



I Z S
INŽENIRSKA ZBORNICA SLOVENIJE



**Avtorja: dr. Janko Logar
dr. Jasna Smolar**

KRATKA SMERNICA ZA NAČRTOVANJE SANACIJ NESTABILNIH POBOČIJ

Matična sekcija gradbenih inženirjev

KRATKA SMERNICA ZA NAČRTOVANJE SANACIJ NESTABILNIH POBOČIJ

**Avtorja: dr. Janko Logar
dr. Jasna Smolar**

**Izdala:
Inženirska zbornica Slovenije
Jarška cesta 10 b, Ljubljana**

**Oblika izdaje:
elektronska verzija, dostopno na www.izs.si**

Ljubljana, november 2025



Vsebina

1	UVOD	4
2	VRSTE POBOČNIH MASNIH PREMIKOV	5
3	PREPOZNAVANJE IN IDENTIFIKACIJA POBOČNEGA PROCESA	8
4	OCENA TVEGANJA KOT PODLAGA ZA PROSTORSKE IN INŽENIRSKÉ ODLOČITVE	9
5	ZAČETNI UKREPI	11
6	PREISKAVE TAL	12
7	IZDELAVA INŽENIRSKO-GEOLOŠKEGA, HIDRO-GEOLOŠKEGA IN GEOTEHNIČNEGA MODELA	14
8	VERIFIKACIJA (NUMERIČNEGA) MODELA	16
	8.1 Potresna obremenitev	17
9	MOŽNI SANACIJSKI UKREPI	19
	9.1 Ukrepi za zmanjšanje nevarnosti (stabilizacija nestabilnega pobočja)	21
	9.2 Ukrepi za zmanjšanje posledic pobočnih masnih premikov	21
10	PRESOJA IZVEDLJIVOSTI IN UČINKOVITOSTI POSAMEZNIH UKREPOV (Izbira najbolj ustrezne rešitve)	24
11	DETAJLNO NAČRTOVANJE SANACIJSKIH UKREPOV	26
12	IZVEDBA DEL IN NADZOR NAD IZVEDBO DEL	27
13	VZDRŽEVANJE	28
14	VIRI	29
PRILOGE:		
I.	»Neinženirski« ukrepi za zmanjšanje posledic masnih premikov na območju nestabilnih tal	31
II.	Inženirski ukrepi za zmanjšanje nevarnosti – stabilizacija pobočij v zemljinah in močno razpokanih in/ali preperelih kamninah	33
III.	Inženirski ukrepi za zmanjšanje nevarnosti – stabilizacija pobočij v kamninah	36
IV.	Inženirski ukrepi za zmanjšanje ogroženosti pred padajočim kamenjem	38
V.	Inženirski ukrepi za zmanjšanje ogroženosti pred blatnimi in drobirskimi tokovi	40

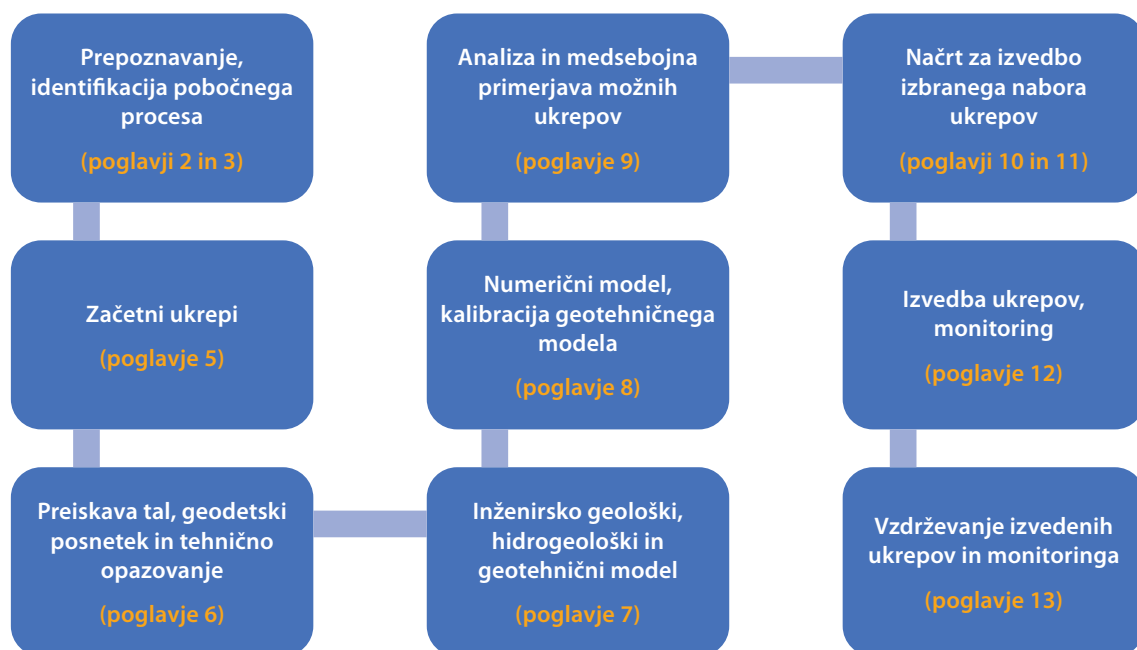
1 Uvod

Pobočni procesi (masni premiki na pobočjih iz zemljin in kamnin, v nadaljevanju: pobočni masni premiki) so v geološko in morfološko pestri Sloveniji zelo raznoliki, zato mora biti tudi njihova obravnava prilagojena posameznemu pojavu in njegovi vplivni okolici. Ta smernica je namenjena inženirjem, ki sodelujejo pri prostorskem načrtovanju in načrtovanju gradbenih posegov na področjih, ki so jih prizadeli pobočni masni premiki oziroma kjer obstaja visoka stopnja nevarnosti takega pojava in je sanacija nestabilnih pobočij potrebna in smiselna. Ker tematiko pobočnih masnih premikov in ukrepanja ob njihovem pojavu obravnavajo mnogi pisni viri, se ta smernica ne ukvarja s sicer pomembnimi podrobnostmi inženirskega dela, ampak poudari kompleksnost in medsebojno povezanost dejavnosti, potrebnih za učinkovito in na dejstva oprto ravnanje za obvladovanje tveganj, povezanih s pobočnimi masnimi premiki. Ob tem navaja več domačih in tujih virov, kjer so na voljo podrobnejše vsebine.

Slika 1 prikazuje koncept obravnave posameznega dogodka pobočnih masnih premikov. Temu konceptu sledijo tudi poglavja te smernice.

Koncepti obravnave pobočnih masnih premikov so podobni za:

- pobočja, na katerih se pobočni masni premiki še niso zgodili, a se lahko pričakujejo (npr. zaradi človekove dejavnosti in posegov v prostor ali klimatskih sprememb),
- pobočja, kjer so pobočni masni premiki že vidni in
- pobočja, ki so že sanirana, a se premiki kljub sanaciji še nadaljujejo.



Slika 1: Shema postopka inženirske obravnave pobočnega masnega premika z navedenimi poglavji smernice, kjer so posamezne faze podrobneje opisane

2 Vrste pobočnih masnih premikov

Pod pojmom pobočni procesi ali pobočni masni premiki se skriva veliko število raznovrstnih pojavov, ki se ločijo po vrsti tal, v katerih se zgodijo (zemljine, kamnine), načinu premikanja (padanje, zvrčanje, drsenje, tok) ter po hitrosti premikanja. Vrste pobočnih procesov so deloma povezane tudi s sprožilnimi dejavniki (padavine, tajanje snega, rečna erozija, potresi, zemeljska dela, neurejeno odvodnjavanje na sosednjem, višje ležečem zemljišču ...). Sistematični prikaz najbolj pogostih oblik pobočnih masnih premikov je na sliki 2, ki je prirejena po [1] in sledi Varnesovi klasifikaciji pobočnih masnih premikov [2]. Zadnji predlog posodobitve Varnesove klasifikacije najdemo v [3].

Prepoznavanje, opisovanje in razvrščanje pobočnih masnih premikov je pomembno pri celostni obravnavi pojava in načrtovanju ukrepov za zmanjšanje tveganj. Načrtovani ukrepi oziroma odločitve o nadaljnji rabi ogroženega prostora bodo odvisni od tega ali se pričakuje padanje kamenja, plazenje zemljine ali tok razmočene zemljine in od tega ali bo pričakovan proces hiter (ne omogoča ukrepanja) ali počasen (omogoča ukrepanje ali vsaj umik).

Za opis pobočnih masnih premikov so torej pomembni podatki:

- značilnosti prostora pojavljanja (urbana območja, prometnice, gozd, vodotok ...),
- vrsta pobočnega procesa (slika 2),
- vrsta premikajočega se materiala,
- pogoji podzemne in površinske vode, vlažnost plazine,
- hitrost in obseg (površina in globina oziroma prostornina) masnega premikanja,
- potencialni doseg mase v gibanju (predvsem pri padajočem kamenju in blatnih tokovih).

Pomembno je zavedanje, da posamezen primer pobočnih masnih premikov lahko vključuje različne procese na različnih mestih, prav tako pa lahko spreminja svojo naravo s časom. Kot primer navedimo plaz Slano blato nad Lokavcem. Pri odlomnem robu se je plazenje začelo kot rotacijski ali translacijski zdrs večje mase flišne preperine. Splazela masa je preoblikovala površje, povzročila zaježitve površinske vode, preperela kamnina in zemljina sta se ob nadaljnjih premikih spreminjali v blatni tok. Za potrebe obravnavanja nevarnosti za prebivalce ob vznožju pobočja je tak pojav smiselno opredeliti kot blatni tok, čeprav gre na izvornem območju za drugačen proces.

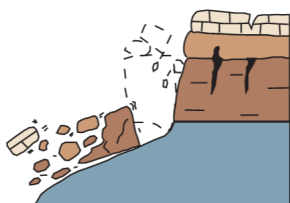
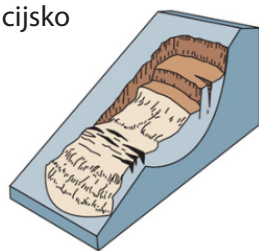
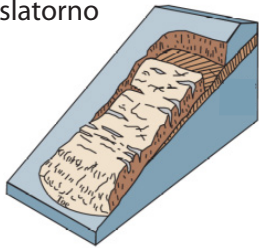
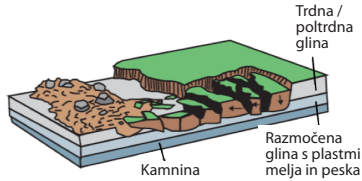
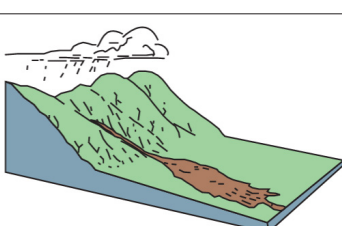
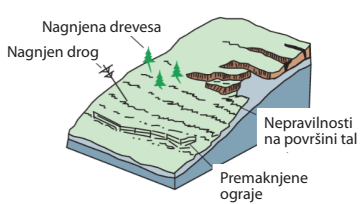
Varnes je pobočne masne premike razdelil na padanje (kamenja), zvrčanje blokov (kamnine ali zemljine), drsenje (translacijsko ali rotacijsko), bočno razmikanje, tokove in zelo počasne deformacije (lezenje) pobočij (slika 2).

Med ključnimi vzroki za proženje pobočnih masnih premikov je voda, ki vpliva tudi na vrsto pobočnega procesa. Raven podzemne vode tik pred sprožitvijo pobočnih masnih premikov je lahko odločujoča za nastanek plaz. Vlažnost splazelega materiala pa pove ali se je splazela masa gibala kot tekočina, ali kot zemljina oziroma kamnina. Pobočni masni premiki se lahko začnejo tudi kot površinska erozija zaradi meteorne vode.

Hitrost pobočnega masnega premika je ključna za odločitve o ukrepih in nadaljnji rabi prostora. Novozelandska in avstralska smernica ([4] in [5]) podajata glede tega usmeritve, povzete v preglednici 1. Poleg hitrosti pobočnega masnega premika bo za odločitve o ukrepih in nadaljnji rabi prostora ključnega pomena še velikost premikajoče se mase (površina in globina) ter obseg ogroženosti prostora in prebivalcev v vplivnem območju.

