

**Ministerstvo dopravy a výstavby SR
Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií**

TP 114

TECHNICKÉ PODMIENKY
Ochranné a stabilizujúce konštrukcie skalných svahov
a zárezov na dopravných stavbách

účinnosť od: 01. 04. 2020

OBSAH

1	Úvodná kapitola	3
1.1	Vzájomné uznávanie	3
1.2	Predmet technických podmienok (TP).....	3
1.3	Účel TP	3
1.4	Použitie TP	3
1.5	Vypracovanie TP	3
1.6	Distribúcia TP	3
1.7	Účinnosť TP	3
1.8	Nahradenie predchádzajúcich predpisov	3
1.9	Súvisiace a citované právne predpisy	3
1.10	Súvisiace a citované normy.....	4
1.11	Súvisiace a citované technické predpisy rezortu	6
1.12	Súvisiace zahraničné predpisy	6
1.13	Použitá literatúra	6
1.14	Použité skratky a značky	7
2	Všeobecne	8
3	Horninové prostredie	8
3.1	Porušenosť skalných masívov.....	9
3.2	Štruktúrne znaky horninových diskontinuit	10
3.3	Modely porušenia skalných svahov.....	13
4	Inžinierskogeologický prieskum skalných masívov	14
4.1	Etapy IG prieskumu skalných svahov a zárezov na dopravných stavbách	15
4.2	Náplň jednotlivých etáp prieskumu.....	15
4.3	Výber klasifikácie horninového masívu	20
4.4	Príprava a realizácia IGP	20
4.5	Príprava sanácie geologického prostredia	21
4.6	Odborný geologický dohľad.....	22
5	Princípy posudzovania stability, rizikové analýzy skalných svahov a zárezov	22
5.1	Rizikové geofaktory skalných zosuvov a zrútení	22
5.2	Vybrané klasifikácie horninového masívu pre hodnotenie skalných svahov a zárezov.....	22
6	Ochranné a stabilizujúce konštrukcie skalných svahov a zárezov	24
6.1	Aktívne opatrenia	24
6.2	Pasívne opatrenia	27
7	Technologické spôsoby zhotovenia ochranných a stabilizujúcich konštrukcií.....	35
7.1	Postup pri realizácii aktívnych opatrení	35
7.2	Postup pri realizácii pasívnych opatrení	35
8	Materiálové a technické požiadavky na stabilizujúce prvky a konštrukcie	36
8.1	Ochranné oceľové siete a panely	36
8.2	Oceľový stabilizačný systém 3D.....	37
8.3	Požiadavky pre budovanie ochranných valov	37
8.4	Dynamické bariéry.....	38
9	Údržba a obnova ochranných a stabilizujúcich konštrukcií	40
9.1	Prehliadky skalných svahov a zárezov.....	40
9.2	Prehliadky ochranných a stabilizujúcich konštrukcií	41
9.3	Údržba skalných svahov a zárezov.....	41
9.4	Údržba ochranných a stabilizujúcich konštrukcií	42
9.5	Obnova ochranných a stabilizujúcich konštrukcií	43
10	Geotechnický monitoring skalných svahov a zárezov	43
10.1	Geodetické zameranie	43
10.2	Geotechnický monitoring deformácií	46
10.3	Diaľkové snímkovanie	49

1 Úvodná kapitola

1.1 Vzájomné uznávanie

V prípadoch, kedy táto špecifikácia stanovuje požiadavku na zhodu s ktoroukoľvek časťou slovenskej normy ("Slovenská technická norma") alebo inej technickej špecifikácie, možno túto požiadavku splniť zaistením súladu s:

- (a) normou alebo kódexom osvedčených postupov vydaných vnútroštátnym normalizačným orgánom alebo rovnocenným orgánom niektorého zo štátov EHP a Turecka;
- (b) ktoroukoľvek medzinárodnou normou, ktorú niektorý zo štátov EHP a Turecka uznáva ako normu alebo kódex osvedčených postupov;
- (c) technickou špecifikáciou, ktorú verejný orgán niektorého zo štátov EHP a Turecka uznáva ako normu; alebo
- (d) európskym technickým posúdením vydaným v súlade s postupom stanoveným v nariadení Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 305/2011 z 9. marca 2011, ktorým sa ustanovujú harmonizované podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh a ktorým sa zrušuje smernica Rady 89/106/EHS v platnom znení.

1.2 Predmet technických podmienok (TP)

Predmetom technických podmienok je stanovenie jednotných všeobecných pravidiel navrhovania, realizovania a údržby ochranných a stabilizujúcich konštrukcií skalných svahov a zárezov pozemných komunikácií.

1.3 Účel TP

Účelom týchto TP je definovať základné technické požiadavky, ktoré priamo súvisia s hodnotením stavu skalných svahov a zárezov, s určením vhodných technických opatrení eliminujúcich riziká vzniku skalných zosuvov, pádu uvoľnených blokov, riziká vzniku sutinových prúdov a podobných ohrození premávky na pozemných komunikáciách v zmysle súčasných poznatkov.

1.4 Použitie TP

Tieto TP sú určené správcom komunikácií, projektantom, inžinierskym geológom, zhotoviteľom špeciálnych geotechnických prác, stavebným dozorom, ktorí sa zúčastňujú na príprave, realizácii, kontrole a preberaní stavebného diela.

1.5 Vypracovanie TP

Tieto TP na základe objednávky Slovenskej správy ciest (SSC) vypracovala Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta, Katedra geotechniky v spolupráci s externými odborníkmi.

Zodpovedný riešiteľ – prof. Ing. Marián Drusa, PhD. tel. č.: +421 41 513 5501, e-mail: drusa@fstav.uniza.sk

Riešiteľský kolektív – doc. Ing. Vladimír Greif, PhD., RNDr. Branislav Prelovský, Ing. Jaroslav Adamec, Mgr. Ing. et Ing. Ondřej Holý, PhD., doc. RNDr. Ján Vlčko, CSc., Ing. Jozef Vlček, PhD., Ing. Filip Gago.

1.6 Distribúcia TP

Elektronická verzia TP sa po schválení zverejní na webovom sídle SSC: www.ssc.sk (Technické predpisy rezortu).

1.7 Účinnosť TP

Tieto TP nadobúdajú účinnosť dňom uvedeným na titulnej strane.

1.8 Nahradenie predchádzajúcich predpisov

Tieto TP nenahrádzajú žiadny iný predpis.

1.9 Súvisiace a citované právne predpisy

- [Z1] Zákon č. 135/1961 Zb. o pozemných komunikáciách (cestný zákon), v znení neskorších predpisov;
- [Z2] vyhláška FMD č. 35/1984 Zb., ktorou sa vykonáva zákon o pozemných komunikáciách (cestný zákon);

- [Z3] zákon č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z4] vyhláška MV SR č. 9/2009 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z5] zákon č. 133/2013 Z. z. o stavebných výrobkoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z6] vyhláška MDVRR SR č. 162/2013 Z. z., ktorou sa ustanovuje zoznam skupín stavebných výrobkov a systémy posudzovania parametrov v znení vyhlášky č. 177/2016 Z. z.;
- [Z7] nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 305/2011 z 9. marca 2011, ktorým sa ustanovujú harmonizované podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh a ktorým sa zrušuje smernica Rady 89/106/EHS v platnom znení;
- [Z8] zákon č. 569/2007 Z. z. o geologických prácach (geologický zákon), v znení neskorších predpisov;
- [Z9] vyhláška MŽP SR č. 51/2008 Z. z., ktorou sa vykonáva geologický zákon.

1.10 Súvisiace a citované normy

STN 73 6100	Názvoslovie pozemných komunikácií
STN 72 1001	Klasifikácia zemín a skalných hornín
STN 73 3040	Geosyntetika. Základné ustanovenia a technické požiadavky
STN 73 3041	Horninové konštrukcie vystužené geosyntetikou. Technické požiadavky
STN 73 3050	Zemné práce. Všeobecné ustanovenia
STN EN 206+A1 (73 2403)	Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda
STN EN 10 218-1 (42 5431)	Oceľový drôt a výrobky z drôtu. Všeobecne. Časť 1. Skúšobné metódy
STN EN 10 218-2 (42 5431)	Oceľové drôty a výrobky z drôtu. Všeobecne. Časť 2: Rozmery a tolerancie drôtu
STN EN 10223-3 (15 3160)	Oceľový drôt a drôtené výrobky na ploty a siete. Časť 3: Výrobky zo sietí z oceľového drôtu so šesťuholníkovým okom určené na stavebné účely
STN EN 10 223-8 (15 3160)	Oceľový drôt a drôtené výrobky na ploty a siete. Časť 8: Zvárané siete na gabiónové produkty
STN EN 10 244-2 (42 6470)	Oceľový drôt a drôtené výrobky. Neželezné kovové povlaky na oceľovom drôte. Časť 2: Povlaky zo zinku a zliatin zinku
STN EN 10 245-1 (42 6474)	Oceľový drôt a drôtené výrobky. Organické povlaky na oceľovom drôte. Časť 1: Všeobecné požiadavky
STN EN 10 245-2 (42 6474)	Oceľový drôt a drôtené výrobky. Organické povlaky na oceľovom drôte. Časť 2: Drôt s povlakom PVC
STN EN 10 245-3 (42 6474)	Oceľový drôt a drôtené výrobky. Organické povlaky na oceľovom drôte. Časť 3: Drôt s povlakom PE
STN EN 12224 (80 6138)	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Zisťovanie odolnosti proti vplyvom poveternosti
STN EN 12225 (80 6147)	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Zisťovanie odolnosti proti mikroorganizmom pomocou skúšky zahrabávaním do pôdy
STN EN 12226 (80 6136)	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Všeobecné skúšky na vyhodnotenie po skúškach trvanlivosti
STN EN 13251 (80 6106)	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Vlastnosti požadované v zemných stavbách, základoch a podperných konštrukciách
STN EN 13252 (80 6107)	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Vlastnosti požadované v odvodňovacích systémoch
STN EN 13253 (80 6108)	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Vlastnosti požadované pri stavbách na ochranu proti erózii (ochrana pobrežia, vystužovanie brehov)
STN EN 13738 (80 6150)	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Zisťovanie odolnosti proti vytiahnutiu zo zeme
STN EN 15382 (80 6151)	Geosyntetické zábrany. Charakteristiky požadované v dopravnej infraštruktúre
STN EN ISO 1461 (03 8558)	Zinkové povlaky na železných a oceľových výrobkoch vytvorené ponorným žiarovým zinkovaním. Požiadavky a skúšobné metódy (ISO 1461:2009)
STN EN ISO 9223	Korózia kovov a zliatin. Korózna agresivita atmosfér. Klasifikácia, stanovenie a odhad (ISO 9223:2012)

