornega stanja v manj obstojno obliko. Ta proces sprožajo eksogeni procesi (tisti, ki delujejo na zemeljski površini) in je kot tak bolj neposredno povezan s podornimi pojavi. Ločimo dvoje vrst preperevanj. Na površini predvsem deluje *fizikalno (mehansko) preperevanje*, v sami kamnini tik pod površino pa tudi *kemično preperevanje*. Ponavadi obe vrsti preperevanja delujeta istočasno, vendar je odvisno od določene kamnine in lahko

prevladuje eno ali drugo. Hitrost preperevanja je odvisna od odpornosti hribine (kamnine), pa tudi od klimatskih in lokalnih pogojev.

Različne kamnine so različno podvržene preperevanju in pod vplivom fizikalnega in kemičnega preperevanja različno razpadajo. Če je kamnina izrazito plastovita, razpade v plošče (skrilavci, gnajsi, filiti). Značilna so laporna, skrilava in iverasta krojitev za laporje in skrilavce. Dolomit ponavadi razpade v paralelepipedne kose. Trde kamnine razpadajo po sistemih razpok (klivaža), ki so nastale zaradi tektonskih delovanj. Vrsta preperine, ki nastane na določeni kamnini, je zanjo značilna. Na apnencih nastaja kot posledica kemičnega preperevanja kraška ilovica - terra rossa. Na metamorfni kamninah in klastičnih kamninah je ponavadi gruščnata preperina s peščenim meljasto glinastim vezivom. Čim bolj ima določena kamnina fino sestavo, tem večja je verjetnost, da bo tudi preperina sestavljena iz finih delcev. Tako se na laporjih nahajajo predvsem glinasto do meljne preperine.

Fizikalno preperevanje deluje na površini in se pojavlja le plitvo v podlago. Za njegovo delovanje mora biti kamnina odkrita in predana zunanjim dejavnikom, kot so dež, sneg, led, sonce itd. Če je kamnina razpokana, je fizikalno delovanje še hitrejše. Rezultat fizikalnega preperevanja kamnine je njeno razpadanje v manjše kose in drobce. Na ta pojav smo lahko pozorni v Alpah, kjer pod strmim ostenjem vidimo debele sloje melišč.

Fizikalno preperevanje je posledica predvsem naslednjih vplivov oz. pojavov:

- Zmrzovanje - deževnica, ki pade na hribino, zlahka prodre v razpoke. Ko pade temperatura pod ledišče, ta voda v razpokah zmrzne in poveča svojo prostornino za 10 % in s tem izvaja znaten pritisk na obe steni razpok. Hitrost razpadanja je odvisna od razpokanosti (poroznosti) hribine, od prisotnosti vode in od temperaturnih nihanj.
- Vpliv sončnih žarkov (insolacija) - podnevi, ko se kamnina zaradi sončnih žarkov segreje, nastanejo v njenem gornjem sloju natezne napetosti, ki povzročijo pokanje po luskah. Ponoči pa se ohlajena površina krči in poka pravokotno na luske.
- Kristalizacijsko razpadanje - tako razpadanje je značilno za topla območja površja, kjer voda zaradi visokih temperatur izhlapeva iz kamnine in se kapilarne razpoke, v

katerih je bila voda, osuše. Soli, ki so bile raztopljene v vodi, pri tem kristalizirajo, kar povzroči tlake na stene razpok.

- Delovanje rastlin – rastline ne delujejo v prid preperevanju oz. destruktivnim silam, saj zadržujejo humusni pokrov pred spiranjem in drsenjem, v primeru da pa korenine prodirajo v že razpokano in poškodovano kamnino, pa lahko povzročijo njeno mehansko razpadanje.

Kemično preperevanje v primerjavi s fizikalnim (mehanskim) deluje v notranjosti kamnine in je veliko bolj zapleteno. Mehanizme kemičnega preperevanja razdelimo na:

- Raztapljanje – nekateri minerali pri nas so topni v vodi, kot sta recimo kamena sol in sadra. Topljenje soli povzroči povečano poroznost površinskih slojev, ponekod pride do kraških pojavov, kar pomeni večjo prepustnost za vodo.
- Hidratacija – voda se lahko z določenimi oksidi v kamnini poveže v strukturo minerala, kar ima za posledico povečanje volumna in razpad kamnine.
- Karbonatizacija – tak kemični proces pomeni, da voda z raztopljenim CO₂ (ogljikovim dioksidom) tvori ogljikovo kislino, ki razgrajuje kamnino pri pogojih kislosti Ph okoli 6. Še bolj značilen proces karbonatizacije pa je zakrsevanje apnenca.
- Oksidacija – na osnovi prisotnosti kisika v vodi pride do oksidacije železovih spojin, kar je značilno za sedimentne kamenine, kot so peski, peščenjaki in laporji. Oksidirana kamnina dobi rjavkasto-rdečkasto barvo, kar pomeni, da se je odpornost kamnine zmanjšala.
- Biokemično razpadanje – te reakcije nastajajo v slojih, kamor sega vpliv bakterij, alg, lišajev, mahov in korenin rastlin. Sodelujejo organske in anorganske kisline, ki so produkt živih ali razpadajočih organizmov. Učinek teh kislin na kamnine je podoben učinku ostalih že opisanih kislin. Rezultat delovanja in razpadanja rastlin je gornji humusni pokrov, debel navadno od 0,1 do 0,5 m, ki prekriva površino povsod tam, kjer so pogoji za rastlinstvo.

5.3.2 Vzroki in povodi za nastanek masnega gibanja

Za razumevanje neprestanega geomorfnege dogajanja, katerega del so pobočni procesi, je pomembno razlikovati med vzroki in povodi za pobočne procese. Na prvi pogled bi lahko rekli, da do teh pojavov prihaja zaradi potresov ali močnejših padavin, vendar gre pri teh le za povode. Delujejo razmeroma kratek čas in odločajo le o času sprožitve materiala, ne pa tudi o tem, kaj, kam, koliko in zakaj se bo premaknilo. O tem odloča splet dlje časa trajajočih dejavnikov (vzrokov), ki s hitrostjo in intenzivnostjo delovanja vplivajo na to, ali se bo del pobočja tudi resnično premaknil, ko bo nastopil povod (recimo potres), lahko pa se zgodi, da bo ta potres le še eden od vzrokov, ki počasi najedajo stabilnost pobočja. Torej dejavniki, ki dalj časa delujejo na potencialno mesto sprožitve in s svojim delovanjem v sistemu krhajo ravnovesje, so »vzroki« za nastanek masnega gibanja, tisti dejavnik, ki pa dokončno podre dinamično ravnovesje v sistemu, pa je »povod« (Zorn, 2001; Zorn in Komac, 2002). Ko govorimo o vzrokih, ločimo zunanje, tj. tiste, ki povečajo strižne napetosti na nespremenjenem strižno odpornem materialu in notranje, torej tiste, ki povzročijo plazenje brez vsakih sprememb v površinskih razmerah in brez pomoči potresa (Erismann in Abele, 2001).

Poglavitni vzroki za različna masna gibanja so:

- notranji (endogeni) vzroki: na novo tektonsko dvigovanje gorovij, potresi;
- zunanji (eksogeni) vzroki: vremenska dogajanja (padavine, nihanje ter spremembe PH-ja podtalnice, taljenje snega in ledu), preperevanje kamnine (fizikalno, kemično), erozija (ledeniška, rečna, vetrna);
- antropogeni vzroki:
 - neposredni vzroki (gradnja na nestabilnih pobočjih, gradnja usekov – povečanje naklona pobočij, odstranitev vrhnega sloja hribine, akumulacijska jezera, spremenjene vodne razmere, pretirana raba prostora, miniranje);
 - posredni vzroki (propadanje gozdov, spremembe podnebja – ekstremni podnebni dogodki, spremembe padavinskih režimov, topljenje permafrosta in ledenikov) (Vrhovec, 2003).

Glavni povodi za nastanek masnih gibanj pa so:

- vremenski dogodki:
 - ekstremne padavine (nenaden dvig podtalnice, poplave);
 - nagle temperaturne spremembe (taljenje snega, umikanje permafrosta in ledenikov zaradi globalnega segrevanja);
- potresi;
- zunajzemeljski vzroki (trčenje nebesnih teles);
- antropogeni posegi:
 - spodkopavanje pobočij – gradnja usekov;
 - povečevanje naklona pobočij;
 - pretirana raba prostora (gradnja na nestabilnih območjih, gradnja infrastrukturnih objektov, sečnja gozdov, povzročanje tresljajev (promet, miniranje), rudarjenje);
 - dvig podtalnice, ki nastopi v razmeroma kratkem času (akumulacijska jezera);
 - povečan odtok vode, preusmeritev odtokov padavinske vode na nestabilno območje.

5.3.3 Mehanizem proženja

Zemljinska ali kamninska masa ostane na mestu, vse dokler so sile, ki zavirajo gibanje, enake silam, ki gibanje pospešujejo. Če pa so sile, ki gibanje pospešujejo (gravitacija) večje od sil, ki zavirajo gibanje (trenje), potem pride do masnega premika.

Čeprav lahko voda v večini primerov povzroči masni premik, pa lahko pod določenimi pogoji deluje tudi zaviralno. Vemo, da se veliko masnih premikov zgodi potem, ko je dež nasičil pobočja. Voda pospešuje premike na dva načina. Kot aktivni povzročitelj poveča obtežbo zemljine ali skale s tem, da napolni prej prazne pore in razpoke ali pa zmanjšuje odpornost skale ali zemljine z zmanjšanjem kohezivnosti (sposobnosti delcev za sprijemnost med seboj) med delci. V nekaterih primerih pa voda postane tudi zaviralna sila. V zemljinskih porah, ki niso popolnoma zapolnjene z vodo, tanek vodni film praktično drži delce sprijete in s tem tudi celotno zemljino (Coch, 1995).

Hidrotehnična stroka (Đurović, 2004) predlaga naslednjo opredelitev pojava masnega premika: “Masni premik (masno gibanje in masni transport) je geomorfološki proces prelaganja gmot iz labilnega v stabilno ravnotežje pod vplivom sile teže, prek zračnega transportnega medija in zaradi učinkov stalnih in občasnih dejavnikov, ki povzročajo nenehno prehajanje gmot iz stabilnega, prek indiferentnega v labilno ravnotežje.” Sprožitveni pogoj je torej: **zunanja sila > (odpora, ki ga nudita kot notranjega trenja Φ + kohezija c).**

Geološka stroka (Ribičič, 2002) pa definira mehanizem proženja takole: do zdrsa pride, ko teža kamnine prekorači strižno trdnost na kritični ploskvi. Pomembna sta dva faktorja, ki delujeta drug proti drugemu. Prvi je gravitacija (zunanje sile), ki teži k premiku višje ležečih kamnin navzdol. Drugi faktor pa je trdnost kamnine, ki preprečuje premik. Zaradi dolgotrajnega delovanja zunanjih sil (padavine, taljenje snega in ledu, nihanje temperature, teža) se spreminja oblika terena in zmanjšuje trdnost kamnine. Velja, da so sile težnosti v ravnotežju z mobiliziranimi silami notranjega odpora v kamnini in do porušitve ne more priti. Če se iz različnih vzrokov na neki strižni ploskvi povečujejo sile težnosti, se vzporedno z njihovim naraščanjem tudi mobilizira ustrezen odpor. Če sile težnosti prekoračijo maksimalno silo mobiliziranega notranjega odpora, pride do porušitve naravnega ravnotežja in zdrsa po ploskvi. Velja torej: **največja sila mobiliziranega notranjega odpora < sile težnosti.**

Masna gibanja so glede na nastanek, potek in način delovanja zelo različna. Lahko nastopijo hitro in nenadoma (npr. podori), ogrozijo človeška življenja, uničijo objekte, kultivirana zemljišča in gozdove, ali pa nastopijo kot počasen in neprekinjen proces (npr. plazovi) in tako postopoma poškodujejo ali uničijo objekte, obdelana zemljišča in gozdove.

5.4 Razvrstitev masnih gibanj

Poznamo tri večje skupine (načine) masnih gibanj, ki jih delimo glede na mehaniko in hitrost gibanja (Dikau et al., 1996; Đurović, 2004):




PADANJE (podorni procesi ali podori) je nenadna porušitev kompaktne kamnine ob zalednih razpokah na zelo strmih ali navpičnih pobočjih. Gre za prosto gibanje materiala na strmem pobočju vzdolž ploskve, na kateri se pojavijo le majhne strižne deformacije ali pa jih sploh ni. Ločitev in posledično padanje se zgodi kot posledica vpliva destruktivnih procesov. Začetno premikanje je navadno kratko plazenje ali prevračanje, nato pa se material giblje večino časa v zraku in prosto pada, nato pa odskakuje, se kotali, odbija ali drsi po pobočju; med drobci ni pomembnejše interakcije, gibanje je hitro.




PLAZENJE (plazovni procesi ali plazovi) je gibanje materiala nizdol po prepoznavni drsni ploskvi pod vplivom delovanja težnosti. Gibanje mase po pobočju navzdol je lahko usmerjeno rotacijsko ali translacijsko (pri rotacijskem plazu se porušitev zgodi po polkrožni strižni ploskvi, pri translatorski porušitvi pa imamo opravka z ravno drsečo ploskvijo) vzdolž ene ali več drsnih ploskev.

TEČENJE (tokovni procesi ali tokovi) je prostorsko neprekinjeno gibanje, pri katerem posamezni delci potujejo ločeno v potujoči masi. Strižne ploskve se oblikujejo le za kratek čas, so gosto razporejene in se običajno ne ohranijo. Razporeditev hitrosti mase v gibanju je podobna kakor pri viskozni tekočini. Zrak in voda igrata pomembno vlogo kot dejavnika tokovnih procesov.

Iz tuje in domače literature je razvidno, da so poimenovanja vrst masnih gibanj navadno sestavljena iz dveh terminov: prva določa **način in hitrost premikanja gmote** (se pravi podor, plaz ali tok), druga pa **zrnastostno sestavo plazovine** (npr. kamninski, zemeljski, drobirski). Tem dvobesednim terminom lahko dodamo še dodatno oznako, npr. glede na **obnašanje delov plazovine med plazenjem** (npr. rotacijski plaz zemljine) ali glede na **velikost posameznih delov med padanjem** (npr. kamniti skalni podor).

Preglednica 4: Nekatere vrste pobočnih procesov (prirrejeno po Zorn, M., Komac, B. (2002) in Coch (1995)).

načini premikanja gradiva	opis premikanja	vrste pobočnih procesov	vsebnost vlage	hitrost premikanja	opis	komentar	skica
padanje	Gradivo prosto pada v zraku. Značilno je za trdne kamnine.	skalni podor skalni odlom	nizka	izredno hitro	Gradivo prosto pada, se prevrača, kotali ali odbija od pobočja. Razlika med odlomom in podorom je v prostornini podorne gmote in v premeru posameznih delov.	Nastane na strmih pobočjih gorskega sveta (npr. jugozahodna stena Krna, Osojnica v dolini Tolminke 12.4.1998) in v priobalnih območjih (npr. klifi)	
plazenje	Gradivo se premika kot gmota. Značilno je za preperino in nesprijete sedimente, lahko tudi za trdne kamnine.	kamniti zdrs	nizka	hitro do izredno hitro	Zdrs trdne kamnine po eni ali več nezveznostih. Pozneje navadno zaradi oblike pobočij preide v padanje.	Klinasti zdrs z grebena Šije v dolino Lepene (12.4.1998), zdrs po plastovitosti na pobočju Javorščka v Bovški kotlini (8.8.1950).	
		zemeljski plaz	nizka do zmerna	počasno do zelo hitro	Gmota zdrsne po pobočju po eni ali več drsnih ploskvah polkrožne oblike, ki niso vzporedne s pobočjem (rotacijsko), ali pa po drsni ploskvi, ki poteka navadno po meji med dvema plastema in je vzporedna s pobočjem (translatorno). Večina gmote ostane nepremešane.	Primer plazu nad Logom pod Mangartom, ki je pozneje prešel v drobirski tok (15.-17.11.2000), plaz nad Lokavcem v Vipavski dolini (november 2000).	

	usad	zmerna	počasno	Plazenje manjšega obsega (navadno nekaj m ²), ki obsega le travno rušo in do 1 m debelo plast preperine. Premika se v enem kosu.	Ti pojavi se dogajajo skoraj dnevno po daljšem oz. močnejšem deževju.
tok	Delci se pomikajo po pobočju neodvisno drug od drugega in ne kot sprijeta gmota. Tok je značilen za nesprijete sedimente in preperino.	drobirski tok	visoka	zelo hitro	Pojavita se v povezavi z usadom ali plazom (npr. Log pod Mangartom).
		blatni tok	izredno visoka	počasno do zelo hitro	Značilna sta za aridna (sušna) območja s kratkimi obdobji močnih nalivov.
					
					
					
	soliflukcija	visoka	izredno hitro do zelo počasno	Premikanje z vodo nasičene prsti po trdnjši podlagi.	Pojavi se lahko že na blagih pobočjih.
	polzenje (lezenje)	nizka	zelo počasno	Gibanje je počasno in očem neprepoznavno.	V naravi ga opazimo na podlagi nagnjenih dreves in drogov.

Podorni pojavi in njihovo razvrščanje

S pojmom podor oz. podorni pojav v splošnem opredeljujemo hitro masno gibanje predhodno ločenih delov hribine, ki se začne v obliki krajšega zdrsa ali prevrnitve in pri katerem se ločitev od matične kamnine pojavi vzdolž lomnih ploskev v kamnini, ki so ponavadi meje med plastmi, razpoke ipd. Začetno gibanje nato preide v prosto padanje, trk s površino pobočja in odboj od nje, let po odboju ali ustavitvev, prevračanje, kotaljenje ter drsenje.

Pri podornih pojavih ločimo tri tipična območja: območje nastanka, območje gibanja in območje odlaganja. Če želimo geotehnično opisati podorni pojav, je pomembna velikost premikajočih se gmot, zato je smiselno razdeliti odkladnine (podornine) po velikosti: hribino na bloke, skalovje in kamenje, zemljino pa v skladu z granulometrično klasifikacijo, kot jo poznamo iz mehanike tal (klasifikacija po npr. MIT ali USCS), na grušč, pesek, melj in glino.

