



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA INFRASTRUKTURO

TEHNIČNA SPECIFIKACIJA TSG-211-XXX: 2025 212-XXX: 2025

Ministrica za infrastrukturo na podlagi 13. člena Zakona o cestah (Uradni list RS, št. 132/2022, 140/22 – ZSDH-1A, 29/23 in 78/23 - ZUNPEOVE) in šestega odstavka 50. člena Zakona o varnosti v železniškem prometu (Uradni list RS, št. 30/18 in 54/21) izdaja tehnično specifikacijo

GEOTEHNIKA

Projektiranje tehničnih ukrepov za zaščito infrastrukturnih objektov pred skalnimi podori, padajočim kamenjem in snežnimi plazovi

TSPI – PGV.14.XYZ: 2025

Ministrica za infrastrukturo
mag. Alenka Bratušek

Številka:
Ljubljana,

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

VSEBINA

1	Predmet tehnične specifikacije	3
2	Pomen izrazov	4
3	Simboli in kratice.....	7
4	Uporabljeni standardi.....	8
5	Izhodišča in temeljne preiskave	9
5.1	Določitev območja obravnave	9
5.2	Geodetske in topografske podlage - Brezkontaktni zajem podatkov.....	9
	Brezkontaktni zajem podatkov (3D snemanje) se izvaja na dva načina, in sicer:.....	10
5.2.1	3D snemanje večjih površin za potrebe modeliranja in projektiranja zaščitnih ukrepov na zalednih pobočjih	11
5.2.2	3D snemanje skalnih žarišč za potrebe IG stabilnostnih analiz	12
5.3	Inženirsko geološke podlage in preiskave	13
5.3.1	SKLOP 1 - Splošne morfološke, geološke in druge značilnosti terena	15
	VIRI, PRIPOROČENA LITERATURA, RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:.....	16
5.3.2	SKLOPA 2 in 3 - IG kartiranje in preiskave (2), Določitev žarišč proženja skalnih teles	16
(3)	16	
5.3.3	SKLOPA 4 in 5 - Določitev IG značilnosti kamninske mase (4), Meritve diskontinuitet	19
(5)	19	
5.3.4	SKLOP 6 - Geomehanske lastnosti kamnine	20
5.3.5	SKLOPA 7 in 8 - Analize diskontinuitet (7), Kinematična analiza (8).....	21
5.3.6	SKLOP 9 - Klasifikacija in opis kamninske mase	23
5.3.7	SKLOP 10 - Analize stabilnosti obstoječih porušitev in možnih porušitev .	25
5.3.8	SKLOP 11 - Zgodovina in opis predhodnih dogodkov.....	27
5.3.9	SKLOP 12 - Umerjanje modela gibanja skalnih teles	28
5.3.10	SKLOP 13 - Določitev vhodnih podatkov za modeliranje gibanja skalnih teles po pobočju	30
5.3.11	SKLOP 14 - Izdelava IG poročila s predlogom sanacijskih ukrepov in variantnih rešitev	31
5.4	Snežni plazovi in ocena lavinske nevarnosti	32
SKLOP 1.	Osnove snežnih plazov	33
SKLOP 2.	Pregled lavinske nevarnosti	39
SKLOPA 3 IN 4.	Pregled ožjega lavinskega območja in meritve dejavnikov snežnih plazov	39
SKLOP 5.	Izdelava elaborata lavinske nevarnosti s predlogi ukrepov varstva in zaščite pred snežnimi plazovi	40
6.0	Dimenzioniranje in umeščanje varovalnih ukrepov.....	41
6.1	Varovalni ukrepi na brežinah ob infrastrukturnih objektih.....	41
SKLOP 1.	Stabilizacijski ukrepi na vkopni brežini in žariščih odlamljanja kamenja	42
SKLOP 2.	Površinska stabilnost skalne brežine.....	43

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

SKLOP 3.	Globalna stabilnost skalne brežine – sidranje blokov	44
6.2	Ukrepi za ustavljanje padajočih skal in kamenja	50
SKLOP 1.	Določevanje karakteristik skalnih podorov – modeliranje	52
SKLOP 2.	Tridimenzionalno modeliranje	52
SKLOP 3.	Dvodimenzionalno modeliranje	53
SKLOP 4.	Dimenzioniranje in umeščanje ukrepov	53
SKLOP 5 - Vrste lovilnih ukrepov		57
	Gradbeno tehnični ukrepi	64
6.3	Ukrepi za varovanje pred snežnimi plazovi	64
SKLOP 1	Ukrepi za oporo snežni odeji	64
	Določitev statične odpornosti in stabilnosti ukrepov	65
	Določitev višine ukrepov (Dk)	66
	Določitev dejavnika drsenja (N)	66
	Določitev razmika med linijami ukrepov (razdalja med objekti po padnici pobočja)	67
	Določitev bočne razdalje med objekti v vrsti	70
SKLOP 2	Ukrepi za preusmeritev, upočasnjevanje in ustavljanje snežnih	
plazov		70
SKLOP 3	Ukrepi za proženje snežnih plazov z eksplozivnimi sredstvi	71
7	Projektna dokumentacija	71
7.1	DPP	71
7.2	IZN, DGD in PZI	71
7.3	PID, INiD	72
7.4	NOV	73
8	Standardne in nestandardne postavke – popis del	73
9	Merila skladnosti	74
10	Prezemanje gradbenih proizvodov ob dostavi na gradbišče	74
11	Notranja in znanja kontrola kakovosti	75
11.1	Predmet notranje in zunanje kontrole	75
	Gradbeni proizvodi	75
	Gradbena dela in tehnološki postopki	75
12	Referenčna dokumentacija	75
13	Literatura	75

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**1 Predmet tehnične specifikacije**

Osnovno izhodišče za izvedbo ukrepov za zaščito infrastrukturnih objektov pred skalnimi podori, padajočim kamenjem in snežnimi plazovi je evidenca o preteklih tovrstnih dogodkih, s katerimi razpolagajo posamezni upravljavci infrastrukturnih objektov.

Prioriteto odsekov ali pododsekov infrastrukture za izvedbo ukrepov za zaščito pred skalnimi podori, padajočim kamenjem in snežnimi plazovi določi upravljavec infrastrukture na podlagi meril, orodij in postopkov, oziroma na podlagi metodologij za kvalitativno analizo ogroženosti.

Rezultat kvalitativne analize ogroženosti je pogoj za odločitev, kje in kako hitro pristopiti k izvedbi ukrepov za zaščito in kje ti ukrepi niso smiselni in upravičeni.

Predmet te tehnične specifikacije so usmeritve za izdelavo projektne dokumentacije za izvedbo ukrepov za zaščito pred skalnimi podori, padajočim kamenjem in snežnimi plazovi na vseh tistih območjih, ki izkazujejo dejansko nevarnost, opredeljeno na podlagi meril.

Tehnična specifikacija opisuje ključne postopke za izdelavo:

- poročila o preiskavah tal - Inženirsko geološke (IG) preiskave in analize za potrebe projektiranja tehničnih ukrepov za različne nivoje projektne dokumentacije,
- poročila o lavinski nevarnosti - Analize lavinske nevarnosti za potrebe projektiranja tehničnih ukrepov,
- projektne dokumentacije zaščitnih ukrepov za nivoje DPP, DGD, PZI oz. IzN, PID in NOV.

Smernice so namenjene inženirsko geološkim in lavinskim raziskavam za pridobitev osnovnih IG in geomehanskih karakteristik materialov ter lavinskih razmer na obravnavanem območju, ki so potrebne za projektiranje tehničnih ukrepov za zagotavljanje prometne varnosti pred skalnimi podori, padajočim kamenjem in snežnimi plazovi na infrastrukturne objekte.

Do skalnih podorov lahko pride na umetnih ali naravnih brežinah ob infrastrukturnem objektu (obcestnih brežinah) ali višje na strmem zaledju iz naravne skalne brežine (zalednih pobočjih), ki je zaradi eksogenih sil podvržena preperevanju in pojavu izpadanja kamenja.

Proučevanje, kartiranje in sanacija skalnih podorov in padanja skalnih teles je veja inženirske geologije (IG) in mehanike hribin (MH), v kateri so bili razviti posebni specifični postopki pri izvedbi preiskav, ki večinoma niso značilni za standardne raziskave v IG in MH.

Značilnosti porušitvenih procesov so:

- Dogajajo se v večinoma kompaktnih kamninah (hribinah), ki so prekinjene z diskontinuitetami oziroma razpokami, ki tvorijo skalne bloke različnih dimenzij in oblik.
- Nenadna nenapovedana sprožitev - izpad posameznega bloka ali večjega števila blokov kot skalni podor,
- Nastanek različnih tipičnih vrst porušitev, ki so odvisne od prostorskega geometrijskega položaja diskontinuitet (razpok), števila sistemov, razdalje med njimi, trenja na stičnih ploskvah in drugih lastnosti diskontinuitet in razpoklinskih sistemov.
- Geomehanske lastnosti intaktne kamnine minimalno vplivajo na nastanek porušitve (v trdnejših kamninah so ti pojavi še pogostejši).
- Proces porušitve je dinamični in kinetični dogodek, pri čemer ločimo tri korake:
 - (1) začetni zdrs posameznega ali hkrati več kamninskih teles iz mesta sproženja,
 - (2) kotaljenje in odskakovanje blokov po brežini ali pobočju – območje gibanja skalnih teles,
 - (3) ustavitev izpadlega bloka ali več blokov na območju ustavljanja.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- Za proučitev vsakega od naštetih korakov so razvite posebne raziskovalne metode in postopki in projektni pristopi.
- Glede na rezultate analize vseh treh korakov: proženja, gibanja in ustavljanja skalnih teles so razviti posebni temu ustrezni sanacijski postopki.

Tehnična specifikacija vsebuje postopkovne diagrame za obravnavo posameznih sklopov, ki jih obravnava.

Vsebine te TSPI ni mogoče tolmačiti in izvajati na takšen način, ki bi preprečeval ali pogojeval ustrezno uporabo gradbenih proizvodov, danih v promet v skladu z zahtevami Zakona o gradbenih proizvodih.

2 Pomen izrazov

Izrazi, uporabljeni v tej tehnični specifikaciji, imajo naslednji pomen:

Bafer (buffer, Buffer)

Vmesno območje, pas, koridor, območje evklidske oddaljenosti - stalne širine okoli geometričnega objekta oziroma poligona posameznega ali skupine snežnih plazov. Na ta način lahko določimo širše vplivno območje snežnih plazov od dejanskega (znanega) ali modelsko določenega

Brezkontaktni zajem prostorskih podatkov – Zajem podatkov terena z brezpilotnimi letalniki z digitalnim fotoaparatom ali laserjem ob preletu obravnavanega območja. Na podlagi tako pridobljenih podatkov se izvedejo izračuni oblaka točk, 3D model terena in digitalni ortofoto načrt.

Diskontinuiteta (discontinuity, Diskontinuität)

Diskontinuiteta so prekinitev prekinitev v intaktni homogeni kamnini (hribini).

Fotogrametrija (photogrammetry, Photogrammetrie)

Fotogrametrija se ukvarja s pridobivanjem metričnih podatkov iz fotografij, posnetih iz zraka ali s tal. Med metrične podatke sodijo podatki o položaju, obliki in velikosti pojavov in objektov, ki so prikazani na posnetku. Poleg metričnih podatkov pa fotogrametrija omogoča pridobivanje tudi nemetričnih podatkov, med katere sodijo podatki o lastnostih, stanju in vrsti izbranega objekta.

Geodetski načrt (geodetic plan, Geodätischer Plan)

Geodetski načrt je eden pomembnejših geodetskih izdelkov in predstavlja osnovo za izdelavo planske, projektne in tehnične dokumentacije za posege v prostor. V njem so po kartografskih pravilih in pomanjšanem merilu prikazane fizične strukture (naravni in grajeni objekti) in pojavi na zemeljskem površju, nad in pod njim, podatki iz uradnih evidenc ter drugi podatki. Gre za prikaz dejanskega stanja v času terenske izmere, na katerem so neposredno izmerjeni podatki in podatki iz uradnih evidenc.

Heterogena kamnina (heterogeneous rock, heterogenes Gestein)

Kamnina različne litološke sestave z različnimi trdnostnimi lastnostmi.

IG enota (IG unit, IG Einheit)

Območje zgrajeno iz kamnin s podobnimi IG značilnostmi (fizikalnimi karakteristikami zemljine in kamninske mase, stabilnostnimi razmerami,...)

Intaktna kamnina (intact rock, intakter Fels)

Nepretrta kamnina med diskontinuitetami znotraj kamninske mase. Bloki intaktne kamnine med diskontinuitetami so lahko veliki od nekaj centimetrov do nekaj metrov.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**Povratno modeliranje** (inverse modeling, inverse Modellierung)

Stabilnostna analiza že obstoječe porušitve kamnine po diskontinuitetah ali umerjanje modela gibanja skalnega bloka po znani trajektoriji z upoštevanjem mesta zaustavitve.

Kamen (stone, Stein)

Blok ali kos kamnine, v velikosti med 63 in 200 mm.

Kamnina (rock, Fels)

Trdni sestavni del zemeljske skorje, zgrajen iz v naravi nastopajočih mineralnih zrn, ki so med seboj različno vezana oz. cementirana.

Kamninska masa (rock mass, Gestein)

Bolj ali manj pretrta kamnina z diskontinuitetami, ki pogojujejo njene fizikalne karakteristike.

Kamninski zdrs (rock slide, Felsgleiten)

Odlom razpokane kamnine po neugodno usmerjenih razpokah.

Lavina (lavina, Lawine)

Snežni plaz.

Masivna kamnina (massive rock, massiger Fels)

Trdna kamnina brez diskontinuitet, npr. grebenski apnenec.

Napoka (Crown, Lawinenanbruch)

Odlomna ploskev ali zgornja točka plazu, kjer se snežna odeja odlepi od podlage

Oblak točk (point cloud) (point cloud, Punktwolke)

Oblak točk je rezultat laserskega skeniranja ali aero-fotogrametričnega snemanja. Vsaka točka v oblaku vsebuje xyz koordinato v koordinatnem sistemu.

Območje poti gibanja kamna (rockfall travel path, Sturzbahn)

Pot od žarišča odloma kamnja do območja ustavljanja.

Območje proženja ali primarno žarišče (source zone, Ablösebereich)

Strma razpokana kamnita brežina, s katere se odlamljajo bloki kamnine.

Območje ustavljanja, depozitna cona (rockfall runout zone, Ablagerungsbereich)

Prostor pod pobočjem, kjer se ustavlja večina podornega kamnja.

Odlomna cona (Rockfall Source Area, Ablösebereich)

Širše območje s primarnimi žarišči.

Ortofoto (orthophoto, Orthofoto)

Ortofoto je aerofotografija, ki je z upoštevanjem podatkov o reliefu in absolutne orientacije aerofotografij pretvorjena v ortogonalno projekcijo. Izdelek je v metričnem smislu enak linijskemu načrtu ali karti.

Plast (strata, Schicht)

Osnovna geološka enota, sediment ali ploščasto kamninsko telo, ki ga od spodnje in zgornje plasti (kamnine) ločujeta leziki.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**Plastovitost** (bedded, Geschichtet)

V geološki preteklosti odloženi sedimenti v slojih, v plasteh ali skladih različnih debelin in značilnosti.

Plaznica (Avalanche path, Sturzbahn)

Pot snežnega plazu od napoke do čela plaznega stožca

Plazni stožec (Avalanche cone, Lawinenkegel)

V obliki stožca razlita lavinska plazina na koncu območja odlaganja plazu.

Plazovina (Avalanche deposit, Erdrutsch)

Splazela snežna gmota

Podajno lovilni sistem (flexible rockfall or snow protection kit, Steinschlagschutznetz oder Schneenetzt)

Na pobočju vgrajena (postavljena) podajna ograja, izvedena tako da izniči kinetično energijo skalne ali snežne mase, ki udari vanjo.

Prelom (fault, Störung)

Razpoka nastala zaradi premika kamnin

Primarno žarišče (primary source zone, primärer Ablösebereich)

Strma skalna brežina, kjer je možnost pojava kamninskih zdrsov in skalnih podorov.

Prostorski 3D zajem podatkov terena (Spatial 3D terrain data acquisition, Räumliche 3D-Geländedatenerfassung)

Daljinsko zaznavanje in zajem 3D prostorskih podatkov z metodami laserskega skeniranja in aerofotogrametrije.

Razpoka (crack, rock joint, Kluft)

je sinonim za diskontinuiteto v kamnini. Prekinitev v kamnini, ki je nastala zaradi tektonskih napetosti ali sedimentoloških sprememb ob nastanku kamnine.

Razpoklinski sistem (system of fissures, Kluftsystm)

Med seboj vzporedne razpoke, ki so nastale ob tektonskem delovanju na kamnino.

RINEX format (RINEX format (Receiver Independent Exchange Format), RINEX-Format (Empfängerunabhängiges Austauschformat))

je format za izmenjavo podatkov za neobdelane podatke satelitskega navigacijskega sistema. To uporabniku omogoča naknadno obdelavo prejetih podatkov za izdelavo natančnejših rezultatov snemanj.

Sedimentna kamnina (sedimentary rock, Sedimentgestein)

Kamnina, nastala z usedanjem organskih ali anorganskih delcev na dno mirujočih ali tekočih vod.

Sekundarno žarišče (secondary source zone, sekundärer Ablösebereich)

Labilni bloki že odlomljenega in premaknjenega kamenja zagazdeni na strmi brežini.

Skala (rock, Felsblock)

Monolitno kamninsko telo dimenzij večje od 20 cm in manjše od 63 cm.

Skalni blok (rock block, Felsblock)

Manjši: Monolitno kamninsko telo večje od 63 cm do 100 cm

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Večji: Monolitno kamninsko telo večje od 100 cm

Skalni podor (rockfall, Steinschlag)

Istočasno hitro (pospešeno) gibanje razsutega kamninskega materiala (iz kamnov, skal, in blokov) po pobočju pod vplivom gravitacije.

Snežna odeja (snow cover, Schneedecke)

Plast snega na površju.

Tehnologija laserskega skeniranja (Laser scanning technology, Laserscantechnologie)

Določevanje tridimenzionalnih oblik realnih objektov v našem okolju z laserjem in njihovo shranjevanje v digitalni obliki.

Trdnost (strength, Festigkeit)

Lastnost snovi, da se upira obremenitvi, npr. natezna trdnost, strižna trdnost, tlačna trdnost.

Zemljina (soil, Boden)

Površinski del terena, nastal s preperevanjem ali nanosom sestavljen iz sedimentov iz različno velikih mineralnih ter organskih delcev in koloidov, ki med seboj niso vezani ali cementirani.

3 Simboli in kratice

Kratika	Enota	Pomen oznake kratice
GSI		Geološki trdnostni indeks
IG		Inženirska geologija ali inženirsko geološki
PLS		Podajno lovilni sistem
MEL		Maksimalni energijski nivo (maximum energy level)
DPP		Projektna dokumentacija za pridobitev projektnih in drugih pogojev
DGD		Projektna dokumentacija za pridobitev mnenj in gradbenega dovoljenja
PZI		Projektna dokumentacija za izvedbo gradnje
IzN		Izvedbeni načrt
PID		Projektna dokumentacija izvedenih del
NOV		Navodila za obratovanje in vzdrževanje
GCP		Terestrične kontrolne točke
DTM		Digitalni model terena
GSP		Global Positioning System
DOF		Digitalni ortofoto
RINEX		Receiver Independent Exchange Format
3D		Trirazsežni, tudi tridimenzionalni prostor
LIDAR		Light Detection And Ranging
GNSS		Global Navigation Satellite System

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Simboli		Pomen oznake kratice
E_i	(MPa)	Modul elastičnosti intaktne kamnine
E_{rm}	(MPa)	Modul elastičnosti kamninske mase
m_i		Hoek&Brownova konstanta za intaktno hribino
σ_c	(MPa)	Enosna tlačna trdnost kamnine
$Is(50)$	(MPa)	Indeks točkovne trdnosti
C	[kPa]	Kohezija
f	[°]	Strižni kot
R_t		Tangencialni odbojni koeficient
R_n		Normalni odbojni koeficient

4 Uporabljeni standardi

- SIST EN ISO 14689-1_2018; Geotehnično preiskovanje in razvrščanje kamnin 1.del: Prepoznavanje in opisovanje
- SIST EN 14490:2010 Izvedba posebnih geotehničnih del – Pasivno sidranje
- ISO 14689:2017; Geotechnical investigation and testing — Identification, description and classification of rock
- Austrian Standards Institute, ONR 24810, Technical protection against rockfall - Terms and definitions, effects of actions, design, monitoring and maintenance, 2013
- EOTA, Guideline for European technical approval of falling rock protection kits (ETAG 027), February 2008
- TECHNICKÉ PODMIENKY Ochranné a stabilizujúce konštrukcie skalných svahov a zárezov na dopravných stavbách, STN 1.4.2020
- SIST EN 1997-1 Evrokod 7 – Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila
- SIST EN 1997-2 Evrokod 7 – Geotehnično projektiranje – 2. del: Preiskovanje in preskušanje tal
- EAD 230008-00-0106 Double twisted steel wire mesh reinforced or not with ropes (April 2016)
- EAD 230005-00-0106 Wire rope net panels
- EAD 230004-00-0106:11-2014 Wire ring mesh panels
- EAD 230025-00-0106 Flexible facing systems for slope stabilization and rock protection (June 2016)
- EAD 340109-00-0106 Flexible avalanche protection kit

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- Defense structures in avalanche starting zones, Federal Office for the Environment FOEN, Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Bern, 2007 (tehnična smernica)
- Rockfall protective measures, Part 4: Definitive and executive design, ITALIAN STANDARD
- SIST EN 16907-2:2019; Zemeljska dela – 2. del: Klasifikacija materialov
- SIST EN 14490:2010 Izvedba posebnih geotehničnih del – Pasivno sidranje
- EAD 230008-00-0106 Double twisted steel wire mesh reinforced or not with ropes (April 2016)
- TECHNICKÉ PODMIENKY Ochranné a stabilizujúce konštrukcie skalných svahov a zárezov na dopravných stavbách, STN 1.4.2020

5 Izhodišča in temeljne preiskave

Tehnične ukrepe, ki jih je treba izvesti za zaščito infrastrukturnih objektov pred skalnimi podori, padanjem kamenja in snežnimi plazovi, opisujemo v poglavjih:

- inženirsko geološke raziskave (IG) v kamninah na obravnavanem terenu nad infrastrukturnim objektom pod točko 5.3,
- raziskave snežnih plazov (lavinske raziskave) pod točko 5.4,
- dimenzioniranje in umeščanje sanacijskih ukrepov v prostor pod točko 6.

V točki 5.3 so opisane IG raziskave, ki na osnovi izvedenih študijskih, terenskih, kabinetnih in računalniško-modelnih preiskav in postopkov, podajo navodila in usmeritve za izdelavo končnega *Inženirsko geološkega poročila*, ki zajema predlog sanacijskih ukrepov, po potrebi z več variantnimi rešitvami.

V točki 5.4 so opisani pogoji, ki so potrebni za nastanek snežnih plazov in kako ocenimo lavinsko nevarnost glede na terenske razmere.

Točka 6 na osnovi IG ugotovitev o kamninski in lavinski nevarnosti na obravnavanem območju, podaja postopke, ki jih je treba izvesti za določitev dimenzioniranja sanacijskih ukrepov in njihovega umeščanja v prostor ob in nad infrastrukturnim objektom.

5.1 Določitev območja obravnave

Območje obravnave so brežine ob infrastrukturnem objektu in zaledna pobočja nad infrastrukturnim objektom. Območje obdelave se določi na podlagi analize tematskih kart, podatkov o zgodovini dogodkov, predhodnih terenskih ogledov in drugih razpoložljivih podatkov. Določiti je treba tvegana križanja infrastrukture z morebitnimi območji nevarnosti podorov in padajočega kamenja ter snežnih plazov.

5.2 Geodetske in topografske podlage - Brezkontaktni zajem podatkov

Geodetske in topografske podlage imajo pomembno vlogo pri terenskem kartiranju območij, kjer grozijo skalne porušitve, in pri kabinetni obdelavi na terenu pridobljenih podatkov. Za potrebe projektiranja zaščitnih ukrepov na vertikalnih brežinah ob infrastrukturi ali na posameznih skalnih žariščih v zaledju ter ukrepov na zalednih pobočjih je treba izdelati ustrezno geodetsko podlago, to

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

je geodetski načrt v skladu s Pravilnikom o geodetskem načrtu (Uradni list RS, št. 40/04) ter digitalni ortofoto (DOF). Vsebino in podrobnost geodetskega načrta definira naročnik glede na vsebino projektiranja. Poleg geodetskega načrta je treba zagotoviti prostorske 3D podatke terena, ki se jih zajame z uporabo brezkontaktnega zajema podatkov s tehnologijo terestričnega laserskega skeniranja, fotogrametrijo (aero ali terestrično) ali lidar snemanjem. Na podlagi brezkontaktno zajetih podatkov se generira oblak točk površine in digitalni ortofoto, ki sta osnova za izdelavo geodetskega načrta.

V nadaljevanju so podane splošne smernice/zahteve pri zajemu brezkontaktnih podatkov prostora, predvsem za metodo fotogrametrije.

Glede na vsebino projektiranja je v sklopu izvedbe brezkontaktnega zajema prostorskih podatkov po metodi aerofotogrametrije in analiz treba:

- Predhodno izvesti programiranje brezpilotnega plovila po vpadnem profilu terena oziroma na način, da bo možna prostorska analiza podatkov.
- Postaviti in geodetsko izmeriti terestrične kontrolne točke (GCP), ki se uporabijo za fotogrametrično obdelavo in kontrolo kakovosti podatkov digitalne fotogrametrije, v koordinatnem sistemu D96/TM.
- Snemanje izvesti tako, da bo možno posnetke pregledovati prostorsko oziroma glede na obliko in naklon terena in z vzporednim odmikom glede na profil terena. Kot snemanja mora biti glede na normalo terena med 45° in 90°, razen za previsne ploskve, ki se po potrebi posnamejo naknadno. Vzдолžno in bočno prekrivanje mora biti najmanj 80 %. To velja za vse fotografije, ki bodo uporabljene za izdelavo oblaka točk in ortofota. Položajna in višinska natančnost ortofota in oblaka točk mora biti v obsegu 75 % rezultatov boljša od 15 cm, kar pomeni, da mora 75 % podatkov (oblak točk in ortofoto) predstavljati dejansko obliko terena v koordinatnem sistemu D96/TM.
- Podatke sprejemnika GNSS na brezpilotnem plovilu je treba zapisati v formatu RINEX za naknadno obdelavo. Tako določene koordinate senzorja kamere morajo biti uporabljene v fotogrametrični obdelavi. Velikost slikovne pike na tleh mora biti takšna, ki je predpisana glede na potrebo projektiranja.
- Izračunati terenske meritve, generirati metrični oblak točk in izdelati digitalni ortofoto načrt.
- Surove in obdelane podatke, ki se jih uporabi za izdelavo oblaka točk in ortofota, v digitalnem mediju - oblak točk morajo biti v formatu *.las ali *.e57 in *.RCP/*.RCS (Autodesk Recap), ortofoto v formatu *.tif in *.tiff ali *.jpg.
- Končne podatke izdelati v državnem ravninskem koordinatnem sistemu D96/TM ter državnem slovenskem višinskem sistemu SVS2010 (SVS2010, datum Koper).
- Podatki morajo biti zajeti s takšno natančnostjo in točnostjo, da se lahko iz zajetih podatkov izdela geodetski načrt ter izrišejo karakteristični profili terena v različnih smereh.
- Za brezkontaktni zajem podatkov je glede na uporabljeno metodo zajema (fotogrametrija, laserski terestrični skener, lidar) treba uporabiti takšne senzorje in metode zajema, ki zagotavljajo predpisano končno natančnost podatkov. Pri terestrični fotogrametriji je tudi treba zagotoviti vzdolžno in bočno prekrivanje 80 % fotografij.
- Snemanje izvesti v času mirovanja vegetacije.