Preglednica 1: Razredi hitrosti pobočnega masnega premika in verjetne posledice za grajeno okolje (prirejeno po [4])

Razred hitrosti	Opis	Hitrost (mm/s)	Značilna hitrost	Posledice za grajeno okolje
1	Ekstremno POČASNO	5×10^{-7}	15 mm/leto	Nezaznavno brez meritev. Gradnja je možna ob ustreznih ukrepih.
2	Zelo počasno			Nekateri trajni objekti ne bodo kazali posledic v obliki poškodb.
		5×10^{-5}	1,6 m/leto	
3	Počasno			Izvedba sanacijskih ukrepov lahko poteka med premikanjem tal. Na premike neobčutljive konstrukcije lahko uporabljamo z občasnimi vzdrževalnimi deli, če premiki v posamezni fazi hitrejšega gibanja tal niso preveliki.
		5×10^{-3}	13 m/mesec	
4	Zmerno			Nekatere začasne in neobčutljive konstrukcije je možno še nekaj časa vzdrževati.
		5×10^{-1}	1,8 m/h	
5	Hitro			Potreben je razmislek o evakuaciji. Nepremičnine in oprema bodo uničeni.
		5×10^1	3 m/min	
6	Zelo hitro			Visoka stopnja tveganja za življenja. Hitrost premikanja ne omogoča rešitve za vse osebe.
		5×10^3	5 m/s	
7	Ekstremno HITRO			Uničenje stavb, ki jih doseže masni premik. Velika življenjska ogroženost, saj je možnost umika zelo omejena.

Način premikanja	Shema mehanizma (USGS)	Kamnina / hitrost premikanja	Nevezani sedimenti in preperina (drobir in droбноzrnate zemljne) / hitrost premikanja	
Padanje		Skalni podor / ekstremno hitro	Padanje večjih grud sprijetega drobirja in/ali zemljine (preperine) / zelo hitro do ekstremno hitro	
Prevračanje		Prevračanje skalnih blokov / ekstremno hitro	Prevračanje večjih grud sprijetega drobirja in/ali zemljine (preperine) / zelo hitro	
Plazenje	Rotacijsko 	Usad / počasi do srednje hitro	Usad, planarni zdrs / počasi do srednje hitro	
	Translatorno 	Zdrs bloka kamnine / srednje hitro do ekstremno hitro	Drobirski, zemljinski in/ali preperinski plaz / počasi do hitro	
Bočno razmikanje	 Trdna / poltrdna glina Razmočena glina s plastmi melja in peska Kamnina	Razmikanje blokov kamnine / hitro do zelo hitro	Razmikanje večjih grud sprijetega drobirja in/ali zemljine (preperine) / hitro do zelo hitro	
Tokovi		»Tok« zdrobljene kamnine / ekstremno hitro	Drobirski tok / zelo hitro	Blatni tok / zelo hitro
Lezenje	 Nagnjena drevesa Nagnjen drog Nepravilnosti na površini tal Premaknjene ograje	Premiki kamninske mase in/ali zemljin / zelo počasi		
Kompleksen	Kombinacija dveh ali več osnovnih načinov premikanja / hitrost je odvisna od načinov premikanja			

Slika 2: Vrste pobočnih masnih premikov (prirejeno po [1] in [2])

3 Prepoznavanje in identifikacija pobočnega procesa

Inženirji se srečamo z obravnavo nestabilnih pobočij na dva načina:

- pozvani smo k obravnavi novonastalega premika tal ali
- načrtujemo gradbeni poseg v vplivnem območju potencialno nestabilnega pobočja.

V prvem primeru je obseg pobočnega masnega premika na videz očiten, a je možno, da se bo s časom še razširil. V drugem primeru pa je obseg potencialnega pobočnega masnega premika težko napovedati. Zato je prvi korak pri inženirski obravnavi vseh vrst (potencialno) nestabilnih pobočij prepoznavanje stanja in možnega nadaljnjega razvoja pobočnih procesov. Ključno je, da prepoznamo potencial za sprožitev in širitev procesa, saj na osnovi tega sklepamo na nujnost hitrega odziva. Če se proces lahko razširi in je sanacija potrebna zaradi ogroženosti grajenega okolja in prebivalcev v vplivnem območju, bomo z odlašanjem sanacijskih ukrepov pristali na bistveno večji potreben obseg sanacijskih del. K izvedbi aktivnosti (preiskave tal, sanacijski ukrepi ...) se na območjih, kjer je pričakovano napredovanje pobočnih masnih premikov, lahko pristopi le, ko stanje na terenu omogoča varno izvedbo del.

V procesu prepoznavanja in identifikacije pobočnega procesa so ključne aktivnosti:

- pregled geoloških kart in drugih dostopnih virov,
- pregled zračnih in drugih sorodnih posnetkov (Google Earth, DMR, Lidar, European Ground Motion Service ...),
- terensko kartiranje širšega območja plazu vključno z vodotoki, izviri, razmočenimi območji,
- medsebojna primerjava arhivskih kart in starejših posnetkov s trenutnim stanjem.

Pri terenskem kartiranju lahko prepoznamo nestabilna območja po:

- razpokah v tleh,
- nagnjenih ali ukrivljenih drevesnih deblih,
- stopničasto ali nagrbančeno oblikovanem terenu,
- prisotnosti velikih kamnitih blokov, ki pričajo o preteklih kamnitih podorih,
- razmočenih območjih, izviri vode,
- deformiranih elementih grajenega okolja (stebri, ograje, kanalete, poti in ceste ...),
- poškodovanih infrastrukturnih vodih (vodovod, kanalizacija ...).

Identifikacija pobočnega procesa vključuje poleg tipa pobočnega premikanja tudi oceno možnega razvoja dogodkov z vidika hitrosti (hiter: npr. padanje kamenja ali blatni/drobirski tok ali počasen: lezenje tal).

Pri razvrščanju pobočnih masnih premikov si lahko pomagamo s priročnikom [6].

4 Ocena tveganja kot podlaga za prostorske in inženirske odločitve

V Sloveniji se ob vsakem obilnejšem deževju sprožajo novi pobočni masni premiki. Zaradi velikega števila ni mogoče in tudi ni smiselno sanirati vseh. Mnogi od njih ne ogrožajo objektov in infrastrukture. Nekateri, ki predstavljajo grožnjo za človekovo bivanje in dejavnosti, so morda preobsežni in se jim je v postopku prostorskega načrtovanja primerneje izogniti. Inženirska obravnava plazov mora nujno temeljiti na podatkih in objektivni presoji. Ocena tveganja, ki jo posamezen dogodek pobočnih masnih premikov ali pa hkraten pojav večjega števila tovrstnih dogodkov ob npr. večjem padavinskem dogodku predstavlja za posameznega lastnika zemljišča, občino, regijo ali državo, je nujna podlaga za učinkovito in racionalno ukrepanje. V postopku ocenjevanja tveganj pri obravnavi pobočnih masnih premikov moramo namreč oceniti s kolikšno verjetnostjo bo prišlo do poškodb objektov ali infrastrukture ali celo do žrtev in kakšen bo obseg škode.

Tveganje je definirano kot mera za verjetnost in resnost škodljivega učinka za življenje, zdravje, premoženje ali okolje. Kvantitativno je tveganje opredeljeno kot nevarnost, pomnožena z vrednostjo možnih posledic. To lahko izrazimo tudi kot »verjetnost škodljivega dogodka, pomnožena s posledicami, če se dogodek zgodi«.

Zato oceno tveganja sestavljajo trije ločeni koraki:

- Ocena **nevarnosti**, ki jo pri obravnavi pobočnih masnih premikov predstavlja verjetnost, da pride do pobočnega masnega premika s potencialno škodljivimi posledicami. To vključuje verjetnost nastopa dovolj intenzivnega sprožilnega dejavnika (obilne padavine, potres, rečna erozija, taljenje snega, človekovi posegi v nestabilno pobočje ...), da se posledično sproži pobočni masni premik.
- Analiza **posledic**, ki vključuje evidentiranje potencialno ogroženih stavb, infrastrukture, naravnih virov, gospodarskih dejavnosti ter življenj z oceno izgub, če pride do pobočnega masnega premika. Za primer: stavba pod skalnim pobočjem, s katerega se lahko sproži hiter skalni podor brez možnosti ukrepanja, predstavlja višjo raven posledic kot stavba, ki jo ogroža počasi premikajoč se plaz.
- Izračun **tveganja** (pri kvantitativni analizi tveganja) ali oceno tveganja (pri kvalitativni analizi tveganja) za vplivno območje sestavlja kombinacija ocene nevarnosti in posledic pobočnih masnih premikov.

Tveganje, ki ga predstavljajo pobočni masni premiki, je odvisno od obsega, načina in hitrosti pobočnega masnega premika, verjetnosti nastopa sprožilnih dejavnikov ter od možnih posledic. Ocena tveganja je ključna podlaga za razumevanje obravnavanega problema in za sprejemanje odločitev. Uspešnost in učinkovitost ukrepanja je pogosto odvisna od komunikacije med stroko in odločevalci (lastniki objektov v vplivnem območju pobočnega masnega premika, predstavniki državnih in občinskih organov ...). Ustrezna razlaga koncepta tveganj zaradi obravnavanih pobočnih masnih premikov in konkretne analize tveganja za posamezen primer je lahko v veliko pomoč pri sprejemanju odločitev. Ocenjeno tveganje je za odločevalce lahko sprejemljivo, ali pa ne. V primeru, ko tveganje ni sprejemljivo, je treba načrtovati ukrepe za zmanjšanje tveganja na sprejemljivo raven. Tudi po izvedenih ukrepih praviloma tveganje ni povsem izničenjeno. Imenujemo ga **preostalo tveganje**.

Kvantitativna analiza tveganja je najbolj objektivna, a zahteva podatke o verjetnostih pojava pobočnih masnih premikov v povezavi s sprožilnimi dejavniki ter o verjetnostih, da se ob tem zgodijo določene posledice. Preprosto kvalitativno oceno tveganja, ki je nujno subjektivna, pa lahko izvedemo z razvrščanjem nevarnosti in posledic v izbrano število razredov. Primer take analize tveganja je prikazan na sliki 3.

		POSLEDICE POBOČNEGA PROCESA				
VERJETNOST NASTANKA POBOČNEGA PROCESA		Zanemarljive 1	Majhne 2	Srednje 3	Velike 4	Zelo velike 5
	Zelo visoka 5	Srednje 5	Visoko 10	Zelo visoko 15	Ekstremno 20	Ekstremno 25
	Visoka 4	Nizko 4	Srednje 8	Visoko 12	Zelo visoko 16	Ekstremno 20
	Srednja 3	Nizko 3	Srednje 6	Srednje 9	Visoko 12	Zelo visoko 15
	Majhna 2	Zelo nizko 2	Nizko 4	Srednje 6	Srednje 8	Visoko 10
	Zelo majhna 1	Zelo nizko 1	Zelo nizko 2	Nizko 3	Nizko 4	Srednje 5

Slika 3: Primer kvalitativne ocene tveganja v matrični obliki (prirejeno po [4]).

Na podlagi definicije tveganja lahko ugotovimo, da je mogoče tveganje zaradi pobočnih masnih premikov zmanjšati na dva načina (glej poglavje 9):

- z ukrepi za zmanjšanje nevarnosti (npr. sanacija plazov) ali
- z ukrepi za zmanjšanje posledic (npr. zaščitni ukrepi pred padajočim kamenjem ali prese-litev objektov in infrastrukture).

Podrobneje se je o analizah tveganja v povezavi z zemeljskimi plazovi mogoče seznaniti v tuji strokovni literaturi ([4], [5], [7]).

5 Začetni ukrepi

Ob identifikaciji novonastalega pobočnega procesa, ki neposredno ogroža infrastrukturo, objekte, premoženje ali dejavnost, naj se takoj predvidi ukrepe za zmanjšanje posledic in omilitev vpliva pobočnega procesa na okolico.

Najprej je treba poskrbeti za varnost ljudi in živali (tudi za varnost ekip, ki izvajajo intervencijska dela), če je potrebno z evakuacijo, zaporo prometnic in zavarovanje druge komunalne infrastrukture.

Nekatere možnosti začetnih interventnih tehničnih ukrepov so:

- vzpostavitev preprostih sistemov opazovanja (glej sliko 4),
- prekrivanje odlomnih robov in razgaljenih površin s folijami za zmanjšanje infiltracije padavinskih in površinskih voda,
- izkop drenažnih jarkov za preprečevanje zastajanja vode na površini,
- ojačitev/podpiranje premikajoče mase z nasipavanjem na peti plazu, razbremenitvijo vrha plazu, zabijanjem lesenih kolov ali jeklenih elementov (npr. tračnic) ali izvedba preprostih podpornih ukrepov (npr. kamnite zložbe),
- odstranitev splazele mase pri manjših usadih ali zasutih objektih, pri čemer je treba presoditi ali lahko odstranitev splazele mase povzroči širjenje pobočnega procesa.