(03 8202)				
STN	EN	ISO	Skúšky korózie v umelých atmosférach. Skúšky soľnou hmlou (ISO 9227:2017)	9227
(03 8132)				
STN	EN	ISO	Geosyntetika. Odber a príprava skúšobných vzoriek (ISO 9862: 2005)	9862
(80 6121)				
STN	EN	ISO	Geosyntetika. Zisťovanie hrúbky pri určených tlakoch. Časť 1: Jednovrstvové (ISO 9863-1: 2016)	9863-1
(80 6129)				
STN	EN	ISO	Geosyntetika. Skúšobné metódy na zisťovanie plošnej hmotnosti geotextílií a geotextíliám podobných výrobkov (ISO 9864: 2005)	9864
(80 6123)				
STN	EN	ISO	Geosyntetika. Časť 1: Termíny a definície (ISO 10318-1: 2015)	10318-1
(80 6100)				
STN	EN	ISO	Geosyntetika. Časť 2: Symboly a piktogramy (ISO 10318-2: 2015)	10318-2
(80 6100)				
STN	EN	ISO	Geosyntetika. Ťahová skúška pevnosti spojov/švov metódou Strip na širokých vzorkách (ISO 10321: 2008)	10321
(80 6125)				
STN	EN	ISO	Geosyntetika. Postupy indexových skúšok na vyhodnotenie mechanického poškodenia pri opakovanom zaťažení. Poškodenie spôsobené zrnitým materiálom (ISO 10722: 2007)	10722
(80 6146)				
STN	EN	ISO	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Stanovenie priepustnosti vody kolmo na rovinu bez zaťaženia (ISO 11058: 2019)	11058
(80 6131)				
STN	EN	ISO	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Skúška pretláčaním valcovým razníkom (skúška CBR) (ISO 12236: 2006)	12236
(80 6126)				
STN	EN	ISO	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Zisťovanie charakteristickej veľkosti otvorov (ISO 12956: 2010)	12956
(80 6134)				
STN	EN	ISO	Geosyntetika. Zisťovanie trecích vlastností. Časť 1: Priama šmyková skúška (ISO 12957-1: 2018)	12957-1
(80 6192)				
STN	EN	ISO	Geosyntetika. Zisťovanie trecích vlastností. Časť 2: Skúška na naklonenej rovine (ISO 12957-2: 2005)	12957-2
(80 6192)				
STN	EN	ISO	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Stanovenie prietokovej kapacity vody v rovine výrobku (ISO 12958: 2010)	12958
(80 6133)				
STN	EN	ISO	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Pevnosť vnútorných štruktúrnych spojov. Časť 1: Geobunky (ISO 13426-1: 2003)	13426-1
(80 6181)				
STN	EN	ISO	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Pevnosť vnútorných štruktúrnych spojov. Časť 2: Geokompozity (ISO 13426-2:2005)	13426-2
(80 6192)				
STN	EN	ISO	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Stanovenie ťahového plastického tečenia a porušenia pri ťahovom plastickom tečení (ISO 13431: 1999)	13431
(80 6128)				
STN	EN	ISO	Geosyntetika. Skúška dynamickým prerazením (skúška padajúcim kužeľom) (ISO 13433: 2006)	13433
(80 6142)				
STN	EN	ISO	Geotextílie a geotextíliám podobné výrobky. Skúšobná metóda na zisťovanie odolnosti proti oxidácii (ISO 13438: 2018)	13438
(80 6140)				
STN	EN	ISO	Geotechnický prieskum a skúšky. Pomenovanie a klasifikácia skalných hornín. Časť 1: Pomenovanie a opis (ISO 14689: 2017)	14689

(72 1001)			
STN EN ISO 14713-1 (03 8261)			Zinkové povlaky. Návod a odporúčania na protikoróziu ochranu oceľových konštrukcií. Časť 1: Všeobecné princípy navrhovania a odolnosti proti korózii (ISO 14713-1:2017)
STN EN 14487-1 (73 2431)			Striekaný betón. Časť 1: Definície, špecifikácia a zhoda
STN EN 14487-2 (73 2431)			Striekaný betón. Časť 2: Zhotovovanie
STN EN 1997-1 (73 2431)			Eurokód 7. Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 1: Všeobecné pravidlá
STN EN 1997-2 (73 0091)			Eurokód 7. Navrhovanie geotechnických konštrukcií. Časť 2: Prieskum a skúšanie horninového prostredia
STN EN 1998-1 (73 0036)			Eurokód 8. Navrhovanie konštrukcií na seizmickú odolnosť. Časť 1: Všeobecné pravidlá, seizmické zaťaženia a pravidlá pre budovy
STN EN ISO 22475-1 (72 1005)			Geotechnický prieskum a skúšky. Metódy odberu vzoriek a meranie hladín podzemnej vody. Časť 1: Technické zásady vykonávania (ISO 22475: 2006)
STN EN ISO 4892-3 (64 0152)			Plasty. Metódy vystavovania účinkom laboratórnych svetelných zdrojov. Časť 3: Fluorescenčné UV lampy (ISO 4892-3: 2016)

Poznámka: Súvisiace a citované normy vrátane aktuálnych zmien, dodatkov a národných príloh.

1.11 Súvisiace a citované technické predpisy rezortu

[T1]	TKP 0	Všeobecne, MDVRR SR: 2012;
[T2]	TKP 2	Zemné práce, MDV SR: 2019;
[T3]	TKP 25	Vegetačné úpravy, MDVRR: 2012;
[T4]	TKP 31	Zvláštne zemné konštrukcie, MDVRR SR: 2014 + Dodatok č.1/2019 k TKP 31, MDV SR: 2019;
[T5]	TKP 35	Geotechnický monitoring pre objekty líniových častí pozemných komunikácií, MDVRR SR: 2016;
[T6]	TP 028	Vykonávanie inžinierskogeologického prieskumu pre cestné stavby, MDPT SR: 2008;
[T7]	TP 089	Inžinierskogeologický prieskum pre tunely, MDVRR SR: 2015;
[T8]	VL 2	Teleso pozemných komunikácií, MDVRR SR: 2016.

1.12 Súvisiace zahraničné predpisy

[ZT1]	EAD 230005-00-0106	Panely zo sietí z drôtených lán, slovenský preklad 2017;
[ZT2]	EAD 200039-00-0102	Gabiónové koše a matrace zo šesťuholníkového pletiva so zinkovým povlakom, EOTA, 2016 (preklad TSÚS, 2017);
[ZT3]	EAD 340059-00-0106 (ETAG 027)	Falling Rock Protection Kits, Prvky na ochranu pred padajúcimi kameňmi, 04-2013 online: https://www.eota.eu/en-GB/content/etags/26/ ;
[ZT4]	UNI 11211-4	Rockfall protective measures - Ochranné opatrenia proti skalným zrúteniam, Part 4: Definitive and executive design, Finálny a realizačný návrh, 2012 – talianska norma;
[ZT5]	EAD 230008-00-0106	Siete z oceľového drôtu dvakrát stočeného v okách vystužené alebo nevystužené lanami;
[ZT6]	EAD 230025-00-0106	Pružné systémy na stabilizáciu svahu a ochranu pred skalami;
[ZT7]	ASTM D6459-19	Standard Test Method for Determination of Rolled Erosion Control Product (RECP) Performance in Protecting Hillslopes from Rainfall-Induced Erosion - Štandardná skúšobná metóda na hodnotenie produktov svahovej erózie pri dažďových zrážkach.

1.13 Použitá literatúra

- [L1] Barton N., Bandis S., (1980) Some Effects of Scale on the Shear Strength of Rock Joints, Mierkový efekt na šmykovú pevnosť na horninových diskontinuitách. J.Rock.Mech.Min.Sci. and Geomech. Abstr. 17, 69-73;