Brezkontaktni zajem podatkov (3D snemanje) se izvaja na dva načina, in sicer:

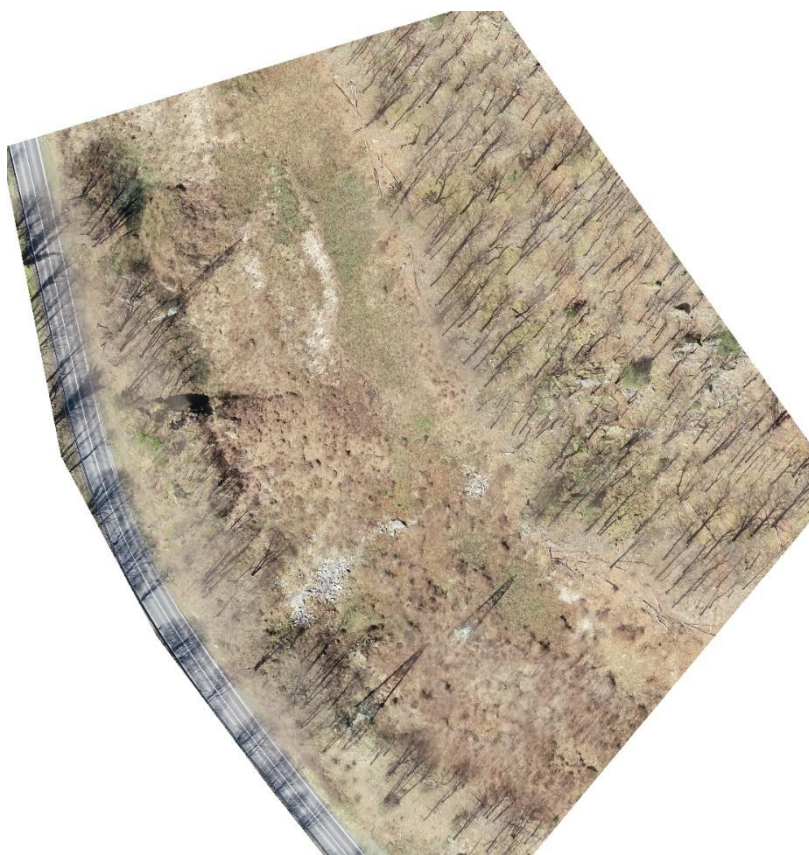
- za potrebe modeliranja in projektiranja zaščitnih ukrepov na večjih površinah, oz. na zalednih pobočjih (npr. za projektiranje podajno lovilnih sistemov),

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- za potrebe IG stabilnostnih analiz posameznih skalnih žarišč (npr. za analize diskontinuitet, kinematične analize).

5.2.1 3D snemanje večjih površin za potrebe modeliranja in projektiranja zaščitnih ukrepov na zalednih pobočjih

Za potrebe modeliranja in projektiranja ukrepov na večjih površinah zalednih pobočji se izvede brezkontaktni zajem prostorskih podatkov z brezpilotnim plovilom s tehnologijo digitalne fotogrametrije ali lidar tehnologije ter generira digitalni ortofoto in oblak točk na takem nivoju, da omogoča določitev posameznih potencialnih kritičnih žarišč v prostoru ter dimenzij potencialno



nevarnih blokov za primere projektiranja podajno lovilnih sistemov oziroma za izračune energij naletov skalnih blokov.

Brežine morajo biti zajete z dovolj veliko gostoto točk (teren vsaj 50 točk/m²), da se iz oblaka točk lahko določijo potencialna skalna žarišča, ki predstavljajo nevarnost.

Analiza podatkov brezkontaktnega zajema prostorskih podatkov mora zajemati:

- klasificiran oblak točk,
- filtrirani oblak točk terena brez vegetacije, objektov, itd...

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- digitalni model terena (DTM) 50 x 50 cm,
- DOF (digitalni ortofoto) z velikostjo slikovne pike na tleh do 3 cm,
- poročilo.

Slika 1: primer orto-fotogrametričnega posnetka brežine

5.2.2 3D snemanje skalnih žarišč za potrebe IG stabilnostnih analiz

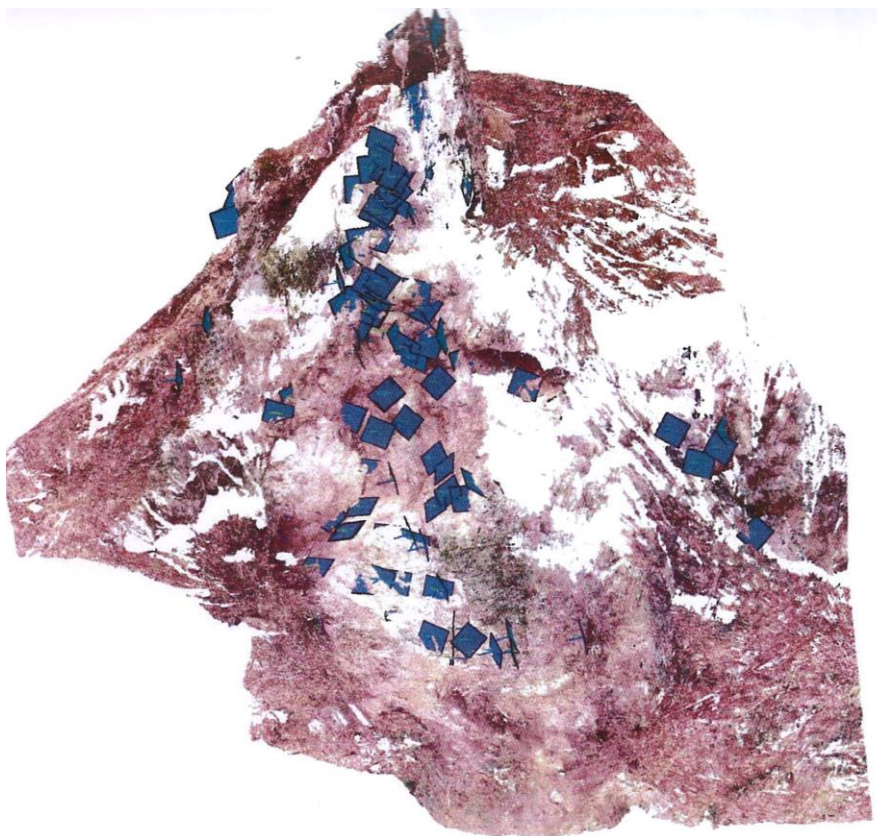
Za primere projektiranja sidranih mrež visoke natezne trdnosti na vertikalnih brežinah ob infrastrukturi ali na posameznih skalnih žariščih zalednega pobočja se izvede brezkontaktni zajem prostorskih podatkov z eno izmed tehnologij terestričnega laserskega skeniranja, aerofotogrametrije, terestrične fotogrametrije ali lidar tehnologije.

Snemanje se izvede v različnih smereh. Kot snemanja mora biti glede na normalo terena med 45° in 90°, razen za previsne ploskve, ki se jih posname ločeno. Iz posnetka oziroma generiranega oblaka točk morajo biti razvidne morfološke oblike brežin, tudi previsi.

Snemanje se izvede z dovolj veliko gostoto točk (več 1000 točk/m²), da se iz oblaka točk lahko evidentirajo kritične razpoke in ostale diskontinuitete in da je možen dovolj natančen izračun normal na ploskve in smeri vpadov diskontinuitet. Podatke se uporabi za inženirsko geološke stabilnostne analize in analitično modeliranje potencialnih hribinskih porušitev.

Analiza podatkov brezkontaktnega zajema prostorskih podatkov mora zajemati:

- klasificiran oblak točk,
- filtrirani oblak točk terena brez vegetacije, objektov, itd...
- digitalni model terena (DTM) 20 x 20 cm,
- DOF (digitalni ortofoto) z velikostjo slikovne pike na tleh do 2 cm,
- izračun normal na ploskve in naklonov diskontinuitet,
- poročilo+

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Slika 1: Pogled brežine z označenimi kritičnimi ravninami razpok

5.3 Inženirsko geološke podlage in preiskave

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

IG raziskave, ki jih je treba izvesti v okviru tehničnih ukrepov za zaščito infrastrukturnih objektov pred skalnimi podori in padanjem kamenja, smo razdelili v posamezne sklope. Vsak sklop vključuje med seboj sorodne preiskave in/ali postopke. Sklope prikazujemo v Diagramu poteka IG preiskav (Diagram 1). Sledijo si po vrstnem redu in so urejeni od splošnih do specifičnih preiskav, pri čemer so predhodne običajno potrebne kot vhodne preiskave in/ali postopki za tiste, ki sledijo.

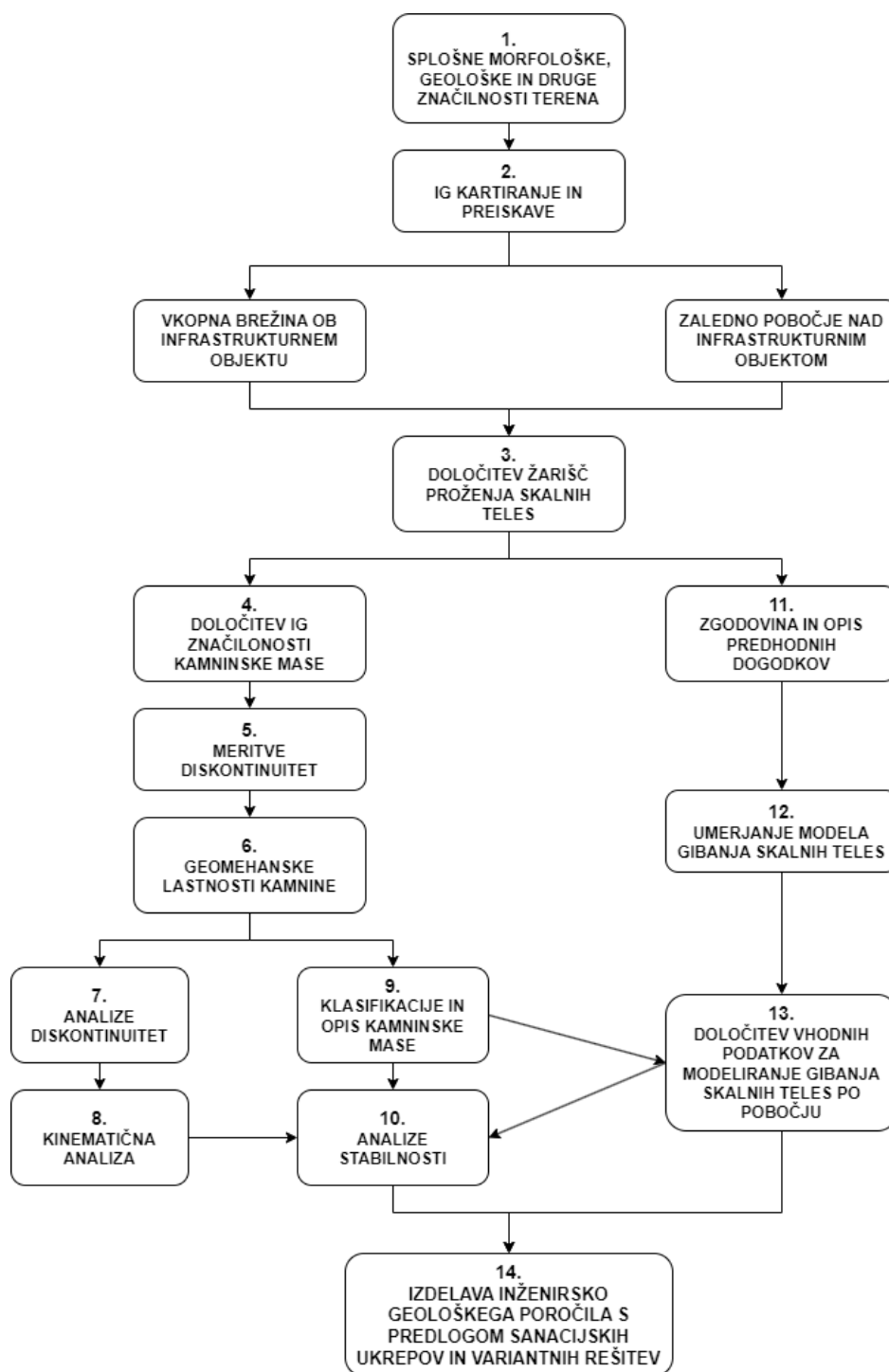


Diagram 1: Potek IG preiskav *

* Opomba: V projektni nalogi mora biti določena uporaba potrebnih sklopov IG preiskav, glede na ugotovljeno problematiko na terenu in v odvisnosti od nivoja projektne dokumentacije.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Pri manj kompleksnih IG razmerah in predvidenih manjših žariščih se upošteva manjše število sklopov ter obratno, pri bolj kompleksnih, ki se dogajajo tako na brežini kot na pobočju, pa se upošteva večina navedenih sklopov.

V nadaljevanju so za vsak sklop IG preiskav posebej, ki so navedeni in oštevilčeni na diagramu poteka na prejšnji strani, podana ključna navodila po naslednjih točkah:

- namen preiskav za posamezni sklop,
- navodila v katerih primerih se naloge, navedene v sklopu, vključijo v obdelavo,
- na kakšen način se izvedejo postopki del ali preiskav, ki jih sklop zajema,
- prikazi primerov obdelave (grafični prikazi in opisi),
- kateri vire, standarde, priporočila, računalniške programe in katero literaturo je priporočljivo uporabiti pri izdelavi preiskovalnih postopkov v posameznem sklopu.

5.3.1 SKLOP 1 - Splošne morfološke, geološke in druge značilnosti terena*Namen preiskave*

Namen preiskave je opredeliti splošne razmere in glavne vplivne dejavnike, ki lahko povzročijo ali vplivajo na nastanek skalnih podorov in/ali padanje posameznih skalnih teles, z izvedbo IG pregleda in pregledom podatkov iz državnih baz (glej VIRI)

Kdaj preiskavo uporabiti

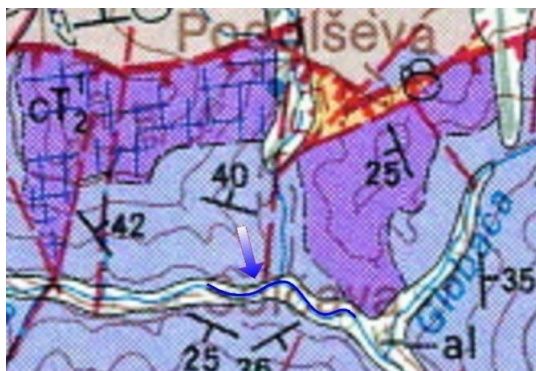
Morfološki in geološki pregled obravnavanega območja je treba obvezno izvesti na začetku pristopa k reševanju problematike, povezane s porušitvenimi procesi na brežini in/ali pobočju nad infrastrukturnimi objekti

Izvedba preiskave (način preiskovanja)

Izvede se IG pregled terena za določitev litoloških, sedimentoloških in tektonskih značilnosti kamnin, določitev stopnje preperevanja kamnin, vrste in debeline preperinskega pokrova ter vpliv erozijskih procesov, morfoloških značilnosti terena, klimatskih razmer, seizmičnosti preiskanega območja, pogozenosti in drugih značilnosti obravnavanega terena, ki vplivajo na porušitvene dogodke v zaledju infrastrukturnega objekta ali ob infrastrukturnem objektu.

Primeri obdelave:

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI



Slika 1: Izrez iz Osnovne geološke karte Slovenije, ki prikazuje geološko zgradbo terena (vrste kamnin) in glavne tektonske elemente (prelome, narive)

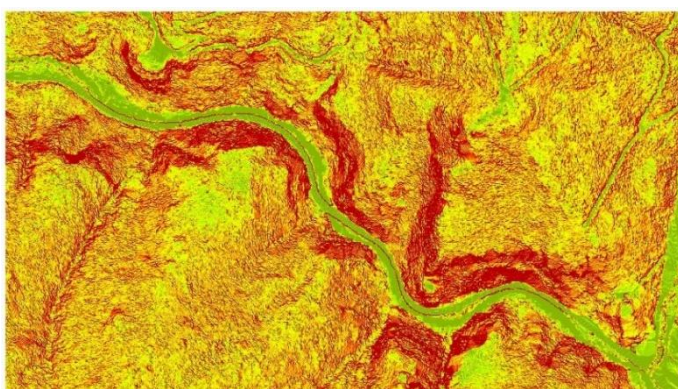


TABELA NAKLONOV			
Zap. št.	Minimalni nagib	Maksimalni nagib	Barva
1	0.0°	10.0°	■
2	10.0°	20.0°	■
3	20.0°	30.0°	■
4	30.0°	40.0°	■
5	40.0°	50.0°	■
6	50.0°	60.0°	■
7	60.0°	70.0°	■
8	70.0°	80.0°	■
9	80.0°	90.0°	■

Slika 2: Karta naklonov terena, kjer rdeča barva kaže na najstrmejšje naklone terena, kjer nastopajo žarišča potencialnih skalnih podorov in možnost izpadov posameznih skalnih teles.

VIRI, PRIPOROČENA LITERATURA, RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:

- PISO GIS 3D Lidar Slovenije
- Osnovna geološka karta Slovenije (OGK, M 1:100.000)
- ARSO-Potresna nevarnost Slovenije
- GIS portal iObčina (pregledovalniki za vode, vrsta tal, vegetacijska karta)
- ARSO padavine
- VGRC

5.3.2 SKLOPA 2 in 3 - IG kartiranje in preiskave (2), Določitev žarišč proženja skalnih teles (3)

Namen preiskave

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Izvesti je treba IG kartiranje brežine in/ali pobočja nad infrastrukturnim objektom z natančno določitvijo vseh podatkov, ki so opredeljeni v Sklopu 1 in jih prikazati na 3D digitalnem modelu terena oziroma drugi ustrezni podlagi. Določiti je treba vzroke za proženja skalnih teles in predvideti možne nove dogodke.

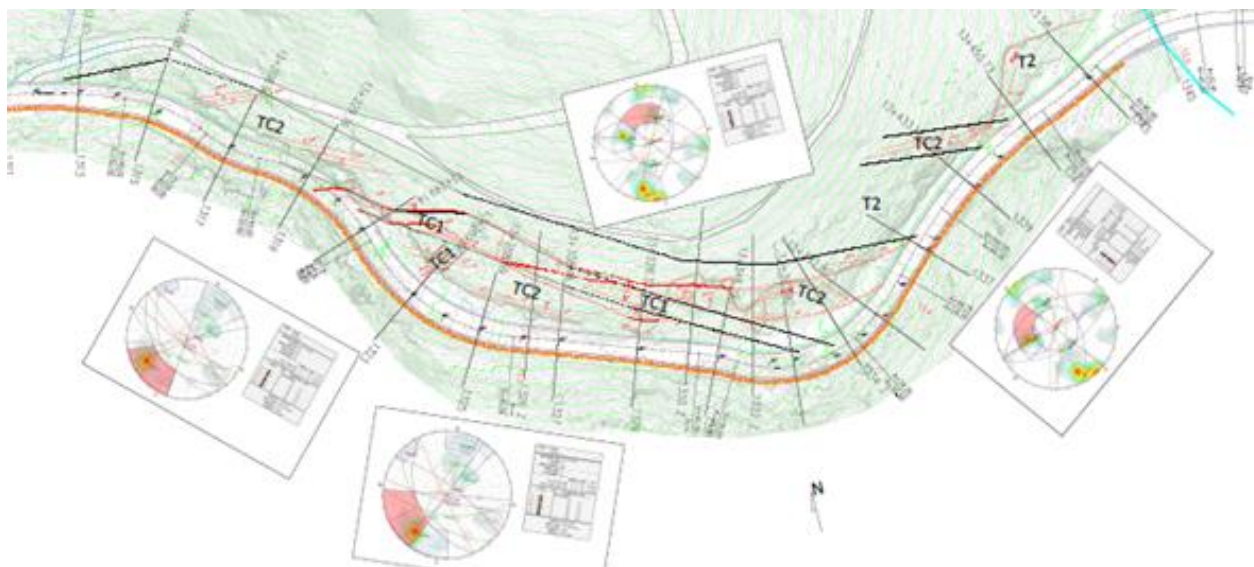
Kdaj preiskavo uporabiti

Preiskava se obvezno izvede v začetku pristopanja k reševanju problematike, vezane na porušitvene procese na obcestni brežini in/ali pobočju nad infrastrukturnimi objekti.

Izvedba preiskave (način preiskovanja)

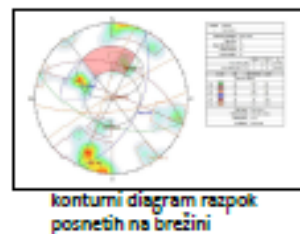
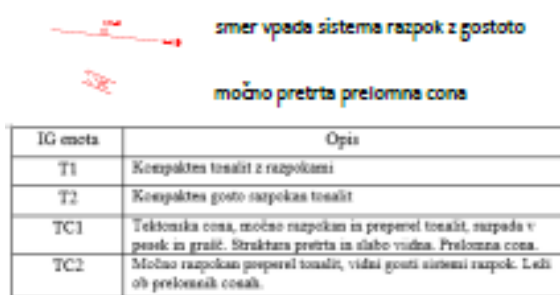
S terenskim kartiranjem je treba določiti naslednje IG značilnosti:

- inženirsko geološko zgradbo terena,
- določitev IG enot,
- lokacije primarnih in sekundarnih žarišč proženja skalnih teles nad infrastrukturnim objektom,
- oceno vzrokov in kakšne so možnosti ponovne porušitve skalnih teles na posameznih žariščih,
- stopnjo preperevanja hribinske mase,
- vrsto vegetacije, pogozdenosti in vpliva vegetacije na porušitve,
- hidrogeološke značilnosti površinske in podtalne vode (erozijski jarki, vodne bariere, izviri, močila),
- debelino in sestavo preperinskega pokrova,
- določitev poti (trajektorij) in območja zaustavitve gibanja skalnih teles.

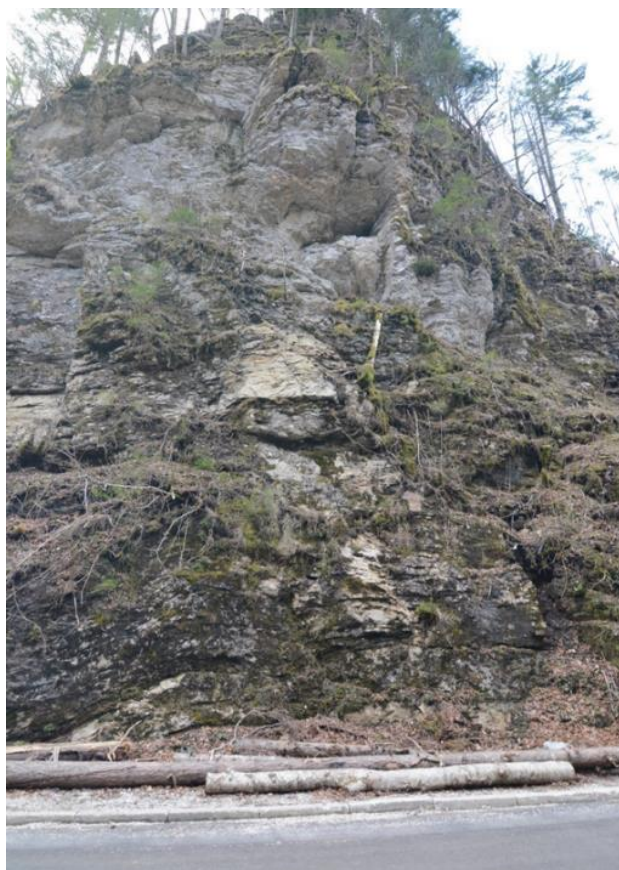


PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

LEGENDA:



Slika 3: IG karta prikazuje geološko zgradbo terena razdeljeno na IG enote s prelomi in razpokami. Sistemi razpok so prikazani na konturnih diagramih



Slika 4: Strmo pobočje s številnimi labilnimi skalami in skalnimi bloki

VIRI, PRIPOROČENA LITERATURA:

- Rockfall Characterization and Control, editors A.Keith Turner, Robert L.Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 2: Rockfall Types and Causes, Jerry D. Higgins and Richard D.Andrew.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**5.3.3 SKLOPA 4 in 5 - Določitev IG značilnosti kamninske mase (4), Meritve diskontinuitet (5)***Namen preiskave*

Izvesti je treba IG kartiranje diskontinuitet na primarnih žariščih za določitev osnovnih karakteristik hribinske mase in lastnosti ob in na ploskvah diskontinuitet, pri enem ali več sistemih razpok. Določiti je treba potencialno možne porušitve (zdrse) v razpokanih kamninah, ki se lahko zgodijo po diskontinuitetah z nizkim strižnim odporom, ki so glede na prostorski položaj brežine neugodno usmerjene. Opisati je treba obliko in velikost labilnega bloka in določiti vrsto porušitve.

Kdaj preiskavo uporabiti

Preiskavo je treba izvesti na primarnih žariščih (na brežinah ob infrastrukturnih objektih ali na skalnih žariščih na zalednem pobočju), kjer je opazno pogosto odlamljanje manjših in večjih blokov in so brežine neugodno usmerjene glede na infrastrukturni objekt.

Izvedba preiskave (način preiskovanja)

Na dostopnih žariščih z labilnimi skalnimi telesi se, glede na IG razmere, izberejo iz spodaj naštetih potrebne meritve:

- orientacija razpok in nagib razpok (določitev z geološkim kompasom),
- gostota razpokanosti,
- obseg razpok,
- hrapavost ploskev,
- valovitost ploskev,
- trdnost sten razpok,
- odprtost razpok,
- polnitev razpok,
- precejnost po razpokah,
- število sistemov razpok,
- velikost monolitnih blokov.

Na nedostopnih žariščih se osnovni podatki pridobijo s 3D snemanjem skalnih žarišč s tehnologijo terestričnega laserskega skeniranja ali zajemom prostorskih podatkov z brezpilotnim plovilom s tehnologijo aerofotogrametrije, s čimer pridobimo veliko število geodetskih točk (oblak točk). Z računalniškimi programi se nato iz oblakov točk pridobi večji del pomembnih parametrov, s katerimi opišemo kamninsko maso (orientacija razpok, gostota, odprtost, obseg, precejnost...).