Več o začetnih interventnih ukrepih je zapisano v [8] in [9].

6 Preiskave tal

Za vsakršno informirano odločanje o tem ali naj se premikajoča masa sanira ali naj se ogrožene objekte in infrastrukturo seli ali drugače štiti, so potrebni specifični podatki o morfologiji terena (geodetski posnetek), o sestavi in lastnostih tal, podzemni vodi in obsegu ter intenziteti premikov tal. Podobno velja tudi za območja, ki so ocenjena za potencialno nestabilna in je na njih predvidena gradnja objektov, čeprav trenutno ne kažejo pobočnih masnih premikov. Namen preiskav tal v vplivnem območju pobočnih masnih premikov je:

- ugotoviti obseg in vzroke plazenja,
- spremljati dinamiko in obseg pobočnih masnih premikov (monitoring),
- pridobiti podatke za računski model tal za projektiranje sanacijskih ukrepov.

Vsi zbrani podatki morajo omogočiti interpretacijo inženirsko geološkega, hidrogeološkega in geotehničnega modela tal (sestava tal – sloji, mehanske lastnosti vseh slojev tal, razpored pornih tlakov v tleh – piezometrične višine, lega drsne ploskve), ki ga bo treba v naslednji fazi verificirati z numeričnimi orodji.

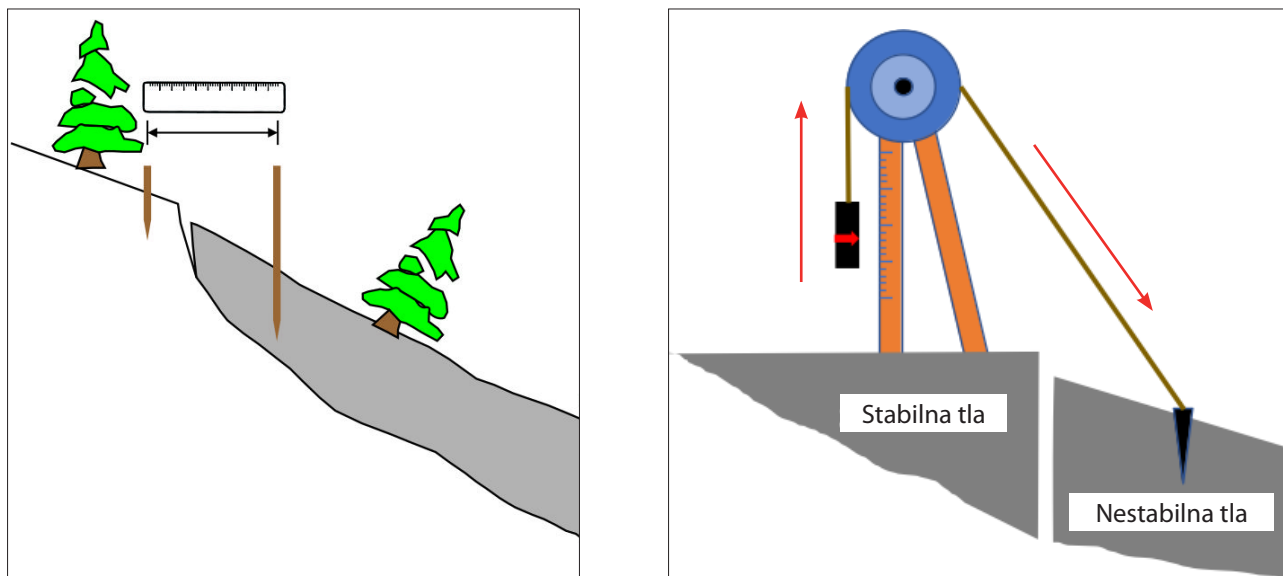
Za načrtovanje preiskav tal naj se uporabijo usmeritve, podane v naslednjih standardih, priročnikih oziroma tehničnih specifikacijah [10–13]. Vrtine za preiskave tal in geotehnična opazovanja (inklinometri) morajo biti dovolj globoke, da zanesljivo segajo v stabilno podlago.

Za spremljanje dinamike in obsega pobočnih masnih premikov so na voljo številne metode, ki jih lahko razdelimo v nekaj skupin:

- meritve širine razpok na odlomnih robovih,
- geodetske meritve premikov izbranih in ustrezno stabiliziranih točk,
- metode daljinskega zaznavanja (fotogrametrija, lasersko skeniranje, INSar),
- geotehnične meritve premikov na površini (ekstenziometri, merilniki razdalj in nagiba) in v vrtinah (inklinometri, ekstenzometri),
- pretržne zanke za potrebe alarmiranja v primeru prekoračenega premika ali nenadnega pojava drobirskega toka,
- hidrogeološke meritve tlakov oziroma nivojev vode v vrtinah s piezometri.

Geotehnične in hidrogeološke metode meritev podrobneje definirajo standardi [14–21].

V začetni fazi je zelo pomembno hitro vzpostaviti sistem merjenja premikov. Za to so najbolj primerne zelo preproste metode, pri katerih nad in pod razpoko (odlomnim robom) zabijemo stebriček in bodisi z metrom, letvijo ali napeto vrvico merimo spremembo razdalje med njima (slika 4). Tak sistem naj služi za spremljavo premikov plazu do vzpostavitve celovitega merskega sistema.



Slika 4: Preprosta sistema merjenja premika plazu oziroma širitve odlomnega roba.
 Levo: količki na stabilnem in nestabilnem delu tal, meritve s tračnim metrom.
 Desno: žični ekstenziometer.

Geodetske metode, kakor tudi metode daljinskega zaznavanja, za spremljanje pobočnih masnih premikov zahtevajo posebno skrben pristop k delu, saj so premiki definirani kot razlika izmerjenih položajev točk v dveh terminskih izmerah. Za zanesljivo določitev teh razlik je ključno, da se sistem meritev opre na stabilne referenčne točke, ki morajo biti nameščene zunaj območja aktivnih pobočnih masnih premikov. Posebej v slučajih, ko so premiki pobočja razmeroma majhni, je nujen predpogoj za kakovostno interpretacijo pomikov čim bolj natančna določitev položaja vseh detajlnih točk v vsaki terminski izmeri ne glede na uporabljeno metodo izmere (terestrična izmera ali izmera z GNSS ali metode daljinskega zaznavanja). Metode terrestrične in GNSS geodetske izmere in postopki dela so podrobno opisani v [22] in [23].

7 Izdelava inženirsko-geološkega, hidro-geološkega in geotehničnega modela

Na podlagi izvedenih preiskav tal in rezultatov tehničnega opazovanja nestabilnega pobočja je treba izdelati model tal. Prvi korak je izdelava inženirsko geološkega (IG) modela, ki predstavlja interpretacijo sestave tal s poudarkom na lastnostih, ki so ključne za razumevanje in kasnejšo obravnavo konkretnega pobočnega procesa. Zato bodo inženirsko geološki modeli za počasno lezenje pobočja, skalni podor ali blatni tok različni, saj bo poudarek vedno na bistvenih lastnostih konkretnega pobočnega procesa. IG model mora temeljiti na poznavanju obsega (tlorisni obseg in globina) ter lastnosti obravnavanega pobočnega procesa. Poleg izvedbe terenskih in laboratorijskih preiskav tal je za interpretacijo IG modela ključno podrobno kartiranje širšega območja pobočnega procesa. IG model sestavlja grafična interpretacija v tlorisu in prerezih ter ustrezen opis inženirsko geoloških razmer na vplivnem območju obravnavanega pobočnega procesa. IG model je lahko predstavljen tudi s 3D računalniškimi modeli.

Hidrogeološki (HG) model obravnavanega prostora mora opisati lastnosti tal z vidika dinamike podzemne vode, vključno z odnosom med padavinami in tokom podzemne vode. Zato je podlaga zanj IG model, pri čemer je treba evidentirati vodonosne sloje tal (odprti ali zaprti vodonosni sloji), vrsto poroznosti (medzrnska ali razpoklinska), prepustnost za vodo, predvsem pa razpored tlakov podzemne vode oziroma nivojev vode v posameznih vodonosnih slojih. Ker sta delovanje in infiltracija površinskih voda ter tok podzemne vode največkrat ključna sprožilna dejavnika pobočnih procesov, je dober hidrogeološki model ključen za kakovostno inženirsko obravnavo pobočnega procesa.

Geotehnični model nadgradi IG in HG model z mehanskimi karakteristikami posameznih slojev tal in je podlaga za kasnejše računske analize obravnavanega pobočnega procesa. Za računsko obravnavo pobočnih masnih premikov sta ključni strižna trdnost in prostorninska teža, za obravnavo stabilnosti blokov in klinov kamnin bodo poleg strižne trdnosti vzdolž diskontinuitet ključne še smeri in nakloni le-teh. Stabilnost večje kamninske gmote pogosto obravnavamo s pomočjo izbrane metode klasifikacije kamnin (npr. GSI, Q) in s podatki o lastnostih intaktnega kosa kamnine ob upoštevanju Hoekovega in Brownovega zakona trdnosti kamninske gmote. Pri obravnavi tokov bodo ob gostoti ključni še reološki parametri (viskoznost in napetost na meji tečenja), ki ju poleg zrnivosti pomembno definira tudi količina vode v blatnem ali drobirskem toku.

Omenjeni modeli pobočnih masnih premikov morajo temeljiti na pridobljenih podatkih in opazanjih ter morajo odražati logično in na znanju utemeljeno razlago obravnavanega pobočnega procesa. Prikaz modela v grafični obliki ob primerni pisni razlagi konceptualnega razmisleka, ki je avtorje privedel do konkretnega modela, mora biti jasen in nedvoumen.

Opis vseh modelov pobočnega masnega premikanja mora vsebovati tudi opredelitev do negotovosti podatkov in interpretacije, saj ob še tako skrbno izvedenih preiskavah in meritvah določene nejasnosti vselej ostajajo (obseg in globina premikov, spremenljivost pogojev tal in podzemne vode, parametri kotaljenja padajočega kamenja ...).

8 Verifikacija (numeričnega) modela

Na podlagi preiskav definiran model tal velja za pogoje, izmerjene v času izvedbe preiskav, torej praviloma po splazitvi pobočja. Predvsem se je treba zavedati, da izmerjeni nivoji podzemne vode med preiskavami tal zelo verjetno ne odražajo nivojev podzemne vode ob splazitvi, ki je najpogosteje posledica visokih nivojev podzemne vode. Tudi izmerjene vrednosti mehanskih lastnosti tal (prostorninska teža in strižna trdnost kot ključna materialna podatka za analize varnosti pobočij) bodo pogosto razpršene zaradi številnih vzrokov (prostorska variabilnost lastnosti v naravi, posledice poškodb zaradi načina vrtanja, rokovanja, transporta in hrambe vzorcev ter vgradnje v laboratorijske naprave, reprezentativnost odvzetih vzorcev ...). Zato pogosto začetni računski model tal ne daje pričakovane računske varnost $F = 1,0$, za geometrijo tal pred splazitvijo in drsno ploskev, ki je kar se da blizu drsni ploskvi v naravi (odlomni in narivni rob ter izmerjena globina drsine v inklinometrih).

Izhodiščni računski model tal za načrtovanje sanacije plazu je treba zato verificirati z numeričnimi analizami, v preprostejših primerih lahko tudi z analitičnimi enačbami (npr. »neskončno ravno pobočje«). Najpogosteje je mogoče ujemanje računskega modela z dogajanjem v naravi doseči s prilagajanjem mehanskih parametrov, režima podzemne vode in/ali sestave tal. Takemu postopku pravimo »povratna analiza«. Rezultat povratne analize je sprejemljiv takrat, ko za najbolj verjetne pogoje ob sprožitvi pobočnih masnih premikov dobimo računski faktor varnosti 1,0 za drsno ploskev, kot je bila z meritvami identificirana v naravi. V pomoč pri odločitvah o načinu prilagajanja vhodnih podatkov so lahko analize občutljivosti modela na vhodne podatke (sensitivity analysis).

Za verifikacijo modela tal je treba uporabiti isto orodje kot za kasnejše analize učinkov sanacijskih ukrepov. Dobra praksa pri analizah pobočnih masnih premikov in sanacije splazelih pobočij je uporaba več kot ene računske metode oziroma računalniškega programa. Praviloma se je treba izogibati uporabi predpostavljenih krožnih drsin za analize stabilnosti, saj se porušitve v naravi najpogosteje dogajajo vzdolž kontaktov med posameznimi sloji tal.