- [L2] Barton, N.R.; Bar, N. Empirical slope design for hard and soft rocks using Qslope. Empirický návrh sklonov svahu pre skalné a poloskalné horniny pomocou Qslope, ARMA 16-384. Texas. 2016. 8 p;
- [L3] Bieniawski, Z.T. 1989. Engineering rock mass classifications, klasifikácia horninových masívov, New York: Wiley & Sons. ISBN 0-471-60172-1;
- [L4] Cala M. et al. TECCO Slope stabilisation system and RUVOLUM Dimensioning Method, AGH Cracow 2012, Stabilizačný systém TECCO a metóda dimenzovania RUVOLUM, ISBN 978-3-033-03267-5;
- [L5] Drusa M., Decký M., Marschalko M., Zgútová K., Trojanová K., Vangel J., Kubík B., Starší B., Navrhovanie a kontrola zemných konštrukcií dopravných stavieb, Edis Žilinskej univerzity, 2013, p. 522 ISBN 978-80-554-0823-1;
- [L6] Drusa M., Sitányiová D., Bellanová S., Nguyen G., Mužík J.: (2012) Inžinierska geológia, BTO Print, ISBN – 978-80-970248-5-7;
- [L7] Holý O.: Řešení některých problémů stability horniny ve svazích a stěnách s optimalizací kotevních prvků, DP VÚT Brno 2019;
- [L8] Holzer, R., Laho, M., Wagner, P., Bednarik, M. 2009: Inžinierskogeologický atlas hornín Slovenska. Bratislava, ŠGUDŠ, 533 s.;
- [L9] http://krismer.com/01/en_Hang-Boeschungssicherung_01.html;
- [L10] Hudson, J. A. and Harrison, J. P. (1997), Engineering rock Mechanics: An introduction to the principles. Published by Elsevier Science Ltd;
- [L11] International Society for Rock Mechanics: Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses, Navrhované metódy na kvantitatívny opis diskontinuit v horninových masívoch – Int. Journal of Rock Mechanics. Vol. 15, p.p. 319-368. Oxford. 1977;
- [L12] Palmström, A., 2009: Combining the RMR, Q, and R_{Mi} classification systems, Kombinácia klasifikačných systémov RMR, Q a R_{Mi}, www.rockmass.net;
- [L13] Petro, L. - Frankovská, J. - Matys, M. - Wagner, P. A Kolektív. 2008. Inžinierskogeologický a geotechnický terminologický slovník, ŠGUDŠ Bratislava, ISBN 978-80-88974-99-4;
- [L14] Pierson, L., Davis, S. A. And Van Vickie, R. (1990) The Rock Fall Hazard Rating System, Implementation Manual. Technical Report #FHWA-OR-EG-90-01, Washington, DC;
- [L15] Program prevencie a manažmentu zosuvných rizík (2014 – 2020) – aktualizácia, MŽP 2018: <https://www.minzp.sk/files/sekcia-geologie-prirodných-zdrojov/program-prevencie-manazmentu-zosuvných-rizík-2014-2020-aktualizácia.pdf>;
- [L16] Romana, M. R. (1993): A geomechanical Classification for slopes: Slope Mass Rating. – In: J. A. Hudson (ed.): Comprehensive Rock Engineering, Principles, Practice & Projects, Vol. 3, Pergamon Press, 575–600. Oxford;
- [L17] Wyllie, C. and Mah, W. (2004) Rock Slope Engineering Civil and Mining, Taylor & Francis Group, London and New York, 431 p.;
- [L18] Zedník, P.: Doporučení pro využívání gabiónových konstrukcí v dopravním stavitelství. Centrum dopravního výzkumu Brno 2005, ISBN 80-86502-22-8.

1.14 Použité skratky a značky

ČMS GF	čiasťkový monitorovací systém geologických faktorov životného prostredia
DEM	discrete element method – metóda hraničných prvkov
DMR	digitálny model reliéfu
DP	dokumentácia pre ponuku
DPZ	diaľkový prieskum Zeme
DRS	dokumentácia na realizáciu stavby
DSP	dokumentácia na stavebné povolenie
DTM	digitálny terénny model
DÚR	dokumentácia na územné rozhodnutie
DYB	dynamická bariéra
EAD	European Assesment Document – Európsky hodnotiaci dokument
F _s	stupeň stability
GCO	geokompozit
GeoS	geologický informačný systém
GGR	geomreža
GP	geologické prostredie
GSI	Geological Strength Index – klasifikácia pre hodnotenie horninového masívu
GTX-N	geotextília netkaná
GTX-W	geotextília tkaná

HG	hydrogeologický
HPV	hladina podzemnej vody, hladina puklinovej vody
IAEG	International Association for Engineering Geology and the Environment – Medzinárodná asociácia pre inžiniersku geológiu a životné prostredie
IG	inžinierskogeologický
IGP	inžinierskogeologický prieskum
ISRM	International Society for Rock Mechanics – Medzinárodné združenie pre mechaniku hornín
JCS	povrchová pevnosť diskontinuity
JRC	koeficient puklinovej drsnosti
MEL	Maximum Energy Level – maximálna úroveň energie
MKP	metóda konečných prvkov
MUMS	Modular Underground Monitoring System – modulárny podzemný monitorovací systém
N - North (angl.)	sever
E - East (angl.)	východ
S - South (angl.)	juh
W - West (angl.)	západ
OGD	Odborný geologický dohľad
PLT	Point load test – skúška na zisťovanie pevnosti hornín na úlomkoch
Qslope	Index klasifikácie horninového masívu
RHRS	Rockfall Hazard Rating System – klasifikácia pre hodnotenie horninového masívu
RMR	Rock Mass rating – klasifikácia pre hodnotenie horninového masívu
RQD	Rock Quality Designation – index kvality horniny
SEL	Service Energy Level – prevádzková úroveň energie
SHMÚ	Slovenský hydrometeorologický ústav
SMR	Slope Mass Rating – hodnotenie svahu masívu
TDR	Time domain reflectometry – reflektometria v čase
TKP	Technicko-kvalitatívne podmienky
TP	Technické podmienky
UAV	Unmanned Aerial Vehicle – bezpilotné letecké zariadenie
ZS	Záverečná správa
ZTKP	Zvlášťne technicko-kvalitatívne podmienky

2 Všeobecne

Technické podmienky obsahujú pravidlá navrhovania, realizovania a údržby ochranných a stabilizujúcich konštrukcií skalných svahov a zárezov. Tieto TP v rámci jednotlivých častí riešia:

- Vlastnosti horninového prostredia, porušenosť masívov, metódy prieskumu skalných svahov, určovanie ich štruktúrnych znakov a parametrov.
- Typické modely porušenia skalných masívov, hodnotenie ich aktivity na území Slovenska, ich základná charakteristika, riziká v prípade ich nestability.
- Popis opatrení pre zlepšenie stability a zachytenie nestabilných častí skalných masívov.
- Stručný opis príkladov zhotovenia ochranných prvkov a zabezpečujúcich konštrukcií, vhodnosť ich použitia podľa morfológie svahu, štruktúrnych znakov a vlastností geologického prostredia.
- Kvalitatívne podmienky pre stabilizujúce prvky a konštrukcie.
- Odporúčania pre pravidelnú údržbu a monitorovanie skalných svahov a masívov.

3 Horninové prostredie

Horninové prostredie je určujúcim prvkom inžinierskej činnosti v ňom vyvíjanej. Poznanie zákonitostí vzniku, etáp formovania, procesov v ňom prebiehajúcich spolu s vlastnosťami hornín môžu vytvoriť bezpečné inžinierske dielo. Primárne pre hodnotenie horninového prostredia a masívu je poznanie vlastností hornín. Vlastnosti hornín závisia na ich **petrogenetickom vývoji** a potvrdzujú primárny význam genetických kritérií pri klasifikovaní hornín. Z nej vychádza i inžinierska geológia, ktorá preberá základné triedenie hornín a dopĺňa ho pre svoje účely. Predmetom skúmania z pohľadu inžinierskej geológie sú horniny tvoriace zemskú kôru na povrchu.

Základná genetická klasifikácia rozlišuje horniny podľa:

- **vzniku** - magmatické (vyvreté), sedimentárne (usadené) a metamorfované (premenené),

- **genetickej stavby** – vrstevnatá, foliačná, masívna,
- **rozmeru minerálnych zŕn** a častíc v hornine.

3.1 Porušenosť skalných masívov

Horninový masív je vybraná časť geologického prostredia tvorená horninami v ich prirodzenom uložení spoločne s diskontinuitami, ich výplňou, zónami zvetrania a podzemnou vodou. Z uvedeného vyplýva, že najdôležitejšími znakmi horninového masívu, ktoré je potrebné opísať pri terénnej dokumentácii, sú okrem **typu skalnej horniny** predovšetkým charakteristiky jeho **stavby** (makrotextúry) a **plochy nespojitosti - diskontinuity**. Súborné spracovanie parametrov diskontinuit umožňuje opísať – jeho blokovitosť a rozvoľnenosť. Za doplňujúce znaky možno považovať opis zvetrania a inej alterácie masívu, charakteristiku jeho priepustnosti a zvodnenia.

Na opis stavby skalného horninového masívu možno použiť termíny uvedené v platných normách (STN EN ISO 14689 a STN 72 1001). Normy však uvádzajú iba termíny podľa genetických typov hornín, preto je možné použiť aj spresnený a doplnený opis, v ktorom sú zahrnuté zaužívané pojmy na opis stavby skalného masívu a zároveň rozmerové charakteristiky horninových blokov a ich špecifikáciu (tabuľka 1) alebo využiť príklady všeobecných názvov, ktoré možno používať a ktoré sú definované v štandardnej geologickej praxi.

Tabuľka 1 - Názvy pre opis stavby horninových masívov, [L8]

Sedimentárne horniny (s hrúbkou vrstiev v mm)	Metamorfované horniny (s hrúbkou základných prvkov masívu v mm)	Vyvetreté horniny hlbinné a výlevné (s uvedením prevládajúceho charakteru masívu a tvarov blokov;)
Vrstevnatá: <i>Lineárna:</i> - laminovaná 0,5 – 20 - tenkodoskovitá 20 – 60 - doskovitá 60 – 200 - lavicovitá 200 – 600 - hrubolavicovitá 600–2000 <i>Zvrásnená:</i> hrúbka vrstiev hodnotená ako pri lineárnej stavbe	Bridličnatá (foliačná) <i>Lineárna</i> : hrúbky bridlíc ako v sedimentárnych horninách <i>Zvrásnená:</i> hrúbky bridlíc ako v sedimentárnych horninách <i>Polyedrická:</i> horninové bloky nepravidelných tvarov a veľmi premenlivých rozmerov Klivážová (puklinová) – tektonická kliváž, hodnotí sa ako bridličnatá stavba <i>Pozn.: Ide o tektonicky vznikajúce lineárne a rovnobežné diskontinuity pretínajúce pôvodnú vrstevnatosť</i>	Hlbinné horniny Masívna <i>Hranolovitá:</i> pravidelné základné bloky <i>Polyedrická:</i> nepravidelné základné bloky Výlevné horniny Masívna <i>Hranolovitá:</i> subvertikálne a subhorizontálne usporiadanie pravidelných základných blokov <i>Lineárna, doskovito-lavicovitá:</i> lineárne usporiadanie základných blokov prevažne doskovitého a lavicovitého tvaru <i>Vejárovitá (fluidálna):</i> špecifické usporiadanie hranolovitých a doskovito- lavicovitých blokov v masíve
Masívna: > 2 000	Masívna: > 2 000	

3.1.1 Zvetranie a iná alterácia skalného horninového masívu

Predstavuje mieru rozpadu, resp. rozkladu hornín v jednotlivých častiach horninového masívu. Na vyčlenenie jednotlivých zón zvetrávania sa podľa STN EN ISO 14689 používa šesťstupňová škála. Pri opise zvetrania horninového masívu je potrebné vychádzať z opisu zvetrania horninového materiálu a informácie extrapolovať do priestoru v súlade s STN EN ISO 14689, tabuľka 15.