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Prikaz diskontinuitet:



Slika 5: Meritve vpada treh izrazitih sistemov razpok (s tehnologijo aerofotogrametrije), ob katerih je prišlo do klinastega zdrsa skalnega bloka

VIRI, PRIPOROČENA LITERATURA, RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:

- ISRM; Suggested methods for the Quantitative description of Discontinuities in Rock Masses – 1978, International Society for Rock Mechanics Commission on Site Characterization; Blue Book
- Rockfall Characterization and Control, editors A.Keith Turner, Robert L.Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 6: Site characterization, Jerry D. Higgins and Richard D.Andrew
- CAD 3D programi
- Programska oprema za obdelavo oblakov 3D točk (npr. CloudCompare), GPL software

5.3.4 SKLOP 6 - Geomehanske lastnosti kamnine*Namen preiskave*

Določijo se vhodni geomehanski parametri za potrebe izdelave klasifikacije kamninske mase in izvedbe stabilnostne analize zdrsa skalnega bloka.

Kdaj preiskavo uporabiti

Preiskavo uporabimo v primerih, ko je treba izvesti stabilnostno analizo večjih labilnih skalnih blokov, ki jih bo treba stabilizirati na brežini. Geomehanske lastnosti kamnine so pomemben vhodni podatek za projektiranje stabilizacijskih ukrepov.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI***Izvedba preiskave (način preiskovanja)***

Za določitev stabilnosti brežine je treba pridobiti naslednje geomehanske parametre:

- prostorninska masa kamnine (monolita),
- točkovni trdnostni indeks stene razpoke (na terenu s Schmidtovim kladivom),
- strižna trdnost po razpokah (laboratorij za mehaniko skale).

Za določitev trdnostnih in deformabilnih lastnosti kamninske mase s pomočjo klasifikacij potrebujemo:

- enoosno tlačno trdnost kamnine ali točkovni trdnostni indeks kamnine,
- triaksialno preiskavo strižne trdnosti in deformabilnosti v primerih mehkih kamnin.

VIRI, PRIPOROČENA LITERATURA:

- ISRM: Suggested methods the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials – International Society for Rock Mechanics Commission on Testing Methods, 1979; Blue Book
- ISRM: Suggested Methods for Determining Point Load Strength. International Society for Rock Mechanics Commission on Testing Methods, 1985; Blue Book
- ISRM: Suggested Method for Laboratory Determination of the Shear Strength of Rock Joints: International Society for Rock Mechanics Characterization, Testing and Monitoring_2007-2014; Orange Book

5.3.5 SKLOPA 7 in 8 - Analize diskontinuitet (7), Kinematična analiza (8)**Namen preiskave**

Preiskavi se uporabljata za prikaz in določitev sistemov diskontinuitet ter izvedbo stabilnostne presoje možnih (potencialnih) porušitev blokov na žariščih.

Kdaj preiskavo uporabiti

Preiskavi se izvedeta na vseh žariščih, kjer se pojavljajo obsežni sistemi diskontinuitet ter v različnih geoloških enotah.

Izvedba preiskave (način preiskovanja)

Analizo izmerjenih diskontinuitet in statistična določitev sistemov razpok v prostoru se prikaže na 3D konturnem diagramu razpok (prikaz zgostitev razpok). Priporočamo, da se izrišejo diagrami za vsako primarno žarišče posebej.

Stabilnostna presoja na orientiranih brežinah na žariščih se preveri z izvedbo kinematične analize tako, da se upoštevajo vsi sistemi razpok iz konturnega diagrama. Pomembno je upoštevati tudi obsežnejše slučajne razpoke (pogosto geološko pogojene, kot so prelomi).

Treba je določiti tip oziroma vrsto mehanizma porušitev po diskontinuitetah (glej spodnje slike):

- ploskovni zdrs (zdrs bloka po eni diskontinuiteti),

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- klinasti zdrs (drsenje bloka po dveh diskontinuitetah),
- prevračanje blokov-toppling (ob obsežnih subvertikalnih razpokah),
- konzolni lom (nad previsom ali zajedo),
- krožna porušitev (zelo razpokana in zdrobljena kamnina).

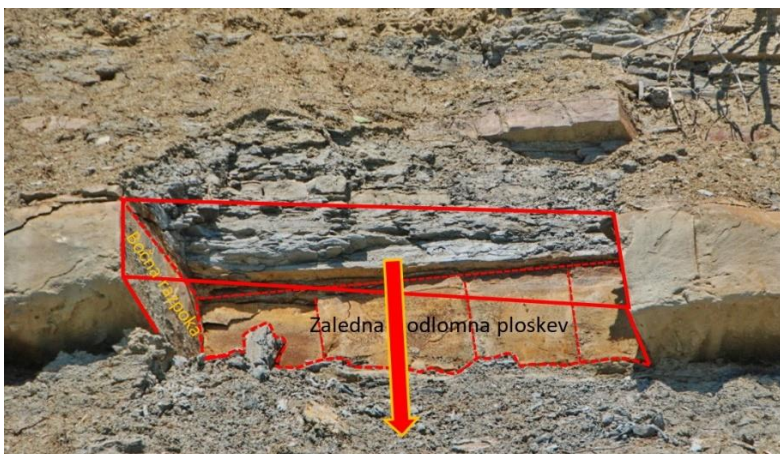


Slika 6: Ploskovni zdrs



Slika 7: Klinasti zdrs

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI



Slika 8: Konzolni lom

Slika 9: Prevrčanje blokov - toppling

VIRI, PRIPOROČENA LITERATURA, RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:

- ISRM; Suggested methods for the Quantitative description of Discontinuities in Rock Masses – 1978, International Society for Rock Mechanics Commission on Site Characterization; Blue Book
- Rockfall Characterization and Control, editors A. Keith Turner, Robert L. Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 2: Rockfall Types and Causes, Jerry D. Higgins and Richard D. Andrew
- Programi za 3D izris podatkov diskontinuitet in kinematično analizo (npr.: RocScience-DIPS)

5.3.6 SKLOP 9 - Klasifikacija in opis kamninske mase



PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Namen preiskave

Preiskava je namenjena izdelavi opisa kamninske mase in ocene trdnosti kamninske mase z različnimi klasifikacijskimi postopki.

Kdaj preiskavo uporabiti

Preiskava se izvede za kategoriziranje kamninske mase na žariščih. Območja, ki so podvržena preperevanju in eroziji izločimo iz postopka ocenjevanja. Posebej izločimo tudi območja, kjer so potrebni dodatni omilitveni ukrepi.

Na podlagi preiskave se določijo območja zmanjšane trdnosti kamninske mase. Najpogosteje se uporablja Hoek-Brownov kriterij porušitve za določitev trdnostnih in deformacijskih lastnosti hribinske mase v odvisnosti od napetostnega stanja (razbremenitve brežine, zdrs močno razpokane hribinske mase,...).

Preiskava NI primerna za izračun stabilnosti porušitve po diskontinuitetah.

Izvedba preiskave (način preiskovanja)

Na podlagi različnih geoloških pogojev, poznavanja osnovnih karakteristik kamninske mase (sklop 4 in 5) in enoosne tlačne trdnosti nepoškodovane kamnine (sklop 6) se izvede klasifikacija kamninske mase.

Najpogosteje uporabljene klasifikacije so naslednje:

- RQD (po Deere, 1989) se oceni na žarišču iz števila diskontinuitet na enoto volumna,
- RMR (Bieniawski (1973, 1974)),
- modificiran Q sistem (Barton, Lien in Lunde (1974)),
- SMR Slope Mass Rating (nadgradnja RMR),
- GSI Geološki trdnostni indeks (Hoek (1994) in Hoek, Kaiser in Bawden (1995) in
- GSI heterogene kamninske mase, kot je fliš (Hoek et al 2006) in (Marinos et al, 2005)). GSI se oceni neposredno iz grafov.

Primer fizikalnih karakteristik kamninske mase (GSI):

Preglednica 1: Tabela fizikalnih karakteristik različno pretrtega in preperelega tonalita

		Kamninska masa		
		Pretrt in preperel tonalit TC1	Preperel tonalit TC2	Kompakten razpokan tonalit T2
Sc	[MPa]	10	21	49
GSI		30	35	41
m		32	32	32

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

E_i	[MPa]	12.000	15.000	20.000
prostorninska teža γ	[kN/m ³]	25	25	25
globina	[m]	5	5	5
c	[kPa]	20	40	56
ϕ	[°]	34,4	47,2	53
E_{rm}	[MPa]	303	492	656

VIRI,

PRIPOROČENA LITERATURA, RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:

- Rockfall Characterization and Control, editors A.Keith Turner, Robert L.Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 6: Site characterization, Jerry D. Higgins and Richard D.Andrew
- Programi za 3D izris podatkov diskontinuitet in kinematično analizo (npr.: RocScience-DIPS)
- Rocscience;2009; RockLab v.1.0:Rock Mass Strength Analysis Using the Generalized Hoek-Brown Failure Criterion. Toronto, Ontario, Canada. www.rocscience.com/products/Rocklab.asp

5.3.7 SKLOP 10 - Analize stabilnosti obstoječih porušitev in možnih porušitev*Namen preiskave*

Preiskava je namenjena za določitev pogojev za izvedbo stabilizacije velikih labilnih blokov na brežini, pri predhodno izvedenih stabilnostnih presojah in analizah.

Kdaj preiskavo uporabiti

Preiskava in postopki se obvezno izvedejo v začetku pristopanja k reševanju problematike, vezane na porušitvene procese na brežini in/ali pobočju nad infrastrukturnimi objekti.

Stabilnostno analizo izvedemo na predhodno ugotovljeni porušitvi na brežini za oceno velikosti strižnega odpora po kritični razpoki ($F_s < 1$).

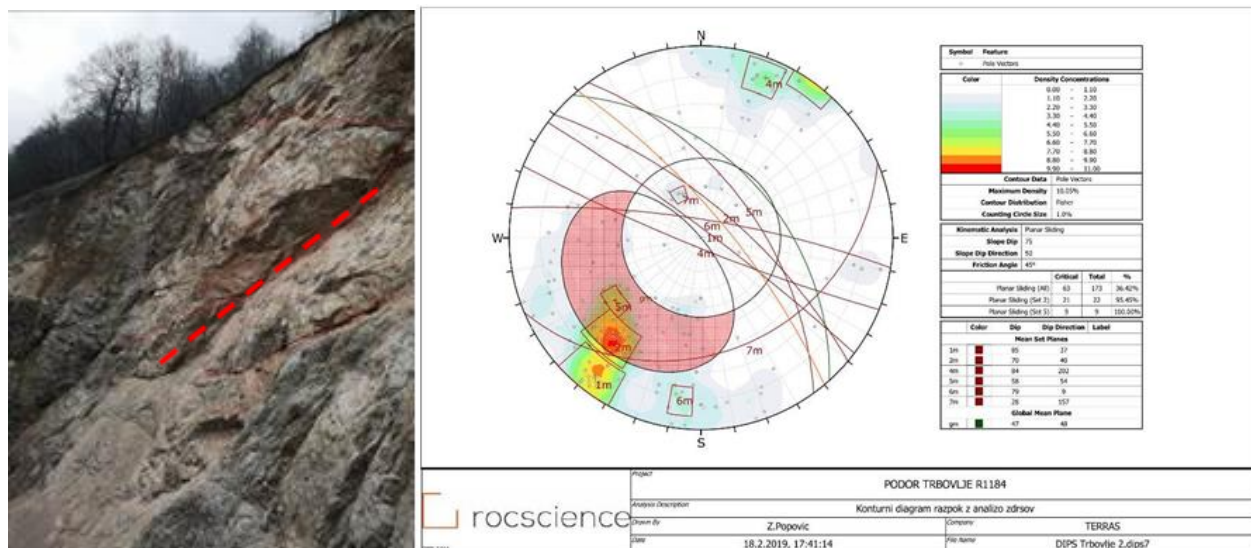
Preverimo stabilnost blokov na brežini s kritičnimi porušnicami, ki so bile določene na podlagi kinematične analiza razpok. Določi se strižni odpor po razpokah pri mejnem stanju ($F_s \approx 1$).

Izvedba preiskave (način preiskovanja)

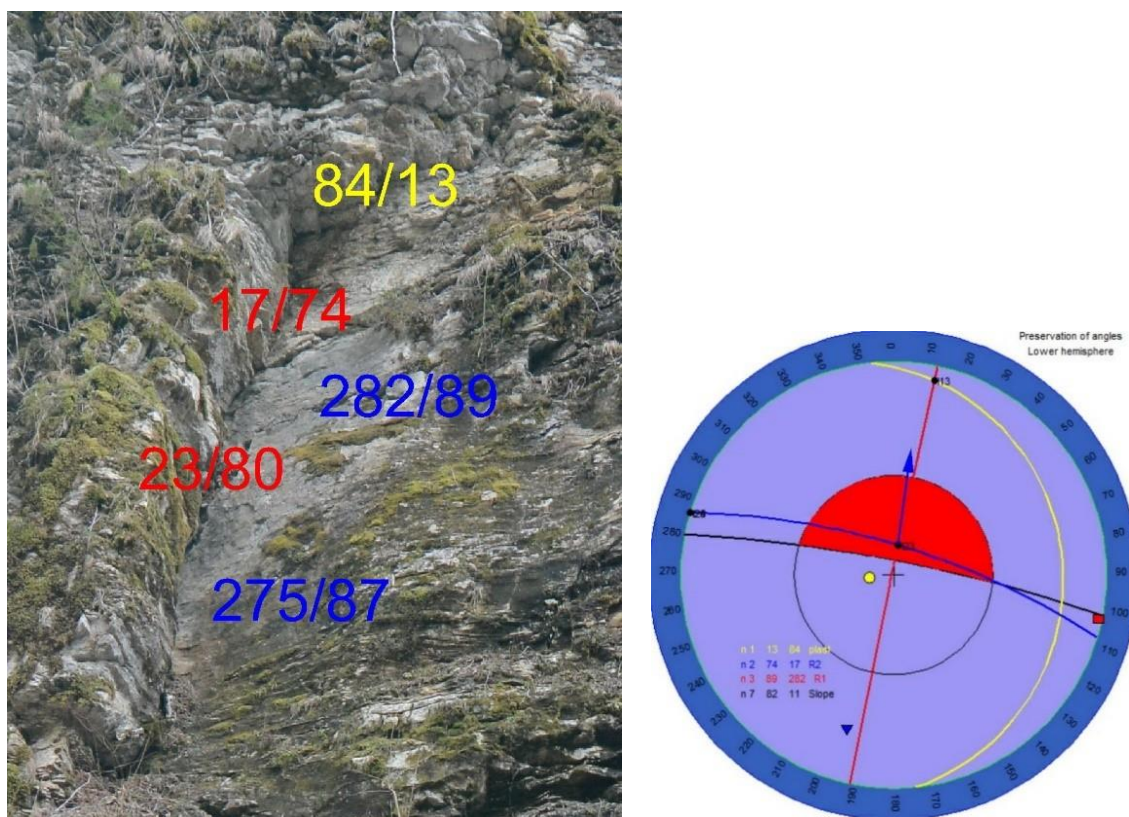
Na podlagi preiskav, ki so opisane v točkah 5, 6, 7 in 8 se najprej prostorsko določi labilne bloke, ki jih je treba stabilizirati na brežini. Določiti je treba velikost bloka in položaj neugodno usmerjenih diskontinuitet, po katerih se lahko pojavi zdrs. Uporabi se primerno programsko orodje. Grafično se določi potrebna dolžina sider. Ključnega pomena je, da sidra vedno segajo preko kritične porušnice.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Primeri obdelave:



Slika 10: Ploskovni zdrs po obsežni valoviti razpoki



Slika 11: Klinasti ali ploskovni zdrs po izrazito izraženi razpoki z Marklandovim testom

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**VIRI, PRIPOROČENA LITERATURA, RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:**

- Rockfall Characterization and Control, editors A.Keith Turner, Robert L.Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 6: Site characterization, Jerry D. Higgins and Richard D.Andrew
- Programi za 3D izris podatkov diskontinuitet in kinematično analizo (npr.: RocScience-DIPS)
- CAD 3D programi
- Programsko orodje za izračun stabilnosti blokov, klinov, prevračanja blokov (npr. RocScience; Slide, RocPlane, Swedge, RocTopple)

5.3.8 SKLOP 11 - Zgodovina in opis predhodnih dogodkov*Namen preiskave*

S pomočjo pregleda zgodovine podornih dogodkov pridobimo podatke o gibanju skalnih teles po pobočju v preteklosti, ki služijo za vzpostavitev modela za prihodnje porušitve.

Kdaj preiskavo uporabiti

Ta postopek uporabimo v primerih, ko so se podorne porušitve že zgodile in so trajektorije in ostali podatki o gibanju izpadlega bloka na terenu očitni. Te podatke uporabimo za izdelavo povratne analize porušitve.

Izvedba preiskave (način preiskovanja)

Pomembni podatki, ki jih ugotavljamo na terenu, so naslednji:

- odlom na žarišču (določimo obliko in velikost bloka), tip porušitve in položaj kritičnih razpok
- poškodbe na poti gibanja, na drevesih, udorine na površini pobočja, poškodbe asfalta,...
- predvidimo način gibanja skale (padanje, kotaljenje, odskakovanje, drsenje),
- območje zaustavitve »neme priče« (končna oblika in velikost bloka ali blokov).

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Primeri ugotovitve na terenu:



Slika 12: »Nema priča« in poškodbe na cesti in zidu ob udarcu skale

RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:

- CAD
- 3D programi

5.3.9 SKLOP 12 - Umerjanje modela gibanja skalnih teles*Namen preiskave*

Pridobitev karakterističnih vhodnih podatkov za določitev gibanja skalnih teles.

Kdaj preiskavo (povratno analizo) uporabiti

Povratno analizo dogodka porušitve je obvezno treba izvesti v vseh primerih, kjer so še vidni očitni znaki porušitve. Povratna analiza je ključnega pomena pri postavitvi modela porušitev na obravnavanem območju.

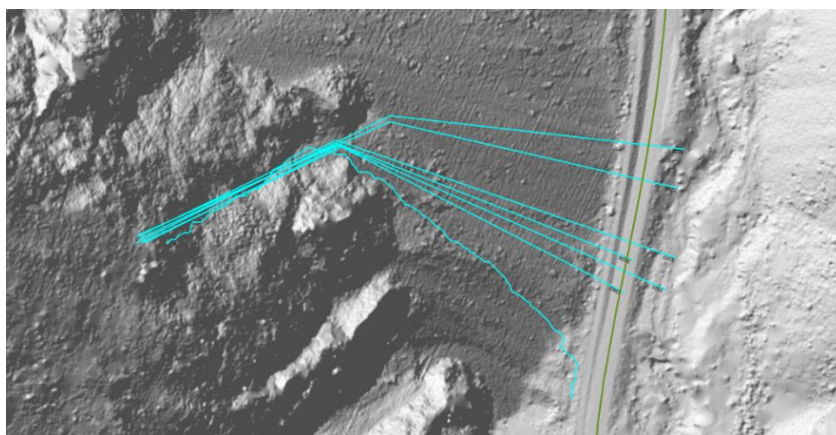
Izvedba preiskave (način preiskovanja)

Na podlagi pridobljenih podatkov predhodnega dogodka izvedemo povratno analizo gibanja skalnih teles in pri tem opišemo:

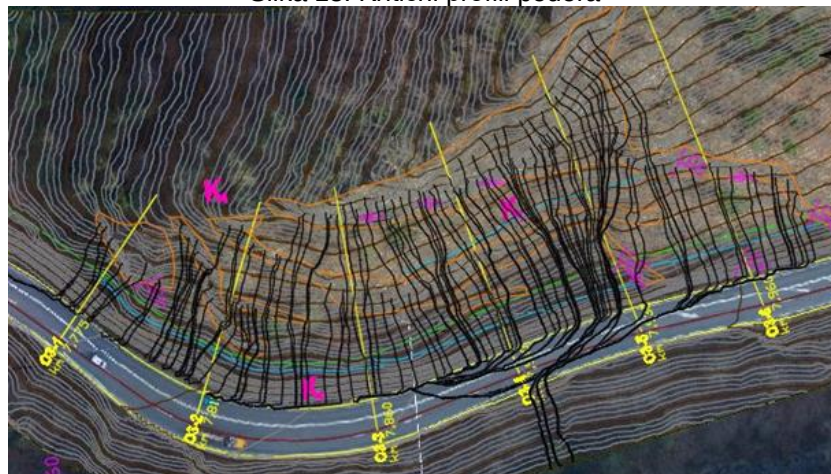
PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- trajektorijo gibanja kamnitega materiala od žarišča do mesta zaustavitve (ACAD),
- geometrijo pobočja gibanja bloka (naklon, dolžina),
- hrapavost in valovitost pobočja
- zaraščenost pobočja (gostota in debelina dreves),
- materialne lastnosti površine pobočja gibanja (normalni odbojni koeficient R_n in tangencialni odbojni koeficient R_t , ϕ) - ocena, se potrdi z analizo predhodnih dogodkov.

Primeri prikaza poti skalnih teles od žarišč do infrastrukturnih objektov:



Slika 13: Kritični profili podora



Slika 14: Poti kamenja iz območja žarišč nad cesto

VIRI, PRIPOROČENA LITERATURA, RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:

- Rockfall Characterization and Control, editors A. Keith Turner, Robert L. Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 9: Modelling and Prediction of Rockfall, A. Keith Turner, John D. Duffy
- CAD 3D programi
- 2D računalniški program za simulacijo padanja kamenja (npr.: RocScience RocFall2)

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**5.3.10 SKLOP 13 - Določitev vhodnih podatkov za modeliranje gibanja skalnih teles po pobočju**

Namen preiskave:

Določitev vhodnih podatkov za projektiranje gibanja skalnih teles po pobočju.

Kdaj jo uporabiti

Preiskavo uporabimo, kadar za sanacijo nameravamo uporabiti podajno lovilne sisteme. Obvezno je predhodno definirati vhodne podatke in jih med modeliranjem ustrezno umeriti.

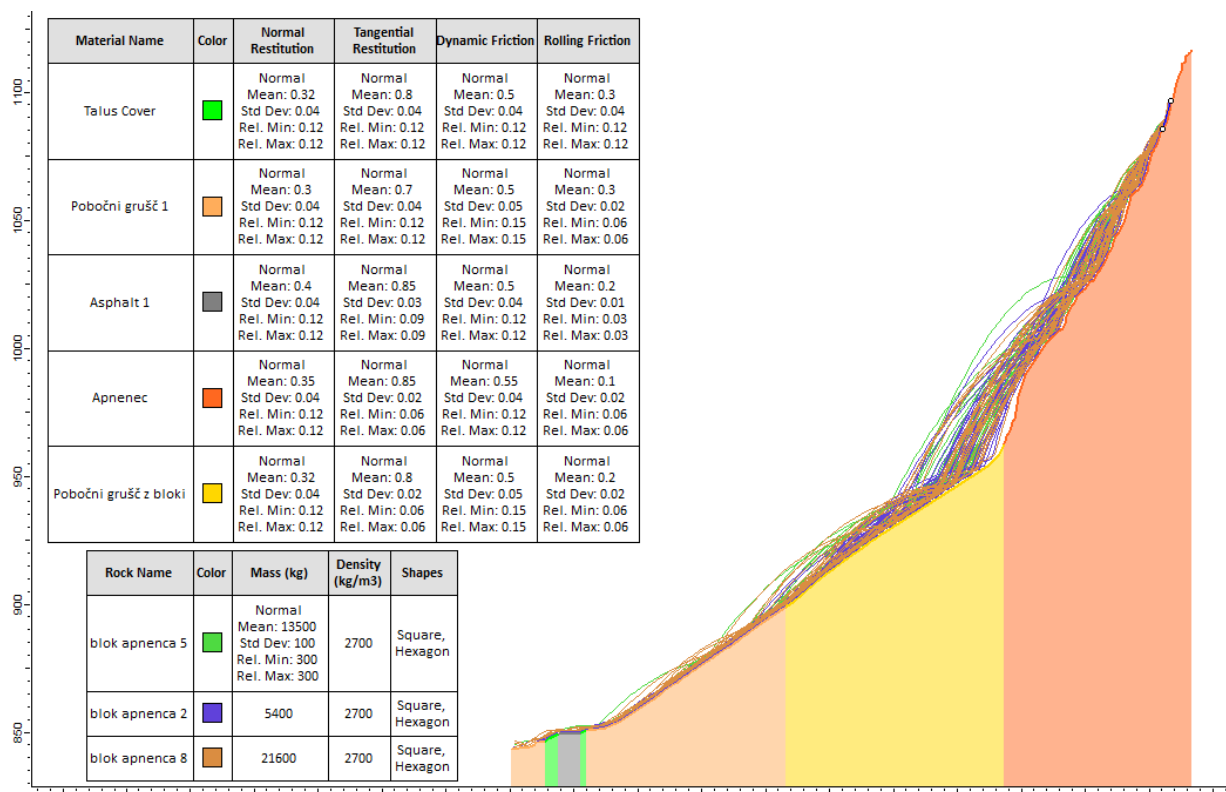
Izvedba preiskave (način preiskovanja)

Na podlagi pridobljenih podatkov IG kartiranja definiramo:

- lokacije žarišč v vplivnem območju infrastrukturnega objekta,
- obliko in velikost bloka, ki se lahko odlomi na žarišču,
- geometrije pobočja gibanja bloka (naklon, dolžina),
- hrapavost in valovitost pobočja,
- zaraščenost pobočja (gostota in debelina dreves),
- materialne lastnosti površine pobočja gibanja (normalni odbojni koeficient R_n in tangencialni odbojni koeficient R_t , strižni odpor podlage ϕ),
- geomehanske lastnosti IG enot za temeljenje in sidranje na pobočju PLS.

Primer analize:

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI



Slika 15: Povratna analiza skalnega podora z določitvijo vhodnih podatkov podlage

VIRI, PRIPOROČENA LITERATURA, RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:

- Rockfall Characterization and Control, editors A. Keith Turner, Robert L. Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 9: Modelling and Prediction of Rockfall, A. Keith Turner, John D. Duffy
- CAD 3D programi

5.3.11 SKLOP 14 - Izdelava IG poročila s predlogom sanacijskih ukrepov in variantnih rešitev

IG poročilo mora jasno definirati celotno problematiko skalnih podorov in padanja kamenja na obravnavanem območju. Poročilo mora pripraviti strokovnjak z znanjem s področja inženirske geologije in mehanike kamnin, ter specifičnim znanjem iz področja, ki ga obravnava TSPI. Poročilo vsebuje predlog sanacijskih ukrepov z variantnimi rešitvami.