Numerične metode so lahko tudi orodje za ugotavljanje vzrokov pobočnih masnih premikov. Parametrične analize (analize vpliva spreminjanja posameznih računskih parametrov na rezultat), različne predpostavke modela (nizka strižna trdnost vzdolž kontakta dveh slojev, visok tlak porne vode na stiku vodonosne plasti z manj prepustno krovno plastjo ...) lahko pomagajo razložiti verjetno dogajanje ob sprožitvi pobočnega masnega premika.

Če z računskimi analizami za verifikacijo modela tal in podzemne vode ne moremo zanesljivo ugotoviti, ali je bil za sprožitev pobočnega masnega premika odgovoren visok tlak podzemne vode ali nizka strižna trdnost določenega sloja tal oziroma stika med dvema slojema tal, je smiselno v nadaljevanju uporabiti obe predpostavki in načrtovati sanacijo z dvema različnima računskima modeloma. Ko je treba v procesu prilagajanja vhodnih računskih parametrov uporabiti vrednosti tlakov podzemne vode in/ali strižne trdnosti, ki odstopajo od vrednosti, ugotovljenih s preiskavami tal, in od izkušenj v podobnih geoloških okoljih, je priporočljivo izvesti dodatne preiskave tal na terenu.

Podobno lahko postopamo pri zdrsih kamninskih blokov ali klinov, za katere je značilno, da so drsne ploskve znane, saj potekajo vzdolž obstoječih diskontinuitet. Predmet verifikacije oziroma kalibracije računskih modelov so v tem primeru predvsem strižna trdnost in tlaki podzemne vode vzdolž diskontinuitet.

Posebej problematične so mehke ali preperele kamnine, katerih obnašanje je včasih bližje obnašanju zemljin. V takih primerih naj se uporabijo tako modeli za obravnavo stabilnosti kamnin kot zemljin.

Tudi pri analizah trajektorij in energij padajočega kamenja si lahko pomagamo s kalibracijo računskega modela tako, da model čim bolje opiše stanje, ki ga kot neme priče na terenu kažejo kamniti bloki, ki so se sprožili višje na brežini in so se ob posameznih dogodkih prikotalili v dolino. V tem primeru so predmet kalibracije predvsem koeficienti odbojev kamnitih blokov od podlage.

Verjetno je najbolj težavna računska analiza blatnih in drobirskih tokov, saj že majhne spremembe vlažnosti materiala pomembno vplivajo na reološke lastnosti premikajoče se mase in s tem na rezultat analize. Lastnosti blatnega ali drobirskega toka, ki sta značilna predstavnika nenewtonskih tekočin, se dodatno spreminjajo s hitrostjo toka in z odlaganjem večjih zrn vzdolž svoje poti oziroma z erodiranjem podlage, kar oboje vpliva na vlažnost in strukturo zrn v toku.

8.1 Potresna obremenitev

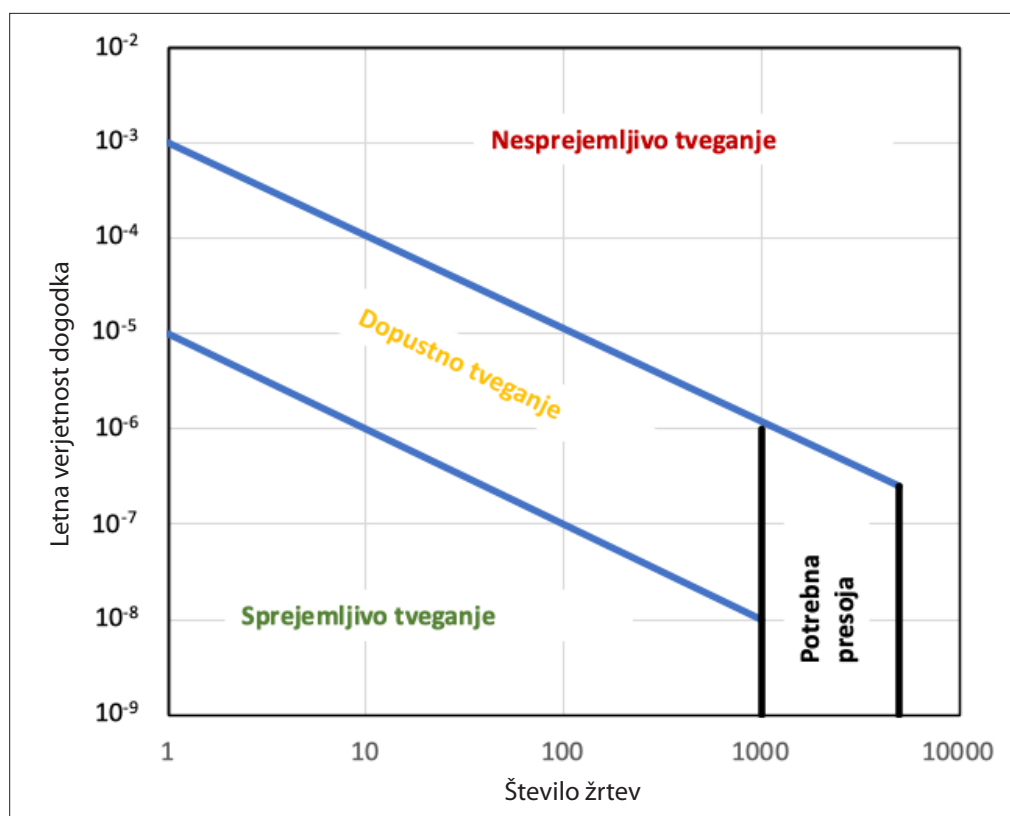
Kadar obravnavamo pobočne masne premike, ki so posledica potresa, je treba v računskem modelu poleg že omenjenih parametrov kot ključnega upoštevati tudi jakost potresne obremenitve.

V primeru potresne obremenitve je prvo vprašanje, ali se zemljine na obravnavanem prostoru med potresom lahko utekočinijo. Za utekočinjenje so najbolj dovzetni rahli in zasičeni melji in peski. Utekočinjenje tal je posledica drastičnega zmanjšanja strižne trdnosti zaradi povečanih tlakov porne vode. Po potresu je treba za utekočinjena tla v analizah stabilnosti privzeti rezidualno strižno trdnost.

Če masni premiki med potresom niso posledica utekočinjenja tal, pogosto za analize uporabimo psevdo statično analizo z upoštevanjem projektnega pospeška tal na način, kot ga predpisuje Evrokod 8-5 [24]. Faktor varnosti, ki je rezultat take analize, ni nujno dober kazalnik za nevarnost pobočnih masnih premikov, saj lahko računski pospešek na pobočje deluje le zelo kratek čas. Če nas torej zanimajo posledice potresa na premike pobočja, lahko za analize uporabimo Newmarkovo metodo analize premikov ekvivalentnega bloka, ki v modelu nadomešča drsečo maso. Metoda za vsak časovni interval potresa, v katerem je zaradi potresnega pospeška faktor varnosti manjši od 1,0, izračuna premik in te premike sešteva ves čas delovanja potresa. Kriterij za učinek potresne obremenitve na stabilnost pobočja je v primeru te analize trajni akumuliran premik v času delovanja potresa in ne faktor varnosti kot v primeru psevdostatične analize.

9 Možni sanacijski ukrepi

Izraz »sanacijski ukrepi« se v Slovenski praksi pogosto uporablja za inženirske ali druge ukrepe za povečanje varnosti pobočja pred nastankom pobočnih masnih premikov. Ta izraz javnost pogosto razume kot niz aktivnosti, ki zagotavljajo »absolutno« varnost. V tej smernici raje govorimo o zmanjševanju tveganj ali zagotavljanju, da bo preostalo tveganje sprejemljivo nizko oziroma dopustno. Lacasse v preglednem članku [25] povzema definicije sprejemljivega tveganja (acceptable risk) in dopustnega tveganja (tolerable risk), ki se praviloma definirajo kot odnos med številom žrtev ali finančnimi posledicami dogodka na eni in verjetnostjo dogodka v enem letu na drugi strani (glej primer na sliki 5). Slika 5 služi le kot ilustracija pojmov. Konkretna definicije posameznih območij tveganja se med državami razlikujejo.



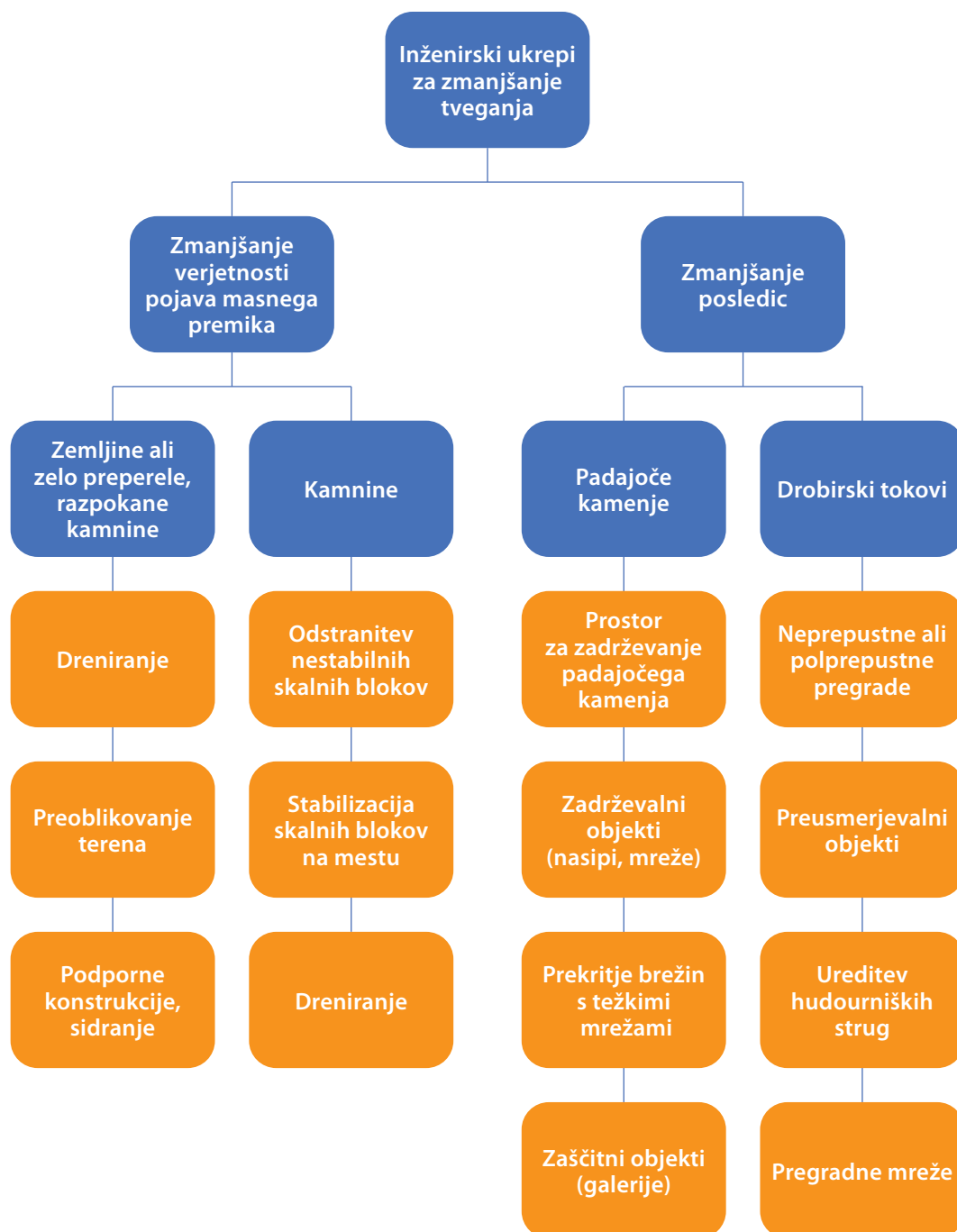
Slika 5: Pojasnilo pojmov sprejemljivega, dopustnega in nesprejemljivega tveganja. Prirejeno po [25].

Začetni cilj sanacijskih ukrepov je, da je preostalo tveganje (glej točko 4) v območju sprejemljivega tveganja. Včasih bo zagotavljanje tako nizke ravni tveganja nesorazmerno drago ali drugače prezahtevno. Takrat se moramo odločiti, ali sprejmemo nekoliko višjo raven tveganja – (še) dopustno tveganje. Takrat želimo reducirati tveganja na raven: »tako nizko, kot je razumno mogoče« (ALARP – as low as reasonably practicable).