3.1.2 Priepustnosť a zvodnenie horninového masívu

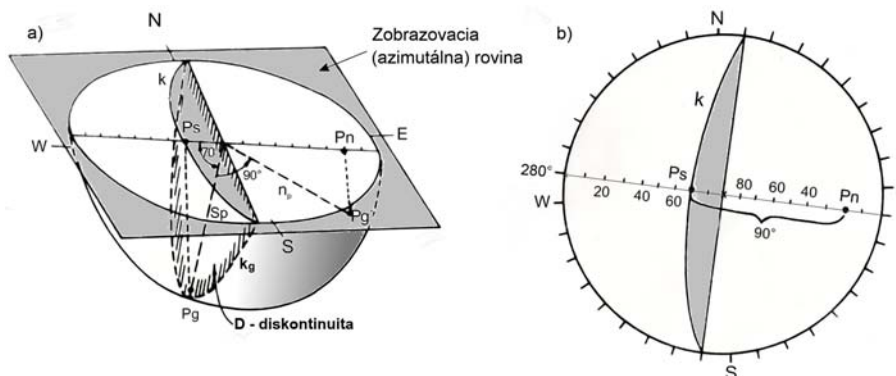
Vo všeobecnosti ide o schopnosť horninového prostredia prepúšťať kvapalinu a o vyjadrenie jeho stupňa nasýtenia. Pri základnom terénnom opise sa hodnotí zvyčajne iba typ priepustnosti

posudzovaného horninového masívu (napr. priepustnosť puklinová, medzizrnová, krasová) a slovné jeho zvodnenie (zvodnený, čiastočne zvodnený, suchý). Konkrétne miesta v horninovom masíve, ktoré môžu byť nepriaznivo ovplyvnené prítomnosťou vody, sa podrobnejšie charakterizujú pri opise zvodnenia (priesaku) diskontinuitami.

3.2 Štruktúrne znaky horninových diskontinuit

Horninové diskontinuity, alebo aj všetky nespojitosti v horninách, predstavujú plochy alebo priestory rôznej šírky, v ktorých je prerušená celistvosť horninového materiálu v masíve. Plochy diskontinuity rozčleňujú horninový masív na samostatné celky (bloky) rôznych rozmerových úrovní. Diskontinuity, môžu byť **úplné** a **neúplné**. Pozdĺž **úplných diskontinuit** došlo k narušeniu pôvodnej celistvosti hornín (pukliny, zlomy, tektonické poruchy), **neúplné diskontinuity** predstavujú časti horninového masívu, oslabené v dôsledku zmien litologického zloženia alebo štruktúry (plochy vrstevnatosti alebo bridličnatosti), ktoré sa postupne transformujú na úplné diskontinuity za súčasného rozpadu horninového masívu na jednotlivé bloky (lavice, bridlice atď.). Z genetického hľadiska môžu byť plochy nespojitosti **primárne**, ktoré vznikli pri tvorbe horniny a **sekundárne**, ktoré vznikli počas neskoršieho vývoja horninového masívu. Opis porušenia masívu – nespojitosti, patrí asi k najdôležitejším informáciám pri charakterizovaní horninového masívu. Okrem genézy diskontinuit je potrebné charakterizovať ich najdôležitejšie parametre – **priestorovú polohu** (orientáciu) **diskontinuit**, **vzájomnú vzdialenosť** (resp. hustotu diskontinuit), **priebežnosť**, **drsnosť**, **otvorenosť**, **výplň**, **zvodnenie** (priesak) a **povrchovú pevnosť diskontinuit**. V zásade pri opise uvedených parametrov sa vychádza z STN EN ISO 14689.

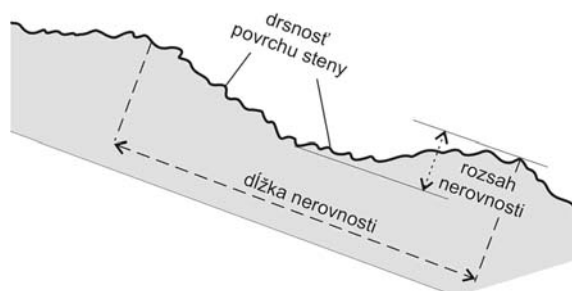
- **Poloha diskontinuit v priestore** je jednoznačne určená smerom sklonu a veľkosťou sklonu diskontinuity, ktoré sa merajú priamo geologickým kompasom alebo nepriamo metódami fotogrametrie, technológiou terestriálneho laserového skenovania alebo snímania pomocou bezpilotných lietajúcich prostriedkov, tzv. drónov (UAV).
- **Zobrazenie polohy diskontinuity v sférických projekciách** z hľadiska zjednodušenia sa výlučne používa bodové znázornenie. Polohu diskontinuity v priestore možno v sférickej projekcii vyjadriť v zásade tromi spôsobmi (obr. 1):
 - priemetom **stopníka spádnice** plochy diskontinuity Sp s plášťom orientovanej pologule Pg do horizontálnej roviny - bod Ps ,
 - priemetom priesečníka normály n_p plochy diskontinuity (pólu) s plášťom orientovanej pologule Pg' do horizontálnej roviny Pn ,
 - priemetom priesečnice k_g plochy diskontinuity s plášťom orientovanej pologule do horizontálnej roviny – nazývame aj priemet stopy diskontinuity k . Poloha diskontinuity je po zobrazení v danej projekcii jednoznačne určená súradnicami bodu Ps alebo Pn .
- **Systémy diskontinuit** sa štandardne určujú zostrojením tzv. bodových alebo izolíniových (kontúrových) diagramov. Pri kontúrových diagramoch možno zjednodušene každý systém diskontinuit charakterizovať spriemerovaním súradníc bodov nachádzajúcich sa v ohraničenej oblasti maximálnej koncentrácie – t. j. odvodením reprezentatívneho bodu daného systému, ku ktorému sa spravidla vykrešľujú príslušné stopy diskontinuity, ktoré sú zvyčajne najlepšie čitateľné pre projektanta.



Obrázok 1 - Príklad zobrazenia diskontinuity 280°/70° v sférickej projekcii,
a) zobrazovaná plocha diskontinuity (D), b) spôsoby vyjadrenia polohy diskontinuity v projekcii

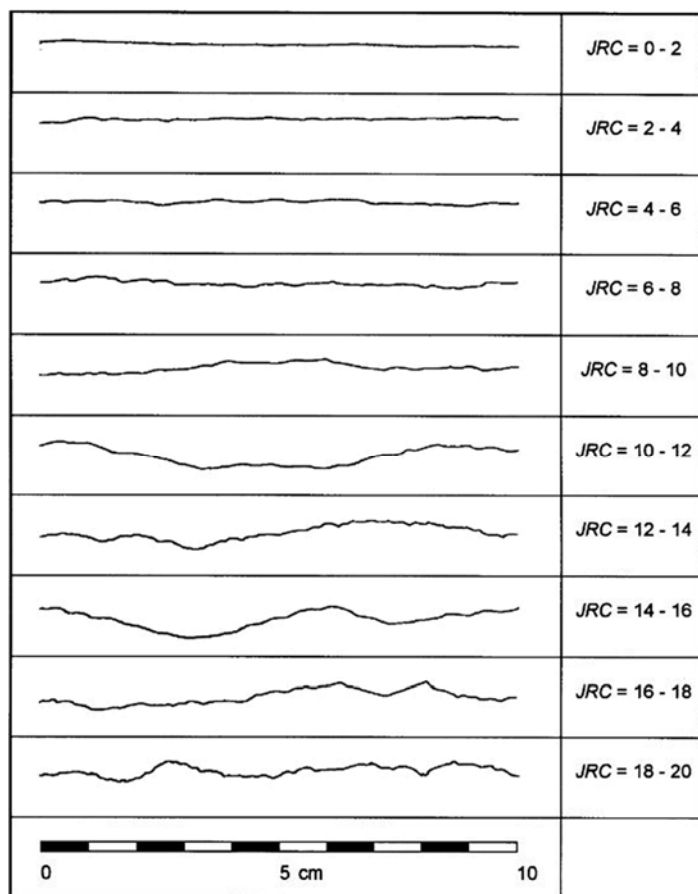
- **Vzdialenosť diskontinuít** označuje strednú alebo modálnu vzdialenosť medzi susednými diskontinuitami v definovanom systéme, určenú v kolmom smere. Vzdialenosť medzi diskontinuitami je jedným zo spôsobov vyjadrenia **hustoty diskontinuít**. Iným spôsobom je určenie **početnosti diskontinuít** t. j. počtu diskontinuít na určitú dĺžkovú jednotku (zvyčajne 1 m). V zásade platí, čím je väčšia hustota (menšia vzdialenosť) diskontinuít, tým sú horšie vlastnosti horninového masívu.
- **Priebežnosť diskontinuít** predstavuje plošný (dvozmerný) rozsah diskontinuity v horninovom masíve; pretože je merateľný najčastejšie iba jeden rozmer, konvenčne sa určuje dĺžkou stopy diskontinuity na pozorovanej časti horninového masívu. Ak je to možné a potrebné, merania sa majú vykonávať v dvoch alebo prednostne v troch kolmých smeroch.
- **Drsnosť (habitus) diskontinuít** sa skladá z dvoch zložiek: **nerovnosti plôch diskontinuity** (definovanej ako odchýlka plochy diskontinuity od vzťažnej roviny) a **drsnosti steny diskontinuity** (definovanej ako mikrodrsnosť, ktorá sa udáva výškou výstupkov minerálnych zŕn (obr. 2). Povrch a tvar diskontinuít podľa dĺžky pozorovania môže byť:
 - pri malej dĺžke (niekoľko mm) – drsný alebo hladký;
 - pri strednej (niekoľko cm) – rovinový, stupňovitý alebo zvlnený;
 - pri veľkej (niekoľko m) – vlnovitý, zakrivený, rovný.