Razvrščanje oblik pojava ponavadi temelji na prostornini odkladnine sproščene materiala (podornina) in hitrosti procesa. Smiselno je upoštevati še število delcev, saj se pri hribinskem podoru pogosto gradivo zdrobi v posamezne bloke, skale in kamne (drobir) in torej iz opazovanja stanja po dogodku težko razberemo ali gre za en sam podorni dogodek ali pa za skupek posameznih odlomnih dogodkov, še posebno, če je od teh dogodkov minilo precej časa (npr. zgodovinski podori). Zato je vedno treba primerjati vidne znake sprememb na pobočju in prostornino odkladnine. Opredelitev pojavov na podlagi kinematike gibanja je tudi zelo smotrna, zlasti za primer podornega toka.

Za odlom kamenja, skalovja in blokov je značilno bolj ali manj izolirano padanje gmot, ki je konstantno zaradi stalnosti procesov preperevanja hribine. Običajno se gibanje ustavi pri naklonu, manjšem od 30 stopinj (npr. Podora na V. Mangartu – poglavje 2.1.5); vegetacija pa ima pomembno vlogo pri disipaciji energije. Pri skalnem podoru se sprosti večji del hribine in sproščena gmota se lahko v nadaljevanju gibanja razdrobi na posamezne kose, med katerimi večinoma ni interakcije.

Đurović (2004) predlaga naslednje izraze in kriterije uvrščanja za opredelitev podornega pojava (preglednica 5):

Preglednica 5: Klasifikacija podornih pojavov (povzeto po Đurović in drugi, 2005)

pojav	Dimenzija podorne gmote	
	V (prostornina)	ϕ (premer, največja dimenzija)
Sproščanje zemljine (grušča in zemlje)	$< 100 \text{ cm}^3$	$< 6 \text{ cm}$
Odlom kamenja	100 cm^3 do 20 dm^3	6 cm do 3 dm
Odlom skalovja	20 dm^3 do 2 m^3	3 dm do 2 m
Odlom blokov	2 m^3 do 200 m^3	2m do 7 m
Skalni podor	200 m^3 do $1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	$> 7 \text{ m}$
Gorski podor	$> 1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$	

Gorski podor pomeni nenadno sprožitev obsežne hribinske gmote z izraženo interakcijo in drobljenjem sestavnih delov v notranjosti gmote. Posledica je lahko opazno preoblikovanje krajine, uničenje infrastrukture, bivanjskih in drugih objektov (glej poglavje 2.0). Doseg pojava je zaradi velikih hitrosti večji, tudi do nekaj kilometrov in lahko pripelje do zajezitve vodotoka v dolini, kar lahko ima za posledico katastrofo zaradi udarnega vala zajezene vode ob porušitvi naravne pregrade, lahko pa bi se zaradi velike prisotnosti vode in materiala prave zrnivosti pojavil tudi drobirski tok.

5.5 Varovalna funkcija gozda

Gozdovi so stabilni ekosistemi, ki ne potrebujejo gozdarskih ukrepov za njihov kontinuitetni razvoj. Gozdove vzdržujemo predvsem zaradi izkoriščanja lesa. Nekateri gozdovi so degradirani zaradi prevelikega števila divjadi, ki smukajo mlado listje ali pa zaradi prevelikega poseka. Gozdovi lahko izpolnijo svojo zaščitno funkcijo, vendar dolgoročno le, če se jih aktivno vzdržuje. Kljub vsemu pa gozdovi ne morejo nuditi popolne zaščite pred masnimi gibanji, kot so plazovi, podori in drobirski tokovi. Vendar pa velja, da sta pogostost in jakost pojavljanja zaradi gozda manjši (Braune et al., 2005). Učinek zaščite, ki jo daje

gozd, je odvisen predvsem od vrste naravne nevarnosti, intenzitete dogodka in obstoječega stanja gozda.

Gozd in podori

Gozdovi resnično lahko predstavljajo prebivalcem, naseljem in infrastrukturi zaščito pred padajočim kamenjem ali celo podori. Vendar pa je težko oceniti, ali je takšna zaščita zadostna (Dorren et al., 2006). Zaradi ponavljajočih se dogodkov se lahko varovalna funkcija gozda precej zmanjša. Lahko rečemo, da intenziteta in jakost podorov vpliva na razvoj gozdne pokrovnosti. Obstaja nekakšna povezava med razvojem gozda in razvojem podora.

Odgovor na vprašanje, kakšne lastnosti naj bi imel varovalni gozd, ponujajo nekateri avtorji (Perret et al., 2004). V zgornjem delu pobočja, kjer ima padajoče kamenje velike hitrosti, se priporočajo debelejša drevesa (premer nad 30 cm), v spodnjem delu pa več tanjših dreves bolj uspešno zaustavi kamenje. Ugotovljeno je bilo tudi, da se 80 % poškodb dreves po trku zaceli (fotografija 6). Na ogroženih območjih naj bi pri gospodarjenju z gozdom skrbeli za povečanje regeneracije gozda in zaraščanje dreves na morebitnih trajektorijah gibanja skal.



Fotografija 6: Celjenje poškodb na deblu zaradi udarca skale (foto: avtor, 2006).

6 NAČINI SANACIJE SKALNIH BREŽIN

Sanacija (sanirati – izboljšati, popraviti) je gradbeni poseg, s katerim preprečimo ogrožanje okolja in ponovno vzpostavimo ravnovesje na določenem pobočju. Sanacijski ukrepi prispevajo k izboljšanju stanja, vendar je potrebno dokazati njihovo učinkovitost, nosilnost posameznih elementov sanacije in uporabnost. Preden pa pristopimo k sanaciji brežine, moramo podorni pojav raziskati; ugotoviti njegove lastnosti, predvideti nadaljnji potek padanja oz. sproščanja ter določiti geotehnične lastnosti plazine in podlage.

Raziskave delimo v:

- površinske: inženirsko geološko posnemanje in kartiranje, geodetske meritve, geofizikalne meritve, meritve deformacij na površini plazu;
- in globinske: meritve nivojev vode, določitev globine plazenja, meritve z inklinometri, testi vodoprepustnosti, geomehanske raziskave na jedrih vrtine, geomehanske raziskave in-situ (Ribičič, 2002).

Zaščito pred padajočim kamenjem lahko razdelimo v aktivno in pasivno. V pasivno zaščito prištevamo (poglavje 4.4): načrtovanje in planiranje (določanje nevarnih območij, prepoved gradnje), zaprtje prometnih komunikacij na nevarnih območjih,časna evakuacija ali stalna preselitev ljudi. Aktivna zaščito pa se lahko deli v primarno in sekundarno. Primarna zaščita se izvaja v sami skalni steni: biološki ukrepi (čiščenje in posek dreves), drenaža, podporne konstrukcije in stene, žične košare (gabioni), sidranje. Sekundarna zaščita pa se izvede tam, kjer se pričakuje padanje kamenja in skal, ali pa je že prišlo, do padanja.

Najboljšo uporabo predvidenih sredstev za stabilizacijo ali zaščito številnih skalnih pobočij dosežemo s sistematičnim programom identifikacije in določevanja nevarnosti teh pobočij. Ko planiramo letna stabilizacijska dela, postanejo prednostna tista pobočja, ki predstavljajo največjo nevarnost. S tem lahko izvedemo dela, preden pride do podora ali padajočega kamenja in s tem tudi do nesreč.

Metode stabilizacije pobočij razdelimo v tri skupine:

- ojačitve;
- odstranitev mase;
- zaščite.

Pri izbiri in projektiranju stabilizacijskih ukrepov, ki so primerni za določeno lokacijo, je potrebno upoštevati geotehnične, konstrukcijske in okoljske zahteve (Petje, 2005). Npr. če je pobočje prestrmo in je vznožje stene blizu ceste ali železnice, ne bo prostora za izkop lovilnega jarka ali izgradnjo masivnih pregrad. V takem primeru je lahko rešitev odstranitev nestabilnih skal ter pritrditev s sidri ali postavitve mrež. Če teh dveh možnosti ne moremo izvesti, lahko v skrajnem primeru predlagamo prestavitev infrastrukture. Naslednji dejavnik, ki ga je potrebno upoštevati, je optimalna stopnja dela. Če odstranimo nestabilne skalne dele in je kamnina zelo podvržena preperevanju, bo potrebno postopek ponavljati vsakih nekaj let. Zato je bolje izvesti sidranje in betonski obrizg (angl. shotcrete). Začetni stroški bodo sicer višji, vendar pa je ukrep dalj časa učinkovit, lahko tudi 20 ali 30 let.

6.1 Stabilizacija z ojačitvijo

Namen del je preprečitev, da bi se zaradi izkopavanja (gradnja infrastrukture) sprožile nestabilne skalne mase. Ojačitev skalnega pobočja je najbolj učinkovita, če se jo izvede pred izkopavanjem, kar lahko imenujemo tudi predojačitev.

a) Strižni ključi

Ojačitveni betonski strižni ključi (angl. reinforced concrete shear key) nudijo podporo blokom debeline od enega metra, kot tudi območjem preperele skale na vrhu pobočja. Uporabljajo se povsod, kjer je kamnina zdrobljena. Če bi uporabili sidra, bi bila glava sidra izpostavljena zunanji vplivom, kar bi pomenilo zmanjšanje podpore. Dolžina klinov je približno en meter, držečo armaturo pa se popolnoma zalije z betonom ali cementnim obrizgom (Petje, 2005).

b) Sidra

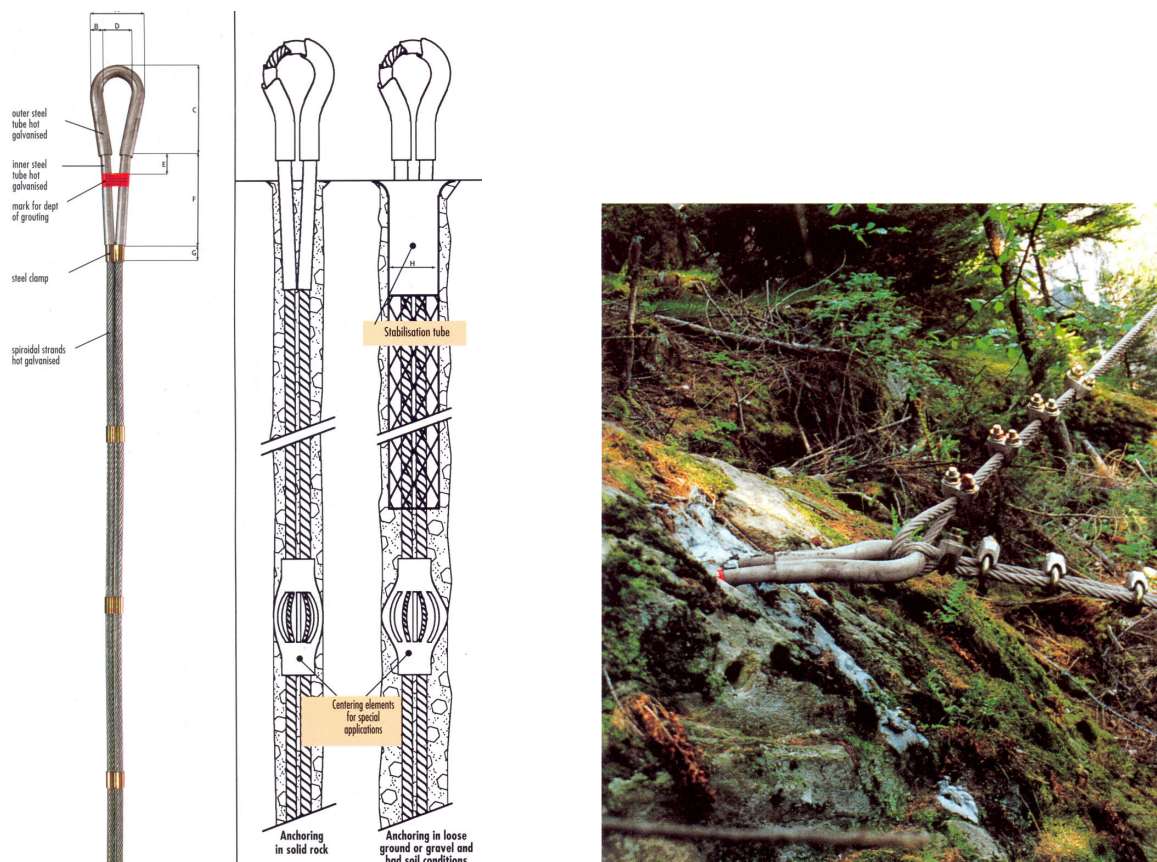
Sidranje oz. ojačitev z različnimi vrstami sider (angl. rock anchors, tiebacks, bolts) preprečuje gibanje vzdolž razpok in padec nestabilnega bloka. Poznamo statična in dinamična (natezna)

sidra, vendar se v večini primerov uporabljajo statična. Sidra se uporablja tam, kjer želimo preprečiti drsenje blokov po diskontinuitetah.

Osnovna naloga sider je v spremembi normalnih in strižnih sil, ki delujejo na drsno ploskev, ne pa računanje na strižno odpornost jekla, kjer sidro križa drsno ploskev (Muhunthan et al., 2005). Običajno je sidro sestavljeno iz sidrne glave, prostega dela sidra in veznega dela, tj. sidrnega valja. Nosilni element sidra je natezna vrv ali jeklene palica, ki prenaša obtežbo s konstrukcije na vezni del sidra. Sidra lahko delimo na geotehnična (prednapeta ali polno vpeta) in palična (hribinska ali zemljinska, slika 4). Prednost geotehničnih sider je v manjši ceni in hitrejši namestitvi. Geotehnična sidra se uporabljajo pred izvedbo izkopavanja za preprečitev gibanja po diskontinuitetah. Če pa so se bloki že premaknili, je navadno potrebno namestiti palična sidra, ki se ji namesti preko drsne ploskve v stabilno podlago. Sidro povzroči pritisk v skalni steni, s tem pa se spremenijo normalne in strižne napetosti na drsni ploskvi. Sidra so dimenzionirana na silo od 100 do 470 kN, vzdržijo pa dvakrat več. Dolžina je lahko od 0,8 do nekje 7 m in je odvisna od podlage. Kadar je sidrana kamnina močno preperela, se naredi betonsko steno, ki je lahko tudi armirana, nato pa se to steno sidra v podlago. Pri tem je potrebno izvesti v betonski steni drenažne odprtine za izničenje vodnega pritiska na steno. Pri sidrih je pomembna zanesljiva protikorozijska zaščita, navadno je jeklo, iz katerega je sestavljeno sidro, galvanizirano.



Fotografija 7: Vgrajevanje sider (Janod, 2006).



Slika 4: Sidra (Geobrugg, 2003).

c) Brizgani beton

Za zaščito pred preperevanjem se uporabljajo nanosi z brizganim betonom (angl. shotcrete). Beton se vbrizga v razpoke, odprtine in nepravilnosti skalne površine in hkrati služi kot zaščita in vezivo. Brizganje betona se izvaja s pnevmatskimi stroji v plasteh debeline od 50 do 100 mm. Za armiranje se uporabljajo mreže ter jeklena ali polipropilenska vlakna. Posebno pozornost se nameni območju, kjer je kamnina zdrobljena in podvržena močnemu preperevanju, s čimer se prepreči padanje manjšim skalam. Ob večji labilnosti se lahko mrežo prekrije s tankim brizganim betonom, celotna stena pa se sistematično sidra.



Fotografija 8: Nanašanje brizganega betona (Janod, 2006).

d) Podpiranje

Podpiranje se lahko izvede z enostavnimi podpornimi konstrukcijami, kot so kamniti zidovi (škarpe), gabioni, kašte. Lahko se uporabijo betonski gravitacijski zidovi, armirani zidovi s peto ali armirana zemljina. Velikokrat se podporne konstrukcije uporabljajo v kombinaciji s sidranjem. Betonske podpore preprečijo nadaljnje spodkopavanje in da podpirajo previs. Pri projektiranju le teh smo pozorni na to, da potrebujemo malo dodatne armature in sidranja (Ribičič, 2002).

e) Dreniranje

Osnovni namen dreniranja (odvajanja vode) je zmanjšanje vodnega pritiska, kar običajno pomeni večjo stabilnost pobočja. Pri dreniranju sta prepričljivi dve metodi: zmanjšanje površinske infiltracije in horizontalna drenaža. Katero izberemo je odvisno od prepustnosti kamnine, dimenzij pobočja in intenzitete padavin. Sistem drenaž prepreči hidrostatične pritiske ter zmanjša količino vode, ki bi lahko pozimi zaradi nizkih temperatur zamrznila. Poznamo drenaže na površini in pod njo. Površinske drenaže odvajajo površinske vode proč od razpok in diskontinuitet v bližini površja. Uporabljajo se jarki in rovi. Lovilni jarki se uporabljajo za preprečitev dotekanja površinske vode v pobočje. Na bokih vodo z odvodnimi jarki odvedemo stran od nestabilnega območja. Jarki so navadno trikotne ali polkrožne oblike. Podpovršinske drenaže so horizontalne drenaže, zaseki, drenažna rebra. Veliko se uporabljajo perforirane PVC-cevi.

6.2 Stabilizacija z odstranitvijo mase

Gre za odstranitev potencialno nestabilnih skal. Stabilizacijo lahko dosežemo tudi s preoblikovanjem brežine, odstranitvijo previsov in zmanjšanjem nagiba pobočja. Z odstranitvijo skal ni smiselno nadaljevati, če ugotovimo, da je kamnina zelo podvržena preperevanju, ker bo v takšnem primeru skalna stena podvržena ponovnemu ciklu preperevanja in nestabilnosti. Odstranitev labilne mase je pogosto potrebna, kadar je treba zagotoviti dolgoročno varnost pobočja, tudi za varnost delavcev v času gradnje in je to prvi ukrep, ki se ga izvede za zaščito pobočja. Vključuje površinsko odstranjevanje (angl. scaling) in razstreljevanje previsnih delov (angl. trim blasting). Čiščenje se izvaja z mehanizacijo (posebni stroji) ali ročno (žage, kladiva).



Fotografija 9: Poseben stroj imenovan »Pajek« za odstranjevanje skal (Vertec, 2006).



Fotografija 10: Razstreljevanje nestabilnih delov (Vertec, 2006).