Ukrepe za zmanjšanje tveganja na območjih, ki jih ogrožajo pobočni masni premiki, lahko iščemo v dveh smereh (glej tudi shemo na sliki 6):

- zmanjšanje nevarnosti (zagotavljanje ustrezne varnosti pobočja z inženirskimi ukrepi) ali
- zmanjšanje posledic pobočnih masnih premikov (prestavitve ogroženih objektov ali dejavnosti, zaščitni ukrepi npr. pred padajočim kamenjem ali tokovi).

Nekoliko podrobneje so možni ukrepi za zmanjšanje tveganja zaradi pobočnih masnih premikov prikazani v prilogah I do V s komentarji o značilnih primerih uporabe ter z navedbo njihovih prednosti in omejitev.



Slika 6: Pregled inženirskih ukrepov za zmanjšanje tveganja zaradi pobočnih masnih premikov (prirejeno po [4])

9.1 Ukrepi za zmanjšanje nevarnosti (stabilizacija nestabilnega pobočja)

Ukrepe za zmanjšanje nevarnosti oziroma povečanje varnosti nestabilnega pobočja lahko uvrstimo v eno od naslednjih skupin, pogosto pa uporabimo njihovo kombinacijo:

- ukrepi dreniranja tal in površinske odvodnje,
- preoblikovanje terena,
- odstranjevanje nestabilnih skalnih blokov,
- ojačitev pete plaz, zlasti v primeru, ko je peta plaz izpostavljena hudourniški ali rečni eroziji,
- podpiranje, sidranje.

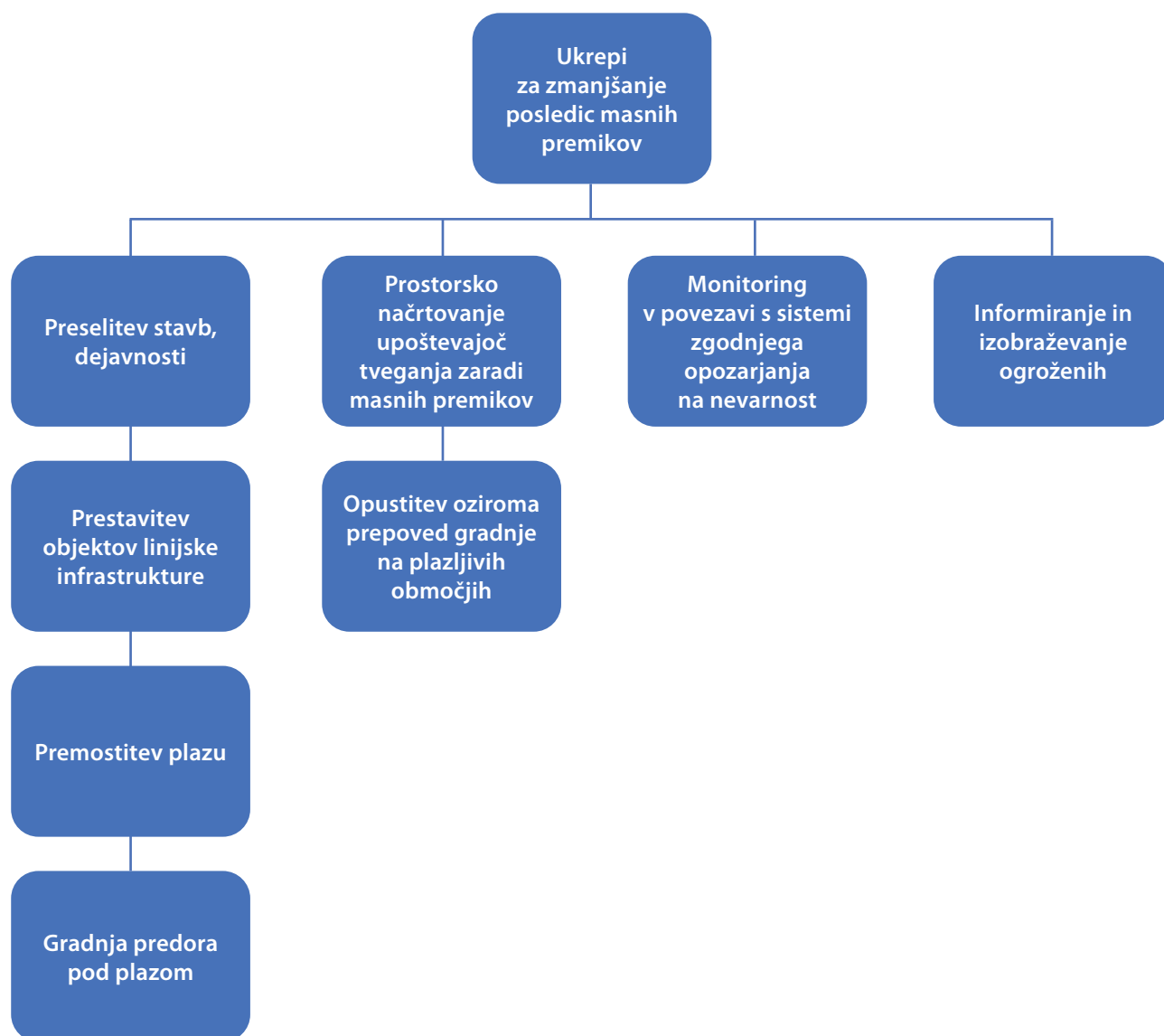
9.2 Ukrepi za zmanjšanje posledic pobočnih masnih premikov

Ukrepe za zmanjšanje posledic pobočnih masnih premikov lahko razdelimo med inženirske (glej desna dva stolpca na sliki 6):

- zaščite pred padajočim kamenjem,
- zaščite pred drobirskimi ali blatnimi tokovi

ter »neinženirske«, ki pretežno pomenijo izogibanje gradnje v vplivnem območju pobočnega masnega premika, a ob tem še kako potrebujejo inženirsko znanje (npr. gradnja nove prometnice na drugi lokaciji). V to skupino lahko uvrstimo naslednje skupine ukrepov (glej tudi sliko 7):

- izogibanje gradnji na ogroženih območjih ali prestavitve stavb in infrastrukture,
- vzpostavitev sistemov za zgodnje opozarjanje pred nevarnostjo masnega premika,
- informiranje ogroženih prebivalcev.



Slika 7: Pregled »neinženirskih« ukrepov za zmanjšanje posledic masnih premikov (prirejeno po [4])

Osnovni ukrep za zmanjšanje posledic pobočnih masnih premikov je preudarno prostorsko načrtovanje, kjer se gradnja objektov in infrastrukture izogiba potencialno nestabilnim območjem in območjem, ki so potencialno ogrožena zaradi padajočega kamenja ali masnih tokov. V ta namen naj se upoštevajo opozorilne karte verjetnosti pojavljanja zemeljskih in hribinskih plazov, skalnih podorov in drobirskih tokov in usmeritve podane v PRILOGI 8 Splošnih smernic s področja upravljanja z vodami [26]. Pri pripravi prostorskih načrtov je ne glede na razpoložljive karte ogroženosti priporočljivo izdelati podrobnejšo študijo, ki naj opredeli verjetnost masnih premikov na območjih, predvidenih za gradnjo, na podlagi podrobnega pregleda terena, lokalnih preiskav tal in računskih analiz. Kot primer za poselitev neprimernih območij navajamo položne vršaje na mestih, kjer strme hudourniške struge prehajajo v dolinsko območje.

Če se na ogroženih pobočjih nahajajo obstoječe stavbe, je ena od možnosti vselej tudi njihova preselitev. Za objekte javne infrastrukture (prometnice in komunalne ter druge vode) pride v poštev premestitev izven nestabilnega območja, pa tudi premostitev plazu ali izgradnja infrastrukturnih vodov in prometnic v predoru pod plazom.

Zaščita pred padajočim kamenjem je mogoča na več načinov:

- odstranitev nestabilnih skalnih blokov,
- stabilizacija nestabilnih skalnih blokov na izvornem mestu z mrežami in sidranjem,
- uporaba težkih zaščitnih mrež na strmih izvornih brežinah,
- uporaba zaščitnih mrež pred padajočim kamenjem,
- izdelava zaščitnih nasipov ali ograj s prostorom za zadrževanje kamenja v zaledju,
- gradnja galerij preko prometnic,
- kombinacija navedenih ukrepov.

Priporočila za celovito načrtovanje varovanja prostora pred padajočim kamenjem so podana v Tehnični specifikaciji [27].

Erozijski pojavi v hudourniških strugah in metode varovanja pred drobirskimi oziroma blatnimi tokovi so obravnavani v [28].

V našem prostoru niso redki erozijski pojavi ob vodotokih, ki predstavljajo nevarnost za zaježitev toka vode. Tak pojav lahko kasneje ob preboju zaježitve ogroža območja dolvodno. Te primere je treba kar najhitreje prepoznati in ukrepati ali kot minimalen ukrep vzpostaviti sistem opazovanja in alarmiranja.

Tudi priporočila v zvezi z uporabo sistemov zgodnjega opozarjanja na nevarnost pobočnih masnih premikov presegajo zastavljen obseg te publikacije. Treba pa se je zavedati, da vzpostavitev sistemov tehničnega opazovanja na nestabilnih pobočjih (geodetske mreže, inklinometri ipd.), ki niso digitalno povezani z nadzornim sistemom ter s sistemom alarmiranja, ne smemo smatrati za ukrep, ki zmanjšuje tveganja pred posledicami masnih premikov.

10 Presoja izvedljivosti in učinkovitosti posameznih ukrepov (Izbira najbolj ustrezne rešitve)

Kakovosten pristop k sanaciji nestabilnega pobočja bo temeljil na preučitvi več možnih rešitev. Vsako od možnosti naj se oceni z vidika izvedljivosti, preostalega tveganja, stroškov in časa, potrebnega za izvedbo, ter drugih pomembnih vidikov (zagotavljanja varnosti v vseh fazah sanacije, ohranjanje naravnega okolja, dediščine, zagotavljanja možnosti razvoja prostora, izgled, vzdrževanje ...) vključno z vizijo lokalne skupnosti o nadaljnji rabi obravnavanega prostora. Izbira najustrežnejše rešitve v danih pogojih naj kolikor je le mogoče temelji na objektivnih in merljivih kriterijih. Včasih to lahko pomeni, da bo treba na idejnem nivoju obdelati vsaj dve možni rešitvi in šele nato sprejeti odločitev. Pri izbiri rešitev se je treba zavedati, da je tudi odlaganje odločitve odločitev, ki ima svoje dobre in slabe posledice.

Nujen predpogoj za kakovostno inženirsko obravnavo nestabilnih pobočij je razumevanje vzrokov za pobočne masne premike. Pri tem je treba upoštevati, da je za sprožitev pobočnih masnih premikov pogosto odgovorna kombinacija več dejavnikov. Neposredni razlog za sprožitev pobočnega masnega premika je pogosto le zadnji v vrsti dejavnikov, ki so odgovorni za nestabilnost pobočja. Vzrokov za plazenje je lahko več, vsak pa lahko na svoj način vpliva na izbiro in učinkovitost sanacijskih ukrepov.

Ko imamo na podlagi preiskav tal in povratnih numeričnih analiz interpretiran model tal, sledi proces načrtovanja in izbire ukrepov za zmanjšanje tveganj, povezanih z masnimi premiki v naslednjih korakih:

1. Definiranje želenega obnašanja pobočja: postaviti je treba kriterije glede varnosti, verjetnosti porušitve ali ciljnega tveganja na podlagi zahtev deležnikov, specifičnih pogojev lokacije in zahtev zakonodaje in prostorskih aktov.
2. Identifikacija možnih sanacijskih ukrepov, ki izpolnjujejo zastavljene kriterije in so izvedljivi.
3. Posvetovanje z deležniki.
4. Izdelava idejne zasnove izbranih sanacijskih ukrepov.
5. Izbira optimalne rešitve s primerjavo značilnosti možnih sanacijskih ukrepov, kot so stroški, tehnična učinkovitost, trajnost, vpliv na okolje, potreba po vzdrževanju, estetika itd.
6. Izdelava izvedbenega načrta izbrane rešitve.