Pri hodnotení základnej drsnosti môžeme porovnať zosnímaný povrch diskontinuity s etalónmi drsnosti (Barton, [L1]) a priradiť koeficient puklinovej drsnosti JRC, (obr. 3). Presnejšie je určiť pre digitalizovaný povrch diskontinuity fraktálne číslo a podľa neho priradiť koeficient JRC, [L6].



Obrázok 2 - Habitus plôch diskontinuity pozostávajúci z nerovnosti plôch a drsnosti jej povrchu

- **Otvorenosť** predstavuje kolmú vzdialenosť medzi dvoma povrchmi diskontinuity. Zaznamenať a merať sa musí rozsah viditeľných otvorov s poznámkou, že maximálna otvorenosť je dôležitejšia ako minimálna. Každé otvorenie vzniknuté pri ťažbe (napr. vŕtanie, výkop, trhanie) sa musí vylúčiť. Termíny používané na charakteristiku otvorenosti sú v tab. 13 STN EN ISO 14689.
- **Výplň** je materiál medzi povrchmi diskontinuity, ktorý sa musí identifikovať a opísať (napr. ako zemina alebo minerály ako kalcit, kremeň, epidot, tektonický íl alebo brekcia). Ak je to dôležité, má sa opísať šmyková pevnosť a prípadná napúčiavosť alebo rozpustnosť výplne, prípadne otestovať vlastnosti výplne šmykovými skúškami.
- **Priesak** vyjadruje prítomnosť vody na diskontinuitách. Pri terénnom opise sa diskontinuity charakterizujú ako suché, vlhké, sezónne zvodnené alebo stále zvodnené.
- **Tvar horninových blokov** sa môže určiť použitím skenovacích línii, najlepšie v dvoch alebo v troch smeroch pričom je možné určiť veľkosť bloku skalnej horniny dĺžkou hrán alebo objemom podľa tab. 9 a 10 normy STN EN ISO 14689.
- **Blokovitosť** je určená počtom a vzájomnou orientáciou systémov diskontinuít, ktoré podmieňujú tvar blokov, a početnosťou plôch diskontinuít v jednotlivých systémoch, ktoré podmieňujú rozmer základných blokov. Nevyhnutnými vstupnými údajmi na základné určenie typu blokovitosti horninového masívu sú poloha a vzdialenosť diskontinuít v jednotlivých vyčlenených systémoch.
Termíny na opis hlavných typov stavby horninových masívov a tvarov blokov sú opísané v prílohe C v STN EN ISO 14689 a schematicky znázornené na tab. 3-2.
- **Rozvoľnenosť** v kvantitatívnom vyjadrení predstavuje podiel priestoru (objemu) puklín k celkovému objemu hodnotenej časti masívu. Obrazne povedané, rozvoľnenosť vyjadruje stupeň „nakyprenia“ skalného horninového masívu [L8]. Rozvoľnenosť sa spravidla určuje na vybraných plochách hodnotenej časti masívu a vyjadruje sa tzv. **indexom rozvoľnenosti** horninového masívu (I_{rm}).



Obrázok 3 - Etalóny pre určenie koeficientu drsnosti JRC, [L1]

Tabuľka 2 - Blokovitost' skalných masívov, STN EN 14 689

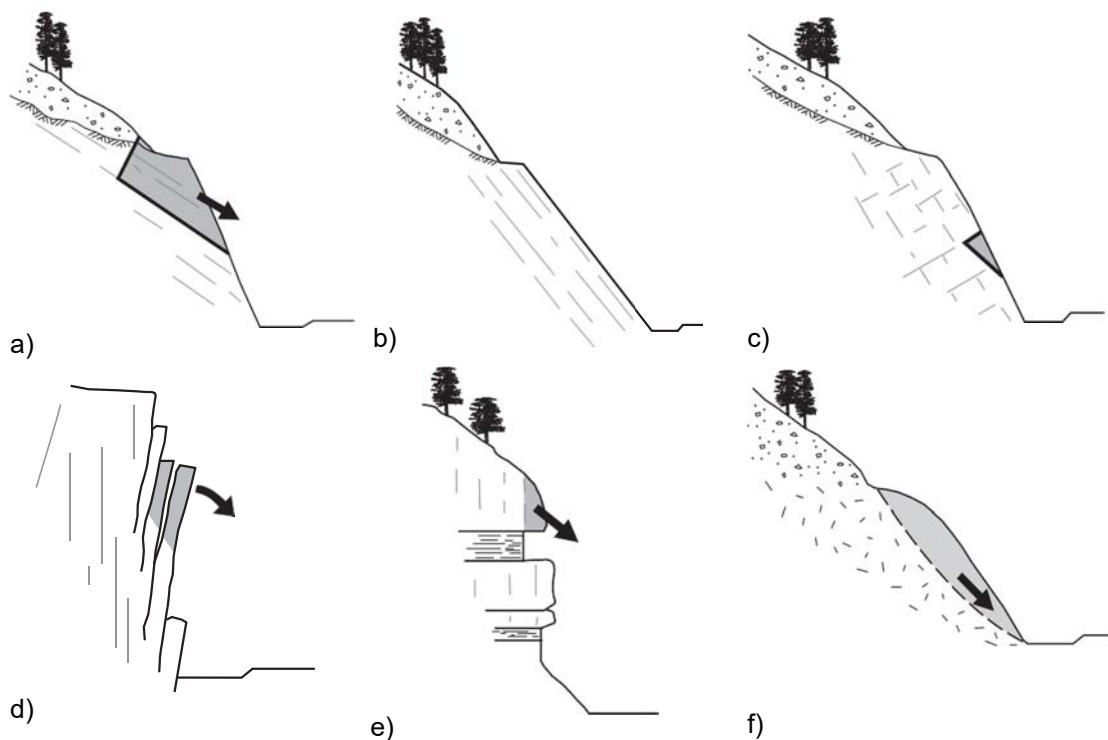
Typ	Názov	Schéma	Typ	Názov	Schéma
Po	Polyedrické bloky		Eq	Kockovité bloky	
Ta	Doskovité bloky		Rh	Kosouhlé bloky	
Pr	Hranolovité bloky		Co	Stĺpcovité bloky	

3.3 Modely porušenia skalných svahov

3.3.1 Vplyv genézy a geologických podmienok v masíve

Obrázok 4 dokumentuje prípady vplyvu genézy a geologických podmienok na možnosť vzniku svahových deformácií:

- nestabilný svah – súhlasná orientácia diskontinuít vo svahu;
- stabilný svah – sklon svahu je rovnobežný s diskontinuitami;
- nestabilný svah – diskontinuity rôznej orientácie a sklonu s vypadávaním klinových blokov;
- nestabilný svah - hroziace preklápaním blokov;
- zvetrávanie poddajnejšej horniny - spôsobuje previsy v pevnejších lavicovitých horninách, typické pre flyšové súvrstvia,
- potenciálne plytké rotačné zosuvy - pri strmom sklone a silne zvetranom horninovom prostredí.



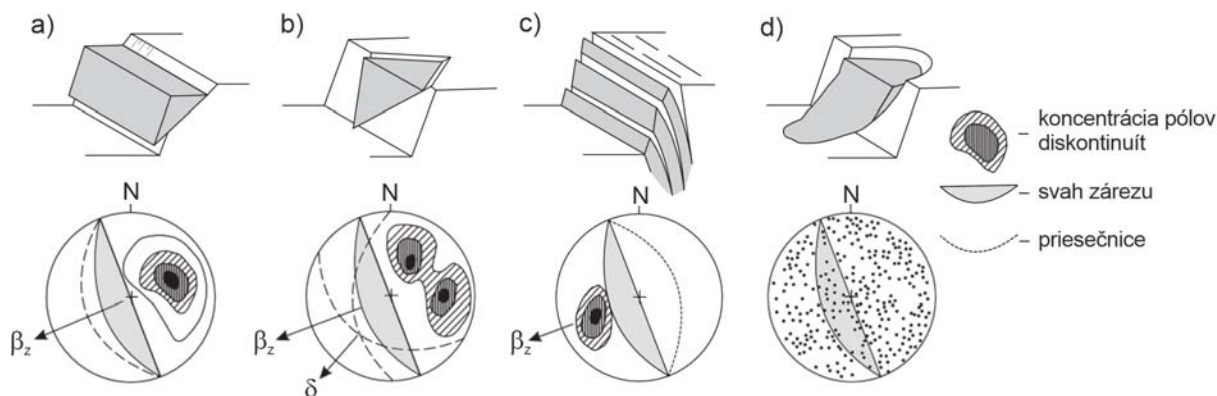
Obrázok 4 - Vplyv genézy a geologických pomerov na stabilitu skalného svahu [L17]

3.3.2 Typy skalných blokových zosuvov

Skalné blokové zosuvy patria k najčastejším typom porušovania skalných svahov, pre ich rýchlosť a objem ich zaraďujeme medzi najrizikovejšie typy. Na základe určenej blokovitosti masívu je možné zostaviť typy zosuvov hroziace pre projektovaný alebo jestvujúci svah skalného zárezu. Na obrázku 5 sú zobrazené zjednodušené prípady skalných blokových zosuvov v závislosti od typu, počtu a orientácie diskontinuít v masíve.

Pod schémou typu zosuvu je zobrazenie geometrie skalného svahu a pólov puklín (P_n) v azimutálnej projekcii.