Primer vsebine poročila za vkopno brežino ali žarišča ob infrastruktturnem objektu

- 1.0 Uvod
- 2.0 Splošne morfološke, geološke in druge značilnosti terena
- 3.0 Opis IG značilnosti terena
 - 3.1 Določitev IG značilnosti kamninske mase na žariščih vkopne brežine
 - 3.2 Analize diskontinuitet s kinematično analizo
 - 3.3 Klasifikacija kamninske mase vkopne brežine
- 4.0 Analize stabilnosti prvotnega stanja brežine ali predhodne porušitve

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- 5.0 Karakteristične geomehanske lastnosti kamninske mase in po razpokah
- 6.0 Predlog sanacijskih ukrepov in variantnih rešitev

Primer vsebine poročila za padanje kamenja iz zalednega območja nad infrastrukturnim objektom

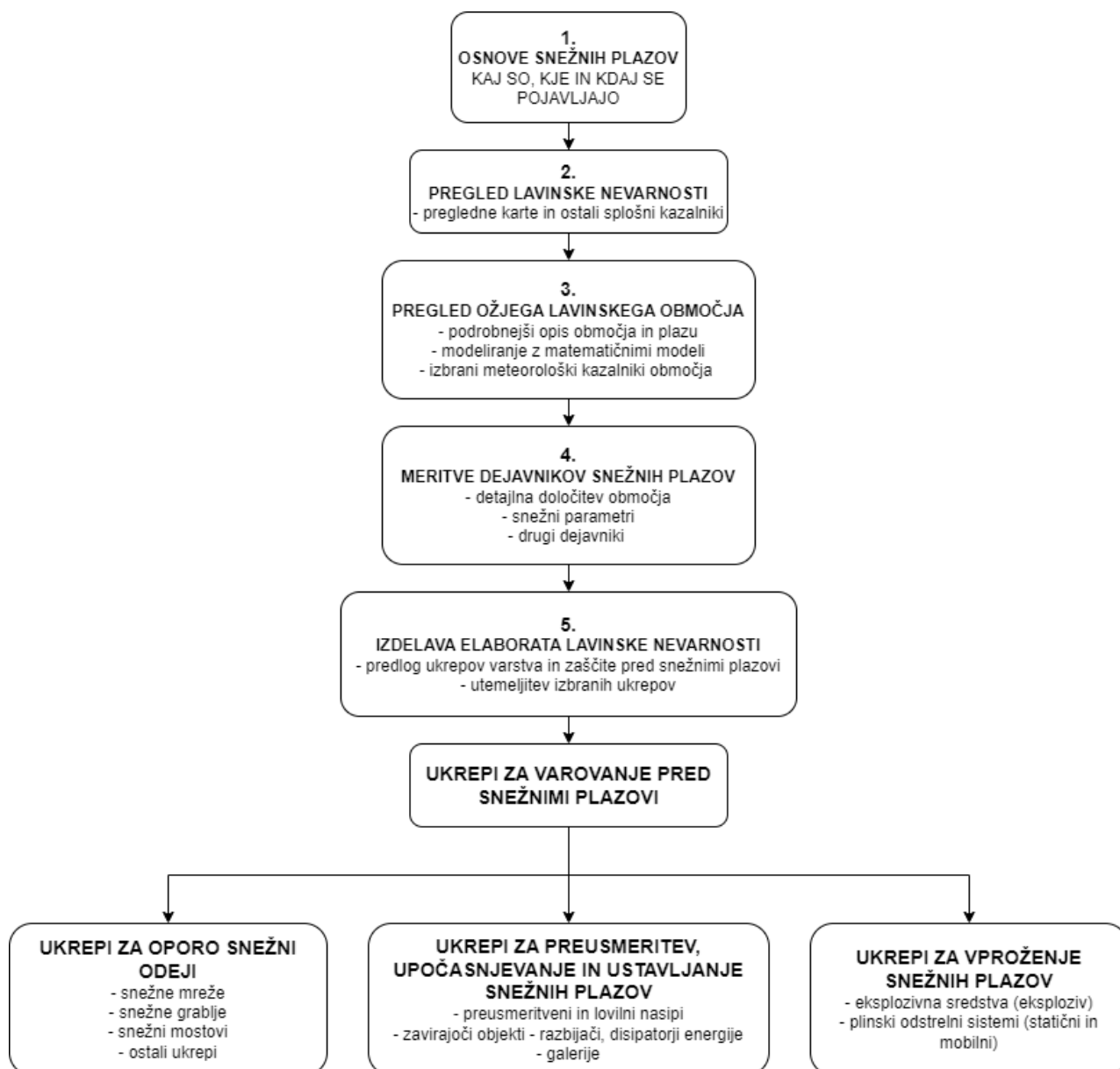
- 1.0 Uvod
- 2.0 Splošne morfološke, geološke in druge značilnosti terena
- 3.0 Opis IG značilnosti terena
 - 3.1 Določitev IG značilnosti kamninske mase na žariščih
 - 3.2 Analize diskontinuitet s kinematično analizo
 - 3.3 Določitev velikosti in oblike labilnih blokov
- 4.0 Določitev vhodnih podatkov za modeliranje gibanja skalnih teles
 - 4.1 Umerjanje modela gibanja skalnih teles
 - 4.2 Karakteristične lastnosti tal na poti gibanja
- 5.0 Predlog sanacijskih ukrepov in variantnih rešitev

5.4 Snežni plazovi in ocena lavinske nevarnosti

Sklope, vezane na pregled lavinske nevarnosti ter varovalne ukrepe pred snežnimi plazovi prikazujemo v diagramu *Diagram poteka pregleda in raziskav lavinske nevarnosti*, ki vsebuje tudi vrste ukrepov zaščite pred snežnimi plazovi iz poglavja 6.4.

Diagram 2: Potek pregleda in raziskav lavinske nevarnosti z vrstami ukrepov

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI



SKLOP 1. Osnove snežnih plazov

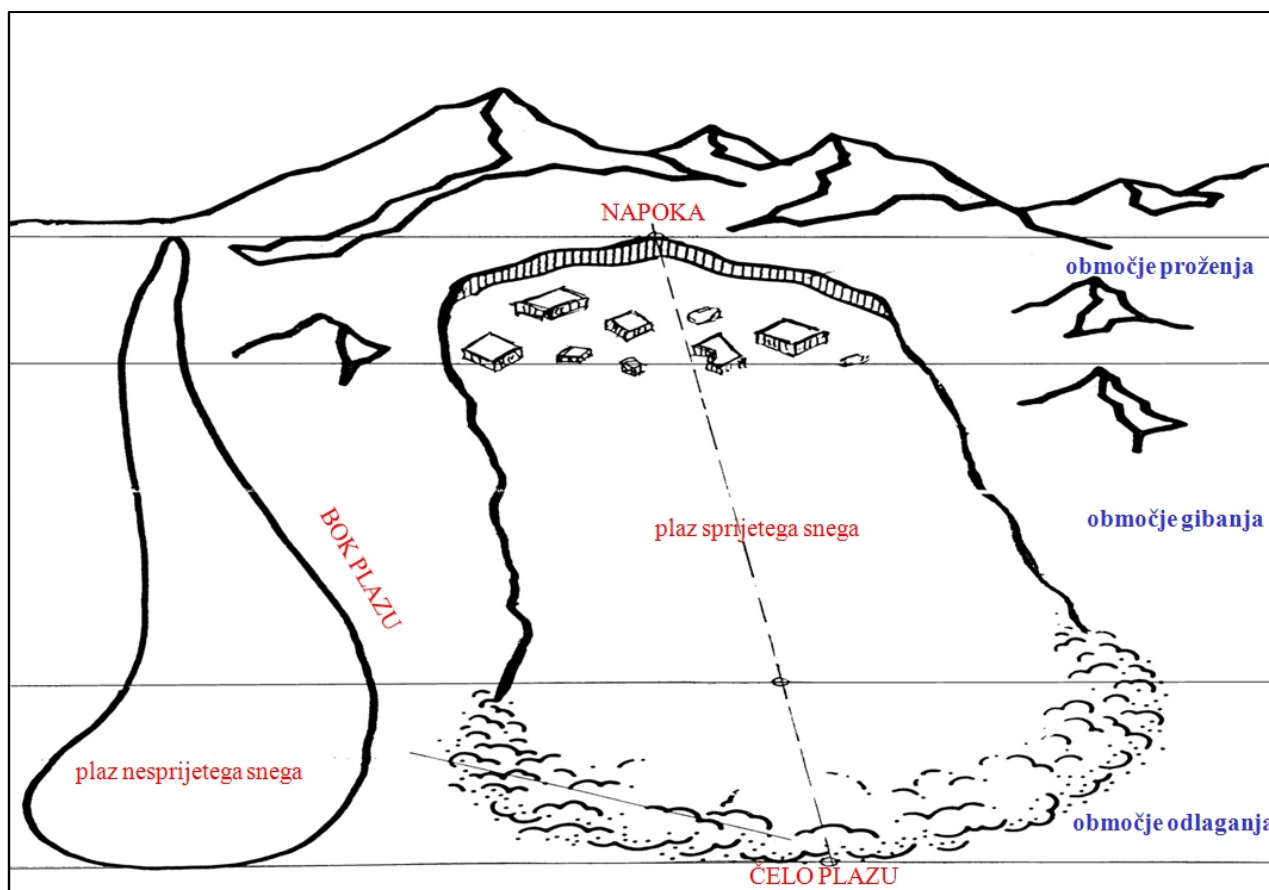
Ne glede na velikost in značilnosti velja, da je nevaren vsak zdrs snega, ki lahko potegne s seboj človeka ali pa ga zasuje. Med premikanjem snežne odeje delujejo na podlago in morebitne ovire zelo velike sile, saj je prostorninska gostota snega od približno 50 kg/m^3 za pršič sredi zime pa vse do več kot 400 kg/m^3 za uležan moker sneg v pozni pomladi.

Vplivno območje snežnega plazu sestavljajo območje proženja, gibanja in odlaganja. Na območju proženja prevladuje zbiranje plazovine, na območju gibanja transport in na območju odlaganja

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

akumulacija. Erozijska moč plazovine je odvisna od gostote snega, naklona in narašča s padcem nadmorske višine in premagano razdaljo oziroma s prehodom v vsako naslednje območje. Plaz ima največjo hitrost na območju gibanja, prostornino pa na območju odlaganja. Spodnji deli se pogosto končajo v obliki vršaja (snežnega) plazu oziroma plaznega stožca.

Največ plazov v Sloveniji je v alpskih pokrajinah in zahodnih predalpskih hribovjih. Izpostavljena pa so jim tudi strma pobočja v drugih hribovitih in celo nekaterih gričevnatih pokrajinah, kadar to omogoča dovolj visoka snežna odeja.

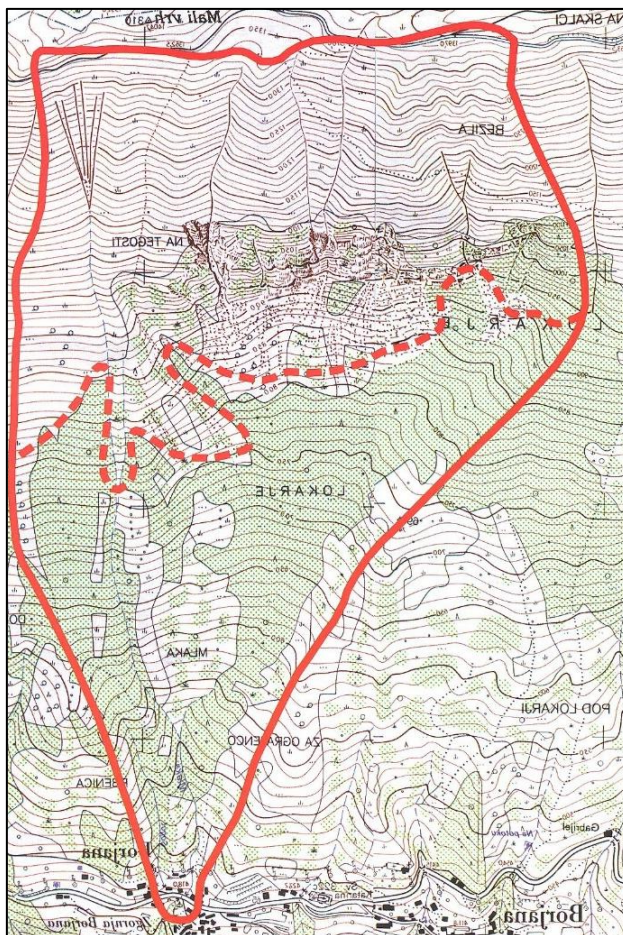


Slika 16: Značilna območja (3) in osnovni dve vrsti snežnih plazov – plaz nesprijetega (levo) in sprijetega (desno) snega.

Celotni površini oziroma trasi plazu od napoke do dna plaznega stožca pravimo pláznica, gmoto splazelega snega pa imenujemo plazovina. Razlikujemo dva značilna obsega snežnega plazu: pogostega in maksimalnega oziroma obsega plazu pri njegovem največjem dosegu. Pri umeščanju prostorskih posegov v pokrajini moramo vedno upoštevati maksimalen obseg snežnega plazu. Z oznako lavinski označujemo vse sestavljanke, ki se nanašajo na snežne plazove (lavinski kataster, preventiva...) z namenom, da jih ločimo od drugih plazov in premikanj gmot po pobočjih.

Razlikujemo plazove nesprijetega snega, ki se začnejo s točkasto napoko (slika 16-levo) ter se na poti navzdol vse bolj širijo, in plazove sprijetega snega (slika 16-desno). Med temi so najpogostejši kložasti snežni plazovi. Robove na obeh straneh plaznice imenujemo bok plazuz, na njegovem spodnjem, to je sprednjem koncu, pa je čelo snežnega plazuz (pozor - pri zemeljskih je to zgoraj). Praviloma je tam največ odložene plazovine, zato so na območju odlaganja plazov sile, ki delujejo na morebitne ovire, največje.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI



Slika 17: Pogost (črtkano) in največji ali maksimalen obseg snežnega plazu nad vasjo Borjana pri Kobaridu.



Slika 18: Primer plazu nesprjetega snega.

Kako in kje nastanejo snežni plazovi?

Snežni plazovi se najpogosteje sprožijo spontano, pogosto pa nastanejo zaradi zunanjih vzrokov (pohodnik, smučar, motorne sani, redkeje hrup, potres). Med vzroki za spontano proženje so nove snežne in/ali dežne padavine, sprememba vetrovnih in temperaturnih razmer (smer, jakost oziroma

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

odjuga, ohladitev), daljšanje/krajšanje trajanja sončnega obsevanja idr. Plaz se sproži, ko se zaradi enega od teh vzrokov poruši v snežni odeji do tedaj vztrajajoče ravnovesno stanje sil. Plazenje snežne odeje ločimo od njenega polzenja in drsenja, pri katerih so dnevni premiki velikostnega reda od nekaj milimetrov do več decimetrov. Oba procesa potekata na vsem, vsaj malo nagnjenem površju, kar vidimo po ukrivljenosti drevesnih debel ali grmovja tik nad tlemi. Pri plazenju imamo opravka z bistveno hitrejšimi in površinsko večjimi premiki snežnih gmot, ki pa se pojavljajo na bolj omejenem območju kot polzenje in drsenje snežne odeje.

Snežni plaz se lahko sproži na vsakem delu površja ne glede na nadmorsko višino, če je ta dovolj strm (naklonina 30–45°), slabo-/delno ali povsem neporaščen (melišča, travniki, pašniki,...) oziroma brez drevja ali grmovja ter je na njem dovolj visoka snežna odeja. Večja območja snežnih plazov se zato začnejo praviloma šele na gozdni meji, še več pa jih je nad njo. Pred snežnimi plazovi nismo varni niti v gozdu, še posebno na njegovem zgornjem robu in v grapah ter tam, kjer je drevje redkeje posejano.

Pri snežnih plazovih je poleg krajevnega zelo pomemben tudi časovni vidik, saj so močno odvisni od vsakokratnih vremenskih in snežnih razmer. Pogosto je med vzroki za sprožitev plazov človek sam, pri čemer imamo lahko opravka z neposrednimi vzroki (pohodnik) kot tudi posredno (neprimeren prostorski poseg) sprožitvijo. Snežni plaz pa se lahko sproži tudi zaradi neprimerne posega v prostoru ali pa premalo premišljene umestitve objekta v prostor.



Slika 19: Večina plazov se proži na strminah z naklonom 30–45 (levo) in v osojah (desno) zaradi počasnejše preobrazbe in s tem utrditve oziroma stabilizacije snežne odeje.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**Kateri znaki napovedujejo snežni plaz?**

Brez dvoma so najpomembnejše snežne padavine oziroma novozapadli sneg, pri čemer je lahko intenziteta zelo različna: po nižinah do okrog 5 cm/h, v sredo in visokogorju pa lahko tudi 10–15 cm/h.

Višina novega snega	Stopnja nevarnosti
do 30 cm	majhna nevarnost, majhno povečanje nevarnosti
30–50 cm	zmerna krajevna nevarnost, predvsem za planince in smučarje
50–80 cm	splošna zmerna nevarnost za planince in smučarje, posamezni plazovi lahko dosežejo dna dolin, ogrožanje posameznih izpostavljenih komunikacij in naselij oz. njihovih delov
80–120 cm	velika splošna nevarnost za planince in smučarje, pogosti veliki plazovi, ki dosežejo dna dolin, velika ogroženost izpostavljenih komunikacij in naselij oz. njihovih delov
> 120 cm	zelo velika splošna nevarnost, prožijo se tudi plazovi, ki jih poznavalci ne pomnijo

Preglednica 2: Stopnja nevarnosti za proženje snežnih plazov v odvisnosti od višine novega snega v zadnjih 24 urah.

Proženje snežnih plazov je povezano tudi z večjimi vremenskimi spremembami (temperaturnimi, padavinskimi, vetrovnimi) ali pa ob dolgotrajnem mrazu. Pri slednjem začne v snežni odeji, natančneje na stiku med posameznimi plastmi, nastajati globinski srez ali plovni sneg, ki ima vlogo nosilne plasti, po kateri zdrsne plazovina. To plast najlažje odkrijemo s prerezom snežne odeje in preizkusom plazovitosti po eni od številnih metod. Nanjo nas opozarja tudi zamolklo pokanje in lomljenje plasti v snežni odeji med prečenjem plazovitega območja.

Stopnja nevarnosti za proženje snežnih plazov je odvisna tudi od tega, na katerem območju snežnega plazu smo in kakšna sta rastje ter hrapavost plaznice. Na lavinsko nevarnost nas opozarjajo tudi pred kratkim sproženi snežni plazovi v neposredni okolici ali bližnji soseščini, prisotnost klož in opasti pod oziroma na grebenih in nepovezanost posameznih plasti v snežni odeji.

Značilne vrste in najbolj pogosti primeri snežnih plazov

Poznamo več delitev snežnih plazov, v splošnem pa ločimo plazove, pri katerih zdrsne ena ali več višje ležečih plasti po spodaj ležeči(h) - vrhnji plaz. Lahko pa zdrsnejo vse plasti snežne odeje do kopne (gole) podlage - talni plaz. Snežni plaz je lahko tudi kombiniran – na območju proženja talni, na drugih dveh območjih pa vrhnji. Glede na navzočnost vode v plazovini ločimo plazove suhega in mokrega snega – prvi pridejo dlje, drugi pa so bolj siloviti in zato tudi razdiralni. Po načinu gibanja poznamo počasnejše tekoče in hitrejše pršne plazove; slednji so zaradi velikih hitrosti po obsegu med največjimi. Obsežnejši snežni plazovi imajo pahljačasto zaledje oziroma zbirno območje (proženja), v izteku grap in žlebov pa so pogosti plazni vršaji oziroma stožci. Vrste snežnih plazov delimo po značilnih območjih:

Območje proženja

- a) po načinu trganja (plaz nesprijetega/sprijetega snega),

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- b) po legi drsne ploskve (vrhnji, talni, kombinirani),
- c) sprijetost in vlažnost snega (sprijet/nesprijet, suh/moker),

Območje gibanja

- d) po obliki plazovine (pobočni, žlebasti),
- e) obliko gibanja (tekoči, pršni, kombinirani),

Območje odlaganja

- f) površino plazovine (gladka, groba),
- g) vodo v plazovini (suha/mokra),
- h) primesi v plazovini (čista, s primesmi).

SNEŽNI PLAZOVI NOVEGA SNEGA

Pri teh plazovih se sproži le zgornja plast snežne odeje, ki je nastala ob zadnjem sneženju oziroma padavinskem dogodku. Če je to obilno, so lahko tudi ti plazovi sorazmerno veliki.

KLOŽASTI PLAZ

Med najpogostejšimi pri nas so plazovi sprijetega snega, zlasti kložasti. Pri teh se loči od zasneženega pobočja večja, praviloma čvrsteje sprijeta vrhnja gmota snega, ki se med gibanjem razlomi v manjše snežne klade. Pri tovrstnih plazovih lahko celo predvidimo minimalno dolžino in širino pobočja, pri kateri snežna odeja, ki je na njem, še lahko premaguje pritiske, do katerih pride zaradi izoblikovanosti površja.

PRŠNI PLAZ

Med najbolj nevarnimi in po obsegu večjimi, tudi največjimi, so pršni plazovi. Gre za plaz z zrakom pomešanega nesprijetega snega, ki potuje z veliko hitrostjo nad tlemi. Zaradi tega lahko zaobide, ali celo preskoči marsikatero oviro, potuje čez stene ali se kanalizira po grapah, zato ima plazovina na izteku zelo veliko silo.

TALNI PLAZ

Pri talnem snežnem plazu zdrsnejo vse plasti snežne odeje do kopne (gole) podlage. Prepoznamo ga po umazani plazovini s primesmi na čelu plazu oziroma na območju odlaganja. Posebna vrsta talnih plazov so zdrsni plazovi. Prepoznamo jih lahko po na daleč vidnih razpokah v obliki ribjega (zdrsnega) ustja na strmih, travnatih strminah. Že ob najmanjši motnji (odjuga, padavine, človek), ki poruši krhko ravnovesje sil v snežni odeji na strmini, lahko splazijo snežne gmote tako nad kot tudi pod razpoko. Pogosti so v začetku zime, kadar pade snega na sorazmerno topla tla in spomladi.

VRHNJI PLAZOVI MOKREGA SNEGA

Spomladi so najpogostejši vrhnji plazovi mokrega snega, ki potegnejo s seboj le najvišje ležečo plast snežne odeje.

NEOMEJEN / OMEJEN SNEŽNI PLAZ (PLAZOVITO OBMOČJE)

Snežni plaz oziroma plaznico (podlaga, po kateri drsi) lahko praviloma precej dobro razmejimo; v nekaterih primerih pa ne, na primer obsežna in zglajena pobočja brez izrazitih reliefnih oblik. Ločimo omejen in neomejen snežni plaz oziroma plaznico. Omejena je najpogosteje tam, kjer je vplivno območje plazu na gozdnatem ali grmovnatem svetu oziroma v vbočeni reliefni obliki (grapa); plaznica je zelo izrazita in zato tudi v kopnih razmerah dobro vidna že od daleč. V izteku vboklih reliefnih oblik so pogosti vršaji plazovine. Pri neomejenem snežnem plazu pa imamo opravka s plazovitim površje na katerem so pogosti snežni plazovi, pri katerih je določitev obsega posameznega snežnega plazu nemogoča. Posebej značilna so strma nerazčlenjena in neporaščena pobočja nad gozdno mejo in melišča.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**VELIK PLAZ**

Snežni plazovi velikega obsega se prožijo zelo redko (50- do 100-letni), zato je toliko bolj pomembno, da poznamo njihove obsege, saj jih moramo upoštevati pri umestitvi posegov v prostor. Ogrožajo nekatera naša smučišča, v posameznih primerih pa lahko dosežejo tudi naselja ali njihove dele.

OPASTI IN KLOŽE

Opasti in klože so med najpogostejšimi vzroki za sprožitev snežnega plazu in so pogosto druga poleg druge. Opast (snežna streha) je napihan, nabit sneg, ki sega s privetrne strani grebena ali slemena previsno nad njegovo odvetrno stran. Kloža (opoka) pa je zaradi vetra rahlo do zelo trdno sprijet sneg v vrhnjem delu snežne odeje, najpogostejše na površini. Ločimo trdo kložo (ob splazitvi se razlomi na več blokov in/ali klad) in mehko, ki med plazenjem razpade.

STALNE PLAZNICE

Najbolj znani so stalni snežni plazovi na dobro znanih plaznicah, saj se sorazmerno pogosto prožijo. Tudi večkrat na snežno sezono, če to omogočajo snežne in vremenske razmere (zgornja slika - plaz na cesti, ki jo vidimo tudi na spodnji).

PROBLEMATIČNI SNEŽNI PLAZOVI

V Sloveniji je tudi nekaj snežnih plazov, ki so tako nevarni, da so morali prometnice in železniško progo pred njimi trajno zaščititi, nekateri cestni in železniški odseki pa na to še čakajo.

SKLOP 2. Pregled lavinske nevarnosti

Pregled širšega območja (cestnega, železniškega odseka) za zaščito IS objektov - komentar zemljevida območij nevarnosti za proženje snežnih plazov.

- Izris nevarnosti oziroma modela verjetnosti proženja snežnih plazov in izpis glavnih značilnosti akutnih snežnih plazov (višinskih, dolžinskih, površinskih in naklonskih iz Lavinskega katastra, ki je del Geografskega atlasa naravnih nesreč v Sloveniji);
- Podatki o do sedaj znanih lavinskih dogodkih (brez škode/poškodovanih/mrtvih) in lavinskih nesrečah (škoda na objektih in napravah, poškodovani, žrtve) v Geografskem atlasu naravnih nesreč v Sloveniji;
- Izbrani meteorološki kazalniki (največja višina snežne odeje, povprečna skupna višina novozapadlega snega, povprečno število dni s snežno odejo, največja snežna obtežba, povprečno število dni večje količine novozapadlega snega v *Geografskem atlasu naravnih nesreč v Sloveniji*);
- Pregled in analiza lavinsko ogroženih infrastrukturnih in drugih objektov ter zemljišč;
- Pregled in analiza lavinskih nesreč in dogodkov na območju ogroženih infrastrukturnih in drugih objektov ter zemljišč.