7. Izvedba izbrane rešitve (gradnja in nadzor gradnje).
8. Tehnično opazovanje in vzdrževanje.

Podatke o značilnostih pobočnega masnega premika, izvedenih preiskavah tal, tehničnem opazovanju ter o izvedenih sanacijskih ukrepih je treba dokumentirati v katastru plazov, ki ga upravlja pristojno ministrstvo.

11 Detajlno načrtovanje sanacijskih ukrepov

Načrtovanje sanacijskih ukrepov, ne glede na to ali gre za premike zemeljskih mas, načrtovanje podpornih ukrepov, odvodnjavanje ali dreniranje, temelji na analizah globalne stabilnosti pobočja pred in po sanaciji, ki morajo biti izvedene z istim orodjem/orodji, kot so bila uporabljena za verifikacijo modela tal. Pri analizah varnosti pobočja po sanaciji je treba upoštevati pričakovane spremembe v življenjski dobi objektov (50 do 100 let) vključno s pričakovanimi klimatskimi spremembami, pričakovanimi posegi v prostor in pričakovanimi spremembami drugih obremenitev pobočja.

Računske analize sanacijskih ukrepov morajo vključevati tako končno stanje kot tudi vsa kritična stanja med izvedbo sanacijskih ukrepov. Poleg presoje globalne varnosti v vsaki računski fazi, je treba v računskih analizah spremljati tudi notranje sile v vseh elementih nosilne konstrukcije in jih ustrezno dimenzionirati.

V primerih, ko načrtujemo gradbene posege na potencialno nestabilnih pobočjih, za katere verifikacija numeričnega modela na dogodek pobočnega masnega premika ni mogoča, je ključno, da načrt gradbenih konstrukcij in kasnejša izvedba del v vseh fazah gradnje zagotovi, da ne pride do poslabšanja varnosti glede na začetno stanje.

Ker je celotno ozemlje Slovenije potresno aktivno, je treba pri izbiri in dimenzioniranju sanacijskih ukrepov upoštevati tudi vpliv potresne obtežbe.

Pri detajlnem načrtovanju sanacijskih ukrepov je treba upoštevati standarde Evrokod za projektiranje gradbenih konstrukcij ter smiselno vključiti tudi Priporočila in pogoje za izvedbo posegov, podane v PRILOGI 8 Splošnih smernic s področja upravljanja z vodami [26].

Zavedati se je treba, da je končni rezultat odvisen ne le od natančnih računskih analiz, ampak tudi od izvedbenih detajlov, ki zagotavljajo trajno delovanje vseh načrtovanih sistemov brez neugodnih vplivov za okolico (npr.: kam in na kakšen način je odvedena vsa zbrana voda; ali so temelji podpornih konstrukcij in vezni deli sider vgrajeni v stabilno podlago).

12 Izvedba del in nadzor nad izvedbo del

Izvedba gradbenih del na nestabilnem območju, kjer vsaj občasno (npr. ob večjih padavinah) prihaja do premikov zemeljskih mas ali proženja padajočega kamenja, zahteva preudarno načrtovanje faz gradnje, prilagajanje vremenskim pogojem ter posebno pozornost glede varnosti v vmesnih fazah gradnje, ki so praviloma kritične (začasni izkopi ipd.).

Izogibati se je treba zemeljskim izkopom tik pred deževnim obdobjem. Razgaljene površine naj se med izvedbo del prekrije s folijami, ki zmanjšajo količino infiltrirane vode. Takoj, ko je vzpostavljena končna geometrija dela načrtovanih brežin, naj se brežina ozeleni skladno z načrtom. Po potrebi se lahko v vmesnem času za zagotavljanje erozijske obstojnosti uporabijo začasni protierozijski ukrepi (npr. protierozijski geosintetiki).

Med izvedbo del je treba spremljati skladnost prognoziranje in dejansko ugotovljene sestave tal (v zemeljskih izkopih, izkopih za pilote, vrtinah za sidra ali vgradnjo merskih sistemov – piezometri, inklinometri ...) in v primerih večjih odstopanj v dogovoru s projektantom preveriti ustreznost načrtovanih ukrepov ter jih po potrebi prilagoditi.

Med gradnjo naj se izvaja predpisano tehnično opazovanje. Rezultate (hitrost masnih premikov in tlaki podzemne vode ...) je treba upoštevati pri odločitvah o dinamiki in vrstnem redu gradbenih del. Podatki dajejo tudi informacijo o učinkovitosti že izvedenih del. Pri interpretaciji rezultatov meritev naj se prvenstveno interpretirajo trendi in le zelo previdno rezultat posamezne meritve. Rezultate je treba vselej interpretirati in razumeti v kontekstu vremenskih pogojev in mehanskih vplivov gradbenih del.

Pri izvedbah sanacijskih del na nestabilnih pobočjih je pogosto potrebno prilagajanje trenutnim razmeram med izvajanjem del. Zato je nujno usklajeno in tvorno sodelovanje med izvajalcem, nadzornikom in projektantom.

13 Vzdrževanje

Vsakršni izvedeni ukrepi za zmanjšanje nevarnosti zaradi pobočnih masnih premikov zahtevajo pozorno spremljanje dogajanja na nestabilnem pobočju in v vplivnem območju ter redno vzdrževanje vseh vgrajenih sistemov. To pomeni, da je treba po končanih sanacijskih delih izvajati vsaj naslednje:

- Redne vizualne preglede stanja na brežinah kakor tudi stanja vseh izvedenih ukrepov (drenaže, površinski jarki, konstrukcije ...). To obsega vsaj: pregled jaškov in drenažnih cevi, pregled morebitnih deformacij ali drugih poškodb jarkov za površinsko odvodnjo, pregled stanja površine terena (deformacije, razpoke, gube), pregled morebitnih mokrih con na površini oziroma pojav vlagoljubne vegetacije, pregled morebitne kalnosti vode, ki odteka s prostora saniranega plazu, pregled morebitnih sprememb na vgrajenih konstrukcijah, ojačitvenih in zaščitnih ukrepih. Taki pregledi naj se opravijo vsaj dvakrat letno: tik pred zimo, ko je odpadlo jesensko listje in ko se spomladi razkrijejo posledice zime. Dodatni pregledi so potrebni po izrednih dogodkih (izjemne padavine, poplave, potres).
- Tehnično opazovanje (geodetske, geotehnične, hidrološke in hidrogeološke meritve), kjer je to s projektom predpisano. Zagotoviti je treba predpisano kontinuiteto meritev in sprotno interpretacijo s priporočili za nadaljnje ravnanje, ki mora biti takoj dostopna lastniku/skrbniku objekta. Interpretacija posamezne skupine meritev (geodetske meritve, meritve sidrskih sil ...) ni dovolj. Vselej je potrebna celovita interpretacija vseh razpoložljivih podatkov vključno z vizualnimi pregledi stanja na terenu.
- Redno periodično vzdrževanje drenažnih sistemov ter ukrepov površinske odvodnje, s katerim zagotavljamo stalno delujoče sisteme. Tudi ti pregledi naj se opravljajo dvakrat letno: v pozni jeseni in spomladi ter po vsakem izrednem dogodku. Površinski jarki in drenažne cevi ter jaški morajo biti očiščeni nanosov zemljine in listja, tlakovani jarki in cevi morajo biti brez poškodb, ki omogočajo koncentrirano zamakanje tal na poškodovanih mestih, stiki jarkov in površine tal morajo biti narejeni tako, da površinska voda brez ovir vteka v jarek in ne povzroča erozije tal vzdolž jarka. Kadar obstaja sum glede nepoškodovanosti podzemnih elementov odvodnjavanja, naj se uporabi pregled s kamero.
- Redno pregledovanje in vzdrževanje sistemov opazovanja in zgodnjega opozarjanja, kjer je ta vzpostavljen (pregled stanja, napajanja, komunikacij, nevarnosti v obliki podrtih dreves, kamenja ...). Rezultati teh pregledov so lahko tudi predlogi za nadgradnjo sistema.

14 Viri

- [1] U.S. Geological Survey (USGS), 2004. Landslide Types and Processes, priredila Lynn Highland in Margo Johnson, dostopno na <https://pubs.usgs.gov/fs/2004/3072/pdf/fs2004-3072.pdf>
- [2] Cruden, D.M., Varnes, D.J., 1996. Landslide Types and Processes, Transportation Research Board, U.S. National Academy of Sciences, Special Report, 247.
- [3] Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. Landslides 11. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>.
- [4] New Zealand Geotechnical Society (NZGS), 2023. Slope Stability geotechnical guidance series, Unit 1 – General Guidance, dostopno na <https://fl-nzgs-media.s3.amazonaws.com/uploads/2024/11/NZGS-Slope-Stability-Guidance-Final-Oct-24-2.pdf>.
- [5] Australian Geomechanics Society (AGS), 2007. Guidelines for Landslide Risk Management.
- [6] Ribičič, M., Zemeljski plazovi – vrste in opis. Razlaga vrst in osnovnih značilnosti zemeljskih plazov za izpolnjevanje popisnega obrazca, dostopno na [https://www.e-plaz.si/Media/PDF/Priloga1_MRibicic_2014_ZEMELJSKI%20PLAZOVI%20\(VRSTE%20IN%20OPIS\).pdf](https://www.e-plaz.si/Media/PDF/Priloga1_MRibicic_2014_ZEMELJSKI%20PLAZOVI%20(VRSTE%20IN%20OPIS).pdf).
- [7] Kohler, A., Jülich, S. & Bloemertz, L., 2004. Guidelines: Risk analysis – a basis for disaster risk management. Danaher, P. (Translator). German Society for Technical Cooperation (GTZ), Federal Ministry for Economic Cooperation and Development (Germany), dostopno na https://www.preventionweb.net/files/1085_enriskanalysischs16.pdf.
- [8] Ribičič, M., Popović, Z. & Svetličič, S., 2016. Izvajanje začetnih nujnih ukrepov po sprožitvi plazov. Opis potrebnih, najbolj pogostih nujnih ukrepov ob sproženju plazov. Usposabljanje za popisovalce plazov – Ljubljana, 27.6.2016 in Maribor 28.6.2016, dostopno na https://www.e-plaz.si/Media/PDF/Ribicic_et_al_2016_Zacetni_nujni_ukrepi_ob_sprozivitvi_plazu.pdf.
- [9] Swedish Civil Contingencies Agency, 2013. Response Guidelines for Landslides, dostopno na: <https://www.msb.se/siteassets/dokument/publikationer/english-publications/response-guidelines-for-landslides.pdf>.
- [10] oSIST prEN 1997-1:2022: Evrokod 7 – Geotehnično projektiranje – 1. del: Splošna pravila
- [11] oSIST prEN 1997-2:2022: Evrokod 7 – Geotehnično projektiranje – 2. del: Lastnosti tal
- [12] Očepek, D., Škrabl, S., Jerman, J. & Car, M., 2018. Priročnik za izvedbo geotehničnih preiskav, IZS, dostopno na http://arhiv.izs.si/fileadmin/dokumenti/publikacije-IZS/Prirocniki_IZS/IZS_prirocnik_MSRG_Izvedba_geotehnicnih_preiskav_www.pdf.
- [13] Tehnična specifikacija za prometno infrastrukturo TSG-211-015:2025 (TSPI – P.14.101:2025. Minimalne zahteve za načrtovanje in izvedbo preiskav tal in podzemne vode.
- [14] SIST EN ISO 18674-1:2015 Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Geotehnične meritve – 1. del: Splošna pravila.
- [15] SIST EN ISO 18674-2:2017 Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Geotehnične meritve – 2. del: Meritve pomikov vzdolž merilne linije: ekstenzometer.
- [16] SIST EN ISO 18674-3:2018 Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Geotehnične meritve – 3. del: Meritve pomikov pravokotno na merilno os z inklinometri.