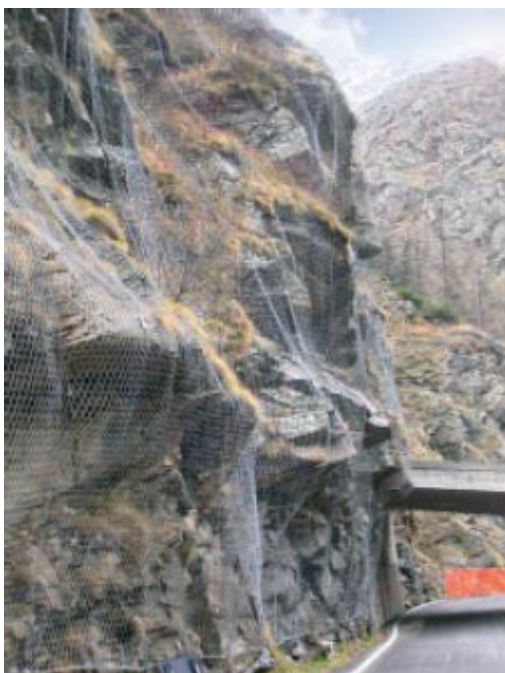
6.3 Načini zaščite

a) Lovilni jarki

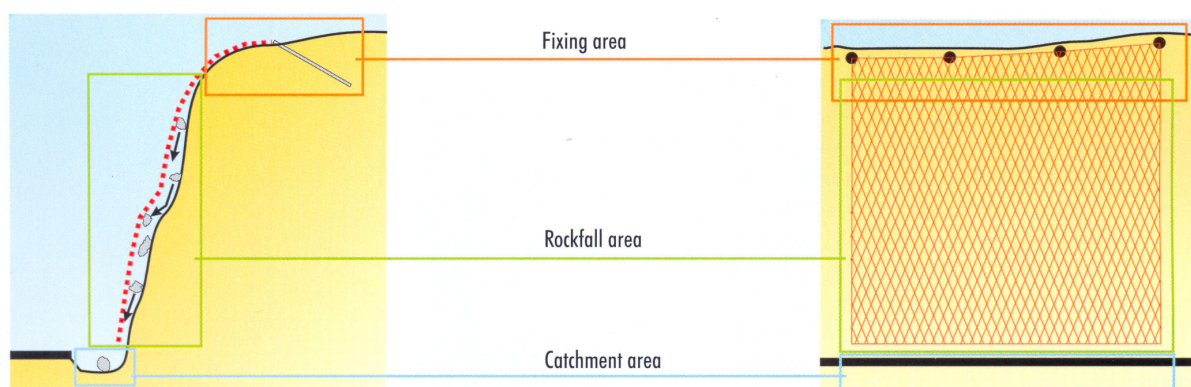
Prvi tak ukrep, o katerem se razmišlja, je izgradnja lovilnih jarkov (angl. catch ditches). Na večini pobočij so namreč le majhne skale, ki se lahko odlomijo in padejo navzdol in zato niso potrebni obsežnejši ukrepi, kot so odstranitev mase in ojačitve. Kakšen tip lovilnega jarka izberemo, je predvsem odvisno od lokalnih razmer (velikosti skal, naklona pobočja). Ponavadi so vključene tudi dinamične mreže, betonski zidovi in jeklene ograje. V splošnem je znano, da pri velikih naklonih skale običajno padajo, pri majhnih pa se kotalijo in odbijajo. Za kakšno višino zaščitnih ograj se odločimo, je odvisno od višin odbojev, torej od načina gibanja.

b) Mreže in zavese

Včasih pa nam prostor ne zadošča izgradnje dovolj velikega lovilnega jarka, kar pomeni, da morajo potencialno padajoče skale ostati na svojem mestu. To pa dosežemo z mrežami, pritrjenimi na pobočje. Prvi tak način so to ti. zavese, ki so pritrjene na vrhu stene. Kamenje, ki pada, se nabira za zaveso, kar pomeni, da je potrebno redno čistiti lovilne jarke.

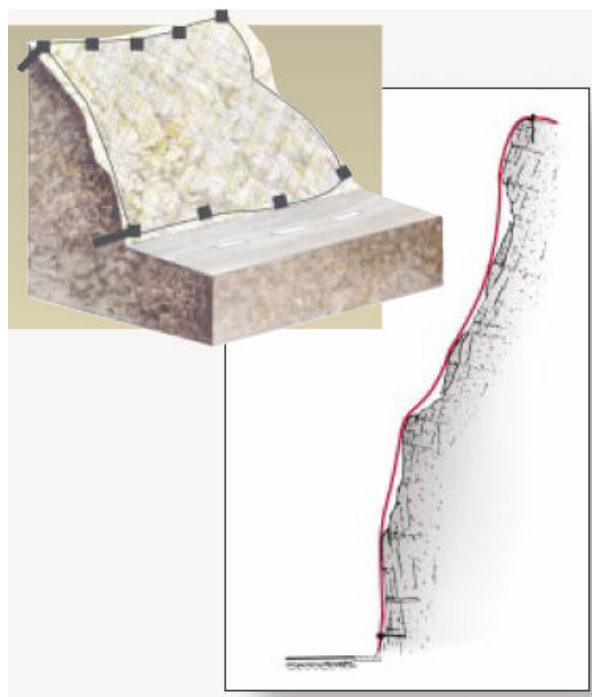


Fotografija 11: Mreže (Maccaferri, 2006).



Slika 5: Konstrukcija mreže in lovilnega jarka ob pobočju (Geobrugg, 2003).

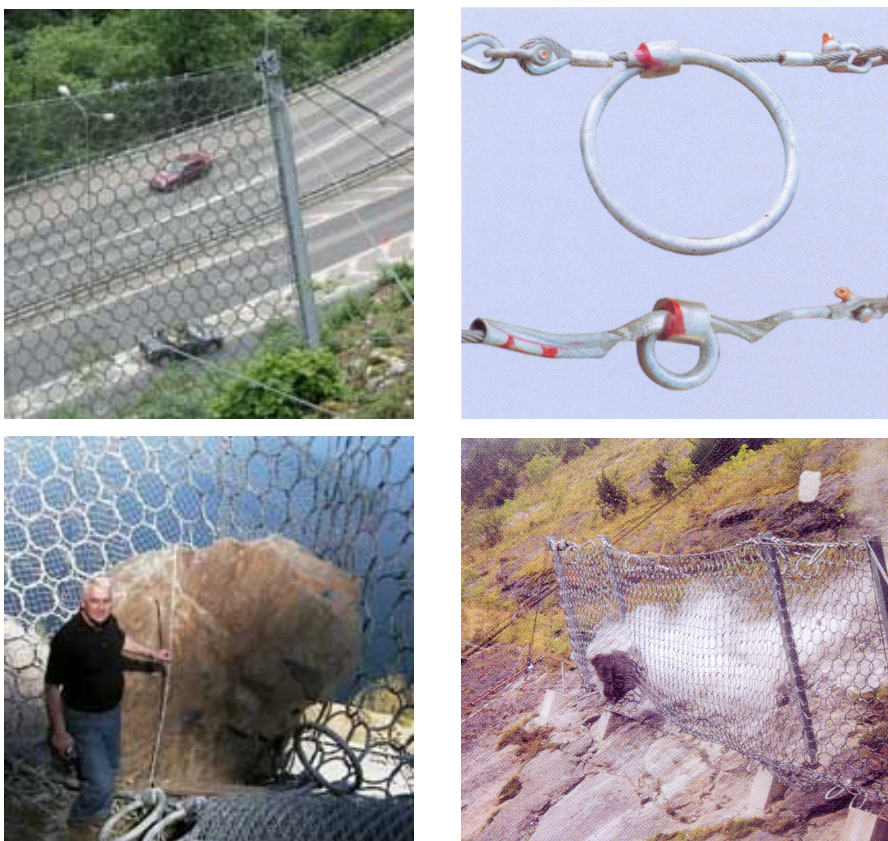
Drugi način zaščite pa so mreže, ki preprečujejo, da bi kamenje in skale sploh lahko pričele padati. Mreža se mora dobro ujemati s topografijo pobočja, zato je potrebno pred polaganjem pobočje očistiti in prikazati obliko. Mreže je potrebno vsakih nekaj metrov horizontalno in vertikalno pritrditi s sidri, ki segajo v trdno podlago. Mreže se uporabi povsod tam, kjer je razdalja do roba ceste premajhna za pregrade ali lovilne jarke, kjer sta pričakovana višina odboja in kinetična energija preveliki.



Fotografija 12: Zavesa (Maccaferi, 2006).

c) Dinamične pregrade

Dinamične ali podajne pregrade (angl. rockfall barriers) so po navodilih proizvajalcev zmožne absorbirati energije do 3000 kJ pri tipu RX-300 (Geobrugg, 2006) ali pa celo do 5000 kJ pri sistemu CAN C1 (CAN, 2006). Jekleni nosilci, na katere so pritrjene elastične mreže, so edini togi del sistema. V primeru premikanja skal po pobočju, je mreža tista, ki prevzame energijo, obročki, iz katerih je sestavljena mreža, se namreč deformirajo (lahko elastično ali plastično, odvisno od velikosti energije). Ostala energija se prenese na elemente konstrukcije (nosilce), sidra, zaviralne obročke in zadrževalne vrvi. Pri pričakovanih zelo velikih energijah se jeklene vrvi oblikuje v zanke (zaviralne obročke), ki disipirajo preostalo energijo in s tem varujejo vrvi in sidra. Večja, kot je razdalja med nosilci, večje absorpcijske kapacitete dosežejo pregrade, dosežena je večja podajnost.



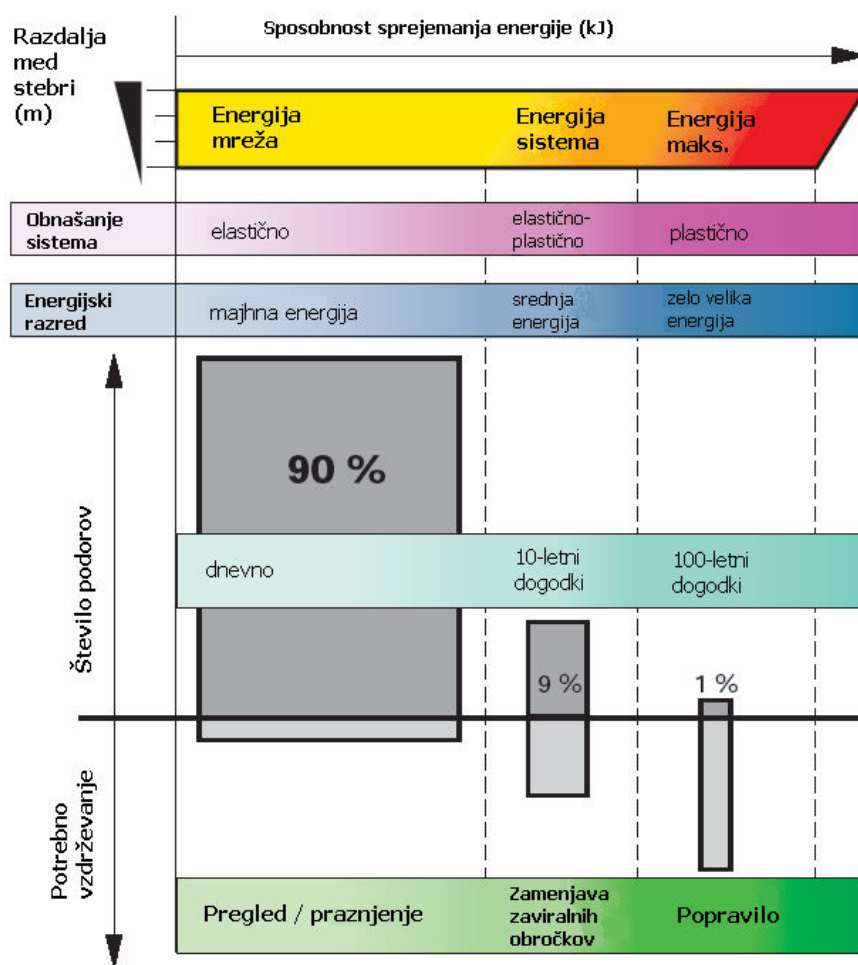
Fotografija 13: Dinamične pregrade in detajli (Geobrugg, 2003).

Za dimenzioniranje pregrad potrebujemo: študije trajektorij (krivulj gibajočega telesa) gibanja skal, oceno velikosti blokov in njihovo hitrost, določitev položaja in višine pregrad, širino nosilcev pregrade in stabilnostne analize pobočja. Trajektorije se določi na podlagi terenskih ogledov mest, kjer so se skale odbile od pobočja ali dreves ter od lastnosti pobočja (vegetacija, topografija, geologija).

Dimenzioniranje dinamičnih pregrad se lahko izvede na podlagi (Dorren et al., 2006):

- testov v naravi,
- matematičnega modeliranja,
- s pomočjo empiričnih metod.

Energijski diagram (slika 6) lahko služi kot podlaga za račune dinamičnih pregrad.



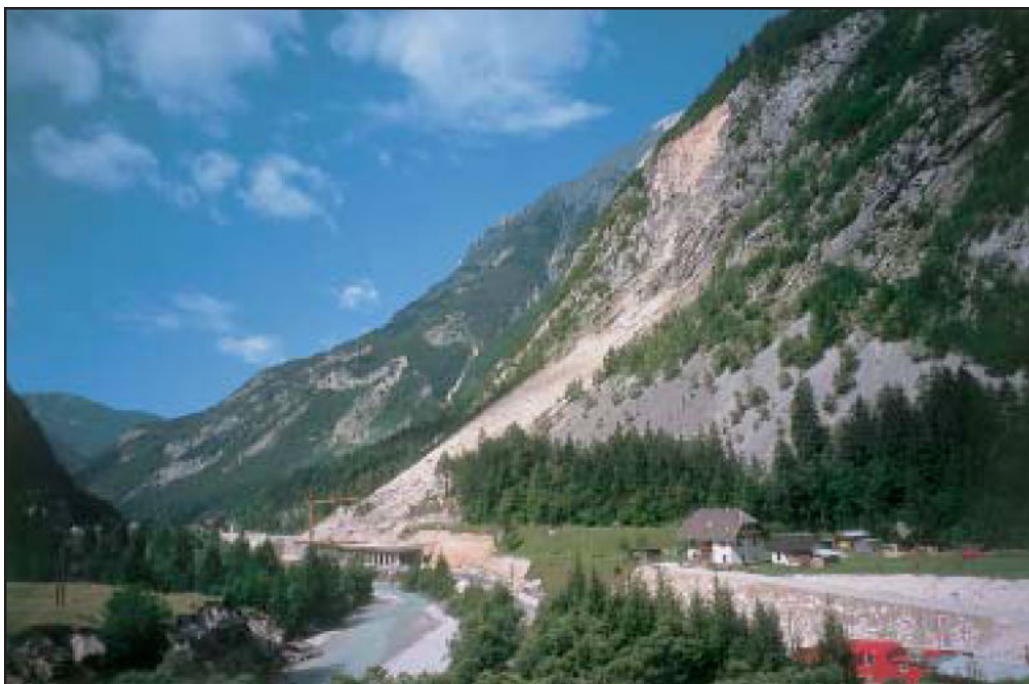
Slika 6: Energijski diagram (prirejeno po Geobruigg, 2003).

d) Pregrade

Naslednji tip zaščite pred padajočimi skalami so pregradne stene, berme in napisi. Lahko se izdelajo gabioni ali pregradne stene z armirano zemljino in lahko absorbirajo velike količine kinetične energije, ki nastane ob trku. So veliko bolj racionalne kot npr. lovilni jarki.

e) Galerije in tuneli

Kadar je območje podorov preveliko in je potencialna nevarnost previsoka, je upravičena izgradnja cestne galerije (fotografija 14) ali tunela. Navadno se izdelata galerija s streho iz armiranega betona in se pokrije z materialom, ki ima veliko absorpcijsko sposobnost, kot je npr. prod. Če izvedba galerije ni mogoča, lahko izdelamo tunel.



Fotografija 14: Podor Berebica v Spodnji Trenti in izgradnja cestne galerije pod podorom (Zorn, 2002).

7 MODELIRANJE PODOROV

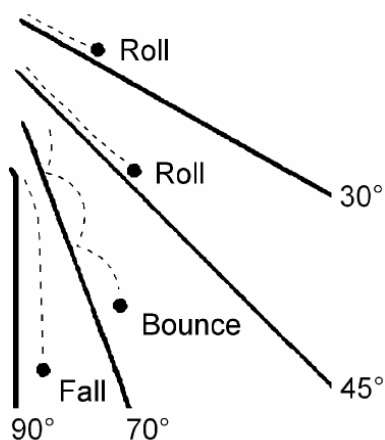
Pri analizi tveganja pred padajočim kamenjem je za podrobno matematično modeliranje pojava nujno poznavanje podrobnih matematičnih opisov (enačb). Namen modeliranja je običajno ocena maksimalnega možnega dosega pojava v prostoru in je sestavni del analize tveganja (Petje et al., 2006).

7.1 Dinamika pojava

Pri modeliranju pojavov masnega gibanja, še zlasti podornih pojavov, poskušamo dogodek zaobjeti v nekakšen časovno-prostorski opis gibanja po pobočju (trajektorije teles v času in prostoru). Vsi načini gibanja mase so med seboj močno povezani, saj se bo padajoča skala prej ali slej začela kotaliti po pobočju, hitro kotaljenje telesa nepravilne oblike po neravnih tleh pa je nemogoče brez odbojev.

7.1.1 Prosti pad

Prosti pad (angl. freefall) skal se pojavi na zelo strmih ali vertikalnih pobočjih, ko je gibanje ves čas nemoteno. Različni avtorji (Dorren, 2003) ocenjujejo, da je 70° tisti naklon pobočja, ko se pojavi prosti pad (slika 7). Med prostim padanjem se lahko pojavita dve vrsti gibanja: translacijsko glede na središče skale in pa rotacijsko okoli središča skale. Takšno gibanje na nevertikalnem pobočju prej ali slej preide v sekundarno obliko gibanja, ko pride do odbojev od stene.



Slika 7: Vrsta gibanja v odvisnosti od naklona pobočja (po Ritchieju, 1963; vir Dorren, 2003).

Zapis energijske enačbe lahko poenostavimo:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (6)$$

$$E_{kin} = \frac{m \cdot v^2}{2} \quad (7)$$

7.1.2 Trk in odbijanje

Če se naklon pobočja v nižjih predelih zmanjša, pride do trka (angl. impact) in odbijanje (angl. bouncing) skale ob pobočje. Pri prvem trku s pobočjem, se lahko skale prelomijo, še posebno, če so manj odporne. Ne glede na to, ali se skale razletijo, se 75 %– 86 % energije, ki je bila pridobljena z začetnim padanjem, izgubi (Evans in Hungr, 1993, vir Dorren, 2003). Eksperimenti trkov kažejo, da je način gibanja po trku močno odvisen od oblike bloka, geometrije pobočja in količine disipacijske energije, ki je odvisna od geomehanskih lastnosti bloka in pobočja, ter kota, pod katerim skala trči v pobočje. Velikokrat se začno zaradi trkov padajočih skal gibati tudi skale, ki so na pobočju pri miru.