SKLOPA 3 IN 4. Pregled ožjega lavinskega območja in meritve dejavnikov snežnih plazov

Pred gradnjo objektov na (1) nevarnih območjih, (2) na območjih, kjer snežni plazovi lahko dosežejo ali prečkajo infrastrukturo ter (3) na območjih, ki so zelo blizu nevarnim območjem (razdalja do 100 m), je treba za posamezen snežni plaz ali skupine plazov pripraviti naslednje analize in opise:

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- Podrobnejši opis izbranega snežnega plazzu, opis plazovitega območja, opis znanih zgodovinskih plazovnih dogodkov in grafična predstavitev plazzu v merilu 1:5000;
- Pri pripravi gradiva je treba uporabiti podatke Lavinskega katastra v okviru Geografskega atlasa naravnih nesreč v Sloveniji, kjer so, poleg drugih, dostopni tudi naslednji podatki o plaznicah:
 - ID in ime plazzu,
 - nadmorska višina (minimalna, povprečna, maksimalna),
 - naklon (minimalni, povprečni, maksimalni),
 - višina rastja (minimalna, povprečna, maksimalna),
 - prevladujoča raba tal (%),
 - prevladujoča kamninska sestava (%),
 - stopnja nevarnosti proženja (minimalna, povprečna, maksimalna),
 - oddaljenost plaznice od cest,
 - oddaljenost plaznice od stavb.
- Na območjih stika ali velike bližine (do 100 m, t. i. bafer(območje) plaznice in načrtovane infrastrukture oziroma objektov je nujno izdelati modele mogočega obsega posameznega plazzu z ustrezno programsko opremo in na temelju različnih lokacijsko in podnebno relevantnih vhodnih podatkov za sneg, relevantnih podatkov o podlagi (površje/reliefne podrobnosti, rastje/višina in gostota idr.), in sicer za določitev pričakovanih snežnih in plazovnih obremenitev ter oceno nujnosti gradnje ustreznih protilavinskih objektov .
- Nujna je tudi analiza kratkoročnega (ekstremne vrednosti) in dolgoročnega (povprečja) niza izbranih meteoroloških kazalnikov za najbližjo/primerljivo opazovalno postajo ter meritve relevantnih dejavnikov snežnih plazov, in sicer za oceno pričakovane pogostosti snežnih plazov.
- Dodati moramo tudi pregled največje višine snežne odeje in snežne obtežbe za ustrezen povratni nivo (za ukrepe trajnega varstva vsaj 50-letni) na celotnem višinskem prerezu posameznega ali skupine snežnih plazov. Povratni nivo snežne obtežbe je snežna obtežba, ki naj bi se zgodila v povprečju enkrat v izbranem povratnem nivoju oziroma dobi.

SKLOP 5. Izdelava elaborata lavinske nevarnosti s predlogi ukrepov varstva in zaščite pred snežnimi plazovi

Elaborat lavinske nevarnosti vsebuje:

- predlog (1) začasnih ukrepov, kot je priprava smernic za ukrepanje, delovanje in aktivnosti različnih služb ob visoki snežni odeji oziroma povečani nevarnosti plazenja, in (2) stalnih, kot je gradnja ustreznih varovalnih ali preusmerjevalnih protilavinskih objektov,
- utemeljitev predlaganega izbora ukrepov in objektov.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**6.0 Dimenzioniranje in umeščanje varovalnih ukrepov**

Postopek dimenzioniranja in umeščanja varovalnih ukrepov sta prikazana v dveh postopkovnih diagramih:

1. Dimenzioniranje in umeščanje varovalnih ukrepov pred nevarnostmi skalnih podorov in padajočega kamenja iz brežin ob infrastrukturnih objektih (Diagram 3) ter
2. Dimenzioniranje in umeščanje varovalnih ukrepov pred nevarnostmi skalnih podorov in padajočega kamenja iz zalednega pobočja (Diagram 4).

Varovalni ukrepi pred podornimi procesi in padajočim kamenjem se razlikujejo glede na lokacijo in vrsto nevarnosti. Tako delimo varovalne ukrepe na lovilne, stabilizacijske in podporne. Njihova uporaba se lahko na posameznem območju prepleta, lahko pa je zadoščeno varnosti zgolj z uporabo ene vrste ukrepov. Pomembni dejavnik izbire ukrepov predstavlja območje obravnave oz. nevarnosti, ki zajema bodisi brežine ob infrastrukturnih objektih (1) z omejenim obsegom nevarnosti bodisi zaledne brežine (2) z razpršeno ali nerazpršeno nevarnostjo podorov. Najbolj pogosto se pojavlja nevarnost podorov, tako iz zalednih pobočij, kot tudi vkopnih obcestnih brežin.

6.1 Varovalni ukrepi na brežinah ob infrastrukturnih objektih

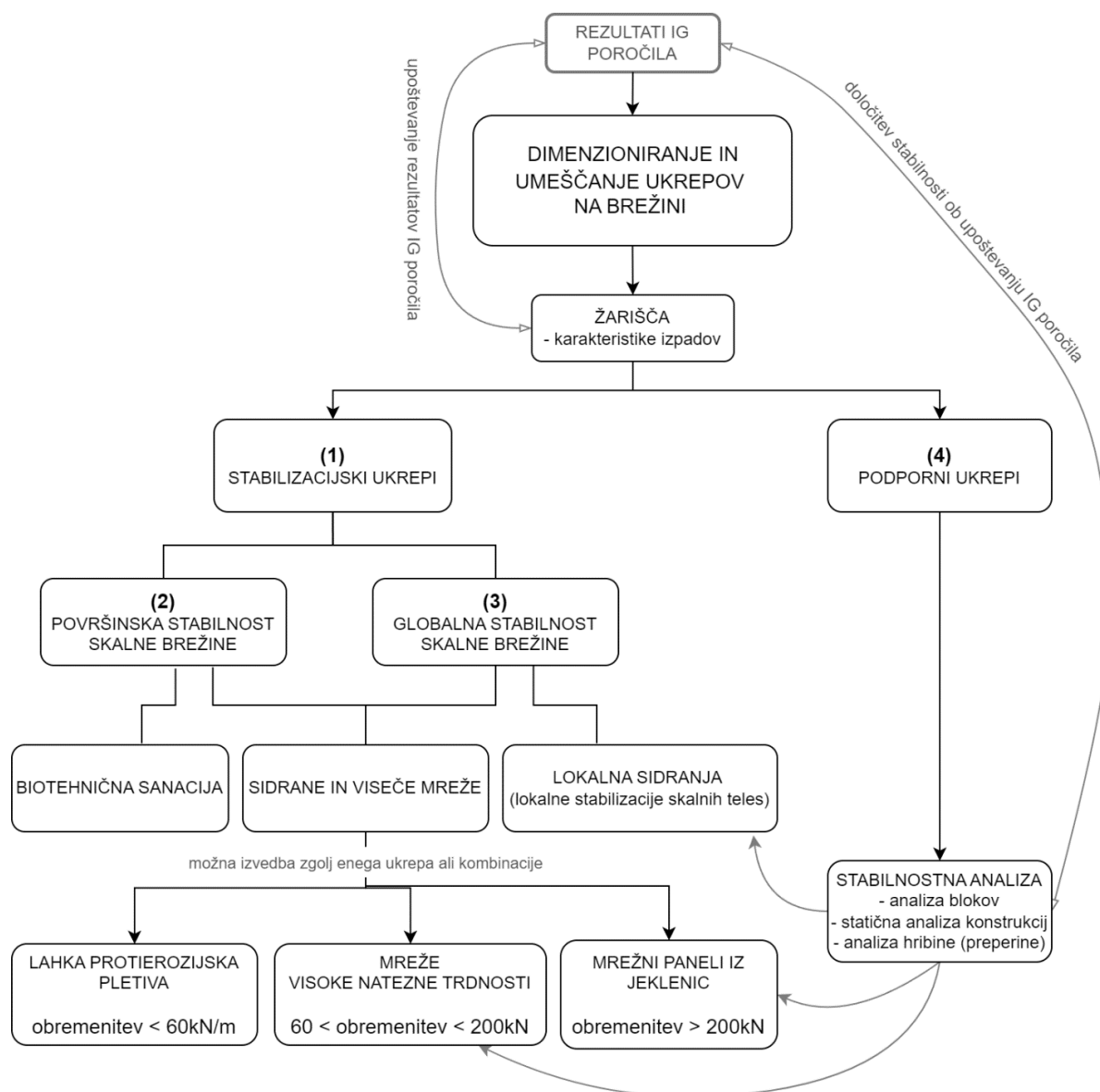
Varovalni ukrepi na vkopni brežini in žariščih odlamljanja kamenja so namenjeni zadržanju in usmerjanju potencialnih podornih mas na mestu oz. območju potencialne sprožitve. Ukrepe predstavljajo:

- sidrane mreže (prilagojene),
- viseče mreže,
- sidranje blokov,
- biotehnične sanacije
- podporni ukrepi (AB slopi, podzidave,...)

Ukrepi so v večini primerov vezani na brežine ob infrastrukturnih objektih (1), v izjemnih primerih se uporabljajo tudi na kritičnih mestih zalednih pobočij, kjer so lovilni ukrepi neizvedljivi ali ekonomsko neupravičeni glede na naravo nevarnosti (manjša lokalna žarišča v zaledju, drugih nevarnosti ni).

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Diagram 3: Umeščanje varovalnih ukrepov pred nevarnostmi skalnih podorov in padajočega kamenja iz brežin ob infrastrukturnih objektih



OPOMBA:

V kolikor se ugotovi, da so stabilizacijski ali podporni ukrepi neracionalni nezadostni in obstaja pogosta podorna nevarnost, ki bi ob vsakokratnem dogodku pomenila tudi velike ekonomske posledice, je potrebno analizirati tudi možnost izvedbe gradbeno tehničnih ukrepov (prestavitev infrastrukture, galerije,...)

SKLOP 1. Stabilizacijski ukrepi na vkopni brežini in žariščih odlamljanja kamenja

Ukrepe za stabilizacijo podornih nevarnosti predstavljajo naslednji ukrepi, ki so namenjeni zadržanju skalnih blokov različnih dimenzij in kamnov na mestu žarišča.

Stabilizacijski ukrepi so usmerjeni na:

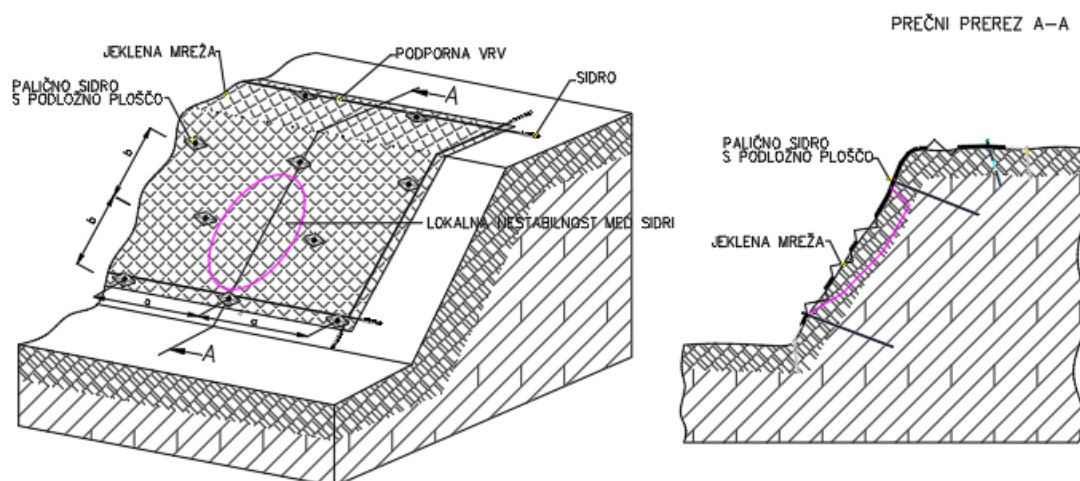
- Površinsko stabilnost skalne brežine,

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- Globalno stabilnost skalne brežine.

SKLOP 2. Površinska stabilnost skalne brežine

Stabilizacija površinske erozije kamnov, skal in manjših blokov se izvaja s prekrivnimi jeklenimi sidranimi mrežami ali paneli iz jeklenic, različne natezne trdnosti (od 40 kN/m' do 250 kN/m') in pasivnimi sidri različne nosilnosti. IG poročilo poda podatke debeline plasti kamninske mase, ki je podvržena eroziji, krušenju ali zdrs s manjših blokov ob diskontinuitetah.



Slika 20: Skica sidranja mreže na površino brežine/žarišča z označenim območjem nestabilnosti med sidri

Vhodni podatki za dimenzioniranje stabilnostnih ukrepov so naklon pobočja, fizikalne karakteristike in debelina labilnega sloja (prostorninska teža in efektivni kot notranjega trenja), tip, naklon in raster pasivnih sider, tip jeklene mreže in velikost podložne plošče. Dolžina sider je odvisna od debeline labilnega sloja in potrebne sile, ki jo sistem zahteva ter nosilnosti kamnine na plašču sidra.

Pri dimenzioniranju zaščitnih jeklenih mrež se preveri mejno stanje površinskih nestabilnosti ter mejno stanje lokalne nestabilnosti med posameznimi sidri. Izračuni se izvedejo z delnimi faktorji skladno z EC7.

Pri dimenzioniranju zaščitnih jeklenih mrež se preveri mejno stanje površinskih nestabilnosti ter mejno stanje lokalne nestabilnosti med posameznimi sidri. Izračuni se izvedejo z delnimi faktorji skladno z EC7.

Opomba:

Pri potrebnih nosilnostih nad 60 kN/ m' se lahko uporablja samo sistem, ki je sposoben zagotoviti vse statične zahteve in je kot sistem ustrezno testiran. Dokazila morajo obvezno vsebovati certifikat (ETA) za ustrezno kvaliteto mreže in ostalih sestavnih delov, kot tudi za sposobnost prenašanja sil preko podložne plošče na sidra (EAD). Zato je potrebno predložiti vsa statična dokazila za mrežo in sidra. Natezna trdnost spojnih elementov mora biti enaka ali večja kot pri mreži. Sistem mora omogočati aktivno prednapenjanje.

RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:

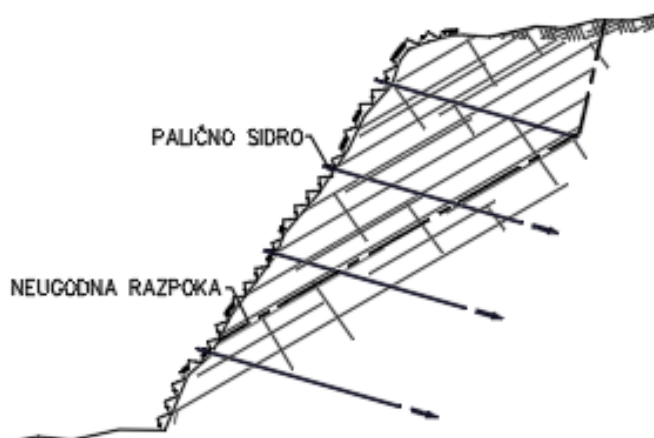
Ruvolum (Geobrugg), MACRO Studio (Maccaferri),...

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

SKLOP 3. Globalna stabilnost skalne brežine – sidranje blokov

Globalno stabilnost skalne brežine lahko dosežemo s sidranjem nevarnih skalnih blokov na brežini. Stabilnostne analize zdrsa po neugodnih razpokah se izvede za vse možne neugodne razmere skladno z EC7. Upošteva se:

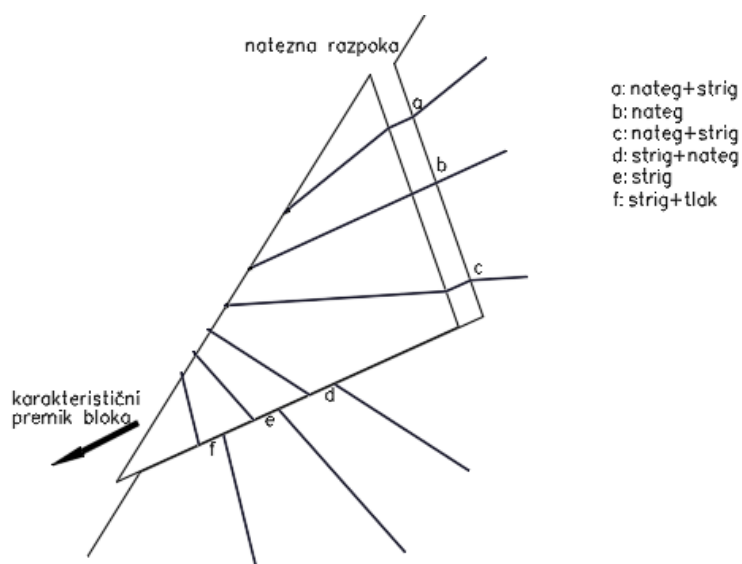
- strižni odpor po razpokah,
- seizmični koeficient,
- vodo v razpokah ob neugodnih vremenskih razmerah.



Slika 21: Skica globalne porušitve na brežini/žarišču

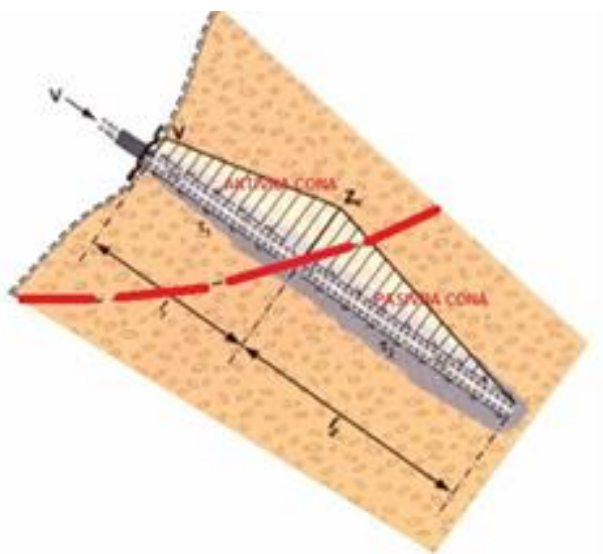
Pri dimenzioniranju sider je potrebno upoštevati:

- smer sidranja glede na položaj neugodnih razpok,
- nosilnost in obremenitev sidra,
- dolžino vpetja sidra v pasivni in aktivni coni sidra.



Slika 22: Možne obremenitve sider pri zdrsu skalnega bloka po gladki razpoki (Windsor, 1966)

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI



Slika 23: Skica razporeditve trenjske nosilnosti sidra v aktivni in pasivni coni sidra s porušno razpoko

V projektu morajo biti navedeni ključni parametri vgradnje sider:

- tip sidra z navedbo premera in nosilnosti,
- lokacija in smer vgradnje vsakega sidra,
- značilnosti kamninske mase in območja porušnic,
- tip protikorozijske zaščite sidra in glave sidra,
- metoda izvedbe in vgradnje sider (premer vrtine, metoda vrtanja, morebitna cevitev ob vrtanju), zahteve za injekcijsko maso,
- izvedbo preizkušanja nosilnosti z doseženimi rezultati v aktivni in pasivni coni sidra.

Preizkuse nosilnosti pasivnih sider se izvaja v skladu z zahtevami projektanta, z zahtevami EN 14490 in skladno z dobro prakso.

Sidra morajo imeti podeljeno tehnično soglasje, slovensko STS ali evropsko ETA.

Površinska in globalna stabilnost skalne brežine se lahko združi v skupen ukrep.

RAČUNALNIŠKI PROGRAMI:

- Programsko orodje za izračun stabilnosti blokov, klinov, prevračanja blokov (npr. Rocscience; Slide, RocPlane, Swedge, RocTopples; Geostru: RockPlane;...)
- Programi MKE RS2 in RS3 (RocScience), Plaxis 2D in 3D

Priporočila za načrtovanje varovalnih ukrepov na brežinah ob infrastrukturnih objektih

Sidrane mreže

Sidrane mreže se uporablja za zagotavljanje površinske, kot tudi globalne stabilnosti skalnih brežin. V določenih primerih se uporabljajo tudi za stabilizacijo zemljastih brežin, pogosto v kombinaciji z biotehničnimi ukrepi.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Za ustrezno učinkovitost se sidrane mreže polaga maksimalno prilagojeno obliki brežine. V primeru izrazito neenakomerne oblikovanosti brežin se pri določitvi načina sidranja predlaga upoštevanje takšnega tipa in rastra sider, ki omogočata zadostno prilagoditev mrež. Pri tem se sidra v največji možni meri vgrajuje v območja obstoječih vboklin v brežini, mrežo pa ustrezno pritrdi k brežini. Dodatno prilaganje mrež se lahko doseže z namestitvijo in napenjanjem jeklenic med pritrditvenimi ploščami. Prav tako je priporočljivo zaključevanje mrežnih panelov z obodno jeklenico.

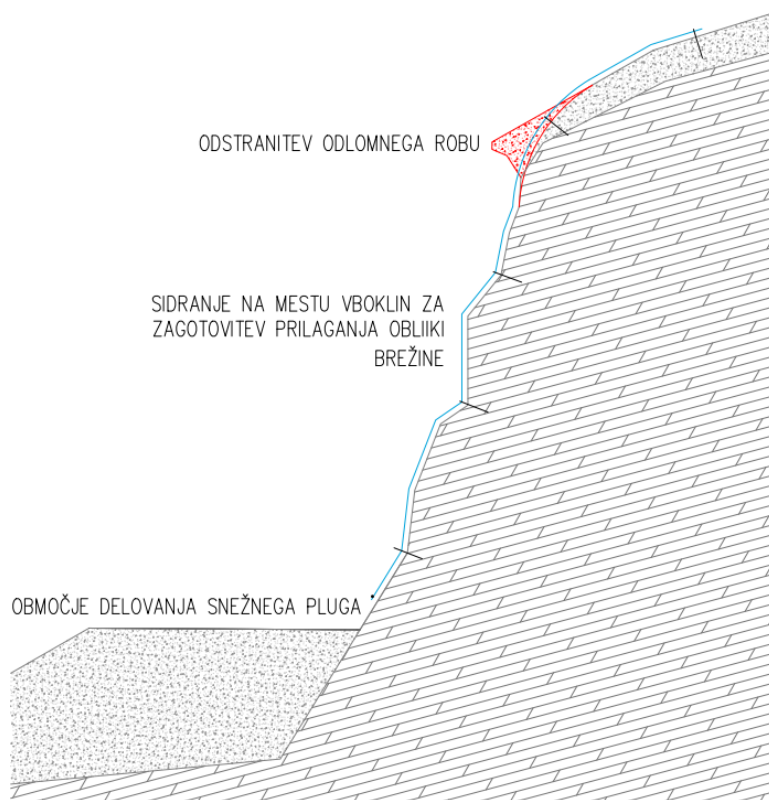


Slika 24: Prikaz polaganja prilagojenih mrež

Pri predpripravi brežine je za zagotovitev stabilnosti brežine bistvenega pomena ureditev zgornjega odlomnega robu. To se izvede z ročnim ali strojnim škarpiranjem, tako da se doseže zvezna navezava na obstoječ zaledni teren. Mreže je potrebno umestiti izven vplivnega območja snežnega pluga.

Pri izbiri mreže je treba zagotoviti, da velikost odprtin okenc ne omogoča čezmernega prepuščanja finih frakcij. Iz tega razloga se ukrepe, v kolikor to zadostuje, lahko kombinira z mrežami manjših velikosti oken (npr. sekundarnimi mikromrežami, mrežami iz jute, sintetičnimi mrežami) in z živimi gradivi ipd.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI



Slika 25: Skica priporočil pri izvedbi sidranih mrež

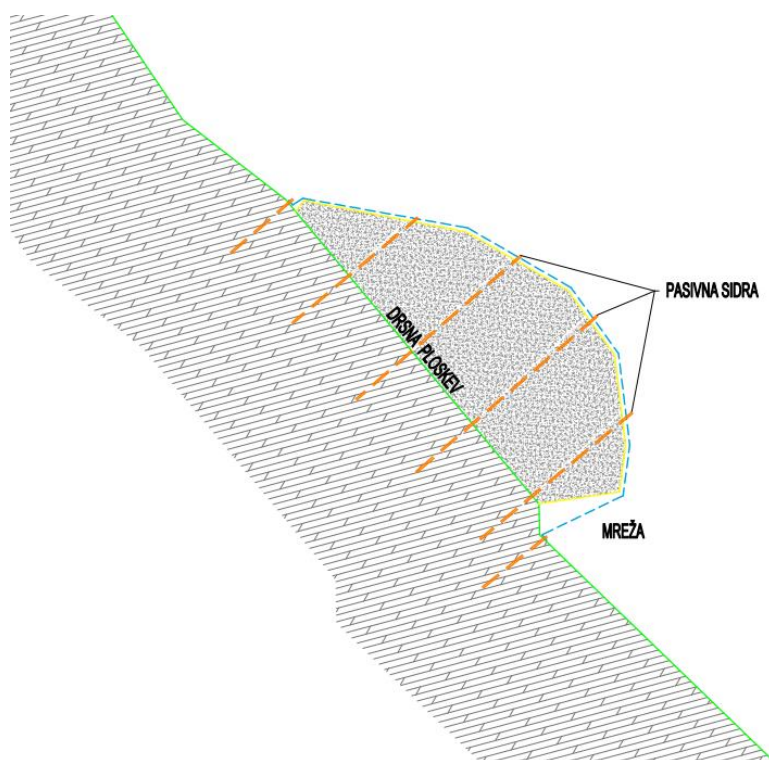
Viseče mreže

Viseče mreže delujejo na način, da izpadlo kamenje usmerjajo v dno brežine na rob cestišča. Praviloma so pričvrščene le na zgornjem robu brežine, v dnu pa obtežene z betonskimi obtežilniki. Zaradi možnosti hitre montaže nudijo razmeroma dobro razmerje med učinkovitostjo in ceno. Njihova pomanjkljivost je, da ne zagotavljajo stabilnosti brežine, kot tudi niso posebej primerne za revegetacijo pobočja. Zaradi kopičenja izpadlega materiala v dnu brežine je potrebno zagotoviti dovolj prostora oz. material redno odstranjevati, kar zahteva več vzdrževanja. Pri njihovi umestitvi je potrebno upoštevati vplivno območje delovanja snežnega pluga.

Lokalna sidranja

Lokalne stabilizacije skalnih teles se izvajajo v dveh najpogostejših načinih. Bodisi se sidranje izvede skozi nestabilno skalno telo, bodisi se skalno telo stabilizira z umestitvijo jeklenic po obodu in vgradnjo sider ob skalnem telesu. Možne so tudi kombinacije opisanih načinov. Pri izbiri ustreznega načina stabilizacije je potrebno zagotoviti ustrezno stabilnost v skladu z analizo stabilnosti (sklop 3 predmetnega poglavja). Kot alternativen ukrep naj se preveri tudi možnosti odstranitve bloka.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI



Slika 26: Skica prikaza načina stabilizacije z jeklenicami

Biotehnični ukrepi

Biotehnične sanacije se uporabljajo kot samostojen tehnični ukrep ali kot dopolnitev ukrepov, kjer je možna uporaba živih gradiv. Živa gradiva so posebej primerna in priporočljiva za izvedbo površinske zaščite in stabilizacije brežin z vzpostavitvijo vegetacijskega pokrova ter razraščanjem koreninskega sistema. Kot živo gradivo se uporabljajo predvsem vrba, jelša, rakitovec, razne vrste trav in trstika. Uporaba živih gradiv ima določene omejitve oz. zahteva nekaj več vzdrževanja predvsem v začetnem obdobju, preden se rastline v zadostni meri zakoreninijo. Običajni vzdrževalni ukrepi so tudi gnojenje, košnja, pomlajevanje itd.

Najenostavnejši primer protierozijske zaščite predstavlja setev travne ruše s pomočjo kokosovega pletiva ali setve v seneni nastilj. Poznamo tudi druge oblike zatravitev, kot so npr. vodna setev ali biotorkretiranje. Poleg vzpostavitve travne ruše so tipični ukrepi iz živih gradiv naslednji:

- Plotovi,
- kordonska gradnja,
- pobočne fašine,
- grmovni popleti,
- sajenje potaknjencev,
- vrbovi popleti.