- Pre prípad a) je vznik blokových zosuvov podmienený súhlasnou orientáciou svahu zárezu β_z so smerom sklonov diskontinuít (P_s), takéto svahy musíme kotviť alebo prispôbiť ich sklon veľkosti sklonu diskontinuít.
- Riziko klinových zosuvov b) vzniká, ak je svah rozpukaný diskontinuitami, ktorých prienik leží pred čelom svahu zárezu a jeho smer δ je príbuzný k smeru β_z .
- Preklápanie blokov c) je možné u strmo uklonených, opačne smerujúcich diskontinuít masívu k svahu zárezu β_z , väčšinou podmienené postupným gravitačným rozvoľňovaním masívu a zamŕzaním puklinovej podzemnej vody.
- Pri husto rozpukanom a všesmerne porušenom masíve sa mechanizmus porušenia podobá zosuvom v zeminách, v týchto prípadoch je potrebné uvažovať zo stabilizujúcou konštrukciou.



Obrázok 5 - Základné modelové prípady skalných blokových zosunov

- a) planárny blokový zosun, b) klinový zosun, c) preklápanie blokov, d) zosuv s rotačnou plochou pri všesmerne rozpukanom masíve, podľa Wyllie & Mah [L17]

3.3.3 Najčastejší typy porušení skalných svahov na území Slovenska

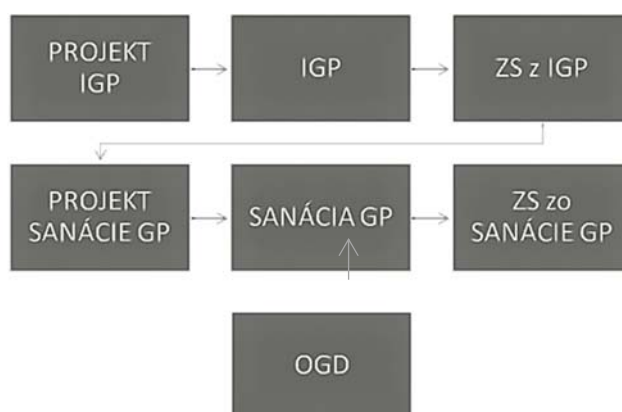
Územie Slovenska, prináležiace do oblasti Západných Karpát, je charakterizované značnou geologickou rozmanitosťou. Z hľadiska hodnotenia stupňa aktivity svahových deformácií sú potenciálne deformácie zastúpené 63%, stabilizované 24,9% a aktívne predstavujú 11,6% [L15]. Aktívne formy sú typické najmä pre zosuvy (94,9%) a prúdy (3,5%).

Výskyt svahových deformácií v geologických útvaroch je viazaný na súvrstvia paleogénu 60,1%, neogénu 18,7 %, kriedy 9,9%, paleozoika 4,2% a triasu 2,3%.

Zosuvy sa najčastejšie vyskytujú v paleogénnych súvrstviach Vonkajšieho flyšového pásma a Centrálného Karpatského paleogénu. Blokové deformácie, skalné zrútenia, ako aj kombinované svahové deformácie sú najviac registrované v neogénnych štruktúrach, v oblastiach Stredoslovenských a Východoslovenských nevulkanických pohorí, obalových jednotkách jadrových pohorí, v zvetraných oblastiach kryštallických pohorí Centrálnych Západných Karpát. Z modelových spôsobov porušenia skalných svahov prevládajú blokové a klinové zosuvy, skalné zrútenia, skalné prúdy, sutinové prúdy.

4 Inžinierskogeologický prieskum skalných masívov

Inžinierskogeologický prieskum (IGP) pre skalné svahy a zárezy na dopravných stavbách sa riadi zákonom [Z8] a predchádza projektu sanácie geologického prostredia (GP), ktorého obsah je špecifikovaný vo vyhláške [Z9]. Pre realizáciu prieskumných prác je potrebný projekt IGP schválený objednávateľom.



Obrázok 6 - IGP v kontexte postupu geologických prác z pohľadu zákona [Z8]

Výstupom IGP je záverečná správa (ZS) z IGP, na ktorej základoch spracúva zhotoviteľ špeciálnych geologických (geotechnických) prác projekt sanácie geologického prostredia. V prípade, ak sú použité financie z verejných zdrojov, objednávateľ geologických (geotechnických) prác je povinný obstarat' aj nezávislý odborný geologický dohľad (OGD) nad sanáciou GP.

4.1 Etapy IG prieskumu skalných svahov a zárezov na dopravných stavbách

Obsah a rozsah IGP pre skalné svahy a zárezy na dopravných stavbách ovplyvňuje stupeň projektovej prípravy, pre ktorý sa IGP vykonáva, (tabuľka 3). Pri etapovitej realizácii IGP je potrebné dodržiavať nasledovné zásady:

- rozsah prác má byť prispôbený úrovni stupňa projektovej prípravy a prístupnosti terénu,
- práce realizované v danej etape je nutné vykonávať tak, aby ich výsledky bolo možné využiť v nasledujúcej etape a aby sa nadväzovalo na výsledky z predchádzajúcich etáp,
- závery každej etapy musia obsahovať odporúčenia pre práce v prípadnej ďalšej etape.

Je nevyhnutné, aby jednotlivé etapy IGP boli realizované v dostatočnom predstihu pred vypracovaním príslušného stupňa projektovej dokumentácie, pre ktorý vytvára podklady.

4.2 Náplň jednotlivých etáp prieskumu

V tabuľke 3 je uvedený vzťah medzi stupňom projektovej prípravy a etapou IGP v zmysle zákona [Z8] a v zmysle STN EN 1997-1 a STN EN 1997-2. V prípade, že nie sú spracovávané všetky druhy dokumentácie, prípadne sa jednotlivé fázy projektovej prípravy zlúčia (napríklad DÚR a DSP), vykonáva sa etapa podrobného IGP.

Tabuľka 3 - Etapy IG prieskumu pre skalné svahy a zárezy na dopravných stavbách a ich vzťah ku stupňu projektovej prípravy

Etapa IGP podľa GZ	Etapa podľa STN EN 1997-2	Stupeň projektovej prípravy	Ciele IGP
Geologická štúdia	Teoretická štúdia - Predbežný	Technická štúdia, zámer a správa o hodnotení vplyvov (EIA)	Posúdenie variantných riešení vedenia trasy z pohľadu stability skalných svahov a zárezov, podklad pre výber najvhodnejšieho variantu
Orientačný	Predbežný	Dokumentácia stavebného zámeru, Dokumentácia na územné rozhodnutie	Predbežné posúdenie vybraného variantu
Podrobný	Podrobný	Dokumentácia na stavebné povolenie, Dokumentácia na ponuku, Dokumentácia na realizáciu stavby	Podrobné posúdenie podmienok realizácie vybraného variantu

Pre každú etapu prieskumu sa môže realizovať doplnkový prieskum. V doplnkovom IGP sa používajú prieskumné metódy príslušnej etapy IGP.

Etapu doplnkového IGP je možné vykonať aj počas realizácie dopravnej stavby alebo vtedy, ak napr. dôjde k zmene stability skalného svahu, na získanie údajov potrebných na spresnenie návrhu sanačných prác v uvedenej lokalite pre potreby stupňa projektovej dokumentácie DRS.

4.2.1 Geologické štúdie na vypracovanie technických štúdií, zámeru a správy o hodnotení

Na spracovanie technickej štúdie, zámeru pre zisťovacie konanie a pri posudzovaní vplyvu cestnej stavby na životné prostredie pre správu o hodnotení [Z8] sa vypracuje geologická štúdia. Jej závery tvoria podklad na posúdenie variantných riešení trasy.

Pracovnými metódami sú štúdium všetkých archívnych údajov o hodnotenom území (geologické mapy, doterajšie prieskumy, odborná literatúra) a inžinierskogeologické mapovanie.

Výsledkom geologickej štúdie pre technickú štúdiu, zámer a správu o hodnotení je záverečná správa, ktorá obsahuje:

- Základný opis okolia trasy s prehľadom o klimatických, morfológických, inžinierskogeologických a hydrogeologických pomeroch,
- v zárezoch orientačné sklony svahov, prípadne nutnosť ich stabilizačného zabezpečenia a opatrenia na odvedenie povrchovej a podzemnej vody,
- v miestach so svahovými deformáciami vplyv výstavby trasy na ich stabilitu a prípadne sanačné opatrenia,

- identifikácia a kvalitatívne posúdenie hlavných rizík,
- odporúčania pre ďalšiu etapu prieskumu.

4.2.2 Etapa orientačného IGP pre etapu DÚR a DSZ

Pre etapu orientačného IGP pre DÚR a DSZ sa používajú tie isté metódy, ako sú uvedené v článku 4.2.1. Vykonáva sa inžinierskogeologické mapovanie s dokumentáciou odkryvov. Účelné je použitie geofyzikálnych metód.

Cieľom etapy orientačného IGP pre DÚR a DSZ je:

- orientačné zistenie inžinierskogeologických a hydrogeologických pomerov vo svahoch a zárezoch a geotechnických vlastností skalného masívu,
- opis a klasifikácia jednotlivých skalných hornín v zmysle STN EN ISO 14689,
- zistenie hladín podzemnej vody v skalnom svahu, záreze, prípadne v jeho širšom okolí,
- na základe získaných údajov posúdiť stabilitu územia pred a po výstavbe,
- vykonať predbežné zhodnotenie použiteľnosti zemín a hornín zo zárezov a výkopov,
- návrh prieskumných prác pre nasledujúcu etapu podrobného IGP, s ohľadom na overenie základných geologických fenoménov v skúmanej oblasti, stanoviť ich charakteristické fyzikálno-mechanické vlastnosti a odhadnúť stupeň ich rozvoľnenia a zvetrania.