Trk skale ob pobočje je za matematičen zapis precej kompliciran dogodek, dejstvo pa je, da je pri poskoku skale trajektorija gibanja parabola. Način gibanja je odvisen predvsem od naklona pobočja in od velikosti bloka. Opazovanja pa kažejo, da veliki bloki komaj kaj poskakujejo, ampak se večinoma po pobočju kotalijo. Vsak poskok se konča kot prosti pad s trkom s pobočjem ali oviro. Plastične deformacije bloka in podlage kot tudi morebitni razpad bloka v manjše dele povzročijo izgubljanje energije. Izgube so tem večje, čim bolj je hrapava podlaga v primerjavi z velikostjo bloka, čim bolj se zgornja površina pobočja plastično deformira in čim bolj je strm kot trka (Petje et al., 2006).

7.1.3 Kotaljenje

Če se naklon pobočja zmanjša pod približno 45°, se odbiranje spremeni kotaljenju skale po pobočju. Pri kotaljenju je skala skoraj ves čas v stiku s pobočjem. Med spremembo gibanja med odbijanjem in kotaljenjem skala zelo hitro rotira in samo predeli z največjim radiem

održijo kontakt s pobočjem. Center mase skale se premika skoraj po ravni črti, kar je najbolj ekonomičen način premikanja glede na energijske izgube (Erismann in Abele, 2001).

Za določitev hitrosti kotaljenja velja energijska enačba (Petje et al., 2006):

$$E_{kin} = E_{trans} + E_{rot} = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{I \cdot \omega^2}{2}, \quad (8)$$

kjer je m teža sproščene mase (kg), v je hitrost (m/s), I je vztrajnostni moment in ω je kotna hitrost (s^{-1}).

$$v = \omega \cdot r \quad (9)$$

$$I = k^2 \cdot m \quad (10)$$

Okrogle skale kažejo na najmanjšo izgubo energije in imajo največji doseg. Zato veljajo za »najslabši primer«. Za okroglo telo, ki se kotali po pobočju velja (Petje, 2005):

$$k^2 = \frac{2}{5} r^2 \quad (11)$$

$$E_{kin} = \frac{7 \cdot m \cdot v^2}{10} \quad (12)$$

7.1.4 Ustavljanje gibanja in drsenje

Ustavitev skal je dostikrat bolj hipen kot pa postopen proces. Zaustavitev nastopi zaradi izgub energije zaradi trčenja in trenja skale pri gibanju po pobočju (druge skale ali drevesa). Sila trenja gibajoče se skale pa ni odvisna samo od oblike skale, ampak tudi od karakteristik pobočja. Kirkby in Statham (1975) (vir: Dorren, 2003) sta to izrazila v empirični enačbi:

$$\tan \Phi_{\mu d} = \tan \Phi_0 + \frac{k \cdot d}{2 \cdot R}, \quad (13)$$

kjer je $\phi_{\mu d}$ dinamični kot trenja, ϕ_0 kot notranjega trenja, k je konstanta (med 0,17 in 0,26), d je srednji premer skal na pobočju in R premer padajočega bloka.

Drsenje je primer gibanja, ki se pojavi samo v začetni in končni fazi gibanja po pobočju. Če se recimo naklon poveča, drseča skala začne padati, se kotaliti ali se odbijati, če pa se naklon med drsenje ne spreminja, se gibanje navadno zaradi energijskih izgub ustavi. Pri drsenju je blok v stalnem stiku s pobočjem.

7.2 Vrste modelov

Podore lahko simuliramo z različnimi modeli. Cilj modeliranja je določitev trajektorij, maksimalen doseg ter kinematične parametre. Kako se bodo premikali skalni bloki po pobočju lahko napovemo na podlagi (Petje et al., 2005a):

- opazovanj na terenu,
- dispozicijskih (statičnih) modelov (angl. static dispositional models),
- procesnih (dinamičnih) modelov (angl. process-based models),
- modelov na osnovi GIS-a (angl. GIS-based models).

Modeli so lahko dvo- ali tridimenzijski, lahko upoštevajo maso telesa, skoncentrirano v točki ali togo telo ali pa kombinacijo. Nekateri vsebujejo tudi verjetnostno analizo. Za izračun trajektorij padanja kamnov potrebujemo naslednje podatke (Petje, 2005):

- lokacijo potencialnih odlomnih mest skal,
- obliko in geometrijo kamnov,
- možno velikost kamnov oz. maso,
- mehanske lastnosti kamnov in pobočja,
- odbojni koeficient,
- značilne profile, topografijo, morebitni pas gozda,
- drobljenje kamnov ob padcu (izguba energije).

V naravi je oblika in velikost (posledično tudi masa) skale, mehanske lastnosti in natančno lokacijo izvora težko določiti. Geometrija pobočja se spreminja po pobočju in je ne moremo popolnoma zajeti. Kako določimo izgubo energije ob trku ali kotaljenju, je težko povedati, je pa najbolj odvisna od oblike, velikosti, hitrosti in dinamike bloka, lastnosti pobočja ter kota trka. Koeficient odboja pa je tista spremenljivka, s katero umerjamo model padanja kamnov. Za poljuben odsek profila lahko vnesemo dva odbojna koeficienta, pravokotni in tangencialni. Pravokotni odbojni koeficient R_N (med 0,3 in 0,5) uporabimo za primere, ko skala pade na površino blizu normale. Tangencialni odbojni koeficient R_T (med 0,8 in 0,95) pa za primere padcev pod ostrim kotom. Tudi vegetacija in trdota pobočja vpliva ta na odbojni koeficient.

V inženirski praksi se navadno podore simulira v dvodimenzijskih programih vzdolž profilov, ki smo jih definirali. Vendar je slabost teh programov, da so neprimerni za določitev tveganja na širšem območju, saj je za določitev trajektorije gibanja 3D-učinek topografije zelo pomemben.

7.2.1 Dispozicijski modeli

Dispozicijski modeli (imenujemo jih tudi statični) služijo za raziskavo možnih izvorov nevarnosti, povedo nam, kje lahko pride do nevarnega procesa. Na osnovi geoloških dokazov (neme priče kot npr. posamezni skalni balvani, položaj in debelina odkladnin) lahko skozi daljše časovno obdobje določimo pretekle podorne procese. Tako lahko določimo doseg podora z neko povratno dobo. Aktivnost podora se meri s pridobivanjem podatkov iz vzorca kamnine, odvzetega v skalni steni, vendar takšno delo težko daje informacijo o aktivnosti podorov na širšem geografskem območju. Za dispozicijske modele v regionalnem merilu določimo območja sproščanja na tri možne načine (Petje et al., 2005b):

- določitev mejnega naklona, ki ga mora skalno pobočje preseči, da je potencialno nevarno;
- prevzem vseh v topografski karti označenih skalnih površin (goličav);
- prevzem vseh površin iz geoloških mnenj ali na geomorfoloških kartah označenih nevarnih površin.

Vsi dispozicijski modeli v regionalnem merilu vsebujejo digitalni model reliefa ali višin. Digitalni model višin DMV (ang. digital elevation model DEM) lahko izdelamo iz topografskih kart. Primerno merilo za regionalno modeliranje je 1 : 10.000 do 1 : 25.000.

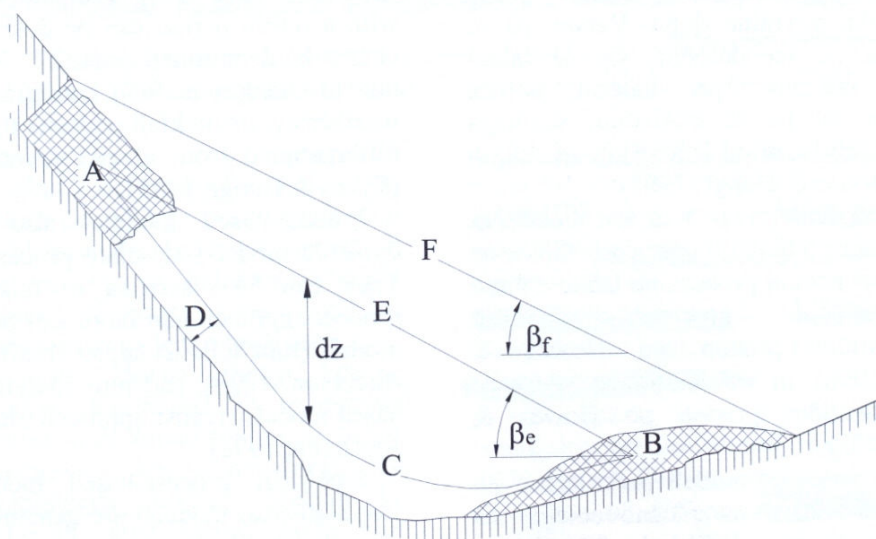
7.2.2 Empirični procesni modeli

Empirični modeli (imenujemo jih tudi statistični modeli) na splošno temeljijo na zvezi med topografskimi faktorji pobočja in dolžino dosega podora (Dorren, 2003). Iz terenskega proučevanja naj bi se ugotovila nekakšna povezava med volumnom podora, deležem največjega vertikalnega padca in največjo horizontalno prepotovano razdaljo (dosegom).

Veliko število avtorjev je prišlo do številnih empiričnih enačb, iz katerih je mogoče oceniti horizontalno prepotovano razdaljo in pa horizontalno hitrost in s tem tudi energijo blokov. Dolžina dosega je odvisna od kota med horizontalno črto in črto, ki povezuje začetno in končno težišče skalne mase, in je enak kotu trenja ϕ (0,57 -0,83), glej slika 8. Uvedli so ti. pojem »kot gibanja«, slovenski izraz za nemško besedo »Fahrböschung« (Petje et al., 2005a). Kot gibanja je navadno manjši od geometrijskega kota pobočja in določa cono izteka podora:

$$x = \frac{h}{\tan \Phi} , \quad (14)$$

kjer je x prepotovana razdalja in h višina padanja.



Slika 8: Zasnova empiričnih modelov. Točki A in B sta težišči skalnega podora pred in po premiku mase; C označuje pot težišča skalne mase; E označuje energijsko črto; F označuje kot gibanja. (Petje et al., 2005a).

7.2.3 Analitični procesni modeli

Začetki razvijanja preprostih modelov segajo v sedemdeseta leta. Analitični modeli opisujejo ali simulirajo gibanje v dveh ali treh dimenzijah. Modeli v dveh dimenzijah se navadno uporabljajo v lokalnem merilu za posamezno pobočje, modeli v treh dimenzijah pa za obravnavo v regionalnem merilu.

Dvodimenzijski modeli upoštevajo specifičen algoritem za računanje hitrosti kotaljenja in drsenja z uporabo Coulombovega zakona upora (Dorren, 2003):

$$F_t = \mu_f \cdot m \cdot g \cdot \cos \beta , \quad (15)$$

kjer je F_t sila upora, μ_f koeficient upora, m masa skale, g težnostni pospešek in β srednji naklon pobočja.

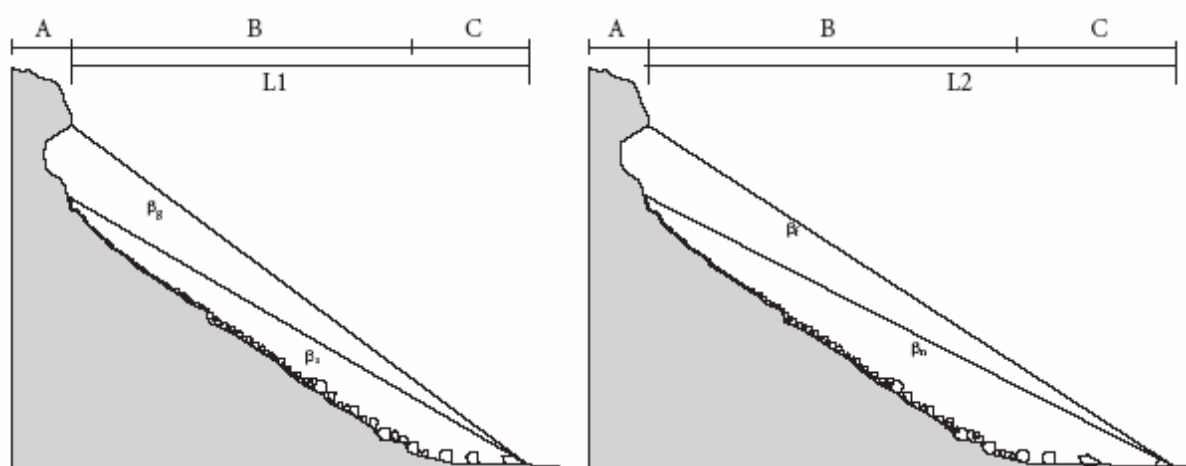
Tridimenzijske modele so razvili v začetku devetdesetih let. Ti modeli zahtevajo zelo natančen digitalni model reliefa (DMR), koeficiente upora, plastičnosti in elastičnosti zemljine. Modeli računajo trajektorije in hitrosti z uporabo koeficienta upora in deformacijskih principov skale in zemljine. 3D-modeli upoštevajo tudi interakcije med padajočimi skalami in nepravilnostmi pobočja. Vsi analitični procesni modeli pa so sestavljeni iz modela trajektorij (poti) in modela trenja.

Modeli poti (trajektorij)

Vloga modela poti je določitev možnih poti gibanja podornih blokov. Pot se v modelu določi korakoma v izbrani računski mreži. V prvem koraku se določi celice izvora bloka, v drugem koraku pa se določi celice, v katere se ta podorni blok lahko premakne. Za ta namen se je razvilo več računskih metod (Petje et al., 2005a).

Trenjski modeli

Parametri za opis dosega podora so lahko: geometrijski kot (angl. *geometric angle*), kot gibanja (angl. *travel angle*), srednji naklon (angl. *mean gradient*) in senčni kot (angl. *shadow angle*) ali vodoravna razdalja (tlorisna projekcija), glej slika 9.



Slika 9: Geometrijski kot β_g , senčni kot β_s ter srednji naklon β_n . Območje A označuje območje sproščanja, območje B območje gibanja in C območje ustavljanja. L1 pomeni najkrajšo razdaljo med začetkom in koncem gibanja, L2 pa dolžino horizontalne projekcije poti (Petje et al., 2005b).

7.2.4 Modeli na osnovi GIS-a

Geografsko informacijski sistemi (GIS) so učinkovita orodja za analizo prostorskih pojavov in za upravljanje prostorsko opredeljenih podatkov. S temi zmožnostmi predstavljajo tudi dragocen pripomoček pri presoji nevarnosti zaradi podorov. Seveda pa so GIS-i široko uporabna orodja za iskanje odločitev v upravi, pravu, prostorskem planiranju in gospodarstvu. S pomočjo GIS-ov lahko zmanjšamo morebitne katastrofe, saj lahko prepoznajo območja tveganja, lahko izvajajo monitoring in zajemajo napovedovanje nevarnosti in pa tudi ukrepe in opozorila za zmanjšanje škode.

Če želimo opravljati presoj o nevarnih procesih na osnovi GIS-a, morajo biti vhodne informacije (površje, pokrovnost tal, geološke lastnosti) v elektronski obliki. Za upravljanje prostorskih podatkov se uporabljata dva načina:

- Vektorska oblika: prostorsko jasno omejeni podatki. Osnovni elementi so točke, linije in ploskve.
- Rastrska oblika: podatki, ki se spreminjajo v prostoru. Pikel je osnovna celica v matrični obliki, ki vsebuje informacijo.

Vsaka izmed oblik ima svoje prednosti in slabosti. Pri uporabi GIS-a za napovedovanje podorov se večkrat uporabljajo rastrski podatki, saj je za računanje dosega bistven relief. Površje prikazuje digitalni model višin (DMV), ki je navadno v rastrski obliki. Iz podatkov o višinah pa se lahko izvedejo tudi drugi za presoj o nevarnosti pomembni parametri, kot so nagib površja, velikost prispevnega območja. DMV je tudi osnova za določitev trajektorij nevarnih procesov (podobno kot pri procesnih modelih). Še eno prednost imajo modeli na osnovi GIS-ov pri napovedovanju tveganja: zelo natančno lahko določimo lastnosti pobočja, kjer nas zanima, kakšna je podorna aktivnost. Lahko določimo, koliko dreves je tam na hektar, kakšno površino pobočja določa vsak posamezni piksel (Dorren et Seijmonsbergen, 2003). V okolju GIS-ov je bilo razvitih kar nekaj modelov za simulacijo podorov, ki navadno sestojijo iz treh postopkov (Dorren, 2003):

- prvi postopek identificira območja izvora podora, kjer nas to zanima,
- drugi določi trajektorijo (angl. falltrack),
- tretji pa računa območje izteka (angl. runout zone).

7.3 Program za simulacijo pojava - Rockfall 6.1

(povzeto po Spang, 2001)

Rockfall 6.1 je dvodimenzijski računalniški program za simulacijo podorov in temelji na zakonih gibanja in teoriji trkov. Program je napisan v programskem jeziku Visual Basic 6.0. Pot enega samega bloka ali do 10.000 blokov lahko izračuna in prikaže v enem samem zagonu programa. Modeliranje s programom Rockfall 6.1 nam omogoča izračun trajektorij, energijskih razmer vzdolž trajektorij in višine odboja. V vsaki podani točki profila se izračuna kinetična energija in višina odboja. Rezultati so predstavljeni na razrednem ali sumacijskem histogramu.

Program se lahko uporablja za:

- ocenitev nevarnosti podora na pobočjih,
- preverjanje obstoječih zaščitnih pregrad,
- umestitev novih zaščitnih objektov,
- optimalizacijo pozicije in dimenzije zaščitnih objektov glede na višino in energijo.

Za samo simulacijo potrebujemo dvodimenzijski profil pobočja, ki je razdeljen na vertikalne plasti, katere imajo vsaka svoje lastnosti. Račun temelji na zakonih gibanja in upošteva spremembo vrtilne količine med trkom. Ob vsakem trku s pobočjem in pri vsakem prehodu v naslednjo plast je ocenjeno dejansko gibanje in to pogojuje vrsto naslednjega gibanja. Račun se izvaja vse do trka z zaščitno pregrado ali do ustavitve bloka. Blok se ustavi, kadar izgubi svoj moment na območju, kjer pobočje pada. Ustavitev bloka ali nadaljevanje kotaljenja je odvisno od padca hitrosti pod določeno mejno hitrost tangentno in pravokotno na površino pri trku s pobočjem.