Za sanacijo brežin se živa gradiva pogosto uporabljajo v kombinaciji z drugimi protierozijskimi ukrepi, mrežami ter klasičnimi gradivi za stabilizacijo brežin in izvedbo odvodnje. Veliko pozornost pri načrtovanju biotehničnih sanacij območij je potrebno posvetiti razpršitvi odvodnje oz. preprečitvi morebitnih koncentriranih vodnih tokov.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Slika 27: Biotehnična sanacija plaznice s sistemom sidranih lesenih oblic, z intenzivno zatravitvijo v seneni nastilj in s sidranimi mrežami. Po končani površinski zaščiti se je izvedlo popletanje vrbovih popletov, sajenje drevesnih sadik in podtikanje vrbovih potaknjencev po celotni površini plazu

Podporni ukrepi

Ukrepe za podpiranje podornih nevarnosti predstavljajo objekti, ki so namenjeni podpiranju podornih mas na mestu potencialne sprožitve. Ukrepe predstavljajo:

- sidrani armiranobetonski slopi,
- podzidave,
- gabioni,
- kašte,...

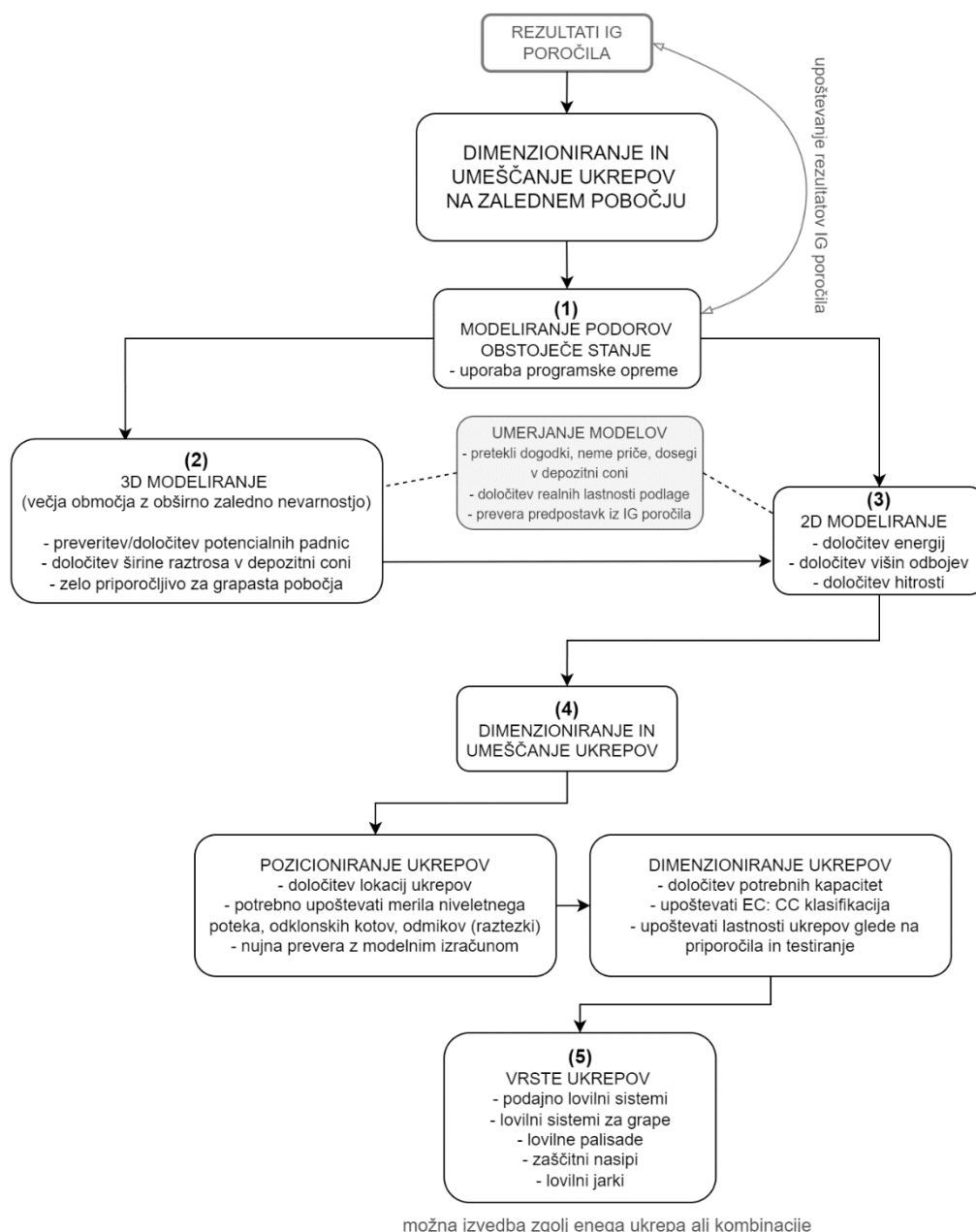
Vsi podporni ukrepi se morajo načrtovati v skladu s standardi, pri čemer je potrebno upoštevati tudi dinamičen vpliv na konstrukcije ob morebitnih nestabilnostih kamninskih mas.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

6.2 Ukrepi za ustavljanje padajočih skal in kamenja

Ukrepi so v večini primerov vezani na podorno nevarnost iz zalednih pobočij, v izjemnih primerih se uporabljajo tudi na kritičnih mestih izjemno visokih vkopnih obcestnih brežin.

Diagram 4: Umeščanje varovalnih ukrepov pred nevarnostmi skalnih podorov in padajočega kamenja iz zalednega pobočja



OPOMBA:

V kolikor se ugotovi, da so lovilni ukrepi neracionalen ali nezadosten ukrep, je potrebno erozijska žarišča reševati z lokalnimi stabilizacijskimi ukrepi. Kot skrajna možnost se lahko predvidi kontinuiran monitoring odlomnih con z vzpostavitvijo avtomatske zapore prometa v primeru povečane nevarnosti. V kolikor obstaja pogosta podorna nevarnost, ki bi ob vsakokratnem dogodku pomenila tudi velike ekonomske posledice, je potrebno analizirati tudi možnost izvedbe gradbeno tehničnih ukrepov (prestavitev infrastrukture, galerije,...)

**PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI,
PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**SKLOP 1.** Določevanje karakteristik skalnih podorov – modeliranje

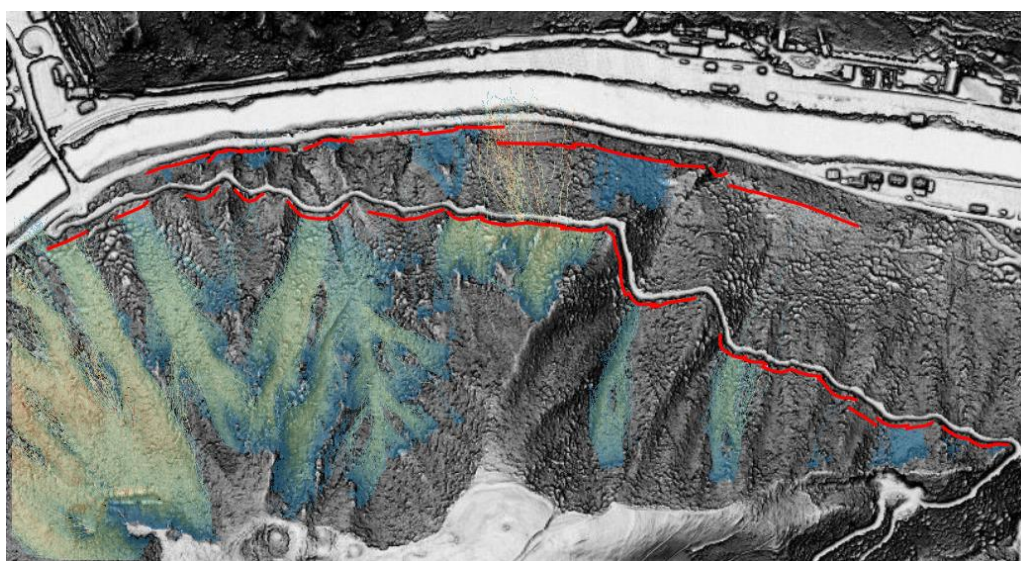
Potencialne energijske vrednosti skalnih podorov in padajočega kamenja ter višine odbojev je potrebno določevati analitično. Matematično modeliranje podornih procesov se vrši z ustrezno programsko opremo, ki zagotavlja izračun kinetičnih energij, višino odbojev in hitrosti potencialnih skalnih blokov. Programska oprema mora omogočati izbiro različnih vrst oblike skalnih blokov in različne odbojne koeficiente temeljne podlage. Modeliranje se glede na naravo območja izvaja v 2-dimenzionalnem in/ali 3-dimenzionalnem načinu izračuna. V kolikor je mogoče oz. za to obstajajo zgodovinski podatki se izračune izvaja s povratno analizo glede na pretekle dogodke. S povratno analizo se detajlneje določi vhodne parametre analiz potencialnih podorov (odbojne konstante, hrapavost podlage,...).

SKLOP 2. Tridimenzionalno modeliranje

Modeliranje se izvaja z uporabo programske opreme, ki omogoča izvedbo izračunov na podlagi 3D modela terena ali rastrskega pristopa. Z uporabo tridimenzionalnega projektnega pristopa se določi/preveri potencialne padnice podornih procesov iz zaledja. V kolikor programska oprema to omogoča se določi raztros potencialnih izpadlih skal v depozitni coni oz. na območju analize. Izvedba izračunov s 3-dimenzionalnim modelom potencialnih podorov je zelo priporočljiva na obsežnih, izrazito grapastih območjih, z večjo možnostjo koncentriranja potencialnih padnic ter pri daljših dolžinah trajektorij. Zaradi morebitne manjše natančnosti določitve kinetičnih energij in odbojev posameznih skalnih blokov se predlaga detajlno določitve z uporabo 2-dimenzionalnega modela ob upoštevanju ustreznih padnic, izvrednotenih na podlagi 3D modeliranja.

Vhodni podatki za modeliranje gibanja skal po padnici so praviloma:

- oblika in velikost bloka,
- prostorninska masa
- število spuščenih skal, prostorska razporeditev izpadov
- začetna hitrost bloka v -x, -y in -z smeri,
- digitalni model reliefa obravnavanega območja,
- materialne lastnosti površine pobočja gibanja (normalni odbojni koeficient R_n in tangencialni odbojni koeficient R_t , hrapavost pobočja)
- gostota in debelina dreves (zgolj nekatera programska oprema)



Slika 28: 3D model padajočega kamenja

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**SKLOP 3. Dvodimenzionalno modeliranje**

Modeliranje se izvaja na podlagi izvrednotenega profila padnice potencialnih skalnih podorov. Potrebno je upoštevati realni topološki profil terena, pri čemer je natančnost vnosa topoloških podatkov odvisna od možnih spremenljivk posamezne programske opreme.

Vhodni podatki za modeliranje gibanja skal po padnici so praviloma:

- oblika in velikost bloka,
- prostorninska masa
- število spuščenih skal, prostorska razporeditev izpadov
- začetna hitrost bloka v -x in -y smeri,
- geometrija pobočja gibanja bloka,
- materialne lastnosti površine pobočja gibanja (normalni odbojni koeficient R_n in tangencialni odbojni koeficient R_t , hrapavost pobočja)

Umerjanje modelnih izračunov

V kolikor je mogoče oz. za to obstajajo zgodovinski podatki se izračune izvaja s povratno analizo glede na morebitne pretekle dogodke. S povratno analizo se detajlneje določi vhodne parametre analiz potencialnih podorov (odbojne konstante, hrapavost podlage,...). Analizo izvedemo tako, da posamezne spremenljivke vsako posebej testiramo in ugotavljamo, kako vplivajo na končni izračun. Pridobljeni rezultati modeliranja so tako nujno vselej tudi predmet kritične inženirske presoje, karakteristične padnice v modelu namreč vedno v določeni meri odstopajo od dejanskih padnic v naravi.

Odbojni koeficienti

Z odbojnimi koeficienti karakteriziramo odbojne lastnosti posameznih odsekov pobočja, glede na posamezen tip tal (skala, zemljina, gozd), poraščenost ter naklon samega pobočja. Tangencialni odbojni koeficient R_t ob trku skale s tlem vpliva na komponento hitrosti vzdolž padnice, normalni odbojni koeficient R_n vpliva na komponento hitrosti v smeri pravokotno na padnico. S spreminjanjem odbojnih koeficientov opravimo glavnilno umerjanje modela. Pri modeliranju padanja različnih dimenzij skal je potrebno tudi upoštevati, da se odbojni koeficienti lahko spremenijo, npr. glede na debelino krovne podlage in naklon terena.

SKLOP 4. Dimenzioniranje in umeščanje ukrepov

Dimenzioniranje in umeščanje ukrepov se izvaja na podlagi modelnih izračunov, ki morajo izkazovati ustrezno stopnjo varnosti pred podornimi nevarnostmi, izkazanimi v IG poročilu.

Pozicioniranje ter preveritev (modeliranje) varovalnih ukrepov

Ko je model umerjen, se glede na prostorsko možnost varovanja predvidi varovalni ukrep z določeno kapaciteto (višina, položaj, absorpcija). Z analizo se nato določi energijo blokov/skal/kamnov in višino odbojev ter hitrosti na lokaciji ukrepa. V kolikor so razmere neugodne in se na padnici nahajajo neenake morfološke lastnosti ter analiza pokaže nezadostno varovanje, je potrebno pozicioniranje ukrepov prilagoditi ter izvajati preverjanje do zagotovitve optimalne zaščite. Če ne zadošča pozicioniranje zgolj enega posameznega ukrepa se smiselno predvidi več linij ukrepov.

V kolikor se ugotovi, da so lovilni ukrepi neracionalen ali nezadosten ukrep, je potrebno erozijska žarišča reševati z lokalnimi stabilizacijskimi ukrepi, ki so opisani v poglavju 6.1.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

V skrajnosti se lahko predvidi kontinuiran monitoring odlomnih con, z vzpostavitvijo avtomatske zapore prometa v primeru povečane nevarnosti. V kolikor obstaja pogosta podorna nevarnost, ki bi ob vsakokratnem dogodku pomenila tudi velike ekonomske posledice, je potrebno analizirati tudi možnost izvedbe gradbeno tehničnih ukrepov (prestavitve infrastrukture, galerije,...)

Varnostni koeficienti za energijsko odpornost in višino lovilnih ukrepov

Pri dimenzioniranju lovilnih ukrepov se najprej določi razred oz. vplivno oceno glede na stopnjo ogroženosti človeških življenj in ekonomskih, socialnih ter okoljskih vplivov v primeru odpovedi sistema. Določitev ocene ogroženosti je prikazana v spodnji preglednici:

Preglednica 3: Določitev razredov glede na posledice

Razredi glede na posledice		
Razredi	Opis	Primeri stavb in gradbeno inženirskih objektov
CC3	Visoke možnosti za izgubo človeških življenj ali zelo velike ekonomske, socialne ter okoljske posledice	Prireditveni prostori, javne zgradbe z visokimi posledicami (velika koncentracija ljudi), avtoceste in glavne ceste s PLDP > 10.000
CC2	Srednje možnosti za izgubo človeških življenj ali sprejemljive ekonomske, socialne ter okoljske posledice	Poslovne in bivalne zgradbe s srednjimi posledicami v primeru poškodb, regionalne ceste in ostale ceste s PLDP > 1.000
CC1	Majhne možnosti za izgubo človeških življenj ali majhne oz. zanemarljive ekonomske, socialne ter okoljske posledice	Redko obljudena gospodarska poslopja (skednji, rastlinjaki,...), lokalne in gozdne ceste z majhnim prometom

Določitev projektnih energijskih vrednosti blokov ter višin odbojev

Energijske vrednosti v primeru udarcev v posamezne podajno lovilne zaslone se določi na podlagi modelnih izračunov. Karakteristično vrednost energije torej določa rezultat modelnega izračuna, projektna vrednost pa se določi na podlagi spodnje enačbe:

$$T_{E,d} = T_{E,k} \times \gamma_{E,kin}$$

pri čemer je

$T_{E,d}$	projektirana energijska vrednost (kJ)
$T_{E,k}$	karakteristična energijska vrednost glede na izračune (kJ)
$\gamma_{E,kin}$	varnostni faktor glede na razred posledic – preglednica 4

Preglednica 4: Varnostni faktor energijskih vrednosti blokov

Varnostni faktor energijskih vrednosti blokov			
	CC1	CC2	CC3
$\gamma_{E,kin}$	1,0	1,05	1,15

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Karakteristične vrednosti višine odbojev se pridobi na podlagi modelnih izračunov, pri čemer se za določitev višine varovalnih ukrepov uporabi naslednjo enačbo:

$$h_{E,d} = h_{E,k} \times \alpha_1$$

pri čemer je

$h_{E,d}$	projektirana višina varovanja (m)
$h_{E,k}$	karakteristična višina iz modelnega izračuna (m)
α_1	varnostni faktor glede na razred posledic – preglednica 5

Preglednica 5: Varnostni faktor za višine odbojev blokov

Varnostni faktor za višine odbojev blokov			
	CC1	CC2	CC3
α_1	1,05	1,1	1,3

Določitev projektne energijske odpornosti in višine lovilnih ukrepov

Za določitev projektne odpornosti ukrepov glede na njihove absorpcijske zmožnosti se uporabi naslednji postopek:

$$T_{E,d} \leq T_{R,d}$$

pri čemer je

$T_{E,d}$	projektirana vrednost energije skal (kJ)
$T_{R,d}$	projektirana vrednost absorpcijske zmožnosti (kJ)
in	

$$T_{R,d} = T_{k,MEL} / \gamma_{T,R}$$

pri čemer je

$T_{k,MEL}$	energijska odpornost ukrepa (MEL – v skladu z ETAG 027 za PLS)
$\gamma_{T,R}$	varnostni faktor odpornosti – preglednica 6

Preglednica 6: Varnostni faktor energijske odpornosti ukrepov

Varnostni faktor energijske odpornosti ukrepov			
	CC 1	CC 2	CC 3
$\gamma_{T,R}$	1,0	1,05	1,15

Za določitev projektne višine lovilnih ukrepov se ravno tako uporablja varnostni faktor. Način določitve projektne višine ukrepov:

$$h_{E,d} \leq h_{R,d}$$

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

pri čemer je

 $h_{E,d}$ projektirana višina odbojev (m) $h_{R,d}$ projektirana višina sistema (m)

in

$$h_{R,d} \leq h_{R,k}/\alpha_2$$

pri čemer je

 $h_{R,k}$ karakteristična višina ukrepa (ograje v skladu z evropskim tehničnim soglasjem oz. oceno (m)) α_2 varnostni faktor za višino – preglednica 4

Preglednica 7: Varnostni faktor višine varovalnih ukrepov

Varnostni faktor za višino varovalnih ukrepov			
	CC1	CC2	CC3
α_2	1,0	1,05	1,1

Opomba za PLS: Dopustne višine ograj so predpisane v smernici ETAG 027. In sicer se pri ograjah z nominalno višino manj kot 4,0 m, šteje, da testu zadostujejo tudi ograje, ki so do 0,5 m višje. Pri ograjah z nominalno višino enako ali večjo kot 4,0 m, šteje, da testu zadostujejo tudi ograje, ki so do 1,0 m višje. Redukcija višin ograje testiranih pri MEL test, skladno s smernico ETAG 027, ni dopustna.

Dodatne opsijske zahteve za podajno lovilne sisteme

Za nivo varovanja v razredu posledic CC2 in CC3 naročnik lahko v razpisni dokumentaciji, gradbeni ali dobavni pogodbi predpiše dodatne opsijske zahteve v zvezi z izbiro tipa podajno lovilnih ograj, ki presegajo osnovne zahteve ETAG 027, ki so zajete v spodnji preglednici:

Preglednica 8: Opcijske dodatne zahteve za podajno lovilne sistem

	Nesprejemljive poškodbe pri testu ETAG 027 (maksimalni energijski razred, MEL)
CC1	- Ni dodatnih kriterijev, ETAG 027 zadostuje
CC2	- Pri udarcu ne sme priti do odprtín v mreži v bližini stebra v območju preostale uporabne višine sistema, med spodnjimi jeklenicami in mrežo, premera nad 40 cm. - Pri udarcu ne sme priti do formacije stranskih odprtín pri testiranju maksimalne širine polja med stebri, večjih od 10% nominalne višine sistema, če se robna polja sistemov nahajajo v potencialno ogroženem območju. - Pri udarcu ne sme priti do pretrganja primarne mreže ter nosilnih in zalednih jeklenic. - Pri udarcu ne sme priti do pretrganja vezi med primarno mrežo in nosilnimi jeklenicami, razen, če se po izvedenem testu formira nova povezava z zadostno nosilnostjo.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

CC3	- Pri udarcu ne sme priti do odprtih v mreži v bližini stebra v območju preostale uporabne višine sistema, med spodnjimi jeklenicami in mrežo, premera nad 20 cm. - Pri udarcu ne sme priti do formacije stranskih odprtih pri testiranju maksimalne širine polja med stebri, večjih od 10% nominalne višine sistema, če se robna polja sistemov nahajajo v potencialno ogroženem območju. - Pri udarcu ne sme priti do pretrganja pramen primarne mreže ter nosilnih in zalednih jeklenic. Posamezne žice se lahko pretrgajo, v kolikor ne pride do pretrganja celotnih pramen. - Pri udarcu ne sme priti do pretrganja vezi med primarno mrežo in nosilnimi jeklenicami.
V primeru, da pride do formacije stranskih odprtih večjih od 10% nominalne višine sistema izključno na robnih poljih sistema, je potrebno sistem podaljšati vsaj za pol polja. Če je zadoščeno zahtevi, da krajni deli sistemov ležijo izven ogroženega območja se dodatno podaljšanje navadno lahko opusti.	

LITERATURA:

- Mikoš, M., Petje, U., Majes, B. 2006. Modeliranje gibanja skalnih podorov pregled. Ljubljana. Acta hydrotechnica 23/38.
- Rocscience Inc. 1998 - 2002. RocFall, Risk Analysis of Falling Rocks On Steep Slopes. User's Guide. Str.: 59
- Rockfall Characterization and Control, editors A.Keith Turner, Robert L.Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 9: Modeling and Prediction of Rockfall, A.Keith Turner, John D.Duffy
- 2D in 3D računalniški programi za simulacijo padanja kamenja (npr.: RocScience RocFall, Geostru (Georock in Georock 3D), ecorisQ Rockyfor3D,...)
- ONR 24810. Technical protection against rockfall — Terms and definitions, effects of actions, design, monitoring and maintenance.

SKLOP 5 - Vrste lovilnih ukrepov

Ukrepi za lovljenje padajočih skal in kamenja zajemajo objekte, ki so namenjeni zaustavitvi podornih skal in padajočega kamenja, ki so zaradi sprožitve na pobočju že v gibanju. Ukrepe predstavljajo:

- podajno lovilni sistemi, podajno lovilni sistemi za grape, lovilne zavese,
- zidovi, palisade in podobno,
- zaščitni nasipi in lovilni jarki.

Podajno lovilni sistemi (PLS)

Podajno lovilne sisteme na evropski ravni obravnava krovna smernica ETAG 027 (glej viri), ki jo v različnih državah nadgrajujejo posamezne nacionalne smernice.

V osnovi podajno lovilne sisteme delimo na:

- sisteme z zalednimi vrvmi (s stebri na tečajih) in
- na sisteme brez zalednih vrvi (s fiksni stebri).

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Poznamo tudi specialne lovilne sisteme, kot so:

- podajno lovilni sistemi za grape in
- lovilne zaveses za padajoče kamenje,

Konstruktivske zahteve

V nadaljevanju so opisane nekatere osnovne konstrukcijske zahteve, kot jih predvideva evropska krovna smernica ETAG 027. Kjer je smiselno se zahteve dopolni na podlagi določil avstrijske smernice ONR 24810 (glej vire), ki naj se upoštevajo na način, kot je opisano v nadaljevanju.

Odmik od varovanih objektov

Priporoča se minimalni odmik podajno lovilnih sistemov od varovanih objektov, ki naj znaša vsaj 1,2-kratnik maksimalne elongacije sistema ob MEL testu (skladno s smernico ETAG 027) oz. naj se zagotovi vsaj 1,0 m dodatnega odmika glede na maksimalno elongacijo sistema ob MEL testu. Če odmika ni možno zagotoviti se umestitev ali ukrep prilagodi glede na strokovno oceno projektanta.

Dolžina polja

Priporočljivo je, da dolžina polj odstopa največ $\pm 2,0$ m od dolžine polj uporabljene pri odobritvenem testu. Večje odstopanje v dolžini polj se lahko predvidi le v primeru, da dejanske razmere drugačne umestitve ne dopuščajo.

Maksimalna dolžina sistema brez internega (dolbrežnega) sidranja

Maksimalna priporočljiva razdalja podajno lovilnih sistemov brez izvedbe internega (vmesnega) dolbrežnega sidranja stranskih in srednjih nosilnih vrvi znaša 60 m oz. se le-ta izvede minimalno na vsakih 6 polj sistema.

Robna polja in prekinitev med sistemi

Ob zasnovi ukrepov naj se upošteva, da v okviru odobritvenega testa ETAG 027, robna polja sistemov niso testirana. Iz tega vidika se priporoča, da robna polja ležijo izven ogroženih delov območja. V kolikor to ni mogoče zagotoviti se priporoča, da uporabljen sistem zadostuje pogoju, da pri udarcu ob odobritvenem testu MEL, ne pride do formacije stranskih odprtih (pri testiranju maksimalne širine polja med stebri) večjih od 10% nominalne višine sistema.

V primeru uporabe več vrst sistemov je treba na ustrezen način zagotoviti zadostno medsebojno prekrivanje. Penetraciji zalednih vrvi spodnjega sistema skozi višje ležeč sistem se je priporočljivo izogniti (zagotovi naj se zadosten višinski odmik). Treba je zagotoviti tudi zadostno horizontalno prekrivanje, v primeru transverzalnega gibanja skal po pobočju.