- [17] SIST EN ISO 18674-3:2018/A 1:2020 Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Geotehnične meritve – 3. del: Meritve pomikov pravokotno na merilno os z inklinometri – Dopolnilo A1.
- [18] SIST EN ISO 18674-4:2020 Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Geotehnične meritve – 4. del: Meritve tlaka porne vode: piezometri.
- [19] SIST EN ISO 18674-5:2019 Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Geotehnične meritve – 5. del: Merjenje sprememb napetosti s tlačnimi merskimi celicami.
- [20] oSIST prEN ISO 18674-7:2024 Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Geotehnične meritve – 7. del: Merjenje deformacij.
- [21] SIST EN ISO 18674-8:2024 Geotehnično preiskovanje in preskušanje – Geotehnične meritve – 8. del: Merjenje sil: obremenilne celice.
- [22] Savšek, S., Ambrožič, T., Kogoj, D., Koler, B., Sterle, O. & Stopar, B., 2010. Geodezija v geotehnik, Gradbeni vestnik, letnik 54, št. 1.
- [23] Koler, B., Savšek, S., Ambrožič, T., Sterle, O., Stopar, B. & Kogoj, D., 2010. Realizacija geodezije v geotehnik, Geodetski vestnik, letnik 54, št. 3.
- [24] EN 1998-5:2024: FprEN 1998-5:2024 – Evrokod 8 – Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 5. del: Geotehnični vidiki, temelji, oporne in podzemne konstrukcije
- [25] Lacasse, S., 2016. Hazard, reliability and risk assessment – research and practice for increased safety. Keynote Paper, Proceedings of the 17th Nordic Geotechnical Meeting NGM 2016, Reykjavik.
- [26] PRILOGA 8 Splošnih smernic s področja upravljanja z vodami. Ministrstvo za naravne vire in prostor, Direkcija Republike Slovenije za vode, 24. avgust 2024, dostopno na: <https://www.gov.si/zbirke/storitve/presoja-prostorske-in-okoljske-dokumentacije/>
- [27] Tehnična specifikacija za prometno infrastrukturo (TSPI), 2025. Projektiranje tehničnih ukrepov za zaščito infrastrukturnih objektov pred skalnimi podori in padajočim kamenjem.
- [28] Bergmeister, K, Suda, J., Hübl, J., Rudolf-Miklau, F., 2009. Schutzbauwerke gegen Wildbachgefahren. V pripravi prevod (Mikoš, M.) Varovalni hudourniški objekti.

I. »Neinženirski« ukrepi za zmanjšanje posledic masnih premikov

[1] Delna ali popolna odstranitev nestabilnih pobočnih mas za preprečevanje oz. zmanjšanje proženja pobočnih premikov.

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Na območjih z omejeno količino in globino nestabilnih tal. Hitro in relativno poceni, razen če je potrebna zahtevna gradnja dostopnih poti, dolgotrajna uporaba helikopterja ipd.	Morda ne bo zagotovilo trajne varnosti. Skrb za varnost delavcev na vrvi ter oseb in premoženja ob vznožju.

[2] Premestitev objekta, umik z območja nestabilnih tal oz. gradnja izven vpliva nestabilnega območja.

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Alternativa drugim ukrepom. Primerna za nove projekte ali infrastrukturo in posamezne objekte razpršene poselitve. Dober pristop, če se uvede zgodaj, saj odstrani tveganje, povezano z nestabilnostjo.	Ni izvedljivo, kadar ni alternativne lokacije, zaradi stroškov premestitve in/ali potrebe po ohranjanju dostopa. Treba je zagotoviti, da so pogoji tal na novi lokaciji boljši.

[3] Premostitev nestabilnega območja: izgradnja viadukta za premostitev nestabilnega območja ali aktivnega padanja kamenja ali območja izteka naplavin. Izgradnja galerije za zaščito pred padajočim kamenjem.

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Običajno se uporablja za linijsko infrastrukturo (prometnice) ob pobočju, kjer je teren relativno strm in/ali kjer je na voljo prostor in pri masnih premikih omejene širine z jasno definiranimi bočnimi robovi, kjer so krajni oporniki lahko locirani v stabilnih tleh.	Masni premiki velikih širin z možnostjo nadaljnega širjenja. Visoka cena. Prečne obremenitve na temelje (pilote) zaradi masnih premikov je težko napovedati in lahko vodijo v neizvedljive rešitve.

[4] Vodenje prometnice v predoru v stabilnih tleh pod drsno ploskvijo: umik prometnice iz nestabilnega površja.

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporaba je smiselna le za objekte kritične infrastrukture, kadar je tveganje visoko in drugi ukrepi niso ustrezni ali izvedljivi, tj. kadar koristi odtehtajo visoke stroške.	Drago. Lahko izzove nove nevarnosti, povezane z omejenim prostorom.

- [5] Smotrna raba prostora:** Prostorski načrtovalci v sodelovanju s strokovnjaki s področja geologije, hidrogeologije in geotehnike podajo omejitve oz. prilagoditve rabe prostora na območjih z visokim tveganjem, priprava specifičnih smernic za razvoj na teh območjih.

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Zmanjševanje potencialnih ekonomskih izgub zaradi masnih premikov (neposredna škoda, izpad dohodka, stroški obnove), omogoča dolgoročne trajnostne razvojne projekte in odporno grajeno okolje.	V pristojnosti občinskih in državnih organov.

- [6] Sistemi za tehnično opazovanje in zgodnje opozarjanje:** vizualni pregledi (osebno ali z daljinskimi kamerami), geodetske meritve, geotehnične meritve (inklinometer, merilnik razpok, merilnik naklona, tlaki podzemne vode), hidrološke meritve (padavine itd.), daljinsko zaznavanje. Ključno je prepoznati in izmeriti majhne, a pomembne dejavnike, ki kažejo na prihajajoč masni premik ali porušitev brežine in omogočiti ukrepe za preprečevanje škodljivih posledic.

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Lahko je stroškovno zelo učinkovito v primerjavi z inženirskimi rešitvami za stabilizacijo plaz. Omogoča odložitev izdatkov za sanacijo, dokler ni nujno potrebna. Uporabno na oddaljenih lokacijah ali kjer stroški sanacije še niso upravičeni.	Lažni alarmi lahko povzročijo konservativne odzive, kot so evakuacija, delna ali popolna zapora ceste itd. Definiranje učinkovitih mejnih vrednosti je lahko težavno, če mehanizma plazenja ne razumemo v celoti. Opozorila morda ne omogočajo dovolj časa za ukrepanje (npr. evakuacija). Ne zmanjšuje tveganja za premoženje.

- [7] Izobraževanje in informiranje** oseb, ki jih lahko prizadenejo posledice masnih premikov glede opozorilnih znakov, ki nakazujejo tveganje (npr. nevarnost padanja kamenja), razumevanja sprožilnih dejavnikov masnih premikov. To je pomemben ukrep za zmanjšanje ogroženosti prebivalcev v izrednih razmerah in se praviloma uporablja skupaj z drugimi sanacijskimi ukrepi in/ali ukrepi alarmiranja.

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Lahko je stroškovno učinkovito v primerjavi z inženirskimi rešitvami za stabilizacijo plaz. Uporabno v kombinaciji s spremljanjem in zgodnjim opozarjanjem na oddaljenih lokacijah ali kjer stroški sanacije plaz. niso upravičeni.	Vplive je težko kvantificirati. Vključujejo stalna prizadevanja skozi daljše obdobje. Ukrepi so običajno usmerjeni na tveganje za življenje, pogosto pa ne zmanjšujejo tveganja za premoženje.

II. Inženirski ukrepi za zmanjšanje nevarnosti – stabilizacija pobočij v zemljinah in močno razpokanih in/ali preperelih kamninah

[1] Odvodnjavanje

[1a] Preusmeritev površinske vode izven območja nestabilnih tal: površinsko odvodnjavanje z ustrezno oblikovanimi jarki

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Ukrepi površinske odvodnje lahko zahtevajo relativno skromno inženirsko zasnovo in posledično relativno nizke stroške. Izvedba je zelo priporočljiva kot del obravnave večine plazov ali potencialnih plazov.	Potrebno je stalno vzdrževanje, v nasprotnem primeru je lahko celo škodljivo (dovaja vodo v plaz). Pogosto je potrebna kombinacija z drugimi metodami za doseg zastavljenih ciljev.

[1b] Dreniranje podzemne vode iz plazu in nadzorovan odvod v ustrezen recipient: dreniranje nestabilnega območja s horizontalnimi drenažami, drenažnimi jarki, drenažnimi rovi, gručnatimi koli, črpalnimi vodnjaki

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Znižuje nivo podzemne vode v plazu oziroma porni tlak, kar vodi do povečane strižne trdnosti tal. Pogosto je dreniranje cenovno učinkovito v primerjavi z drugimi sanacijskimi ukrepi.	Manj učinkovito v primerih, ko ima nestabilna masa zelo nizko vodoprepustnost. Potrebno je vzdrževanje. Za doseganje učinkovitosti je potrebno dobro razumevanje vpliva toka podzemne vode na masne premike. Posamezne horizontalne drenažne vrtnice morda ne bodo učinkovale.

[2] Preoblikovanje terena (zemeljska dela): Spreminjanje geometrije pobočja, zamenjava razmočenih mehkih tal z zemljinami višje trdnosti. Nekateri ukrepi zmanjšujejo neugodno delujoče sile (odstranjevanje materiala z vrha plazu), medtem ko drugi povečujejo odpornost (utrjeno nasutje na peti plazu ali strižni ključ).

[2a] Izdelava teras, utrjeno ali neutrjeno nasutje na peti plazu, strižni ključ

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Utrjeni nasipi so zgrajeni na dnu labilnega pobočja ob peti plazu in so praviloma izdelani iz zemljin z visoko strižno trdnostjo, ki skupaj s težo nasutja zagotavlja odpornost. Lahko se kombinirajo s strižnim ključem (do stabilnega sloja segajoč jarek na dnu pobočja, kjer se raščena tla zamenjajo z zgoščenimi kamnitimi materiali z visoko trdnostjo). Neutrjen nasip je zgrajen iz nezgoščenih zemljin, ki stabilizirajo pobočje pretežno s svojo težo.	Pogojno učinkovito v primeru globokih plazov. Zahteva trdno podlago. Strižni ključ zahteva prostor na dnu pobočja in skrbno načrtovanje z upoštevanjem stabilnosti in varnosti med gradnjo, saj izkopavanje na dnu pobočja začasno zmanjšuje varnost.

[2b] Preoblikovanje geometrije pobočja: odstranjevanje materiala (obremenitve) na vrhu pobočja

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Pogosto stroškovno učinkovita rešitev	Povzroči izgubo uporabnega zemljišča na vrhu pobočja. Potrebno je najti možnosti uporabe odstranjenega materiala ali drug ustrezen način ravnanja. Potrebno je skrbno načrtovanje zaporedja del za ohranjanje varnosti med gradnjo.

[2c] Izkop in nadomeščanje dela plazine

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Običajno se uporablja pri manjših plazovih z majhno debelino nestabilnih tal, kjer bi z njihovo zamenjavo ponovno pridobili uporabno površino. Vključuje tudi druge metode, kot so preoblikovanje pobočja, odvodnjavanje in strižni ključ.	Potrebno je najti možnosti uporabe odstranjenega materiala ali drug ustrezen način ravnanja. Pogojno primerno za globlje plazove zaradi količine materiala. Treba je zagotoviti, da pobočje omogoča varen dostop in varno izvedbo začasnih izkopov.

[3] **Podporne konstrukcije:** Zagotavljajo podporo premikajoči se masi (sidrani zidovi, težnostni zidovi) in v nekaterih primerih povečajo strižno trdnost vzdolž potencialne drsine (pasivna sidra, podporne konstrukcije iz armirane zemljine).

[3a] Sidra in sidrane podporne konstrukcije

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Ni potreben premik pobočja za aktiviranje reakcijskih sil. Običajno zanesljiv a drag ukrep.	Težko izvedljivo v fazi intenzivnih premikov pobočja. Zahteva dovolj trdna tla v podlagi, kamor se vgradijo sidra in temelji konstrukcija.

[3b] Težnostni zidovi, podporne konstrukcije iz armirane zemljine, pasivna sidra

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Te rešitve so relativno prilagodljive in vsestranske, uporabne v mnogih situacijah. Pogosto se uporabljajo za zagotavljanje stabilnosti novih pobočij, kjer prostorske omejitve zahtevajo strma pobočja.	Potreben je premik za aktiviranje polne odpornosti, vendar je ta praviloma zanemarljiv. Lahko je drago.

[4] **Piloti in vodnjaki:** Stabilnost pobočja se lahko izboljša z vgradnjo pilotov ali vodnjakov skozi telo plazu v stabilna tla pod drsno ploskvijo. Uvrtani piloti so bolj zaželeni kot zabiti, saj imajo manjši negativni učinek na okolico in na stabilnost plazu med vgradnjo. Zabiti pilotov pogosto ni mogoče vgraditi dovolj globoko pod drsno ploskev. Uvrtane pilote lahko vgradimo kot dotikajoče ali celo prekrivajoče se. Pri večjih debelinah plazu lahko namesto pilotov uporabimo vodnjake velikega premera.