RockTree je dodan programski modul, ki upošteva pri računanju poti medsebojni vpliv skal in dreves oz. gozda. Glede na prostorsko situacijo poti in porazdelitev dreves pride do ekcentričnega trka, polnega kontakta ali pa ni trka. V modelu se upošteva dimenzija dreves, razdalja med drevesi in njihova trdnost.

Vhodne podatke za program Rockfall 6.1 lahko razdelimo na skupine:

- geometrija pobočja (plasti),

- lastnosti površine pobočja:
 - kot dinamičnega trenja R_g : trenje med skalo in površino v primeru drsenja ($0-89^\circ$),
 - kot statičnega trenja R_h : trenje med skalo in površino v primeru statičnega stika ($0-89^\circ$); $R_h \geq R_g$,
 - normalni koeficient odboja D_n : zmanjšanje komponente hitrosti vzporedno s pobočjem zaradi trka, vrednosti med 0° (plastičen trk) in 1° (elastičen trk),
 - tangenti koeficient odboja D_t : zmanjšanje komponente hitrosti tangencialno na pobočje zaradi trka, vrednosti med 0° (plastičen trk) in 1° (elastičen trk),
 - kotalni upor R_w : energijske izgube zaradi kotaljenja, vrednosti med 0° in $0,35^\circ$,
 - amplituda površinske hrapavosti O_a : vertikalna razdalja vrhov hrapavosti površine, vrednosti med 0 in 5 m,
 - frekvenca hrapavosti površine O_f : horizontalna razdalja vrhov hrapavosti površine, vrednosti med 0 in 20 m,
- lastnosti skal: oblika (okrogla ali elipsoidna), radij R (m), dolžina elipsoida (m), gostota (t/m^3).
- podorne pregrade oz. zaščitne prepreke: x koordinata od izhodišča (m), višina pregrade (m), naklon pobočja ($^\circ$);
- parameter variabilnost (%) nam pove, koliko lahko podana vrednost odstopa;
- začetni parametri: pozicija odloma (koordinata x in y), vrsta začetnega gibanja (prosti pad, kotaljenje, drsenje), število skal v enem izračunu;
- parametri krmiljenja: časovni korak, mejne hitrosti (normalna, tangenta), interval kinetične energije in višine odbojev.

Izhodni podatki:

- grafični 2D-prikaz geometrije pobočja in trajektorije gibanja,
- izpis podatkov o poti, vrste gibanja,
- prikaz kinetične energije in višine odboja vzdolž trajektorije,
- statistična porazdelitev na pregradi ali izbranem profilu (skupna energija trka, višina odboja, translacijska in rotacijska kinetična energija, translacijska hitrost, kotna hitrost, moment, kotni moment, kot med trajektorijo in osjo pregrade).

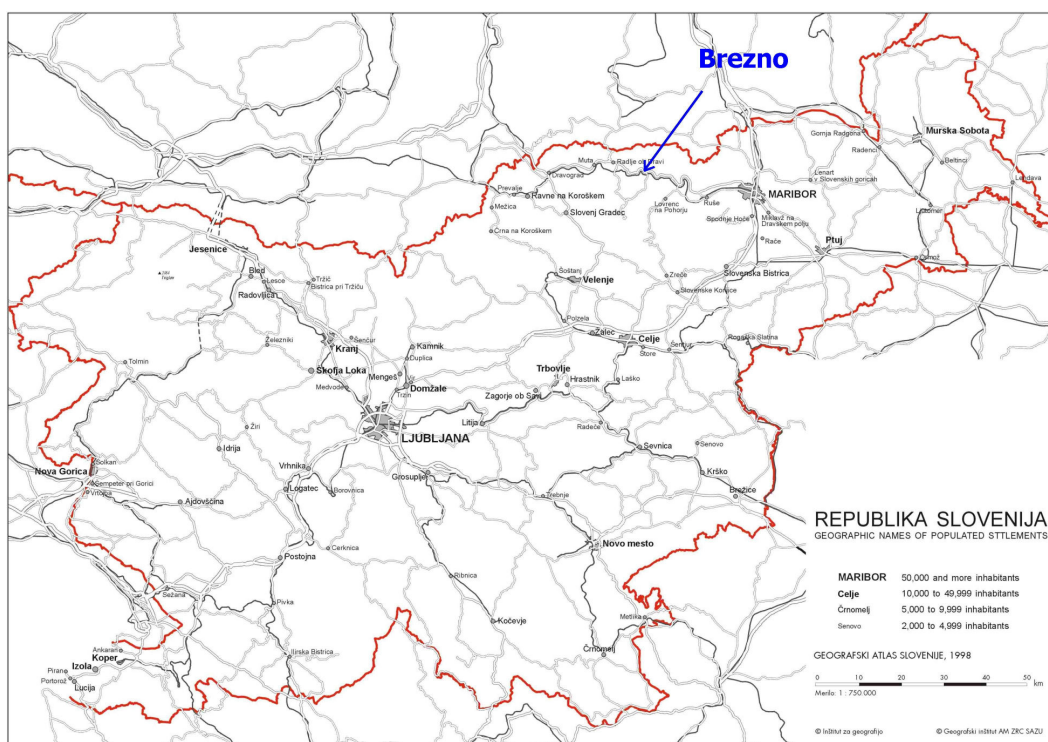
8 OCENA NEVARNOSTI ZA IZBRANI ODSEK CESTE

Najprej se je porodila ideja o zaščiti odseka lokalne ceste Kalce–Col, ki po najkrajši poti povezuje Vipavsko dolino z notranjsko regijo. Vendar se je po terenskem ogledu izkazalo, da bi bil podor, ki se je zgodil na skalni steni tik pred vasjo Col nekoliko neustrezen za modeliranje in sicer iz dveh razlogov. Prvi je v naklonu pobočja (65° in več), ki je izredno strm, kar pomeni, da bi bilo prevladujoče gibanje padanje, trki s pobočjem bi nastopili zelo redko, do kotaljenja in drsenja pa sploh ne bi prišlo. Drugi razlog pa je v odsotnosti »nemih prič«, kakor imenujemo skale in kamenje (potrebujemo jih za umerjanje modela), ki so se sprostile ob dogodku in jih najdemo nekje ob vznožju ali na pobočju. Zaradi sanacije odseka so namreč odstranili vse skalne gmote in kamenje, ki se je nabralo na cestišču (fotografija 15).



Fotografija 15: Ogrožen odsek ceste Kalce – Col in skalna stena nad njo (foto: avtor, 2006).

Druga možnost pa je podor, ki je prav tako aktualen in vsako leto bolj aktiven, gre sicer za manjše odlome in padanje posameznih skal. Obravnavano območje leži v dolini reke Drave, ravno na sredi 65 km dolge magistralne ceste Dravograd–Maribor. Dravska dolina poteka v smeri zahod–vzhod in deli krajino na Kobansko in Kozjak na severni strani in Pohorje na južni strani. Vzrok za izbiro pobočja je bil že aktivni podor kamenja, ki ga je bila dolžna sanirati občina Podvelka.

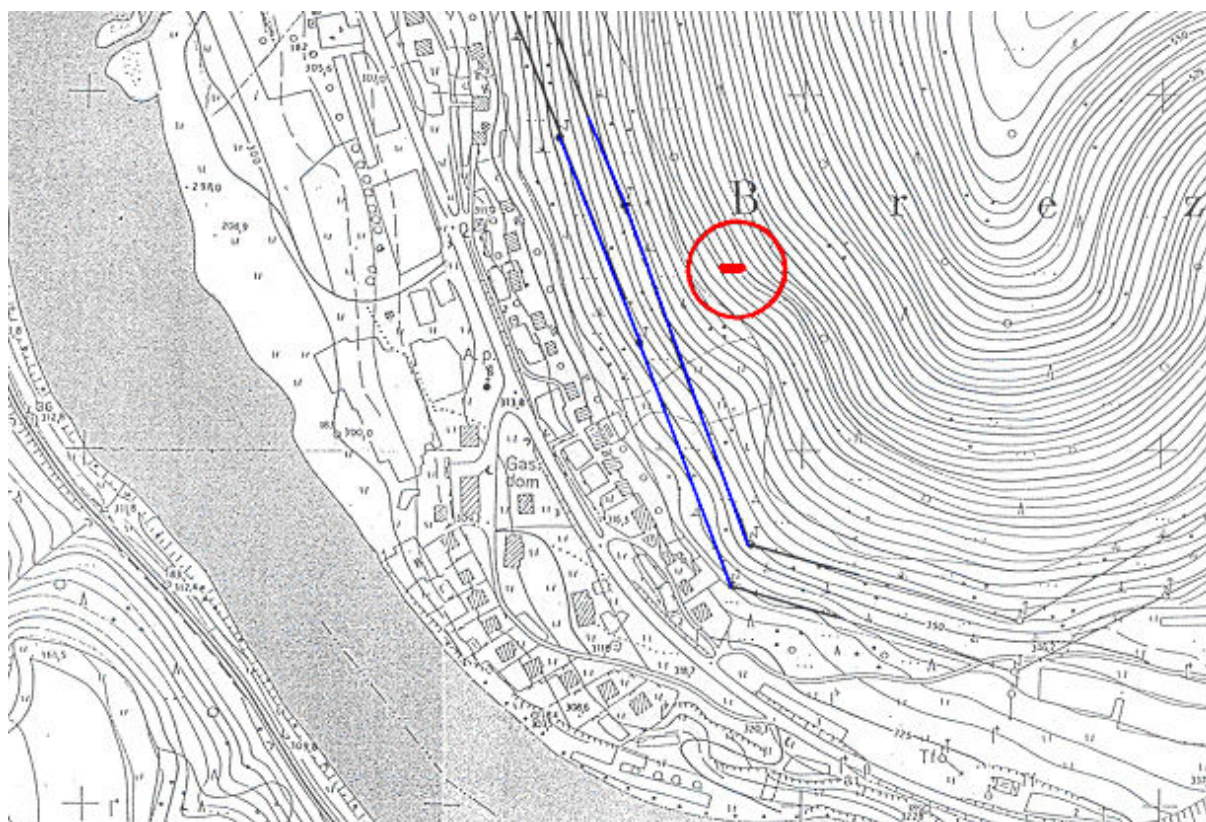


Slika 10: Pregledna karta Slovenije in lokacija vasi Brezno (vir: ZRC SAZU, 2006).

Izbrano območje obdelave se nahaja v vasi Brezno, lokacija skalne stene je na jugovzhodnem pobočju Kobanskega, približno 150 m po pobočju nad stanovanjskima hišama Brezno 46 (Kresnik) in Brezno 47 (Rebernik). Pod tema objektoma poteka že omenjena magistralna cesta Dravograd–Maribor.

8.1 Lastnosti izbranega območja

Območje je zanimivo z več vidikov: najprej gre za naklon pobočja, ki na vrhnjem delu pobočja preseže 40° , območje je poraščeno z redkim listnatim gozdom, pod pobočjem pa se nahaja magistralna cesta, ki je edina direktna cestna povezava med koroško regijo in vzhodom Slovenije. Na vznožju pobočja se nahaja niz srednje velikih enodružinskih hiš, nad njimi pa poteka v širini približno 50 m energetski koridor (daljnovodi), na katerem naj bi se redno vršil posek drevja in grmičevja (slika 11 in fotografija 16).



Slika 11: Kartografski prikaz območja in sproščanja skal v merilu 1:5000 (vir: Geodetska uprava RS, 2006).



Fotografija 16: Vas Brezno, magistralna cesta in energetski koridor na obravnavanem pobočju (foto: avtor, 2006).

8.1.1 Vegetacija

Na obravnavanem pobočju prevladuje redki listnati gozd, ki ga večinoma sestavljata bukev in pravi kostanj, lat. *Castaneo sativae-Fagetum* (ZRC SAZU, 2000). Gostota svežega lesa omenjenih vrst dreves lahko preseže tudi 1kg/m^3 . Tovrstna vegetacijska združba je značilna tudi za širše območje. Velik del pobočja je zaradi energetskega koridorja očiščen drevja, vendar je zaradi nerednega vzdrževanja izredno močno zaraščen z robidovjem in podobnim grmičevjem, kar v danem podornem primeru predstavlja nekakšno minimalno varnost pred po pobočju padajočim ali kotalečim se kamenjem, medtem ko pri morebitnem padanju skalnih blokov to nima posebnega pomena.

8.1.2 Geologija

Pri podorih je izrednega pomena poznavanje geoloških značilnosti območja, saj nam veliko pove o tem, kako se bo kamnina odlomila od matične kamnine, o tem, kakšne oblike padajočega kamenja lahko pričakujemo, kakšna bo gostota in kakšni bodo odbojni in trenjski koeficienti.

Na pobočju v Breznem je v nižje ležečih predelih moč najti amfibolit s prehodi v amfibolov skrilavec, višje po pobočju pa najdemo muskovitov blestnik s prehodi v gnajs (povzeto po geološki karti Slovenije). Območje je sestavljeno torej iz metamorfnih kamnin, za katere je značilna zrnasta sestava iz dobro vidnih kamnito tvornih mineralov, kamnine imajo veliko trdnost, prisotni so pravilni lomi in robovi. Za skrilavec je značilna lomljivost v plasteh. Specifična teža magmatskih kamnin je nad 25 kN/m^3 .

8.2 Določanje geometrije pobočja

Za določitev nevarnosti in potrebe modeliranja podora v vasi Brezno sem moral pridobiti podatke o geometriji pobočja. V zadnjih letih se za snemanje terena v geodetski praksi največ uporabljajo GPS-sprejemniki (Global Positioning System) in pa elektronski teodoliti in razdaljemerji, ti. tahimetri. Za geodetski posnetek terena sem se odločil, da ga opravi sam, saj rokovanje z opremo ni tako zelo zapleteno in ker sem imel možnosti izposoje. Gre za to,

da na izbranem profilu s točkami orišemo pobočje, kje se pojavijo konveksne in konkavne krivine in kakšen je naklon na posameznih odsekih.

Metoda z GPS-sprejemnikom

Kot prvo orodje sem uporabil GPS-sprejemnik Leica GS20 Professional Data Mapper. Z GPS-aparatom in s korekcijami podatkov na referenčno postajo (kar so opravili na podjetju Geoservis d.o.o.) lahko dosežemo natančnost okrog enega metra. Metoda temelji na principu delovanja sistema GPS, ki s pomočjo satelitov v zemeljski orbiti, kjerkoli na površini Zemlje uporabniku poda točne koordinate njegovega položaja (geografska dolžina λ , geografska širina φ , širina in nadmorska višina H). S sprejemnikom zajemamo točke na terenu oz. pobočju in jih shranjujemo v aparat, vendar je pri GPS vedno problem zagotoviti sprejem signala vsaj 4 satelitov, saj drevesa in ozke soteske oziroma doline le-tega preprečijo.

Metoda z laserskim teodolitom oz. razdaljemerom

Kot drugo metodo pa sem uporabil laserski razdaljemer MDL Laser ACE 300 (več na naslovu <http://ksh.fgg.uni-lj.si/KSH> pod rubriko merska (geodetska) oprema) z inklinometrom (vertikalni kot) in digitalnim enkoderjem (horizontalni kot). Ker je bil teren kljub veliki zaraščenosti dostopen, sem uporabil aktivni način profiliranja z uporabo prizem. Najprej si v prostoru izberemo eno referenčno točko, ki nam kasneje služi kot opora za orientacijo. Nato z laserskim žarkom sledimo stojalu s prizmo, ki ga po pobočju navzgor premika pomočnik. Podatki o vertikalnem in horizontalnem kotu ter razdalji do prizme se avtomatično shranjujejo preko ustrezne programske opreme v dlančnik ali prenosni računalnik.

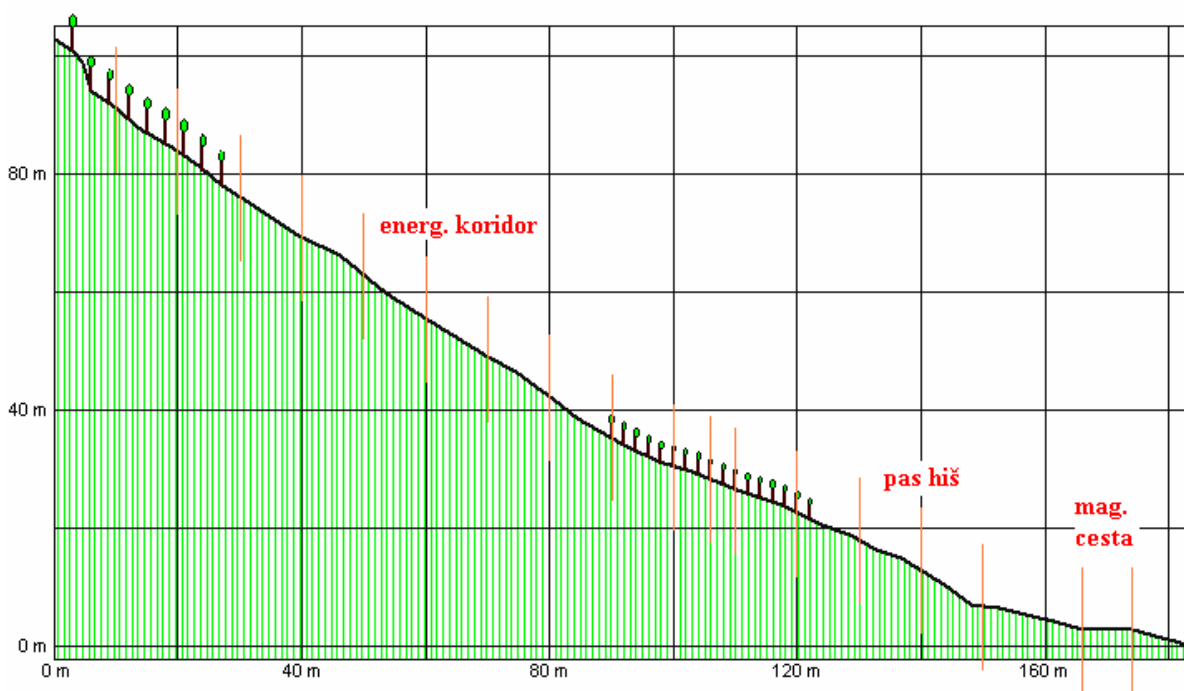
Ta metoda z laserskim teodolitom se je izkazala za še bolj učinkovito od metode z GPS-sprejemnikom, saj je bilo mogoče merjenje tudi pod drevesi. Rezultate obeh načinov sem kasneje primerjal med seboj, da sem zagotovil še večjo natančnost. Problem GPS-metode je bil na pobočju, kjer je ozek pas gozda, ker ni bilo možno zagotoviti signala satelitov, vendar so bili rezultati po obdelavi z referenčno postajo bolj natančni. Na nekaterih mestih so se rezultati razlikovali tudi do 1 m v vertikalni smeri in do 0,5 m v horizontalni smeri. Vendar takšna natančnost (pod 1 m) obeh metod za potrebe modeliranja v tem okviru zadostujejo.