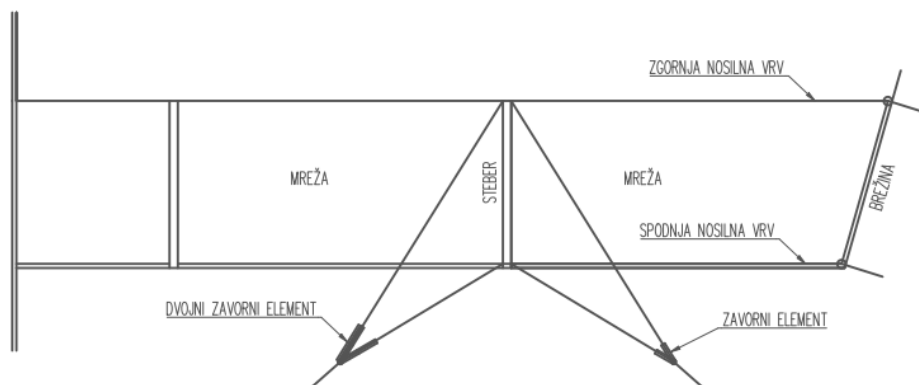
Sidranja neposredno v skalo

Izvedba stranskega sidranja sistemov neposredno v skalo naj se izvaja skladno z navodili proizvajalcev sistemov. Načeloma obstaja dva načina sidranja v skalo:

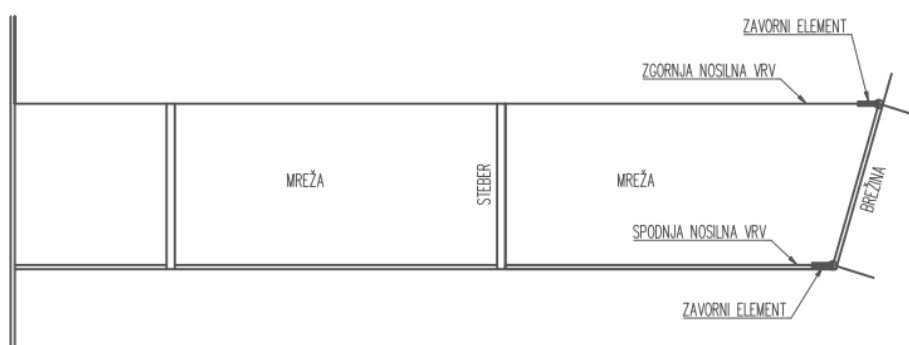
- Izvedba internega dolbrežnega sidranja na zadnjem stebri sistema, pri čemer se uporabi dvojni zavorni element na mestu dolbrežnega sidranja, s čimer se zagotovi tesnejša namestitve primarne mreže tik ob skali.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- Izvedba neposrednega sidranja v skalo z namestitvijo zavornih elementov neposredno na posamezna stranska sidra.



Slika 29: Skica prikaza načina zaključka sistema direktno na skalo

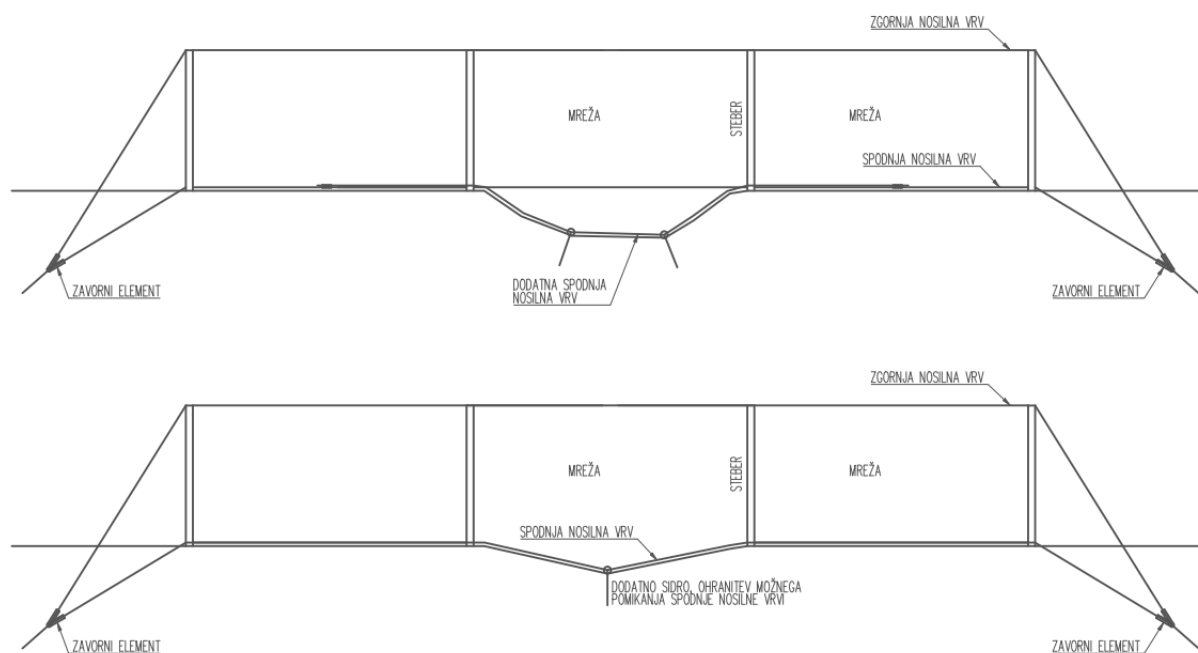


Slika 30: Skica prikaza načina zaključka sistema direktno na skalo

Zapiranje vrzeli pod sistemi

Zapiranje vrzeli pod sistemi se lahko izvede na več načinov, pri čemer je bistvenega pomena ohranitev možnosti pomikanja spodnje nosilne vrvi. Zapiranja vrzeli naj se izvajajo skladno z navodili proizvajalca. Praviloma se manjša neizrazita zapiranja izvedejo s podaljšanjem sekundarne mreže. Nekoliko večje vrzeli se lahko zapira z vgradnjo dodatnega nosilnega sidra v vrzeli preko katerega se spodnjo nosilno vrv, vključno z mrežo pritisne h dnu. Izrazite vrzeli se zapira z namestitvijo dodatnih nosilnih jeklenic in s podaljšanjem primarne mreže. V kolikor se nahajajo pod polji sistema izrazite grape z višjim prerezom, je treba preučiti možnost kombinacije izvedbe dveh sistemov (podajno lovilni sistem + lovilni sistem za grape). Pri izvedbi zapiranja vrzeli je treba posebno pozornost nameniti temu, da ne prihaja do odvečnega nameščanja mreže po brežini, saj le-ta lahko predstavlja nevarnost za prostoživeče živali.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI



Slika 31: Skica prikaza možnih načinov zapiranja vrzeli

Podajno lovilni sistemi za grape

Podajno lovilni sistemi za grape predstavljajo specialne lovilne objekte, ki v smernici ETAG 027 niso posebej obravnavani. Njihova zasnova temelji na podlagi strokovne presoje ter obstoječih certificiranih podajno lovilnih sistemov, ki se jih smiselno prilagodi glede na dane potrebe.

Stranske nosilne vrvi podajno lovilnih sistemov za grape so lahko sidrane neposredno v skalo ali običajno vodene preko stranskih nosilnih stebrov. Pri dimenzioniranju naj se posebno pozornost nameni posebnim obremenitvam (pojavu snežnih plazov ipd.).

Lovilne zavese za padajoče kamenje

Podajno lovilne zavese v smernici ETAG 027 niso posebej obravnavane. Zasnovane so na osnovi podajno lovilnih ograj, le da je lovilna mreža podaljšana do dna brežine v obliki lovilne zaves. Ti sistemi se uporabljajo pri omejevanju energije padajočega kamenja, ki dosega visoke hitrosti ter za nadzorovano padanje kamenja po dolgi pobočjih. Visoko učinkovitost izkazujejo predvsem na območjih z visoko intenziteto padanja kamenja, kjer bi bilo vzdrževanje tradicionalnih podajno lovilnih ograj višje po pobočju stroškovno neupravičeno. Za izvedbo takih ukrepov je treba zagotoviti ustrezen varovalni pas ob infrastrukturnem objektu.

Zidovi, palisade in podobne konstrukcije

V določenih primerih je na podlagi strokovne presoje, za zagotovitev varnosti pred padanjem kamenja z majhnimi energijami udarcev smiselna uporaba enostavnejših lovilnih ukrepov, kot so:

- lovilni zidovi in podobne konstrukcije
- lahke jeklene palisade ipd.

Zidovi

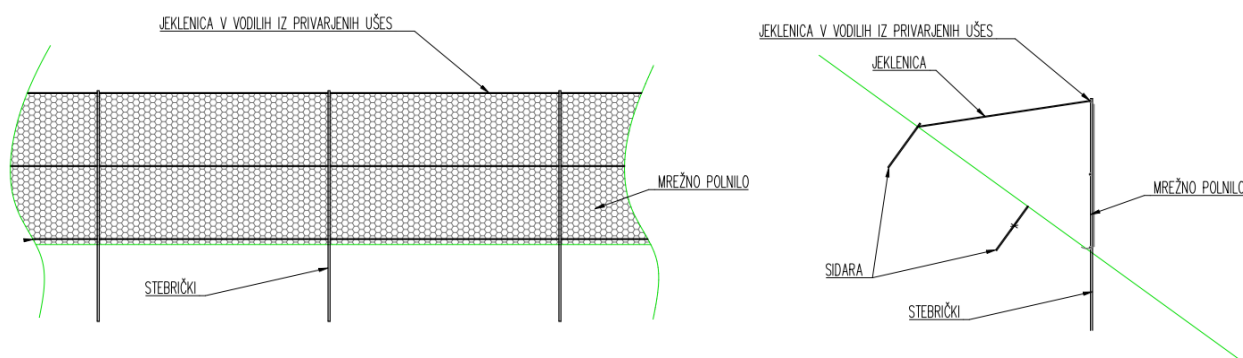
Zidovi in podobne konstrukcije (betonske varovalne ograje, lesene palisade) so zaradi majhne porabe prostora, lahko učinkovit ukrep pred (pogostim) padanjem kamenja z majhnimi energijami

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

udarcev. Lahko se uporabljajo tudi npr. za zagotovitev varnostnega nadvišanja lovilnih jarkov. Kot konstrukcijski material se lahko uporabi les, beton, kamen, gabione itd. Pri tem ob močnejšem trku toge konstrukcije lahko počijo ali jih celo raznese. To se lahko omili na način, da se jih spredaj zaščiti oz. obloži z gibkim materialom. Za višje energije udarcev se praviloma uporabljajo debelejši gibki zidovi, npr. s konstrukcijo iz gabionov, armirane zemljine ipd. Dimenzioniranje takšnih zidov mora biti, glede na pričakovane obremenitve (tudi dinamične), skladno s standardi.

Lahke palisade

Lahke varovalne ograje – palisade se praviloma izvajajo do maksimalne višine 2.0 m (izjemoma 3.0 m) nad terenom in sestojijo iz jeklenih vrvi, heksagonalnega pletiva ter jeklenih stebričkov primerne višine (treba upoštevati 1.0 m temeljenja v podlago). Stebrički se umeščajo v medsebojni razdalji 3 – 5 m; predvidi se sidranje v zaledje z zalednimi jeklenimi vrvmi. V kolikor se palisade predvidevajo za trajno vgradnjo se predlaga uporaba vroče cinkanih elementov.



Slika 32: Skica prikaza palisade

Zaščitni nasipi

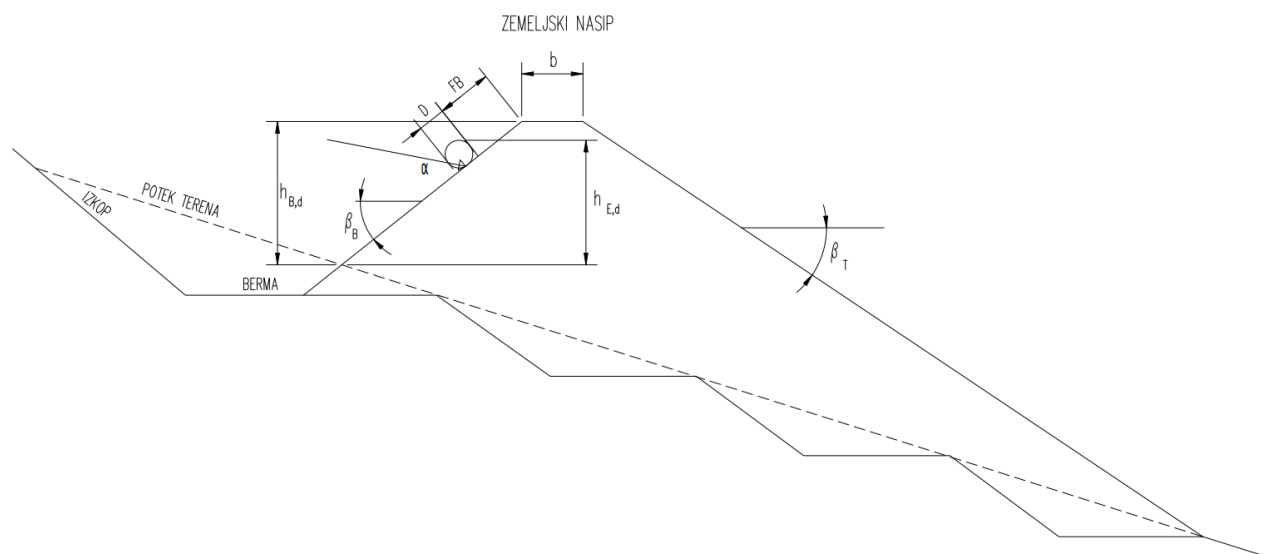
Zaščitni nasipi se uporabljajo na območjih, kjer karakteristike prostora to omogočajo ali kjer podajno lovilni sistemi zaradi zahtevnejših karakteristik potencialnih podorov ne zadoščajo.

Tipični primeri lovilnih nasipov so:

- zemeljski nasip,
- zemeljski nasip s kamnito oblogo ali oblogo iz žičnatih košar,
- armiran zemeljski nasip – armirana zemljina služi le povečanju naklona brežine
- armiran zemeljski nasip – armirana zemljina služi tudi večji odpornosti na dinamično obremenitev

Pri običajnem zemeljskem nasipu je, zaradi nevarnosti preskoka nasipa treba relativno veliko varnostno nadvišanje. Z oblaganjem zgornje brežine se zagotoviti njen večji naklon in posledično zmanjšanje potrebe po varnostnem nadvišanju in prostoru. Armiran zemeljski nasip zagotavlja večjo širino nasipa tekom celotne višine nasipa ob manjši porabi prostora.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI



Slika 33: Skica zaščitnega nasipa

D	premer bloka (m)
FB	varnostno nadvišanje, merjeno po brežine nasipa (m)
b	debelina krone (m)
$h_{B,d}$	višina konstrukcije nasipa (m)
$h_{E,d}$	efektivna višina nasipa (m)
α	kot udarca (°)
β_B	naklon zgornje brežine (°)
β_t	naklon spodnje brežine (°)

Zasnova nasipov

Zasnovo zaščitnih nasipov jih je treba obravnavati posebej od primera do primera.

Preveritev mejnih stanj

Pri zasnovi je treba zadostiti naslednjim končnim mejnim stanjem stabilnosti:

- BS 1: Preveritev mejnega stanja stabilnosti objekta po gradnji
- BS 2: Preveritev mejnega stanja stabilnosti objekta med gradnjo
- BS 3: Preveritev mejnega stanja stabilnosti objekta ob projektnem udarcu. Po potrebi je pri zasnovi treba upoštevati tudi možnost pojava plazov, drobirskih tokov, naletov drevja itd.

Kot udarca

Kot udarca je pomemben z vidika preučitve možnosti preskoka nasipa. Pri zasnovi se upošteva kot udarca, ki se ga določi na podlagi umerjenega modela padajočega kamnja.

Osnovne konstrukcijske zahteve

V nadaljevanju so opisane nekatere osnovne konstrukcijske zahteve, priporočila in usmeritve, ki naj se upoštevajo pri zasnovi nasipov.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Enostavni nasipi

Če je lovilna kapaciteta nasipa tipa II in III manjša od 5000 kJ ter premer projektne skale manjši od 2 m, je mejna stanja nosilnosti in uporabnosti nasipa možno preveriti po poenostavljenem postopku, kot to predvideva avstrijska smernica ONR 24810.

Armirani zemeljski nasipi

Pri izračunu odpornosti konstrukcije je poleg predvidenih obtežb, treba upoštevati še naslednje morebitne negativne vplive:

- lezenje konstrukcije,
- vpliv morebitnih poškodb med gradnjo, transportom in komprimiranjem,
- vpliv šibkih členov konstrukcije (stiki),
- vremenske vplive,
- vplive dinamične obtežbe.

Splošna priporočila

Pred samo gradnjo se zagotovi ustrezno nosilnost temeljnih tal.

Pri gradnji nasipa se uporabi material z ustreznimi mehanskimi lastnostmi, ki se ga sproti komprimira po plasteh, tako da se doseže gostoto po Proctorju $D_{pR} \geq 98 \% - 100 \%$. Debelina slojev je odvisna od kvalitete, plastičnosti in zasičenosti nasipnega materiala ter od načina komprimiranja. Mehanske lastnosti vgrajenih slojev je treba ponovno preveriti v primeru pojava večjih količin padavin ali taljenja snega.

Če je možno naj bo zasnova nasipa takšna, da so statični nosilni elementi v primeru udarca ustrezno zaščiteni, tako da je v primeru udarca, popravilo nasipa čim manj zahtevno. V kolikor je treba, se zagotovi ustrezno odpornost materialov pred UV-žarčenjem, zmrzaljo ipd.

STANDARDI, LITERATURA

- ONR 24810. Technical protection against rockfall — Terms and definitions, effects of actions, design, monitoring and maintenance.
- ROCKFALL, Characterization and control, TRB

Lovilni jarki

se uporabljajo na območjih, kjer karakteristike prostora to omogočajo ali kjer podajno lovilni sistemi zaradi zahtevnejših karakteristik potencialnih podorov ne zadoščajo. Lovilni jarki predstavljajo učinkovit in zanesljiv ukrep za ustavljanje padajočega kamenja. Praviloma je enostavna tudi njihova izvedba in vzdrževanje. Podobno kot pri lovilnih nasipih se po potrebi (npr. zaradi prostorskih omejitev) brežine jarka lahko tudi obloži, pozida ali izvede iz armirane zemljine ipd.

Skladno z izkušnjami stroke se predlaga dimenzioniranje jarkov na podlagi enega izmed naslednjih načinov:

- z uporabo Ritchie Ditch kriterija (Ritchie 1963)
- skladno z navodili Rockfall Catchment Area Design Guide (Pierson et al. 2001)

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- na podlagi modeliranja padajočega kamenja

Zgoraj navedeni načini dimenzioniranja so podrobneje predstavljeni v literaturi Rockfall, Characterization and control, TRB.

STANDARDI, LITERATURA:

- ROCKFALL, Characterization and control, TRB

Gradbeno tehnični ukrepi

Na območjih, kjer se s predhodnimi analizami porušnih mehanizmov in simulacijami skalnih podorov izkaže, da z ukrepi iz poglavij 6.1 in 6.2 ni možno zagotoviti ustreznega varovanja oz. bi bile ekonomske posledice elementarne nesreče nesprejemljive, se lahko predlaga druge gradbeno tehnične ukrepe, kot sta izvedba galerije ali prestavitve infrastrukture. Galerije in podobni objekti se morajo dimenzionirati v skladu s standardi, treba je upoštevati dinamične vplive udarcev skalnih teles. Prestavitve infrastrukture naj se načrtuje v skladu z analizo porušnih mehanizmov in modelnimi izračuni skalnih podorov, da se dokaže ustrezen premik trase infrastrukture, da jih skalna telesa ne dosežejo.

6.3 Ukrepi za varovanje pred snežnimi plazovi

Ukrepi varovanja pred snežnimi plazovi se delijo glede na način učinkovanja. Delimo jih na:

- Ukrepe za oporo snežni odeji (podajni - snežne mreže, togi - grablje, mostovi, plotovi, ograje ...)
- Ukrepe za preusmeritev, upočasnjevanje, razbijanje in ustavljanje snežnih plazov (usmerjevalni in zaustavljalni nasipi/kope/zidovi, razbijači, galerije ...)
- Ukrepe za proženje snežnih plazov (eksplozivna sredstva – fiksna in mobilna)

Sklope, vezane na varovalne ukrepe pred snežnimi plazovi, prikazujemo v Diagramu za umeščanje varovalnih ukrepov pred snežnimi plazovi (Diagram 3), ki vsebuje tudi postopek pregleda območja in določitve lavinske nevarnosti iz poglavja 5.4.

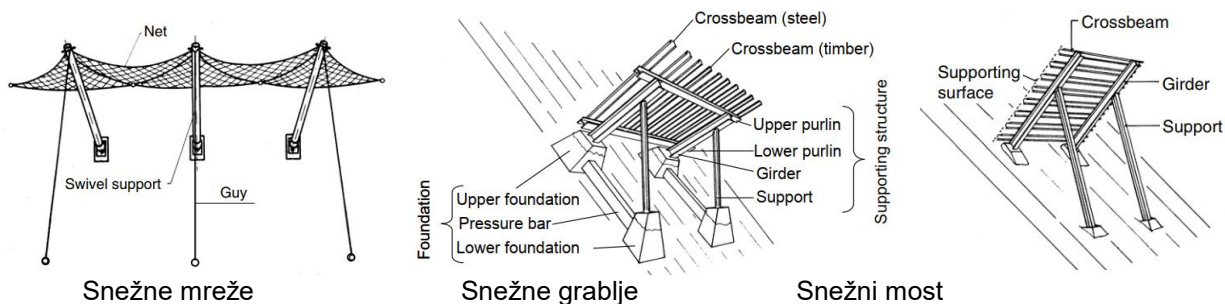
SKLOP 1 Ukrepi za oporo snežni odeji

Ukrepi za oporo snežni odeji v območju sproščanja (običajno gladka in srednje strma pobočja z nakloni 30°–50°) omogočajo zadrževanje snežne odeje ter povečujejo hrapavost površine. Posledično snežna odeja ne more splaziti in zdrseti v dolino. Pomemben stabilizator snežne odeje v naravi je odrasel gozd, ki pa na določenih območjih zaradi predhodnih poškodb, posekov ali višinske lege ne more uspevati.

Posledično je treba na takih območjih, ki lahko predstavljajo tudi nevarnost pojava snežnih plazov za infrastrukturne objekte, predvideti ukrepe, ki preprečujejo splazitev snežne odeje. Le te se umešča na celotnem območju proženja snežnih plazov v obsegu, ki prepreči možen doseg infrastrukturnih in drugih objektov.

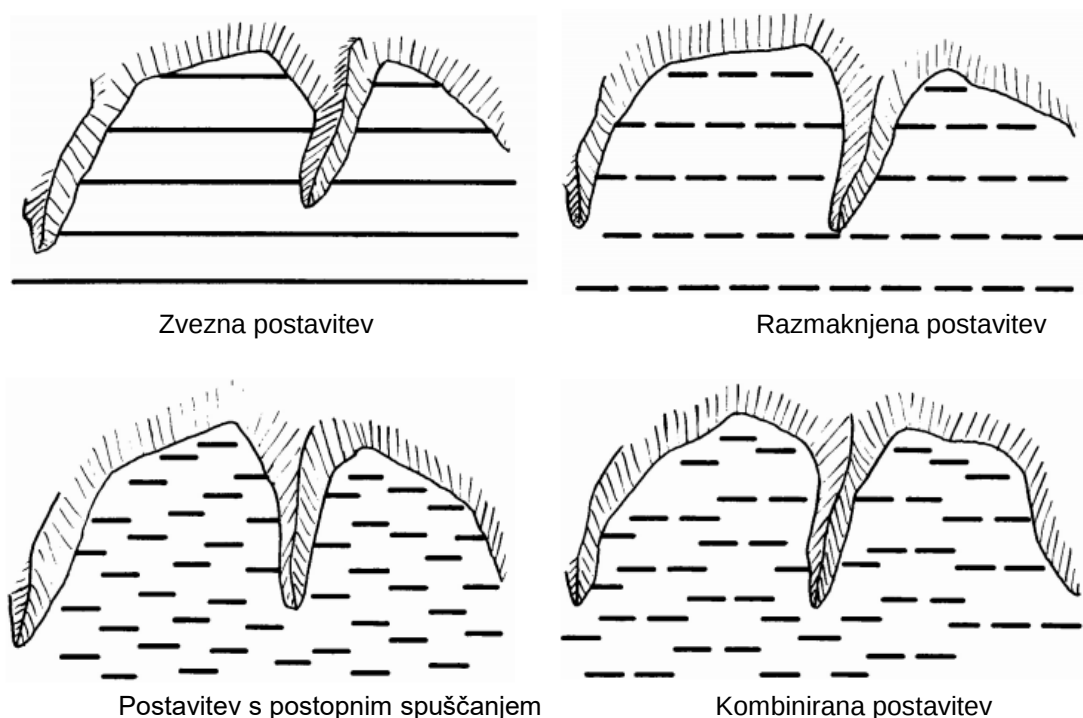
PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Umešča se lahko več vrst ukrepov za oporo snežni odeji, ki so lahko v podajni (snežne mreže) ali togi izvedbi (snežne grablje, mostovi, plotovi, ograje). Podajni ukrepi so manj občutljivi na pomike plazine, zato jih je težje izvajati na območju nespriete talne podlage.



Slika 34: Prikazi ukrepov za oporo snežni odeji

Na podlagi osnovnih značilnosti snežne odeje in hrapavosti površja, ki izhajajo iz elaborata lavinske nevarnosti se predvidi posamezne ukrepe. Ti morajo zagotavljati ustrezno oporo reprezentativni obtežbi snega za obravnavano območje ter zagotavljati ustrezno varnost glede na potencialno maksimalno višino snežne odeje. Prav tako se predvidi ustrezen razstoj posameznih vrst opornih elementov, ki onemogoča splazitev snežne odeje v območju med posameznimi vrstami ukrepov. Zaledni pritiski obtežbe snega se v normalnih okoliščinah raztezajo na dolžini pobočja, ki znaša približno trikratnik višine snežne odeje. Ukrepe se umešča v vzdolžnih linijah na določenem razstoju glede na naklon in hrapavost pobočja. Umešča se jih lahko tudi v vrstah zvezno ali razmaknjene, lahko pa tudi razmaknjene s postopnim spuščanjem po brežini ali v kombinirani postavitvi.



Slika 35: Možni načini postavitvev ukrepov za oporo snežni odeji

Določitev statične odpornosti in stabilnosti ukrepov

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Posamezni »standardizirani« ukrepi za oporo snežni odeji se izdelujejo kot kit sistemi v kontrolirani proizvodnji. Le ti morajo zadoščati predhodno določenim vplivom ter so testirani. Ugotovitve kažejo na največje obremenitve linijskih objektov na zunanjih robovih konstrukcij oz. posameznih polj. Zaradi tega dejstva se predlaga izvajanje ukrepov z večkratnim sidranjem posameznega polja sistema v zaledje oz. osnovno podlago. Objekti, ki zagotavljajo zadrževanje snežne odeje zgolj z enojnim sidranjem, se izjemoma lahko uporabljajo zgolj na daljših zveznih pobočjih brez jarkov ali grap. Sistemov z enojnim sidranjem zaradi izredno spremenljivih dinamičnih vplivov ne smemo izvajati na območju grap s pričakovano lavinsko nevarnostjo. Sidranje sistemov mora biti detajlno določeno na podlagi predhodnih inženirskogeoloških raziskav, izvedba sidranja se mora skrbno nadzorovati.

Če se predvideva postavitve nestandardiziranih ukrepov je treba te določati glede na statične in dinamične vplive v skladu z veljavnimi standardi za konstrukcije.