Výsledkom etapy orientačného IGP pre DÚR a DSZ sú najmä geologické a geotechnické priečne rezy skalným svahom a pozdĺžny inžinierskogeologický profil svahom-zárezom so zakreslením:

- hlavných litologických celkov,
- hlavných predpokladaných poruchových zón,
- určením generálneho smeru a sklonu súvrství,
- predpokladaných miest prítokov podzemných vôd,
- zhodnotenia skalného svahu podľa zaužívaných účelových klasifikačných systémov, ak sú známe potrebné charakteristiky z predchádzajúcich záverečných prác, prípadne etáp prieskumu (RQD, RMR, GSI alebo podľa požiadavky projektanta),
- predbežnej charakteristiky hydrogeologického režimu.

V tejto etape sa zameriavame na:

- **štruktúrnú analýzu skalného masívu** formou rekognoskácie terénu s meraním orientácie diskontinuít a iných štruktúrnych prvkov skalného masívu pre zaznamenanie do tektonogramov. Vykonáva sa meraním pomocou geologického kompasu, na dostupných odkryvoch. Výsledkom štruktúrnej analýzy je tektonogram s vyznačením pólov diskontinuít a štatistické spracovanie orientácií jednotlivých systémov diskontinuít. Súčasťou rekognoskácie skalného masívu je aj stratigrafická a petrografická analýza hornín z odkryvov, zmapovanie výverov podzemnej vody, charakterizovanie morfológicky dôležitých terénnych tvarov, prípadne charakteristika iných geologicky dôležitých fenoménov (spôsob zvetrávania hornín a pod.).
- **geofyzikálne prieskumné práce** na spresnenie charakteru horninového prostredia mimo realizovaných priamych prieskumných diel (vrty, šachtice, ryhy a pod.). Používajú sa v dostatočne kontrastnom horninovom prostredí na určenie jednotlivých rozhraní, diskontinuít, priebehu šmykových plôch a na výber umiestnenia priamych prieskumných diel. Výsledky geofyzikálnych meraní sa musia vhodne interpretovať a ich výstupom sú geologicko-geofyzikálne profily. Počas orientačného prieskumu sa používajú najmä jednosmerné geoelektrické metódy, metódy inžinierskej seizmiky.
- **laboratórne skúšky a testovanie skalných hornín.** Vzorky skalných a poloskalných hornín v požadovanej kvalite v zmysle STN EN ISO 22475-1 sú odoberané pre skúšky za účelom ich zaradenia do klasifikačných systémov a to predovšetkým podľa zásad uvedených v STN EN ISO 14689,
- hodnotenia ich použiteľnosti ako materiálu do násypov, orientačného určenia geotechnických vlastností vstupujúcich do výpočtov.
- **laboratórne skúšky a rozbor podzemnej a povrchovej vody.** V mieste priesakov a v prípade existujúcich prieskumných objektov a studní je nutné odobrať vzorky vody za účelom stanovenia jej agresivity na betón podľa STN EN 206+A1 a na ocelové konštrukcie.

Súčasťou výsledkov je aj sumarizácia očakávaných geotechnických rizík a návrh vhodných sanačných opatrení.

4.2.3 Etapa podrobného IGP

Podrobný IGP sa vykonáva v mieste realizovanej stavby a výsledky sú podkladom na spracovanie dokumentácie na stavebné povolenie (DSP) a dokumentácie na ponuku (DP).

Cieľom podrobného IGP je:

- zistiť čo najkomplexnejšie informácie o inžinierskogeologických a hydrogeologických pomeroch skalného masívu a zárezu,
- zistiť hlavné systémy diskontinuit a ich orientáciu pomocou štruktúrnej analýzy skalného masívu,
- spracovať kinematickú analýzu a stanoviť pravdepodobnosti výskytu jednotlivých mechanizmov porušenia svahu (planárne porušenie, klinové porušenie, blokové preklápanie),
- v nestabilných častiach svahu (zárezu) spresniť informácie o hĺbkach šmykových plôch, o režime podzemných vôd a o geotechnických parametroch vstupujúcich do stabilitných výpočtov,
- stanoviť potrebné vstupné parametre pre analýzu trajektórií blokov (tvar a rozmer blokov, charakteristické rezy, koeficient reštitúcie v tangenciálnom a normálovom smere) ak to je potrebné pre projekt sanácie geologického prostredia, prípadne vykonať kalibračné spustenia blokov po svahu,
- stanoviť hladinu podzemnej vody, priepustnosť na puklinách, alebo identifikovať priesakové množstvá vody,
- stanovenie stupňa agresivity podzemnej vody v miestach ich kontaktu s betónovými a ocelovými konštrukciami a jeho zmien v čase a posúdiť potrebu protikorózneho ochrany,
- klasifikovať horninový masív podľa klasifikácií pre skalné svahy (SMR, Q_{slope} , a iné) v nadväznosti na požiadavky projektového riešenia, [L2]
- zistiť údaje o režime podzemnej vody v skalnom svahu alebo záreze, (kolísanie hladín podzemných vôd v čase), v prípade potreby navrhnúť spôsoby odvodnenia zárezov,
- vyhodnotenie meraní z etáp geotechnického monitoringu v čase orientačného prieskumu (v prípade existencie) a spracovanie návrhu na geotechnický monitoring s konkrétnymi monitorovacími prvkami,
- poskytnúť podklad pre projekt geotechnického monitoringu v priebehu zárezu,
- stanoviť vlastnosti skalného materiálu potrebné pre výpočet stability - objemová hmotnosť, pevnosť v jednoosovom tlaku (pod lisom, PLT prístrojom), modul deformácie, modul elasticity,
- stanoviť vlastnosti diskontinuit potrebné pre výpočet stability [L5] (uhol vnútorného trenia na puklinách ϕ_j , koeficient drsnosti JRC, pevnosť povrchu diskontinuit JCS (Schmidtovým kladivkom), šmykové parametre výplne ϕ , c , otvorenosť a priebežnosť puklín, atď.), [L6],
- stanoviť hĺbku rozvoľnenia (zvetrania) skalného masívu,
- stanoviť výnos jadra RQD (v prípade existencie prieskumných vrtov),
- určiť možnosti využitia skalných hornín zo zárezov do násypov,
- stanoviť triedy ťažiteľnosti (STN 73 3050),
- návrh prieskumných prác pre doplnkový prieskum, ak je to potrebné.

Výsledkom etapy podrobného IGP sú tieto výstupy:

- zatriedenie horniny podľa STN EN ISO 14689,
- tektonogram s vyznačením pólov diskontinuit a štatistické spracovanie orientácií jednotlivých systémov diskontinuit,
- vyhodnotenie kinematickej analýzy diskontinuit pomocou tektonogramov pre jednotlivé mechanizmy porušenia skalných svahov (planárne porušenie, klinové porušenie, preklápanie),
- typové geologické rezy skalným svahom alebo zárezom s vyznačením pôvodného terénu, upraveného terénu, sklonu diskontinuit, príp. geologických rozhraní a maximálnej očakávanej hladiny podzemnej vody,
- situačný plán skalného svahu s lokalizáciou rezov,
- rozvinutý čelný plán skalného svahu, prípadne fotogrametrický plán svahu, ortofotografická čelná snímka svahu so zakreslením nestabilných častí svahu alebo skalných blokov a umiestnenie významných výverov v o d y na povrchu terénu,
- zhodnotenie zistených geotechnických vlastností horninového materiálu,
- klasifikácia horninového masívu podľa klasifikácií pre skalné svahy (SMR, Q_{slope} , a pod.)
- stanovenie potrebných vstupných parametrov pre analýzu trajektórií blokov (tvar a rozmer blokov, charakteristické rezy, koeficient reštitúcie v tangenciálnom a normálovom smere),
- stanovenie výnosu jadra RQD (v prípade existencie prieskumných vrtov),
- posúdenie využiteľnosti skalných hornín zo zárezov do násypov,
- stanovenie tried ťažiteľnosti (STN 73 3050),

- vyhodnotenie stupňa agresivity podzemnej vody v miestach ich kontaktu s betónovými a ocelovými konštrukciami a jeho zmien v čase a posúdiť potrebu protikorózneho ochrany,
- vyhodnotenie inklinometrických meraní z etapy orientačného prieskumu (v prípade existencie),
- stanovenie seizmicity územia a návrhového seizmického zrýchlenia a_{gr} v zmysle STN EN 1998.

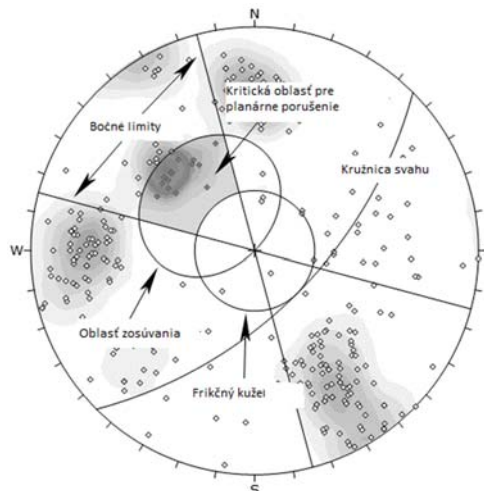
Pri stanovení metodiky, charakteru a rozsahu prieskumných prác podrobného IGP sa vychádza z dovtedy získaných poznatkov, predovšetkým z výsledkov orientačného IGP a používajú sa ustanovenia STN EN 1997-2 pre etapu podrobného prieskumu.

V tejto etape sa zameriavame na:

- **štruktúrnú analýzu skalného masívu** formou rekognoskácie terénu s meraním orientácie diskontinuit a iných štruktúrnych prvkov skalného masívu pre zaznamenanie do tektonogramov. Vykonáva sa meraním pomocou geologického kompasu, v nedostupných častiach svahu horolezeckou technikou, alebo sa vyhodnocuje z 3D mračna bodov získaného zameraním skalného svahu laserovým skenerom, alebo ako výstup spracovania snímok skalného svahu pomocou digitálnej fotogrametrie. Výsledkom štruktúrnej analýzy je tektonogram s vyznačením pólov diskontinuit a štatistické spracovanie orientácií jednotlivých systémov diskontinuit. Súčasťou rekognoskácie skalného masívu je aj stratigrafická a petrografická analýza hornín z odkryvov, detailné zmapovanie výverov podzemnej vody aj s ich základnou fyzikálno-chemickou analýzou, charakterizovanie morfológicky dôležitých terénnych tvarov, prípadne charakteristika iných geologicky dôležitých fenoménov (spôsob zvetrávania hornín a pod.). Často je potrebné dôkladné očistenie skalného svahu od vegetačného pokryvu a zemín, najmä pri použití diaľkových metód prieskumu (laserový skener, fotogrametrické zameranie).