8.3 Določevanje dosega in energije podora s programom Rockfall 6.1.

Pri določevanju dosega in energije podora z računalniškim programom Rockfall 6.1 sem želel biti čim bolj natančen in se prilagoditi čim več možnim scenarijem. Zato sem obravnaval štiri primere:

- prvi primer je dejansko obstoječe stanje,
- drugi primer je morebitno čiščenje energijskega koridorja v širini 50 m na pobočju s strani elektrogospodarskega podjetja,
- tretji primer je morebitna sečnja energijskega koridorja in spodnjega pasu (varovalnega) gozda in
- četrti primer je umestitev podorne pregrade oz. zaščitne prepreke.

8.3.1 Vhodni podatki



Slika 12: Geometrija pobočja v vasi Brezno (razdalje so upoštevane v lokalnem merilu).

Program poleg vzdolžnega profila (rob cestišča predstavlja vrednost $x = 166$ m) zahteva tudi več drugih parametrov. Ravno izbiranje teh parametrov pa je bistvenega pomena za obnašanje modela med simulacijo. Nekaj parametrov je bilo dobljenih s primerjavo podobnih razmer v

literaturi, pa tudi v samem računalniškem programu, koeficient dinamičnega trenja R_g pa je mogoče izračunati po empirični enačbi (13):

$$\tan \Phi_{\mu d} = \tan \Phi_0 + \frac{k \cdot d}{2 \cdot R}, \text{ kjer je } R_g = \Phi_{\mu d}$$

Konstanto k predpostavimo ($k = 0,2$), povprečni naklon pobočja $\Phi_0 = 29,2^\circ$, $d = 0,1 - 0,2$ m in $R = 0,5 - 1$ m. Vrednosti R_g se torej v našem primeru nahajajo med 29° in 31° . Večino naslednjih parametrov je mogoče določiti iz spodnje preglednice, ki kaže odvisnost parametrov od podlage pobočja:

Preglednica 5: Vrednosti parametrov za simulacijo v Rockfallu 6.1 (povzeto po Petje, 2005).

vrsta podlage	R_g (°)	R_h (°)	D_n (°)	D_t (°)	R_w (°)	O_a (m)	O_f (m)
hribina	30	40	0,40 – 0,45	0,88 – 0,95	0,30	0,2 – 0,3	1,0 – 2,0
vršaj - večje skale	30	40	0,30 – 0,40	0,82 – 0,88	0,30	0,3 – 1,0	8,0 – 10,0
vršaj - grmovje	30	40	0,30	0,80 – 0,85	0,30	0,3 – 1,5	6,0 – 10,0
vršaj – drevesa	30	40	0,28	0,80 – 0,85	0,30	0,5 – 2,0	6,0 – 10,0
travnik	30	40	0,20 – 0,30	0,25 – 0,80	0,30	0,2 – 0,4	8,0 – 10,0
drevje	30	40	0,28	0,75 – 0,79	0,30	0,2 – 0,5	6,0 – 8,0

Model je potrebno umeriti na »neme priče«, tj. na odložene skale, ki so posledica podora v preteklosti, in v našem primeru imamo primer največje neme priče:

- cilindrična oblika: $100 * 60 * 50\text{cm} \rightarrow 780 \text{ kg} \rightarrow R_c = 0,3 \text{ m}; L_c = 1 \text{ m}$.
- gostota materiala: $2,6 \text{ t/m}^3$
- verjetna začetna pozicija: $x_0 = 4,5 \text{ m}$ $y_0 = 99 \text{ m}$
- končna pozicija: $x = 150 \text{ m}$
- vrsta začetnega gibanja (padanje, kotaljenje, drsenje).

Neme priče so dober pokazatelj, do kam sega območje, kjer lahko pričakujemo podor. Potem so tu še parametri krmiljenja, kot so časovni korak izračuna, mejne hitrosti, interval kinetične energije in višine odbojev in pa število padajočih skal (izberemo $n = 1000$).

Program vključuje tudi simulacijo trkov skalnih blokov ob drevesa v gozdu (modul RockTree), določiti je potrebno pas gozda, razdaljo med drevesi, povprečni premer in višino dreves, gostoto lesa in energijo lomljenja dreves.

Vhodni parametri za določitev lastnosti pobočja (poglavje 7.3):

- R_g : kot dinamičnega trenja ($0-89^\circ$),
- R_h : kot statičnega trenja ($0-89^\circ$); $R_h \geq R_g$,
- D_n : normalni koeficient odboja, vrednosti med 0° (plastičen trk) in 1° (elastičen trk),
- D_t : tangenti koeficient odboja, vrednosti med 0° (plastičen trk) in 1° (elastičen trk),
- R_w : kotalni upor, vrednosti med 0° in $0,35^\circ$,
- O_a : amplituda površinske hrapavosti, vrednosti med 0 m in 5 m,
- O_f : frekvenca hrapavosti površine, vrednosti med 0 m in 20 m.

8.3.2 Izhodni podatki

Preglednica 6: Izbor parametrov na podlagi kalibracije modela z izbranim možnim odstopanjem V.

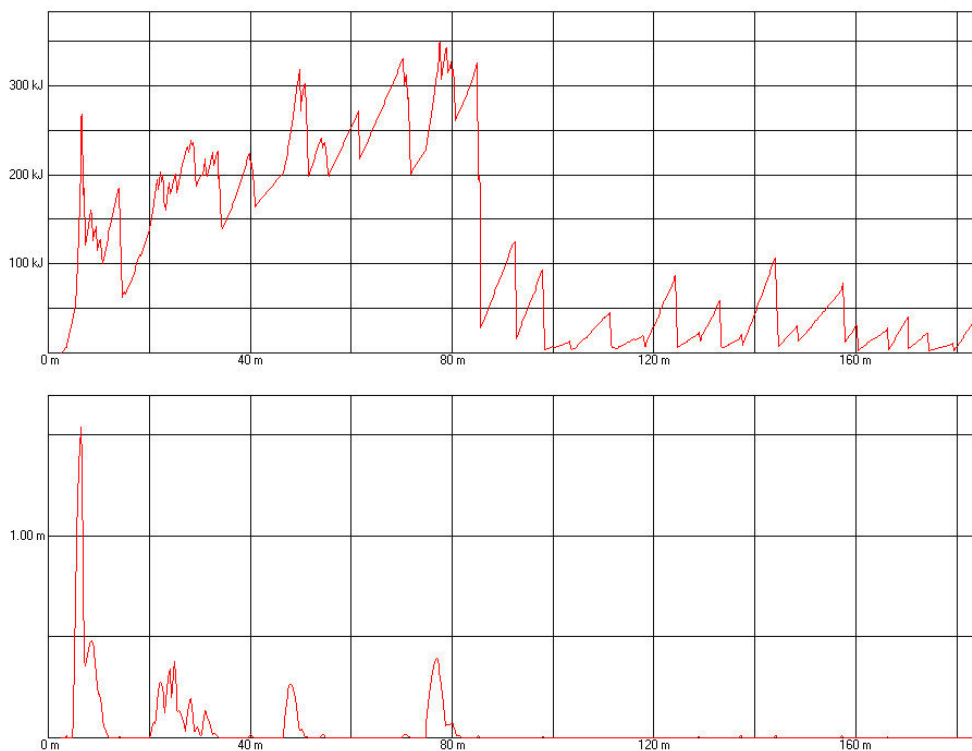
vrsta podlage	$R_g(^\circ)$	V(%)	$R_h(^\circ)$	V(%)	$D_n(^\circ)$	V(%)	$D_t(^\circ)$	V(%)	$R_w(^\circ)$	V(%)	$O_a(m)$	$O_f(m)$
hribina	31	20	40	20	0,45	20	0,93	7	0,30	20	0,3	3
koridor - grmovje	31	20	40	20	0,30	20	0,9	7	0,30	20	0,3	10
skale – drevesa	31	20	40	20	0,28	20	0,79	7	0,30	20	0,5	8
travnik	31	20	40	20	0,27	20	0,6	7	0,30	20	0,3	8
drevje	31	20	40	20	0,28	20	0,75	7	0,30	20	0,5	8

Preglednica 7: Vpliv števila sproženih skal na domet padajočih blokov (skala cilindrične oblike, primerjava velike in majhne hrapavosti O_a in O_f).

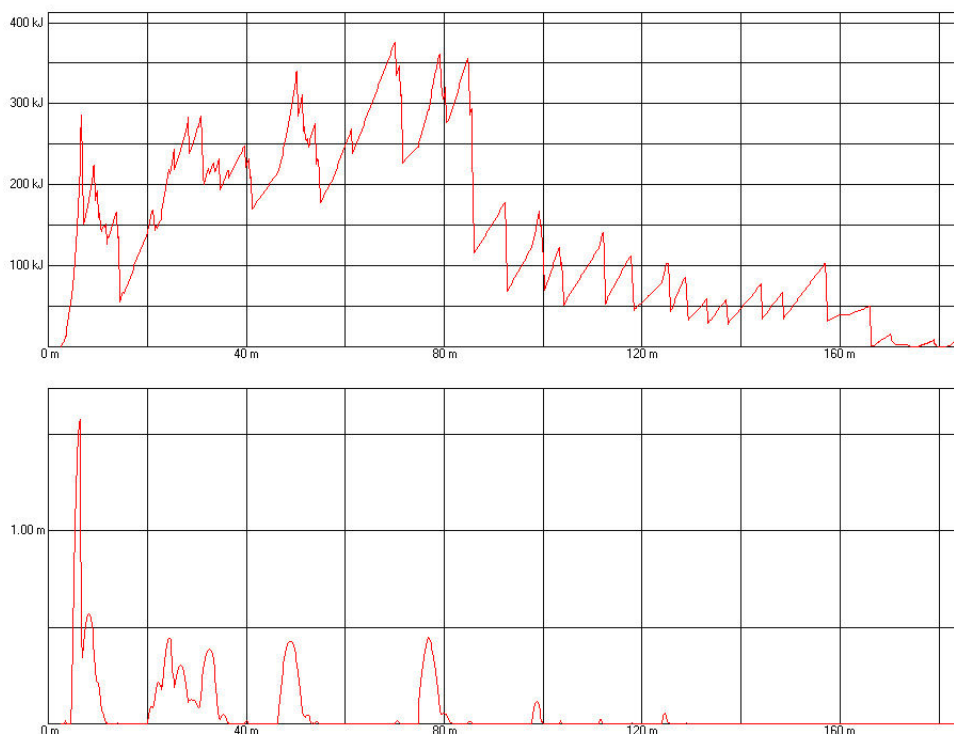
L (m)	$R_g = 20^\circ, R_h = 40^\circ$ $R_c = 0,5 \text{ m}; L_c = 1,3 \text{ m}$ velika hrapavost O_a, O_f						$R_g = 33^\circ, R_h = 40^\circ$ $R_c = 0,5 \text{ m}; L_c = 1,3 \text{ m}$ majhna hrapavost O_a, O_f					
	10	%	1000	%	10000	%	10	%	1000	%	10000	%
20	10	100	1000	100	10000	100	10	100	1000	100	10000	100
40	10	100	1000	100	10000	100	10	100	1000	100	10000	100
60	10	100	1000	100	10000	100	10	100	1000	100	10000	100
80	10	100	1000	100	10000	100	10	100	1000	100	10000	100
90	10	100	980	98	9920	99.2	10	100	750	75	9840	98
100	8	80	652	65.2	5132	51.3	7	70	514	51.4	5097	51
110	5	50	492	49.2	4282	42.8	5	50	421	42.1	3903	39
120	4	40	410	41	3163	31.6	4	40	295	29.5	3016	30.2
140	4	40	387	38.7	2698	27	3	30	249	24.9	2503	25
150	4	40	356	35.6	2698	27	3	30	249	24.9	2493	25
165	3	30	311	31.1	2545	25.5	2	20	238	23.8	2112	21.1
175	3	30	292	29.2	2373	23.7	2	20	225	22.5	1872	18.7
180	3	30	202	20.2	1542	15.4	1	10	128	12.8	1119	11.2

Preglednica 8: Vpliv dreves oz. njihovega premera in velikosti skale cilindrične oblike (odstopanje $\pm 20\%$) na domet podora: število sproženih skal je 500; $R_g = 33^\circ$, $R_h = 40^\circ$, D_n , D_t , R_w , O_a in O_f kot je izbrano v preglednici 6, koeficient trčenja med skalo in drevesom je v zgornjem 0,3 in v spodnjem delu 0,2.

L (m)	$R_c = 0,1 \text{ m}; L_c = 0,35 \text{ m}$			$R_c = 0,2 \text{ m}; L_c = 0,65 \text{ m}$			$R_c = 0,5 \text{ m}; L_c = 1,3 \text{ m}$			$R_c = 1 \text{ m}; L_c = 2,2 \text{ m}$		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
20	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
40	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
60	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
80	500	499	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
90	500	470	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
100	390	314	301	400	312	272	416	352	274	437	396	258
110	284	243	237	295	242	219	284	259	223	314	238	201
120	255	182	182	262	177	179	248	198	169	276	182	149
140	248	162	159	252	153	151	237	196	150	267	175	131
150	242	162	154	252	152	149	237	192	147	267	174	128
165	238	152	146	236	146	138	219	178	140	250	170	118
175	215	138	125	218	130	123	198	161	129	243	162	114
180	130	95	85	145	88	76	120	112	78	141	85	71



Slika 13: Primer prisotnosti obstoječega gozda s premerom dreves $0,2 \text{ m} \pm 10\%$ ($x_2 = 90 - 124 \text{ m}$). Diagram prikazuje kinetično energijo E_{kin} (v kN) in višino odboja h_{odb} v odvisnosti od horizontalne razdalje pobočja x .



Slika 14: Primer sečnje pasu dreves na spodnjem delu ($x_2 = 90 - 124$ m). Diagram prikazuje kinetično energijo E_{kin} (v kN) in višino odboja h_{odb} v odvisnosti od horizontalne razdalje pobočja x .

Preglednica 9: Primerjava dosega glede na obliko skale (sferična ali cilindrična).

število sproženih skal $n = 1000$								
primer 1: sferična oblika skale (radij R_k)								
primer 2: cilindrična oblika skale (radij R_c , cilindrična dolžina L_c)								
	$R_k = 0,1$ m		$R_k = 0,2$ m		$R_k = 0,5$ m		$R_k = 1$ m	
	$V = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$		$V = 33,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$		$V = 0,524 \text{ m}^3$		$V = 4,19 \text{ m}^3$	
	$R_c = 0,074$ m; $L_c = 0,244$ m		$R_c = 0,148$ m; $L_c = 0,488$ m		$R_c = 0,37$ m; $L_c = 1,22$ m		$R_c = 0,739$ m; $L_c = 2,44$ m	
L (m)	1	2	1	2	1	2	1	2
40	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
60	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
80	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
90	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
100	588	644	579	612	564	605	732	810
110	446	474	467	473	443	471	477	517
120	333	378	358	354	349	353	370	424
140	289	343	300	302	298	321	356	416
150	289	343	300	302	298	321	356	416
165	262	310	272	288	268	298	324	395
175	226	283	235	264	245	276	309	374
180	146	183	150	169	158	173	200	222

8.3.3 Ugotovitve

- Število sproženih skal lahko nastavimo od 1 do 10000. Preglednica 7 kaže na odstopanje rezultatov pri različnem številu sproženih skal, višje kot je število, boljša je zanesljivost rezultatov.
- Gibanje po profilu je bilo pretežno nagnjeno h kotaljenju, malo manj pa tudi k drsenju. Odbojev, razen začetnega pri $x = 7$ m ($h = 1,5$ m), pravzaprav ni (pobočje je gladko).
- V primeru večje površinske hrapavosti bi se skale veliko bolj odbijale od površine, vendar to vpliva tudi na doseg, ki se poveča. Pri manjšem številu simulacij je pri večji hrapavosti raztros tudi večji.
- Oblika skale ima vpliv na doseg podora. Program omogoča dve obliki, okroglo in cilindrično. Sklepali bi, da ima okrogla skala večji domet, pri enakem volumnu kot cilindrična oblika skale, vendar rezultati tega ne potrjujejo (preglednica 9). Sklepamo lahko, da je domet približno enak. V naravi ima veliko sproženih skal ploščato obliko, kot disk. Velika verjetnost je, da pade na ploskev in se razleti, vendar pa se lahko kotali kot kolo in doseže večje razdalje kot sferična ali cilindrična oblika.
- Iz primerjave krivulj skupne kinetične energije in odbojev primerov sestave pobočja (prisotnost in odsotnost pasu dreves, slika 13, 14) je moč ugotoviti, da gozd resnično deluje varovalno, saj zmanjša kinetično energijo premikajočih se skal po pobočju. Odboji skal pa so manjši na travniški podlagi kot na gruščnati podlagi.
- Padajoče skale ogrožajo promet na magistralni cesti, ogrožene pa so tudi bivalne hiše nad njo. Ogroženost je mogoče zmanjšati z ustreznimi varovalnimi ukrepi. Ocenjeno je, da bi lahko sedanje stanje (srednje ogroženo) izboljšali na šibko ali celo nično ogroženost.
- Višina prepreke znaša $h = 3$ m, odklon od vertikale znaša 10° , možne horizontalne pozicije so $x_1 = 80$ m, $x_2 = 120$ m in $x_3 = 140$ m. V vseh treh primeri se vse skale ($n = 1000$) ustavijo pri pregradi, razlog je v tem, da je gibanje po tem pobočju praviloma omejeno le na kotaljenje in drsenje, večji odboj se pojavi le na začetku gibanja (slika 13, 14). Za dimenzioniranje pregradnih dinamičnih mrež bom uporabil vrednosti kinetične energije nad 400 kJ. Pomembno pa je tudi presoditi, kje točno naj bi prepreka stala. V našem primeru naj bi stala na stacionaži $x = 80$ m, kjer je dovolj prostora za njeno namestitev.