Določitev višine ukrepov (D_k)

Višina ukrepov za oporo snežni odeji se določi glede na naklon pobočja in potencialno maksimalno višino snežne odeje za obdobje 50 let. Uporabi se spodnja enačba:

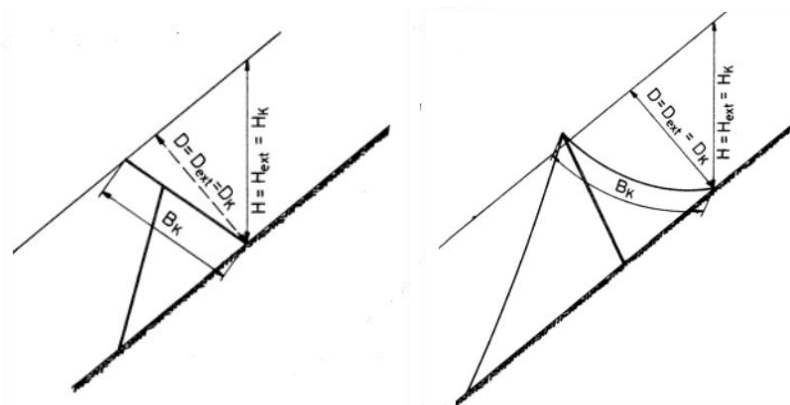
$$D_k = H_k \times \cos \alpha$$

kjer je:

D_k potrebna višina varovalnih ukrepov, zagotovljena na celotnem poteku objekta [m]

H_k maksimalna višina snežne odeje za obdobje 50 let [m]

α naklon pobočja [°]



Zaradi manjše gostote meritev višine snežne odeje na območju Slovenije se predlaga nadvišanje posameznih sistemov za 0,5 m, glede na izračun potrebne višine ukrepov.

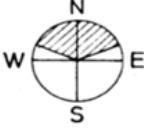
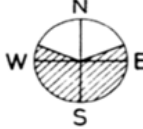
$$D_{kSLO} = H_k \times \cos \alpha + 0,5 \text{ m}$$

Določitev dejavnika drsenja (N)

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Dejavnik drsenja je odvisen od hrapavosti oz. zaraščenosti podlage ter osončenosti. Določimo ga na podlagi spodnje preglednice.

Preglednica 9: Preglednica določitve dejavnika drsenja

Razredi hrapavosti podlage	Dejavnik drsenja N	
	Osončenost	
		
Razred 1		
- izrazito groba melišča (d>30 cm) - na območju so gosto zastopani manjši in veliki skalnati bloki	1.2	1.3
Razred 2		
- območja z gosto grmovno in drevesno zarastjo višine minimalno 1 m - območja s kupi materiala višine nad 50 cm, poraščenega s travo in grmovjem - izrazite poti pašne živine - groba melišča (10<d<30 cm)	1.6	1.8
Razred 3		
- kratka trava z nizkim grmovjem, višine pod 1m - drobna melišča (d<10 cm), z zastopano travo ali nizkim grmovjem - območja s kupi materiala višine pod 50 cm, poraščenega s travo in grmovjem - trava s posameznimi ožjimi stezami	2.0	2.4
Razred 4		
- gladka, kompaktna, travnata pobočja (višja trava) - gladke skalne površine z usmerjenostjo vzporedno s površjem - gručnata pobočja pomešana z zemljo - omočena, zamočvirjana pobočja	2.6	3.2

Določitev razmika med linijami ukrepov (razdalja med objekti po padnici pobočja)

Razdalja med linijami po padnici pobočja se mora določiti tako, da so izpolnjeni trije glavni dejavniki:

- Ukrepi ne smejo utrpeti poškodb v primeru snežnih pritiskov pri maksimalni snežni odeji;
- Ukrepi morajo zagotavljati odpornost pred dinamičnimi silami gibanja snežne odeje;
- Ukrepi morajo zmanjšati hitrost gibanja snežnih mas ter zagotavljati zmanjšanje energij pod mejo, ki bi lahko povzročila poškodbe infrastrukturnih in drugih objektov dolbrežno od varovalnih objektov, postavljenih v okviru ukrepov trajnega varstva.

Za določitev razdalje se upošteva kot trenja med podlago in snežno odejo ter maksimalno višino snežne odeje za obdobje 50 let. Pri tem je treba na podlagi izkušenj umeščanja tovrstnih ukrepov v Sloveniji upoštevati tudi sredozemski vpliv (kompakten, vlažen sneg) ter pridobljene vrednosti znižati za 30 %. Razdalje med objekti izračunamo po spodnji enačbi.

$$L = f_L \times H_k$$

kjer je:

L razdalja posameznih linij objektov po padnici pobočja [m]

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

f_L koeficient razdalje

H_K maksimalna višina snežne odeje za obdobje 50 let [m]

Za območje Slovenije se zaradi sredozemskega vpliva in pogosto kompaktnega in vlažnega snega upošteva spodnja enačba

$$L_{SLO} = L \times 0,7$$

kjer je:

L_{SLO} razmik oz. razdalja posameznih linij objektov po padnici pobočja za območje Slovenije [m]

Za določitev koeficienta razdalje se uporabi spodnji diagram. Pri čemer se priporoča za območja »gladkih« površin ($N > 2$) upoštevati kot trenja (ϕ) 0,5 – 0,55, za območja »hrapavih« površin ($N < 2$) se upošteva kot trenja (ϕ) 0,6. Koeficient razdalje se nato za objekte na območju Slovenije zmanjša za 30 %.

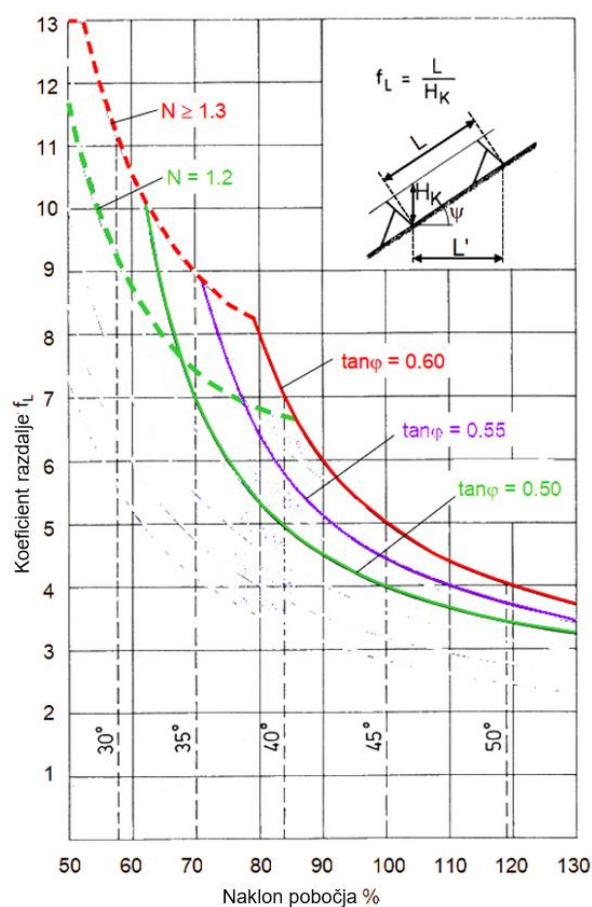


Diagram: Diagram za določitev koeficienta razdalje med posameznimi linijami ukrepov

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Razmiki za posamezne primere naklonov in dejavnikov drsenja so podani tudi v spodnjih preglednicah.

Preglednica 10: Preglednica razmikov oz. razdalje med objekti po padnici terena za naklone do 40°

Naklon terena	$D_K[m]$	$H_K[m]$	L [m]					
			N = 1.2			N ≥ 1.3		
			tan φ =			tan φ =		
			0.6	0.55	0.5	0.6	0.55	0.5
60°(31°)	1.5	1.75		10.7			12.9	
	2	2.33		14.2			17.2	
	2.5	2.92		17.8			21.5	
	3	3.5		21.4			25.8	
	3.5	4.08		24.9			30.2	
	4	4.66		28.5			34.4	
	4.5	5.25		32.1			34.4	
70°(35°)	5	5.83		30.3			30.3	
	1.5	1.83		9.5	9.0		11.5	9.0
	2	2.44		12.7	12.0		15.3	12.0
	2.5	3.05		15.9	15.0		19.1	15.0
	3	3.66		19.0	17.9		22.9	17.9
	3.5	4.27		22.3	20.9		26.7	20.9
	4	4.88		25.4	23.9		30.5	23.9
80°(38.7°)	4.5	5.49		25.1			25.1	
	5	6.1		22.8			22.8	
	1.5	1.92	9.2	8.6	7.1	10.8	8.6	7.1
	2	2.56	12.2	11.5	9.6	14.4	11.5	9.6
	2.5	3.2	15.3	14.4	12.0	17.9	14.4	12.0
	3	3.84	18.3	17.2	14.4	21.5	17.2	14.4
	3.5	4.48	21.4	20.1	16.7	25.1	20.1	16.7
	4	5.12		22.5	19.1		22.5	19.1
	4.5	5.76		20.0			20.0	
	5	6.4		18.5			18.5	

Preglednica 11: Preglednica razmikov oz. razdalje med objekti po padnici terena za naklone nad 40°

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

Naklon terena	D _K [m]	H _K [m]	L [m]		
			N ≥ 1,2		
			tan φ =		
			0.6	0.55	0.5
90° (42°)	1.5	2.02	8.5	7.3	6.4
	2	2.69	11.3	9.7	8.5
	2.5	3.36	14.1	12.1	10.6
	3	4.04	16.9	14.6	12.7
	3.5	4.71	19.7	16.9	14.8
	4	5.38		18.6	16.9
	4.5	6.05		16.9	
	5	6.73		15.7	
100° (45°)	1.5	2.12	7.4	6.6	6.0
	2	2.83	9.9	8.8	7.9
	2.5	3.54	12.4	11.0	9.9
	3	4.24	14.8	13.2	11.9
	3.5	4.95	17.3	15.4	13.9
	4	5.66		16.0	15.8
	4.5	6.36		14.7	
	5	7.07		13.8	
110° (47.7°)	1.5	2.23	6.9	6.2	5.7
	2	2.97	9.2	8.3	7.6
	2.5	3.72	11.4	10.4	9.5
	3	4.46	13.7	12.5	11.4
	3.5	5.2	15.8	14.6	13.4
	4	5.95		14.1	
	4.5	6.69		13.2	
	5	7.43		12.4	
120° (50.2°)	1.5	2.34	6.6	6.0	5.6
	2	3.12	8.8	8.1	7.5
	2.5	3.91	10.9	10.1	9.4
	3	4.69	13.1	12.1	11.3
	3.5	5.47		14.1	13.1
	4	6.25		12.8	
	4.5	7.03		12.0	
	5	7.81		11.3	
130° (52.4°)	1.5	2.46	6.4	6.0	5.6
	2	3.28	8.5	8.0	7.5
	2.5	4.1	10.6	9.9	9.3
	3	4.92	12.8	12.0	11.2
	3.5	5.74		12.8	
	4	6.56		11.8	
	4.5	7.38		11.1	
	5	8.2		10.6	

Določitev bočne razdalje med objekti v vrsti

Razdalja med posameznimi objekti v isti ali delno zamaknjeni liniji ne sme presegati 2.0 m.

STANDARDI, PRIPOROČILA, LITERATURA:

- EAD 340109-00-0106 Flexible avalanche protection kit
- Defense structures in avalanche starting zones, Federal Office for the Environment FOEN, Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Bern, 2007 (tehnična smernica)

SKLOP 2 Ukrepi za preusmeritev, upočasnjevanje in ustavljanje snežnih plazov

Ukrepi za preusmeritev in ustavljanje snežnih plazov morajo biti načrtovani na podlagi lavinskega modeliranja potencialnih snežnih plazov na obravnavanem območju. Ukrepi se na območju umeščajo skladno z izsledki modelnih izračunov. Modelni izračuni so poleg določitve dosegov in višine plazovine pomembni tudi z vidika tlačnih obremenitev oz. dinamičnih vplivov.

Vsi objekti se zaradi raznolikih dejavnikov načrtujejo od primera do primera. Za projektiranje preusmerjevalnih in lovilnih nasipov ter zaviralnih objektov (disipatorjev energije) se predlaga uporabo evropske smernice The design of avalanche protection dams. Za dimenzioniranje galerij se predlaga uporabo švicarske tehnične smernice Einwirkungen infolge Lawinen auf Schutzgalerien.

Posebno pozornost je pri projektiranju treba nameniti maksimalnemu obsegu lavinske nevarnosti oz. dosegu plazov in širini plazine, tako v depozitni coni, kot tudi na območju gibanja.

STANDARDI, PRIPOROČILA, LITERATURA:

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- Einwirkungen infolge Lawinen auf Schutzgalerien, Bundesamt für Strassen ASTRA, Bern, 2007 (tehnična smernica)
- The design of avalanche protection dams, Recent practical & theoretical developments; European commission, Environment directorate, 2009 (tehnična smernica)
- The Technical Avalanche Protection Handbook; Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co, December 2014

SKLOP 3 Ukrepi za proženje snežnih plazov z eksplozivnimi sredstvi

Ukrepe za proženje snežnih plazov z eksplozivnimi sredstvi je treba načrtovati skladno s Pravilnikom o proženju snežnih plazov, Uradni list RS, št. 70/04 in 20/07. Lokacije, pogostost in način proženja se določi na podlagi izsledkov elaborata lavinske nevarnosti.

Priporoča se uporaba lavinskega modeliranja potencialnih snežnih plazov na obravnavanem območju s katerim se določi pogostost proženja v odvisnosti od debeline snežne odeje in možnega dosega potencialnih snežnih plazov. V sklopu izdelave načrta proženja snežnih plazov za posamezna območja se predlaga tudi vzpostavitev spremljanja lavinskih podatkov.

7 Projektna dokumentacija

Nivo obdelave se glede na natančnost projektne dokumentacije razlikuje. V nadaljevanju so podane minimalne vsebine oz. obdelava za posamezno vrsto projektne dokumentacije.

7.1 DPP

Minimalne vsebine projektnih dokumentacij DPP so:

- Vodilni načrt
- Idejni načrt ukrepov z zemljiškim katastrom
- IG poročilo

7.2 IZN, DGD in PZI

Minimalne vsebine projektnih dokumentacij DGD in PZI so:

- Vodilni načrt
- IG elaborat
- Geodetski načrt
- Geodetski načrt predstavlja podlogo za projektiranje. Vsebuje naj lokacijsko izboljššan zemljiški kataster.
- Načrt ukrepov
- Načrt ukrepov mora temeljiti na zgoraj navedenih projektnih osnovah. Načrt mora biti izdelan tako, da se skladno z veljavnimi predpisi izpolni zahteve mehanske odpornosti in stabilnosti, trajnosti, zaščite okolja in varnosti pri uporabi. Pri načrtovanju je treba smiselno upoštevati

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

razpoložljivost posameznih tehnologij v RS, njihove tehnološke značilnosti, izvedljivost projekta, pričakovani nivo vzdrževanja ter pogoje zagotavljanja prevoznosti med gradnjo, če je to treba.

- Elaborat začasne prometne ureditve

7.3 PID, INiD

Minimalne vsebine projektnih dokumentacij PID oz. INiD so:

- Vodilni načrt
- Geodetski načrt
- Načrt izvedenih ukrepov
 - Poročilo z opisom izvedenih objektov (dimenzije, kapacitete, proizvajalec, tip,...)
 - Risbe izvedenih del (Situacija izvedenih del, karakteristični prerezi,...)

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**7.4 NOV**

Minimalne vsebine NOV:

- Opis objektov, vključno s tehničnimi specifikacijami (dimenzije, kapacitete, proizvajalec, tip,...),
- Opis potrebnih rednih in izrednih pregledov (način spremljanja, kontrola sestavnih delov objektov, terminski čas pregledov,...),
- Navedbo odgovornih oseb za spremljanje v času obratovanja in vzdrževanja,
- Navedbo potrebnih ukrepov v primeru ugotovitve pomanjkljivosti oz. poškodb

8 Standardne in nestandardne postavke – popis del

Oznaka	EM	Opis dela
postavke		PREDDELA
13 311	kos	Organizacija gradbišča-postavitve začasnih objektov (priprava in organizacija gradbišča z vsemi objekti, z zagotovitvijo varnostnih in higiensko tehničnih pogojev s predpisanimi oznakami gradbišča)
11 311 D	m	Postavitev in zavarovanje vzdolžnih profilov v gričevnatem terenu (zakoličba podajno lovalnih ograj in zakoličba roba prekritja brežine s sidrano jekleno mrežo)
D	m	Priprava manipulativnega platoja in dostopov do gradbišč PLO za izvedbo sidrišč in temeljev za stebre
12 131	m ²	Odstranitev grmovja, bršljana in dreves z debli premera do 10 cm ter Vej na strmi porasli površini (45-60st.) - ročno na vrveh skontroliranim spuščanjem materiala na tla, cesto in odvozom na odlagališče
12 151	kpl	Posek in odstranitev dreves in vej z debli premera nad fi 11cm, ročno na vrveh s kontroliranim spuščanjem dreves na tla in cesto ter z odvozom na deponijo ali zloženo po zahtevah Zavoda za gozdove. Posek se izvede v širini 10 metrskih pasov podajno lovilnih ograj / skupna površina poseka znaša cca xxx m2). Ponudnik je dolžan preveriti stanje na terenu in določiti skupno vrednost postavke.
D	m ¹	Ročni izkop neravnin na območju PLO-izravnavna terena za potek spodnje nosilne vrvi. Upošteva se možen dodaten izkop z udarnim kladivom.
D	m ³	Ročno čiščenje labilnih blokov med PLO in vkopno brežino ceste.
D	m ²	Kontroliran spust po brežini, nalaganje, odvoz na deponijo
D	kpl	Zavarovanje cestnega ustroja z dobavo in razprostiranjem tamponskega materiala debeline 0,5 m na površini xxx m2, vključno s premiki delovišča po stacionaži celotnega območja ter končno odstranitvijo s čiščenjem ceste
D	kpl	Polovična zapora ceste s semaforjem (po elaboratu). Dolžine operativnih pasov se določi na podlagi ponudnikove tehnologije izvedbe del. Za čas postavitve varovalnih ograj in namestitve zaščitnih mrež. Obračun zapore po dejanskih stroških koncesionarja in predloženem računu koncesionarja.
D	m	Zavarovanje prometne ureditve (polovična zapora ceste) z nadvišanjem BVO ograje s paneli višine 3 m, v dolžini 250m vključno s premiki. Dolžine operativnih pasov se določijo na podlagi ponudnikove tehnologije izvedbe del.
2		PODAJNO LOVILNE OGRAJE
N	m	PLO2-1 - ETA certificirana lovilna ograja energije xxx kJ, podajnost >x m
		Nabava, transport in montaža varovalne podajno lovilne ograje h =x m (višina v sredini polja sistema); kompletno s temeljenjem stebrov, sidri, stebri, mrežo visoke natezne trdnosti, pletenicami, ojačitvami in sidrnimi vrvmi, uvrtnimi v podlago. Globino sidranja se preračuna na podlagi geologije terena, uvrtno v skalo min. x m. Pri vrtnanju možna uporaba nogavice zaradi kavern med bloki. Vključno z izvedbo

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

		obbetoniranega temelja pod stebri ograje (po potrebi) ter izvedbo internega dolbrežnega sidranja
D	kos	Zapiranje vrzeli pod ograjo globine nad x cm z jekleno mrežo enake kvalitete PLO, vključno z dodatno obodno jeklenico in dodatnimi sidri (ocena: 12 kos GEWI 32, l=3m). Površina vrzeli 13,7m ² . Vključno s pričvrstitvijo spodnje jeklene vrvi k tlem ter zavorami (po potrebi).
3.		IZVEDBA SIDRANE MREŽE
N	m ²	SIDRANO TEŽKO POCINKANO PLETIVO RASTER SIDER x m * x m
N	m ¹	Zaščita brežine s sidrano mrežo iz jeklenega pletiva (ft> x N/mm ²). Glavne tehnične specifikacije mreže: natezna trdnost spiralne mreže v vertikalni smeri: min. x kN/m dimenzije romboidnega okna mreže max.x cm/x cm pritrdilna plošča mreže na sidra: min.x * x spojni elementi ne smejo dovoljevati povečane deformacije sistema zaključki mreže morajo biti zavozlani, da je preprečeno izvijanje posameznih žic iz mreže robne jeklenice x mm (prislon mreže na neravnine) protikorozijska zaščita (2xvroče cinkano)
		Postavka vsebuje nabavo in vgradnjo mreže.
N	m ¹	Pasivna palična sidra tip fi x, fyk> xxx kN s sidrnimi ploščami min. aaa aaa mm Dobava, predhodno vrtanje vrtin ø x mm, vgradnja sider z injektiranjem, karakteristična natezna sila 300kN, dolžine 1,5 m, raster sidranja x mm * x m.
5.		TUJE STORITVE
	kos	Testiranje sider - PLO Izvedba izvlečnih testov sider in poročilo o preiskavi sider. Skupaj z dobavo,
	ur	vrtanjem, vgradnjo in injektiranjem sider. Lokacije testnih sider določi projektant. Testiranje sider - ŽARIŠČA Izvedba izvlečnih testov sider in poročilo o preiskavi sider. Skupaj z dobavo,
	ur	vrtanjem, vgradnjo in injektiranjem sider. Lokacije testnih sider določi projektant.
	ur	Projektantski nadzor
	kos	Geotehnični nadzor (spremljava geološke zgradbe pri vrtanju vrtin za sidra in izkopa vkopnih brežin)
	kos	Izdelava projekta izvedenih del (INID, NOV)
	kos	Izdelava geodetskega posnetka izvedenih del
		Izpolnjeni obrazci za vnos podatkov v naročnikovo evidenco cestnih podatkov (BCP)

Še v pripravi

9 Merila skladnosti

Predvideno poglavje v primeru da TSPI obravnava materiale.

10 Prevezemanje gradbenih proizvodov ob dostavi na gradbišče

Za potrjevanje skladnosti gradbenih proizvodov, namenjenih za gradnjo objektov se uporabljajo določila Zakona o gradbenih proizvodih in Uredba (EU) št. 305/2011 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 9. marca 2011 o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in o razveljavitvi Direktive Sveta 89/106/EGS, Uredbe (EU) št 574/2014 z dne 21. februar 2014 o spremembi Priloge III k Uredbi (EU) št. 305/2011 ter Tehnične specifikacije za javne ceste TSC 04.100: 2000 - Prevezemanje gradbenih proizvodov pri gradnji javnih cest v RS.

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI**11 Notranja in znanja kontrola kakovosti****11.1 Predmet notranje in zunanje kontrole****Gradbeni proizvodi**

- jekla in proizvodi iz jekla: palice, vlakna, spojke, sidra
- izdelki in polizdelki iz cementnega betona
- proizvodi za opremo objektov: varnostne in zaščitne ograje
- drugi proizvodi in materiali, katerih lastnosti morajo omogočiti izpolnitev ustreznih bistvenih zahtev za objekte, v katere se nameravajo vgraditi.

Gradbena dela in tehnološki postopki**12 Referenčna dokumentacija**

- Izvedbeni načrt za zaščito ceste pred padajočim kamenjem iz zalednih brežin G2-102/1034 Spodnja Idrija – Godovič od km 4,920 do km 7,959 - Inženirsko geološko poročilo o sestavi tal, 470-E1/22, Marec 2022, Terras sp.
- Izvedbeni načrt za zaščito ceste pred padajočim kamenjem iz zalednih brežin G2-102/1034 Spodnja Idrija – Godovič od km 4,920 do km 7,959 – Geotehnični načrt 470-N1/22 - IZN Marec 2022, Terras sp.
- Sanacija skalnega podora nad državno cesto R1 223/odsek 1229 Bevško - Most čez Savo v km 0,85 - (Podor Trbovlje Lafarge), PZI, št. dok.: P-11/16, EHO Projekt d.o.o., Ljubljana, marec 2016
- Izvedbeni načrt za zaščito ceste pred padajočim kamenjem – nivo ukrepov 2 na R2-428/1250 Luče – Sestre Logar od km 3.655 do km 3.670 in od km 11.485 do km 12.273, IZN, št. dok.: P-34/19, EHO Projekt d.o.o., Ljubljana, avgust 2020
- Izvedbeni načrt za zaščito državne ceste R1-203/1002 Predel - Bovec od km 12.800 do km 13.020 pred naleti skalnih blokov iz zalednega pobočja in zgornjega dela obcestne brežine, IZN, št. dok.: P-36/19, EHO Projekt d.o.o., Ljubljana, januar 2020
- Zaščita Radelj ob Dravi pred nevarnostmi padajočega kamenja, IZP, št. dok.: P-51/21, EHO Projekt d.o.o., Ljubljana, junij 2021
- Zagotovitev celoletne prevoznosti regionalne ceste R1-206 Kranjska Gora-Ruska cesta-Vršič-Trenta-Bovec na odsekih 1043 Ruska cesta (Erika-Vršič), 1028 Vršič-Trenta in 1029 Trenta-Bovec, PZI, št. dok.: P-3/10, EHO Projekt d.o.o., Ljubljana, julij 2010

13 Literatura

- Rockfall Characterization and Control, editors A.Keith Turner, Robert L.Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 2: Rockfall Types and Causes, Jerry D. Higgins and Richard D.Andrew.
- SIST EN ISO 14689-1_2018;Geotehnično preiskovanje in razvrščanje kamnin 1.del: Prepoznavanje in opisovanje
- ISRM; Suggested methods for the Quantitative description of Discontinuities in Rock Masses – 1978, International Society for Rock Mechanics Commission on Site Characterization; Blue Book
- Rockfall Characterization and Control, editors A.Keith Turner, Robert L.Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 6: Site characterization, Jerry D. Higgins and Richard D.Andrew
- CAD 3D programi

PROJEKTIRANJE TEHNIČNIH UKREPOV ZA ZAŠČITO INFRASTRUKTURNIH OBJEKTOV PRED SKLANIMI PODORI, PADAJOČIM KAMENJEM IN SNEŽNIMI PLAZOVI

- Programska oprema za obdelavo oblakov 3D točk (npr. CloudCompare), GPL software
- ISRM: Suggested methods the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials – International Society for Rock Mechanics Commission on Testing Methods, 1979; Blue Book
- ISRM: Suggested Methods for Determining Point Load Strength. International Society for Rock Mechanics Commission on Testing Methods, 1985; Blue Book
- ISRM: Suggested Method for Laboratory Determination of the Shear Strength of Rock Joints: International Society for Rock Mechanics Characterization, Testing and Monitoring_2007-2014; Orange Book
- Rocscience: 2009; RockLab v.1.0: Rock Mass Strength Analysis Using the Generalized Hoek-Brown Failure Criterion. Toronto, Ontario, Canada. www.rocscience.com/products/Rocklab
- Programsko orodje za izračun stabilnosti blokov, klinov, prevračanja blokov (npr. Rocscience; Slide, RocPlane, Swedge, RocTopple)
- Rockfall Characterization and Control, editors A.Keith Turner, Robert L.Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012, Chapter 9: Modeling and Prediction of Rockfall, A.Keith Turner, John D.Duffy
- Rockfall Characterization and Control, editors A.Keith Turner, Robert L.Schuster, Transport Research Board of the National Academies, Washington, D.C. 2012
- Mikoš M. Urejanje vodotokov. 2007. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra splošno hidrotehniko: str 175 - 179
- Geološki terminološki slovar, Jernej Pavšič, Založba ZRC. Ljubljana 2006