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Za stabilizacijo obstoječega pobočja se uvtani piloti običajno vgradijo v eni ali več linijah vzporedno s plastnicami na medsebojni razdalji ca 2D-3D (D – premer pilota). Lokacija je lahko blizu središča plazu ali v neposredni bližini varovanega objekta (prometnice ali stavbe). Uporablja se v različnih pogojih tal/kamnine. Uporabno tudi v primerih globokih plazov. Povzroča manjši vpliv na pobočje in okolico kot nekatere druge metode.	Potreben je premik za aktiviranje polne odpornosti, vendar je ta praviloma zanemarljiv. Dražje kot druge metode.

[5] Vegetacija: izboljšuje stabilnost proti plitvemu drsenju predvsem kot zaščita pred erozijo zaradi delovanja korenin, ki zagotavljajo površinsko ojačitev in zmanjšanje pornih tlakov (prestrežanje padavin in evapotranspiracija)

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporabno v večini projektov sanacije plazov v kombinaciji z drugimi ukrepi. Stroškovno učinkovito. Trajnostno. Zagotavlja naraven izgled.	Zahteva čas za rast rastlin/korenin. Lahko zahteva druge sočasne ukrepe za začasno zagotavljanje erozijske varnosti (popleti, leseni okvirji ipd.) in vzdrževanje (zalivanje itd.). Pogosto je uporabno le v kombinaciji z drugimi sanacijskimi ukrepi, saj ni učinkovito v primeru globoke drsine. Vegetacijo je ponekod težko vzpostaviti ali je občutljiva na zunanje dejavnike (npr. vreme, dejavnost živali).

III. Inženirski ukrepi za zmanjšanje nevarnosti – stabilizacija pobočij v kamninah

[1] Delna ali popolna odstranitev izvirne nestabilne kamnine za zmanjšanje nevarnosti padanja kamenja. Lahko vključuje spremembo geometrije pobočja (npr. izkop po plasteh kamnine, če so vzrok proženja padajočega kamenja)

[1a] Odstranitev skal z ročnimi orodji, zračnimi blazinami, manjšo količino razstreliva, močnim curkom vode ali bagrom

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporabno na območjih z manjšimi količinami nestabilnih skal in kamenja. Relativno poceni.	Kratkoročno učinkovit ukrep, manj pa kot dolgoročna rešitev. Morda bo treba odstranjevanje skal občasno ponavljati ali uporabiti dodatne ukrepe za ohranjanje želene ravni zaščite. Lahko izpostavi drugo občutljivo površino/plast kamnine.

[1b] Preoblikovanje pobočja z miniranjem v večjem obsegu

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Lahko dosežemo bolj stabilno površino pobočja v kamnini z manjšimi stroški vzdrževanja.	Možnost poškodb zaradi letečega kamenja in drobirja. Možne težave zaradi vplivov na sosednja zemljišča. Zaradi miniranja razrahljana kamnina lahko predstavlja novo tveganje, zlasti kratkoročno.

[2] Varno zadrževanje nestabilne kamnine na izvornem mestu – stabilizacija kamnine

[2a] Aktivna in pasivna sidra, strižni mozni

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Lahko se uporablja za posamezne bloke (točkovno sidranje) ali kot sistematično sidranje skalne brežine.	Težave z dostopom do pobočja, učinkovitost odvisna od velikosti blokov.

[2b] Brizgani beton

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporabno za manjše bloke, zaščita pred erozijo. Lahko se uporablja v kombinaciji z drugimi ukrepi, npr. sistematično sidranje.	Ovira dreniranje pobočja. Preveriti je treba vplive zmrzovanja in tavanja ter potresa. Vizualni vplivi. Kakovost in trajnost je odvisna od usposobljenosti izvajalca.

[2c] Opornik

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Običajno za podporo ključnega bloka kamnine.	Omejitve višine. Težave z dostopom do pobočja. Vizualni vplivi.

[2d] Pritrditev bloka z jeklenicami ali letvami, sidranimi v podlago, blok je lahko ovit v mrežo

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporabno za posamezne bloke.	Običajno mora priti do premikanja, da se aktivira polna odpornost. Vizualni vplivi.

[2e] Sidrane mreže, viseče mreže, z jeklenicami ojačane mreže

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporabno na velikih območjih za različne velikosti blokov.	Za mrežo se lahko nabira kamenje in grušč zaradi krušenja kamenja, kar vpliva na obremenitve mrež in sider.

[3] Odvodnjavanje: zmanjšanje količine površinske in/ali podzemne vode

[3a] Površinsko odvodnjavanje

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporablja se, kjer površinski tok vode vpliva na stabilnost kamnite površine. Pogosto se uporablja v kombinaciji z drugimi ukrepi.	Težave z dostopom in umeščanjem elementov sistema odvodnjavanja v prostor. Zahteva redno vzdrževanje. Okoljske težave.

[3b] Dreniranje podzemne vode – drenažne cevi

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporablja se na območjih, kjer podzemna voda vpliva na stabilnost kamnite površine. Pogosto se uporablja v kombinaciji z drugimi ukrepi.	Težko je kvantificirati potrebo in preveriti učinkovitost. Zahteva redno vzdrževanje.

IV. Inženirski ukrepi za zmanjšanje ogroženosti pred padajočim kamenjem

[1] Zadrževalna območja za zbiranje padajočega kamenja (običajno jarki ali lovilni nasipi na dnu pobočja)

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Pogosto se uporablja vzdolž prometnic. Lahko zadrži velike količine. Lahko se kombinira z drugimi ukrepi oziroma konstrukcijami.	Za visoka pobočja je lahko potrebno veliko zadrževalno območje. Zahteva redno čiščenje in vzdrževanje za ohranjanje učinkovitosti. Pri izjemnih dogodkih se lahko del gmote padajočega kamenja skotali preko predvidenega območja.

[2] Lovilne pregrade za prestrezanje in zadrževanje padajočega kamenja

[2a] Toga pregrada iz betona, lesa in/ali kovine

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporablja se, kjer je pričakovana nižja energija trka. Potrebuje malo prostora.	Običajno ni uporabno za trke z visoko energijo, zaradi možnosti poškodb.

[2b] Toga pregrada iz deformabilnih materialov (nasip, armiran nasip, zložba iz gabionov)

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Sposobna prenesti trke z višjo energijo, odvisno od konstrukcije. Daljša življenjska doba v agresivnem okolju. Vidna stran se lahko prilagodi estetskim zahtevam, zaledna pa dodatno opremi za absorpcijo trkov z visoko energijo.	Izvedljivo na relativno položnih pobočjih ($\leq 20^\circ$). Lahko zahteva relativno veliko površino. Zahteva redne preglede in čiščenje. Preveriti je treba stabilnost pobočja in zagotoviti površinsko odvodnjavanje.

[2c] Podajni lovilni sistemi

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Lahko se namesti na težko dostopnih lokacijah. Ima relativno nizko težo. Omogoča hitro in prilagodljivo izvedbo.	Zahteva prostor za deformacijo mreže v trenutku udarca skale. Zahteva redne preglede, vzdrževanje in čiščenje. Čiščenje je lahko težavno na težko dostopni lokaciji. Manj ustrezno, kjer se lahko v enem dogodku sproži več skal. Po večjih dogodkih je lahko potrebna zamenjava. Življenjska doba je bolj omejena v agresivnih okoljih.

- [3] Žična ali z jeklenicami ojačana mreža** sidrana na vrhu in razpeta preko kamnite brežine ali preko grape za prestrežanje kamenja, zmanjšanje energije padajočega kamenja in usmerjanje v zadrževalno območje

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporabno, kjer je padanje kamenja pogosto in kjer se nastali drobir lahko usmeri v zbirno območje. Zahteva manj vzdrževanja kot podajni lovilni sistemi. Lahko se namesti na težko dostopnih lokacijah.	Običajno zahteva zbirno območje za drobir. Treba je upoštevati obremenitve zaradi naleta kamenja in snega na sidriščih. Omejeno na premer kosov kamenja do približno 1,2 m, odvisno od vrste mreže. Življenjska doba je lahko omejena v agresivnih okoljih.

- [4] Nadstrešek iz podajno lovilnih mrež**, pritrjenih nad varovanim območjem, za prestrežanje in zadrževanje padajočega kamenja

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporablja se vzdolž prometnic ob strmih skalnih pobočjih. Alternativa galerijam.	Lahko je drago. Omejeno na strma pobočja. Potrebno čiščenje, po večjih dogodkih tudi zamenjava.

- [5] Galerija:** pokrita, običajno betonska konstrukcija, ki se uporablja za prestrežanje in preusmerjanje padajočega kamenja

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporablja se v dolinah s strmimi brežinami in visoko frekvenco padanja kamenja. Lahko preusmeri tok vode in manjše dobirske tokove. Potrebuje manj vzdrževanja.	Običajno se uporablja samo na prometnicah. Treba je upoštevati učinke padajočega kamenja na spodnji strani galerije. Visoka cena.

V. Inženirski ukrepi za zmanjšanje ogroženosti pred blatnimi in drobirskimi tokovi

[1] Odprte konstrukcije za usmerjanje drobirskega toka

[1a] Neomejena razlivna območja

Prednosti / Uporaba	Omejitve
To so površine ob izteku grap, zasnovane in pripravljene za razlivanje usmerjenega/kanaliziranega toka, kar omogoča usedanje in kopičenje drobirja. Lahko se kombinira z drugimi ukrepi. Ta ukrep je najbolj primeren za obsežne vršaje z manjšimi nakloni in kjer ni grajenih objektov. Stroškovno učinkovito.	Zahteva dovolj prostora. Potrebno je vzdrževanje, praznjenje po vsakem dogodku.

[1b] Ovire

Prednosti / Uporaba	Omejitve
To so konstrukcije, smiselno postavljene v strugi drobirskega toka, ki se uporabljajo za upočasnitev toka in spodbujanje usedanja.	Zahteva prostor. Pogosto so te ovire zasnovane kot žrtvene in zahtevajo zamenjavo po dogodku. Zahteva presojo ali nemara ne povečajo mase drobirja, če jih drobirski tok odnese s seboj.

[1c] Pregradni jezovi: niz pregrad, zgrajenih preko struge za zmanjšanje naklonov in omejevanje erozije dna in bokov struge.

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Uporablja se v transportni coni drobirskega toka. Zahteva manj prostora, saj je namen zmanjšanje količin in energije drobirskega toka, preden doseže vršaj.	Potrebuje vzdrževanje, praznjenje po dogodku. Zahteva podrobno načrtovanje. Visoka cena.

[1d] Bočni zidovi ali nasipi, preusmerjevalni nasipi

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Nasipi ali zidovi, zgrajeni vzporedno s potjo drobirskega toka za omejevanje razlivanja v bočni smeri. Usmerjajo tok po načrtovanem koridorju. Preusmerjevalni nasipi se uporabljajo za zaščito obstoječih objektov tako, da usmerjajo tok stran od njih, ali pa za podaljšanje poti in s tem zmanjšanje naklona, kar spodbuja usedanje. Običajno se uporablja za zaščito nekega območja ali objekta na vršaju.	Kadar bočni zidovi ali nasipi ne omogočajo usedanja, so morda potrebni še drugi ukrepi za zaščito nižje ležečih objektov. Če pride do usedanja, je treba drobir odstraniti. Pri nasipih je treba predvideti zaščito pred erozijo oziroma ojačitev sprednje strani.

[1e] Prečni zidovi, nasipi oziroma pregrade

Prednosti / Uporaba	Omejitve
Ti so postavljeni prečno na smer drobirskega toka kot ovire za zmanjšanje energije in spodbujanje usedanja in bočnega razlivanja. Pogosto locirani tako, da je gorvodno zagotovljen razlivni prostor.	Potrebno je vzdrževanje, praznjenje po vsakem dogodku. Postavljeni so čim bolj dolvodno, da se v zaledju zagotovi razlivni prostor.

[2] **Zaprte konstrukcije za zadrževanje drobirskega toka:** prepustne pregradne konstrukcije (podajno lovilne mreže, rešetkaste kovinske ali armiranobetonske pregrade)

Prednosti / Uporaba	Omejitve
To so pregradne konstrukcije, ki ločujejo grobe od bolj drobnih frakcij in vode, kar spodbuja usedanje grobih frakcij. Obstaja veliko vrst in se lahko zgradijo iz različnih materialov. Pogosto se uporabljajo tudi za zagotavljanje pretočnosti prepustov in strug pod mostovi.	Zahteva vzdrževanje/čiščenje po dogodku. Pogosto najdražja možnost.



Inženirska zbornica Slovenije

Jarška cesta 10/b, 1000 Ljubljana, Slovenija

T: +386 (0)1 547 33 40

E: izs@izs.si / **I:** www.izs.si