9 DIMENZIONIRANJE ZAŠČITNIH PODAJNIH MREŽ

9.1 Osnove

Preden se lotimo postavitve in dimenzioniranja podajnih zaščitnih mrež oz. dinamičnih pregrad (poglavje 6.3) na nekem pobočju moramo opraviti vrsto opazovanj, poskusov in simulacij. Obstaja več različnih pristopov oz. metod, kako priti do zaželenih podatkov o možnostih za nastanek podora, o hitrosti in velikosti padajočih skal itd.

Označitev lege

Če želimo začeti z analizo obnašanja podornega dogodka, moramo odgovoriti na naslednja vprašanja (Geobrugg, 2003):

- Kakšna je narava podornega dogodka, je sestavljen iz skupine skal ali iz posameznih skal?
- Ali gre samo za eno izvorno področje, ali je lokacij izvora več?
- Ali padajoče skale zadenejo ostale skale, ki ležijo na pobočju?
- Kakšne velikosti so skale, ki dosežejo vznožje pobočja?
- Kakšno je gibanje skal po pobočju, gre za kotaljenje, odbijanje ali drsenje po pobočju?

Zgodovina podornih dogodkov na tem območju

V večini primerov lahko iz zgodovine padanja skal predvidimo, kakšna je lahko prihodnost. Upoštevati je smiselno razliko med običajnim in neobičajnim letom. Običajno (normalno) leto je, ko so vremenski in geomorfni pogoji normalni. Neobičajno leto pa lahko vključuje ekstremne (100-letne) dogodke. Zgodovina prometnih nesreč in poročanje ljudi, ki živijo na samem območju, sta lahko koristni informaciji pri predvidevanju trajektorije gibanja skal.

Oblika in velikost skal

Določimo lahko tipično obliko padajočih in potencialno padajočih skal. Navadno so skale: ploščate, okrogle ali kockaste oblike. Določimo tudi velikost skal.

Izvorno mesto in domet

Potrebno je določiti izvorno mesto padajočih skal, prav tako pa tudi področje, kjer se skale ustavijo ali trčijo v kakšno oviro.

Prečni profil, površinska hrapavost in pokritost pobočja

Prečni profil pobočja je nujen podatek pri računalniškemu simuliranju padanja skal, ponavadi ga določimo s pomočjo geodetov. Hrapavost pobočja je izredno pomemben podatek pri napovedi obnašanja kotaleče se skale. Navadno se hrapavost pobočja izmeri kot nepravilnost glede na velikost potujoče skale. Vegetacija na pobočju ima prav tako pomembno vlogo, saj lahko močno vpliva na hitrosti in odbojne višine. Drevesa lahko kotaleče se skale v veliko primerov tudi ustavijo, velikokrat pa tudi vplivajo na potek trajektorije skal.

Kinetična energija

Največkrat je ravno kinetična energija tista količina, s katero opredeljujemo obseg podornega pojava. Gibanje podora lahko opredelimo kot seštevek premočrtno in rotacijske kinetične energije (enačba 8):

$$E_{kin,skupna} = E_{kin,trans} + E_{kin,rot} = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{I \cdot \omega^2}{2},$$

pri čemer je m (kg) masa, v (m/s) hitrost, I (kg*m²) vztrajnostni moment vrteče se skale in ω (s⁻¹) kotna hitrost skale tik pred udarcem.

Maso skale dobimo iz enačbe:

$$m = \rho \cdot V, \quad (16)$$

ρ (kg/m³) je gostota in V (m³) prostornina.

Hitrost pa je definirana kot:

$$v = \frac{s}{t}, \quad (17)$$

kjer je s (m) razdalja in t (s) čas.

Vztrajnostni moment je odvisen od porazdelitve mase in razdalje od osi vrtenja. Za kroglo velja:

$$I_{zz} = \frac{2 \cdot m \cdot r^2}{5}, \quad (18)$$

r (m) je polmer in m (kg) masa krogle; za valj pa velja:

$$I_{xx} = \frac{m \cdot h^2}{12} + \frac{m \cdot r^2}{4}, \quad (19)$$

pri čemer je m (kg) masa, h (m) višina valja in r (m) polmer osnovne ploskve valja.

9.2 Predlagani način zaščite pred podorom v vasi Brezno

S pomočjo simulacijskega programa Rockfall 6.1 (poglavje 8.3) je bilo ugotovljeno na pobočju v vasi Brezno naslednje:

- skupne kinetične energije pri podoru ne presegajo $E_{kin} = 400$ kJ in
- odbojne višine ne presegajo $h = 0,5$ m (od stacionaže $x = 20$ m naprej).

Prva možnost zaščite je prekritje skalne stene z mrežami, ki jih v zaledno kamnino pritrdijo z uporabo jeklenih sider in obtežijo s kamenjem. Pred prekrivanjem je potrebno odstraniti vse labilne skale na steni.



Fotografija 17: Sproščanje blokov s skalne stene (vir: Higura, 2005).

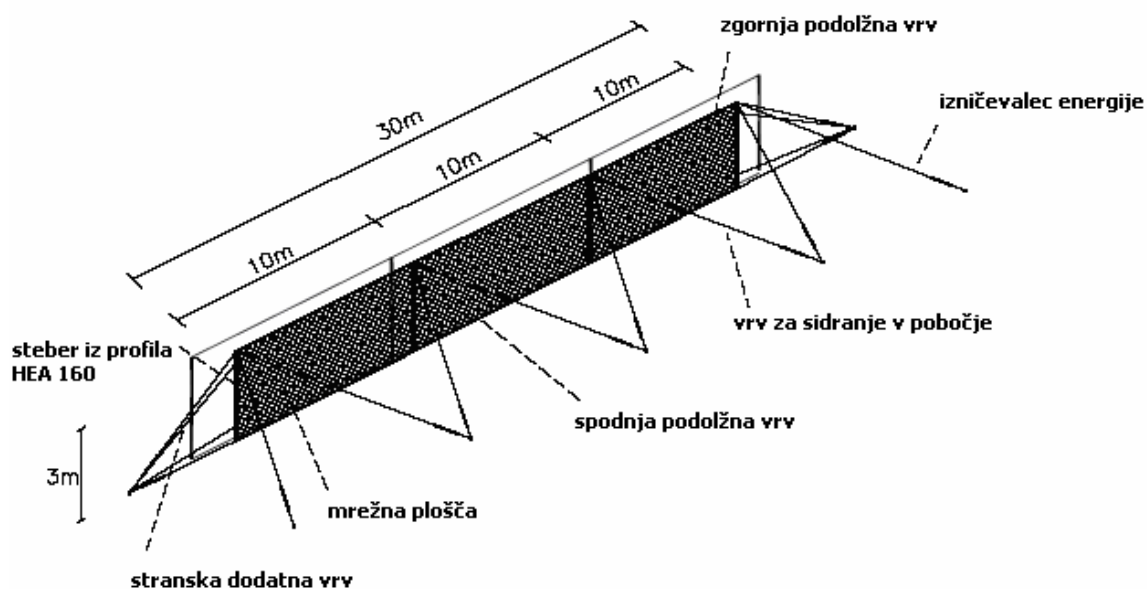
Druga možnost je, da na pobočju, ki je ogroženo zaradi podorov, uporabimo zaščito z dinamičnimi pregradami (poglavje 6.3), ki pa lahko istočasno služijo kot zaščita pred drsečimi drevesi ali snežnimi plazovi po pobočju. Pomemben podatek pri postavitvi tovrstnih pregrad je poleg absorpcijske energije in višine odboja tudi mesto postavitve. V nadaljevanju je prikazan izračun za postavitev dinamičnih mrež.

9.2.1 Sestava dinamičnih pregrad

Danes na trgu obstaja zelo veliko različnih proizvajalcev tovrstnih dinamičnih mrež, ki so si med seboj podobne po sestavi, kljub vsemu različne v detajlih. Ponujajo različne tipe pregrad, ki jih delijo v razrede po zmožnosti absorpcije energije. Proizvajalci jamčijo, da dinamična pregrada prenese udarec skale s kinetično energijo, na katero je dimenzionirana. Navadno so razredi razdeljeni na: 150, 300 (nizke), 500, 1000 (srednje), 1500 in 3000 kJ (visoke energije).

Dinamične pregrade so sestavljene iz (slika 15) :

- nosilnih drogov (običajno se uporabljajo jekleni vroče valjani H ali I profili),
- temeljenih podstavkov za droge,
- spodnje in zgornje podporne (povezovalne) jeklene vrvi,
- podajne mreže (sestavljene iz jeklenih obročkov),
- napenjalnih jeklenih vrvi,
- sider (nameščenih v zaledje) in
- različnih elementov, ki izničujejo (disipirajo) energijo.



Slika 15: Skica dinamične pregrade (prirejeno po Cazzani et al., 2002).

9.2.2 Dimenzioniranje dinamičnih pregrad

Ko dimenzioniramo dinamične pregrade, poskušamo le to obremeniti najbolj neugodno, saj s tem zagotavljamo zadostno varovalno zmožnost pregrade. Karakteristike, ki nas pri dimenzioniranju zanimajo, so:

- dimenzije in kvaliteta nosilnih drogov,
- dimenzije povezovalne jeklene vrvi,
- dimenzije obročkov podajne mreže,
- dimenzije in kvaliteta napenjalnih vrvi in sider.

Najprej je potrebno določiti absorpcijsko energetski razred, ki je v našem primeru (pobočje Brezno) 500 kJ, naslednji razred je 1000kJ, kar pa bi bilo verjetno predimenzionirano. Poleg energijskega razreda nas zanima tudi višina pregrade in hitrosti premikajočih se skal. Če pogledamo enačbo (11) za izračun kinetične energije potujoče skale in upoštevamo izhodne podatke pri simulaciji podora v vasi Brezno, so najbolj neugodne količine:

$$E_{kin,skupna} = \frac{m \cdot v^2}{2} + \frac{I \cdot \omega^2}{2}$$

$$m_{skale} \cong 2000kg \quad v_{skale} = 20m/s \quad I_{skale} \cong 300kgm^2 \quad \omega = 12s^{-1},$$

kar skupno znaša približno $E_{kin} = 400$ kJ. Višina pregrade je za energijski razred 500kJ standardizirana in znaša $h = 3m$.

Priporočila

Nekateri proizvajalci (Geobrugg, 2003) imajo izdelana priporočila, kako dimenzionirati dinamične pregrade, glede na pričakovano kinetično energijo, po kateri se ravnajo pooblaščenim postavljalci.

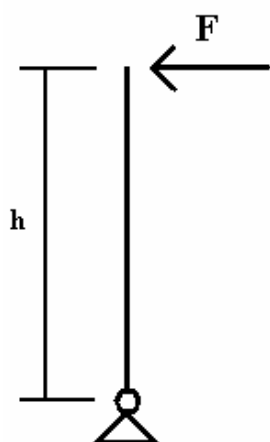
Preglednica 10: Tabela za dimenzioniranje (Geobruigg, 2003).

Type	RXI-025	RX-075	RX-150	RX-200	RX-300
Energy absorbtion	250 kJ	750 kJ	1500 kJ	2000 kJ	3000 kJ
Type of ROCCO net	ROCCO 5/3/300	ROCCO 7/3/300	ROCCO 12/3/300	ROCCO 19/3/300	ROCCO 16/3/300
Wire bundle \varnothing	6 mm	9 mm	12 mm	15 mm	14 mm
Wire \varnothing	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm	3 mm
Ring \varnothing	300 mm	300 mm	300 mm	300 mm	300 mm
Type of posts min.	HEB 120	HEB120	HEB 140	HEB 180	HEB 200
Type of posts max.	HEB 220	HEB 220	HEB 220	HEB 220	HEB 240
Distance between posts	6–12 m	4–12 m	4–12 m	8–12 m	8–12 m
Type of ropes	with steel core	with steel core	with steel core	with steel core	with steel core
Diameter min.	16 mm	14 mm	18 mm	20 mm	18 mm
Diameter max.	18 mm	20 mm	22 mm	22 mm	22 mm
Type of brake ring	without	GS-8001	GS-8002	GS-8002/GN-9017	GS-8002/GN-9017/ GN-9055
Height of barrier min.	2 m	2 m	3 m	4 m	5 m
Height of barrier max.	5 m	5 m	5 m	6 m	7 m

*Opomba: izrazi Type^{ANG} Energy absorbtion^{ANG} – tip^{SLO} prevzem energije^{SLO}; Wire bundle^{ANG} Ring^{ANG} – premer žice^{SLO} Obroč^{SLO}, Type of post^{ANG} profil stebra^{SLO}, Distance between posts^{ANG} razdalja med stebri^{SLO}, Type of ropes^{ANG} tip vrvi^{SLO}, Type of brake ring^{ANG} tip zaviralnih obročkov^{SLO}, Height of barrier^{ANG} višina pregrade^{SLO}.

Nosilni drog

Najprej določimo dimenzije nosilnih drogov. Kako se bo obnašala dinamična pregrada je odvisno tudi od tega, ali je nosilni drog konzolno vpet v podlago ali pa členkasto. V našem primeru se odločimo za členkasto različico. Izberemo standardizirani profil HEB. Pomembno pri tem je, da izberemo zadostni prerez nosilca, ki bo lahko vzdržal silo v najslabšem primeru, da skala zadane nosilec ravno pod pravim kotom.



$$m_{\text{skale}} = 2000 \text{ kg}$$

$$v_{\text{skale}} = 20 \text{ m/s}$$

$$\Delta t = 1 \text{ s}$$

$$h = 3 \text{ m.}$$

Velja, da se gibalna količina ohranja:

$$\Delta G = m \cdot \Delta \vec{v} = \vec{F} \cdot \Delta t \quad (20)$$

$$\text{Torej je: } \vec{F} = \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{2000 \cdot 20}{1} = 40 \text{ kN.}$$

Nosilec mora prenesti strig in upogib tam, kjer je najbolj neugodno obremenjen s prečno silo F in je moment največji (torej na sredini):

$$M_{sd} = \gamma_s \cdot \frac{F \cdot h}{4} = 1,5 \cdot \frac{40 \cdot 3}{4} = 45 \text{ kNm}, \quad \text{faktor varnosti } \gamma_s = 1,5. \quad (21)$$

Izbira potrebnega prereza:

$$M_{sd} \leq \frac{W_{def} \cdot f_y}{\gamma_{MO}} \rightarrow W_{pot} = \frac{M_{sd} \cdot \gamma_{MO}}{f_y} = \frac{45 \cdot 1,1}{27,5} = 1800 \text{ cm}^3 \quad (22)$$

$f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^3$ (konstrukcijsko jeklo S 275) in $\gamma_{MO} = 1,1$.

Izberem profil HEB 320 (320×300mm), ki ima odpornostni moment $W_y = 1930 \text{ cm}^3$.

Povezovalna jeklena vrv

Vrv, ki povezuje drogove med seboj in na katero je pritrjena mreža, mora prenesti določeno natezno obremenitev, ki je najbolj neugodna, če skala zadene točno vanjo. Uporabimo enačbo 16 in predpostavimo, da je čas ustavitve skale $\Delta t = 2\text{s}$.

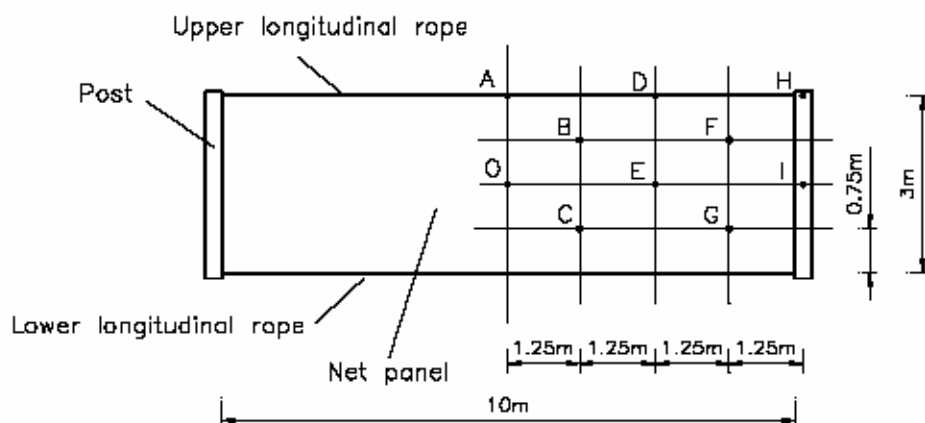
$$\vec{F} = \frac{m \cdot \Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{2000 \cdot 20}{1,5} = 20 \text{ kN}$$

je torej maksimalna natezna obremenitev, ki jo mora prenesti povezovalna jeklena vrv.

Izberemo jekleno pleteno vrv tip ANT (133 žic, 19×7, premer 18 mm, nat. trdnost $\sigma_s = 1970 \text{ kN/mm}^2$), ki ima skupno minimalno natezno obremenitev 24,3 kN (Marmet, 2006). Rezultat je primerljiv z navedbami v literaturi (Peila et al., 1998). Povezovalne vrvi je potrebno sidrati.

Dinamična mreža

Zelo smiselno se je vprašati, kje v podajni mreži je najbolj šibko mesto, kamor lahko padajoča skala zadene in da smo na to šibko mesto najbolj pozorni. Iz poskusov s skalami okrogle oblike in premeri 0,3; 0,75 in 1,3 m so ugotovili (Cazzani et al., 2002), da je to nekoliko odvisno od velikosti skale.



Slika 16: Točke morebitnega trčenja skale v pregrado (Cazzani et al., 2002).

Pri manjših premerih skal lahko mreža prenese večje hitrosti trka, pri večjih pa manjše hitrosti. Ravno nasprotno velja to za kinetično energijo. Vendar drži, da so najbolj kritična mesta ravno C, D, E, F, G in I. Največ obremenitve pa preneseta poziciji A in H.

Obročki v mreži so po priporočilih proizvajalca (preglednica 10) premera 300 mm in izdelani iz 3 mm debele jeklene žice z natezno trdnostjo $\sigma_s = 1770 \text{ kN/mm}^2$.

Napenjalne vrvi

Napenjalne vrvi, s katerimi pritrdimo pregrado preko sider v podlago, morajo prav tako prenesti natezne obremenitve, ko so le-te največje.

Pri največji obremenitvi in predpostavljene času disipacije $\Delta t = 3 \text{ s}$ velja:

$$\vec{F} = \frac{m \cdot \Delta v}{\Delta t} = \frac{2000 \cdot 20}{3} = 13,3 \text{ kN}.$$

Najbolj neugoden primer je udarec skale na zgornji rob pregrade, saj je s tem moment največji in tudi sila, ki jo mora prevzeti napenjalna vrv. Vsak drog lahko sidramo z eno ali dvema vrvema, ena ima prednost, ker je manjša verjetnost, da jo bo skupila zaradi padajoče skale.

Če se odločimo za sidranje vsakega droga z dvema vrvema zadaj (predpostavljamo pod največjim kotom $\phi = 45^\circ$ in da skala zadane zgornji rob) in morda eno vrvjo spredaj, pomeni, da mora vsaka vrv prevzeti eno četrtino te sile $F_1 = F/4 = 3,3 \text{ kN}$.

$$\cos \varphi = \frac{F}{F_{1dej}} \rightarrow F_{1dej} = \frac{F}{\cos \varphi} = \frac{3,3}{\cos 45^\circ} = 4,7 \text{ kN} \quad (23)$$

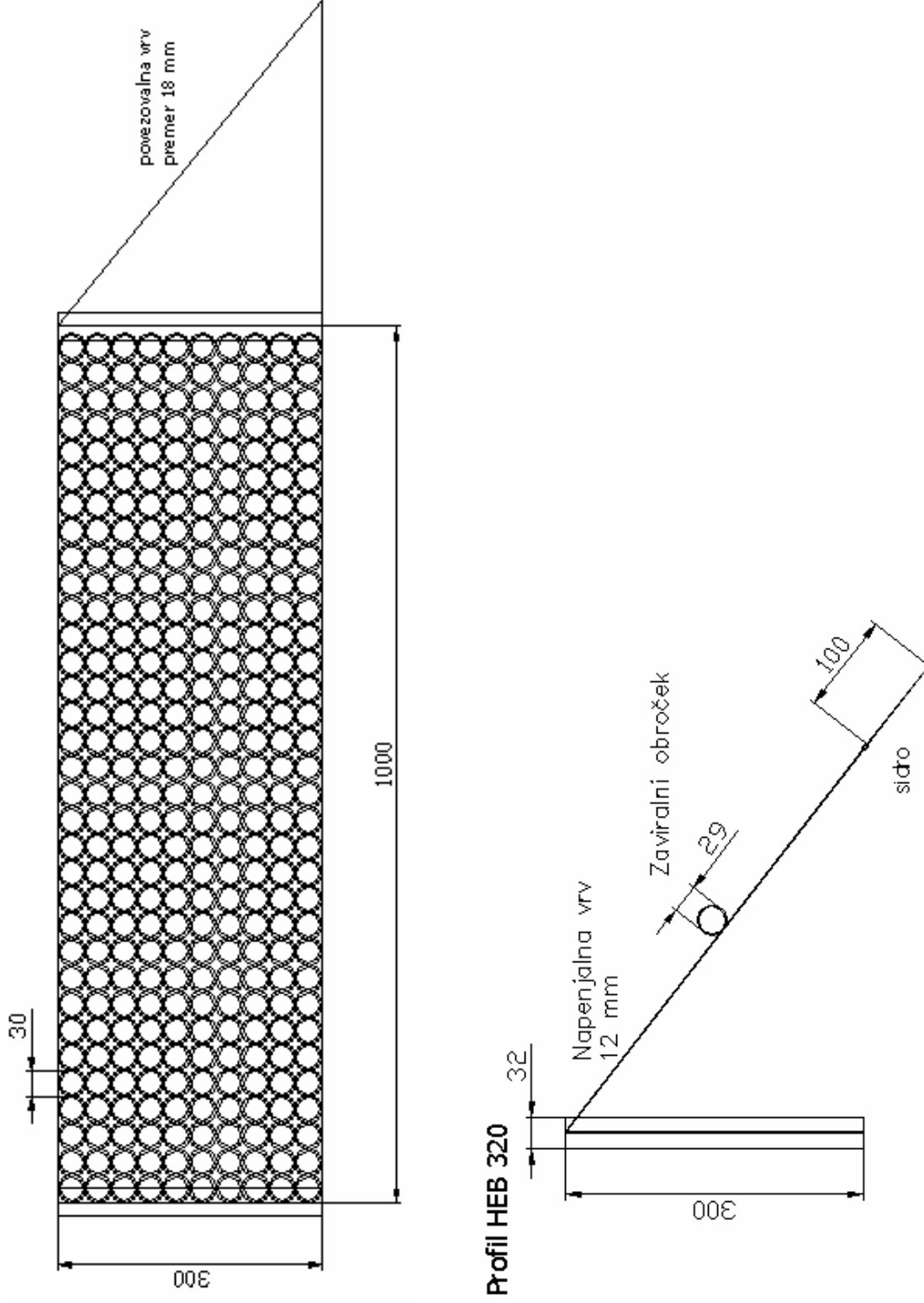
Izberem jekleno vrv tip ANT (133 žic, 19×7, premer 10 mm, nat. trdnost $\sigma_s = 1770 \text{ kN/mm}^2$), ki prenese obremenitev 6,5 kN.

V primeru, ko za sidranje vsakega droga uporabimo samo eno vrv, pa mora le-ta prenesti dvojno obremenitev, torej $F_{2dej} = 9,4 \text{ kN}$. Izberem tip ANT (premer 12 mm, nat. trdnost $\sigma_s = 1770 \text{ kN/mm}^2$), ki prenese obremenitev 9,8 kN.

Če želimo zmanjšati prerez napenjalnih vrvi ali izboljšati njihovo učinkovitost, lahko uporabimo posebne zaviralne obroče (angl. brake rings, fotografija 13, pogl. 6.3), ki se pri določenem nategu deformirajo in s tem absorbirajo nekaj natezne obremenitve.

Sidra

Sidra so zelo pomemben element pri zagotavljanju zaščite s podajnimi mrežami, saj morajo vse natezne sile prenesti v podlago. V našem primeru mora vsako sidro prenesti približno 10 kN sile. Za takšno obremenitev lahko uporabimo zelo preprosta sidra s premerom vsaj 40 mm, ki jih umestimo približno 1 m globoko (Muhunthan et al., 2005). Širina ušesa naj bo okoli 80 mm (Geobrugg, 2003, slika 4).



Slika 17: Izris dinamične pregrade z izračunanimi vrednostmi (podpoglavje 9.2.2).

10 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi je večji del namenjen varstvu pred podornimi pojavi in padajočim kamenjem. Dejstvo je, da so ti pojavi prisotni v našem prostoru, še posebno se tega zavedamo zadnjih nekaj deset let, ko je življenjski prostor postal bolj omejen in dragocen. Proučevanje in razumevanje vzrokov in posledic podornih pojavov je zelo pomembno za zmanjšanje ogroženosti na določenem področju.

Nekatera območja v našem prostoru so zelo ogrožena in jasno je, da se je gradnji objektov na teh območjih najbolje izogniti, vendar so določeni objekti (npr. linijski kot ceste, železnice ali bivalni objekti), ki jih praviloma ne moremo preseliti na drugo lokacijo. Zato jih moramo nekako varovati. Varstvo pred tovrstnimi pojavi se lahko vrši z določanjem nevarnosti in ogroženosti na določenih območjih, nato se sprejmejo določeni varstveni ukrepi, ki so lahko v obliki načrtovanja v prostoru, varovanja objektov v primeru dogodka ali pa nujni ukrepi v sili, ko se je dogodek že pripetil. Inženirsko je verjetno najbolj zanimiva druga faza, ki vključuje konkretno postavljanje varstvenih objektov.

Ko ugotovimo nestabilnost skal na nekem pobočju, nas zanima predvsem velikost in hitrost padajočih skal in pa doseg podora. Danes imamo na voljo veliko računalniških modelov, vendar pa je še vedno najpomembnejši terenski ogled in ocena dosega padajočih skal. Da bi lahko simulirali podor, potrebujemo najprej geometrijo (profil) terena in pa podatke od velikostih skale in lastnosti podlage. Običajno je tako, da je potrebno pri simulaciji uporabiti povratno analizo (tj. preveriti rezultate z indikatorji v naravi), šele ko dobimo dovolj verodostojne rezultate, lahko predvidimo zaščitne ukrepe oz. objekte.

Da bi lahko praktično preveril delovanje simulacijskega programa in določil ogroženost v prostoru, je bilo kot podorno izbrano pobočje v vasi Brezno (občina Podvelka) v dolini reke Drave. Z računalniškim programom je mogoče simulirati veliko število skal, ki se gibljejo v obliki padanja, kotaljenja ali drsenja. V danem primeru prevladuje kotaljenje. Kot rezultat dobimo izrisane krivulje skupne kinetične energije in odbojev skal od pobočja. Diagrami dokazujejo, da prisotnost gozda na pobočju resnično deluje varovalno, saj zmanjšuje kinetično energijo in zaustavi velik delež (50 %) premikajočih se skal. Debelina dreves na pobočju tudi

pomembno vpliva na doseg podora, saj v povprečju debelejša drevesa zadržijo več skal. Oblika skal (pri enakem volumnu) v danem primeru bistveno ne vpliva na velikost energije ali dosega podora.

Po interpretaciji rezultatov (kinetična energija in doseg posameznih skalnih blokov) bi lahko trdil, da so stanovanjski objekti v območju srednje ogroženosti, z namestitvijo dinamičnih podajnih mrež, kot sledi predlog v nadaljevanju, pa bi lahko območje izboljšal v šibko ali celo nično ogroženost. Dinamične pregrade so dimenzionirane glede na rezultate simulacije in terenskega ogleda.

11 LITERATURA

- Atlas Slovenije, 2005: Geodetska zavod RS. Mladinska knjiga. 4. prenovljena izdaja. Ljubljana. 456 str.
- BUWAL, BWW, BRP. 1997: Berücksichtigung von Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamem Tätigkeiten (Upoštevanje nevarnosti masnega gibanja pri dejavnostih, ki vplivajo na prostor). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bern: 42 str. <http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/d/pdf/310023d.pdf>
- 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.
- CAN, 2006: <http://www.can-sa.com/>
- Cazzani, A., Mongiovi, L., Frenez, T. 2002: Dynamic finite element analysis of interceptive devices for falling rocks. *International journal of rock mechanics and mining science* 39. *International journal of rock mechanics and mining sciences* 39: 303 - 321.
- Coch, N. K. 1995: Geohazards: natural and human (Geološke nevarnosti: naravne in človeške). str. 233 – 256. Prentice Hall, New Jersey. 481 str.
- Dikau, R.; Brunsden, D.; Schrott, L.; Ibsen, M. 1996: Landslide recognition (Prepoznavanje zemeljskih udorov). Wiley, England. 251 str.
- Dorren, L.K.A. 2003: A review of rockfall mechanics and modelling approaches. *Progress in Physical Geography* 27,1: 69-87.
- Dorren, L.K.A., Seijmonsbergen, A.C. 2003: Comparison of three GIS-based models for predicting rockfall runout zones at a regional scale. *Geomorphology* 56 (1-2): 49-64.
- Dorren, L.K.A., Berger, F., Putters, U.S. 2006: Real-size experiments and 3-D simulation of rockfall on forested and non-forested slopes. *Natural hazards and earth system sciences*, 6 : 145-153.
- Đurović, B. 2004: Določanje podorne ogroženosti prostora. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 187 str.
- Đurović, B., Ribičič, M., Mikoš, M. 2005: RHDM postopek analize potencialne ogroženosti zaradi odlomne nevarnosti. *Geologija* 48/1: 33- 51.

- Durović, B., Mikoš, M. 2006: Ali smo ogroženi kadar tvegamo? Pojmi in izrazje teorije tveganj zaradi naravnih, geološko pogojenih nevarnosti. *Are we under threat when we risk? Notions and terminology of risk theory due to geological hazards*. Geologija 49/1: 151 - 161.
- Embleton, C. & C. 1997: Geomorphological hazards of Europe (Evropske geomorfološke nevarnosti). Elsevier Science. 524 str.
- Erismann, T. H.; Abele, G. 2001: Dynamics of rockslides and rockfalls (Dinamika plazov in podorov). Springer – Verlag. Berlin. 307 str.
- Fang, Hsai-Yang 1997: Introduction to environmental geotechnology (Uvod v okoljsko geotehnologijo). CRC Press. New York. 652 str.
- Ferlan, M., Mikoš, M. 2002: Naravne nesreče in premoženjsko zavarovalništvo. Nesreče in varstvo pred njimi. Ljubljana. Uprava RS za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo, str. 545-552.
- Geobrugg, 2003: Geobrugg protection systems, catalogue. Fatzer AG. Romanshorn. 116 str.
- Geobrugg, 2006: <http://www.geobrugg.com/>
- Geodetska uprava republike Slovenije, 2006: Podatki geodetske službe. Ljubljana. Temeljni topografski načrt v merilu 1:5000 za področje Brezno.
- Gerrard, A. J. 1988: Rocks and Landforms (Skale in zemeljske oblike). Unwin Hyman. London, str. 107-136.
- Higra d.o.o. 2005: Odstranitev kamnitega podora v Breznem, v občini Podvelka. Projektno poročilo. 9 str.
- Interaktivni naravovarstveni atlas, 2006: <http://kremen.arso.gov.si/nvatlas>
- Janod, 2006: <http://www.janod.biz/>
- Lumsden, G. I. 1994: Geology and the environment in western Europe (Geologija in okolje v zahodni Evropi). Clarendon press. Oxford. str. 139 – 201.
- Maccaferri, 2006: <http://www.maccaferri.com/>
- Marmet, 2006: Tabela jeklenih vrvi. <http://www.marmet.si/jeklene-vrvi.htm>
- Mikoš, M. 1995: Soodvisnost erozijskih pojavov v prostoru. Gozdarski vestnik, 53, 9: 342–351.
- Mikoš, M. 1997: Ocena ogroženosti alpskega sveta z naravnimi ujmami. Gradbeni vestnik, 46: 2-7.
- Mikoš, M. 2000: Izrazje na področju erozijskih pojavov. Gradbeni vestnik, 49, 5: 102–114.

- Mikoš, M., Petje, U., Ribičič, M. 2006: Application of a rockfall simulation program in an alpine valley in Slovenia. Disaster mitigation of debris flows, slope failure and landslides, edited by Marui, H et al.; proceedings of the INTERPRAEVENT international symposium, September 25 – 29, 2006 in Niigata, Japan. Universal academy press – Tokyo, JP. str.199 - 211.
- Muhunthan, B., Shu, S., Badger, T.C., Grandorff, R. 2005: Load testing of anchors for wire mesh and cable net rockfall slope protection systems. *Engineering geology*, 79: 162–176.
- Natek, K. 2003: Geomorfologija. Študijsko gradivo za predmet geomorfologija. Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo. Ljubljana. 217 str.
- Pavšek, M. 1994: Skalni podor v Trenti. *Ujma*, 8: 24 – 29.
- Pavšek, M. 1996: Skalni podor na Velikem Mangartu. *Ujma*, 10: 67 – 69.
- Peila, D., Pelizza, S., Sassudelli, F. 1998: Evaluation of behaviour of rockfall restraining nets by full scale tests. *Rock mechanics and rock engineering*, 31 (1): 1 – 24.
- Perret, S., Dolf, F., Kienholz, H. 2004: Rockfalls into forests: Analysis and simulation of rockfall trajectories – considerations with respect to mountainous forests in Switzerland. *Landslides* 1: 123 – 130.
- Petje, U. 2005: Analiza nevarnosti padajočega kamenja na cestah v alpskem prostoru. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, magistrska nal. št. 184, Ljubljana. 242 str.
- Petje, U., Mikoš, M., Majes, B. 2005a: Modeliranje skalnih podorov – pregled (modelling of rockfalls – review). *Acta hydrotechnica*, 23/38: 19 – 39.
- Petje, U., Ribičič, M., Mikoš, M. 2005b: Computer simulation of stone falls and rockfalls (računalniško simuliranje skalnih odlomov in podorov). *Acta geographica Slovenica*, 45: 93 – 120.
- Petje, U., Mikoš, M., Majes, B. 2006: Gibanja skalnih gmot po pobočjih. Poslano v objavo za revijo *Geologija*.
- Ribičič, M. 2002: Inženirska geologija I, II skripta. Univerza v Ljubljani, Naravoslovno - tehniška fakulteta, Oddelek za montanistiko.
- Spang, R.M. 2001: Rockfall 6.1. Rockfall simulation program, Manual.
- SSKJ, 1994: Slovar slovenskega knjižnega jezika. Državna založba Slovenije. Ljubljana
- Vertec Contractors Inc. 2006: <http://www.verteconractors.biz/>

- Vidrih, R., Ribičič, M. 1999: Posledice potresa v naravi. Ujma, 13: 107 – 116.
- Vrhovec, T. 2003: Odmrzovanje permafrosta in podori v visokih alpskih stenah (Thawing of permafrost and landfalls in high alpine mountains). Ujma, 17-18: 201 - 207.
- Zakon, 1994: Zakon o varstvu pred naravnimi in drugimi nesrečami Uradni list republike Slovenije, št. 64/94, 87/01. Državni zbor, Ljubljana.
- Zakon, 2002: Nacionalni program varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Uradni list republike Slovenije, št. 44/02. Državni zbor, Ljubljana.
- Zorn, M. 2001: Gorski relief kot posledica skalnih podorov. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za geografijo: 131. str.
- Zorn, M. 2002a: Podori na Dobraču (Rock-falls on Mt. Dobratsch). Geografski vestnik, 74, 2: 9 - 20.
- Zorn, M. 2002b: Rockfalls in Slovene Alps (Podori v Slovenskih Alpah). Geografski zbornik, XLII: 123 – 160
- Zorn, M., Komac, B. 2002: Pobočni procesi in drobirski tok v Logu pod Mangartom Geografski vestnik, 74, 1: 9 - 23.
- Zorn, M. 2003: Nekateri večji skalni podori v Alpah (Some larger rock falls in the Alps). Ujma, 17-18: 241 - 250.
- ZRC SAZU, 2000: Vegetacijska karta gozdnih združb Slovenije v merilu 1:400000.
<http://www.zrc-sazu.si/www/bi/vkarta/>
- ZRC SAZU, 2006: Atlas Slovenije. Zbirka digitalnih tematskih zemljevidov.
http://www.zrc-sazu.si/moa/karte__.htm