Kinematická analýza umožňuje prvotné overenie možnosti výskytu rôznych mechanizmov porušenia skalných masívov (planárne ušmyknutie, klinové porušenie, preklápanie) na základe analýzy orientácie diskontinuit v stereografickej projekcii vo vzťahu k orientácii svahu a uhlu vnútorného trenia na puklinách. Metodické aspekty kinematickej analýzy pre jednotlivé typy porušenia sú uvedené nižšie:

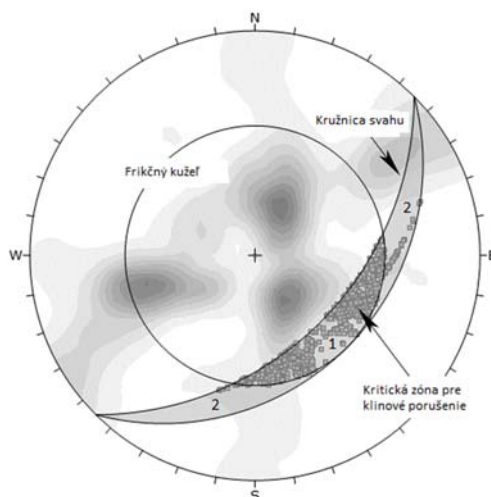
- **Kinematická analýza na planárne ušmyknutie** je analýza možnosti šmyku po jednej šmykovej ploche v závislosti od uhla vnútorného trenia. Výsledkom je tektonogram s vyznačením nebezpečnej oblasti (sivá plocha), v ktorej póly diskontinuit s orientáciou spadajúcou do tejto oblasti sú náchylné na planárne porušenie (obr. 7). V súlade s Goodmanom [L 10] sa aplikujú bočné limity pre planárne porušenie, za ktorými už ušmyknutie nenastane pre veľký odklon azimutov diskontinuit od smeru sklonu skalného svahu.



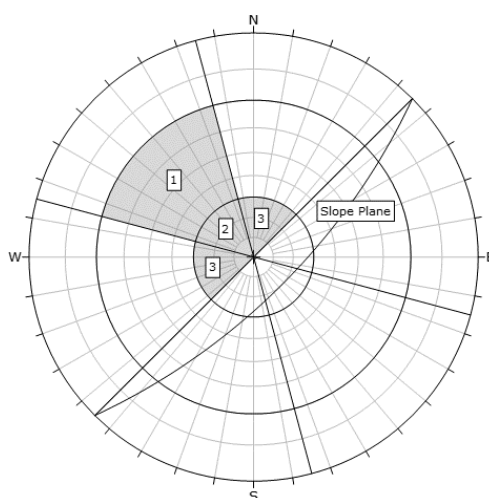
Obrázok 7 - Príklad tektonogramu s vyznačením kritickej zóny (sivá oblasť) pre planárne blokové porušenie v projekcii pólov do Schmidtovej siete pre zobrazenie dolnej hemisféry

- **Kinematická analýza na klinové porušenie** skúma možnosť ušmyknutia blokov vzniknutých priesečkom dvoch diskontinuit vo vzťahu k orientácii svahu a uhlu vnútorného trenia na puklinách. Ako vidno na obrázku 8 priesečníky diskontinuit spadajúce do oblasti 1 sú náchylné na vznik tohoto typu porušenia. Treba mať na pamäti, že kinematická analýza posúva všetky diskontinuity do stredu projekcie (do jedného miesta), čo v realite nezodpovedá podmienkam vo svahu, takže nie všetky priesečky musia v skutočnosti nastať.

- **Kinematická analýza na preklopenie (*toppling*)** je posúdenie možnosti preklopenia blokov v súlade s podmienkami opísanými v [L10]. Kľúčovými predispozíciami na tento spôsob porušenia sú a) prítomnosť dvoch systémov diskontinuit, ktorých priesečnice sa ukladajú smerom do svahu a vytvárajú diskrétne bloky; b) prítomnosť tretieho systému diskontinuit, ktorý oddeľuje bloky tak, že sú schopné pootočená alebo šmyku po základni bloku. Výsledný tektonogram má 3 kritické zóny (obr. 9). Zóny 1 a 2 sú tzv. primárne kritické zóny, kde priesečníky diskontinuit zapadajúce do svahu sú vo vnútri bočných limitov podobne ako pri planárnom porušení.



Obrázok 8 - Príklad tektonogramu s vyznačením kritickej zóny prienikov diskontinuit (oblasť 1) pre klinové porušenie po dvoch plochách a po jednej ploche – (oblasť 2), zostavené v projekcii smerov sklonov do Schmidtovej siete, dolnej hemisféry



Obrázok 9 - Príklad tektonogramu s vyznačením kritických zón 1, 2 a 3 priesekov diskontinuit pre preklápanie blokov (*toppling*)

- **Terénne skúšky a merania** sa v etape podrobného IGP realizujú predovšetkým za účelom spresnenia charakteristických hodnôt vlastností horninového prostredia a priestorového vymedzenia litologických komplexov. Požaduje sa, aby pri vyhodnocovaní terénnych skúšok boli využité výsledky z vrtných a výsledky z laboratórnych skúšok podľa STN EN 1997-2 (pevnosť v prostom tlaku, priečny ťah, modul deformácie a pružnosti, Poissonovo číslo stanovenie fyzikálnych vlastností,...). V odôvodnených prípadoch, je možné realizovať aj veľkorozmerové statické zaťažovacie skúšky doskou a šmykové skúšky na horninových blokoch, príp. využiť i ďalšie metódy overovania pevnostno-deformačných parametrov horninového masívu (konvergenčné merania, inklinodeformetrické merania, extenzometrické merania, stanovenie primárnej napätosti a pod.).

- **Laboratórne skúšky** - V tejto etape IGP sa vykonávajú predovšetkým klasifikačné skúšky skalných hornín. V etape podrobného IGP sa okrem klasifikačných skúšok realizujú na odobratých vzorkách prevažne laboratórne skúšky na určenie geotechnických parametrov, vstupujúcich do geotechnických výpočtov vo fáze navrhovania stabilizačných konštrukcií. Pre horniny sú to skúšky tlakovej pevnosti pod lisom na vzorkách po nasiaknutí a zmrazovacích cykloch, skúšky ťahovej pevnosti (brazílsky test). Laboratórne rozbor podzemných vôd slúžia na zistenie stupňa agresivity na betónové a oceľové konštrukcie podľa STN EN 206+A1.

Metodika vykonávania laboratórnych skúšok sa riadi platnými európskymi normami, platnými STN, STN EN alebo rezortnými TP, ktoré požaduje objednávateľ IGP.

- **Vystrojenie vrtov za účelom režimového merania.** Ak je to potrebné je v tejto etape podrobného IGP možné vystrojiť vybrané vrty pre režimové merania hladín resp. tlakov podzemných vôd (piezometre) alebo za účelom merania pohybov vo vnútri horninového prostredia (inklinometre, inklinodeformetre). Pri vystrojení pozorovacieho vrtu je potrebné definovať, účel, spôsob merania, spôsob osadenia snímačov, kalibráciu, a spôsob uvedenia systému do prevádzky, prípadne realizovať nulté merania. Na piezometroch sa následne meria hladina podzemnej vody v pravidelných intervaloch, napríklad raz týždenne počas trvania prieskumu (prípadne kontinuálnym záznamom prostredníctvom snímačov) a na inklinometroch sa v tomto období vykoná základné a minimálne ešte jedno meranie tak, aby výsledky týchto meraní mohli byť zverejnené v záverečnej správe. Vystrojené vrty sú potom ďalej sledované a stávajú sa súčasťou siete monitoringu.
- **Geofyzikálne prieskumné práce** sa využívajú podobne ako v etape orientačného prieskumu prevažne na spresnenie a doplnenie informácií o horninovom prostredí (identifikovanie litologických a tektonických hraníc, charakteristika dosahu rozvoľnenia masívu a pod.) a na spresnenie rozmiestnenia prípadných prieskumných diel. Z toho dôvodu sa odporúča realizácia geofyzikálnych prác prednostne pred priamymi prieskumnými metódami. Výsledky geofyzikálnych meraní sa musia vyhodnocovať iba vo vzájomnej súčinnosti s riešiteľom IGP a sú znázornené vo forme geologicko-geofyzikálneho rezu. Počas podrobného prieskumu sa používajú najmä jednosmerné geoelektrické metódy, elektromagnetické metódy, gravimetrické metódy, seizmické metódy reflexné i refrakčné, geomagnetické metódy (GM) a karotážne metódy vo vrtoch. Druh geofyzikálnej metódy by mal byť zvolený podľa miestnych geologických pomerov tak, aby merania boli dostatočne kontrastné a detailné. Je vhodné použiť minimálne dve fyzikálne odlišné metódy.

4.3 Výber klasifikácie horninového masívu

Výstupom IGP pre stabilizáciu skalných svahov a zárezov by malo byť klasifikovanie horninového masívu podľa niektorej z klasifikácií vykonanej na charakteristických úsekoch pozdĺž osi komunikácie:

- klasifikácia podľa SMR [L16],
- klasifikácia podľa Q_{slope} [L2],
- klasifikácia podľa indexu kvality hornín (RQD) [L12],
- klasifikácia podľa geologického indexu pevnosti (GSI),
- klasifikácia podľa Bieniawského (RMR) [L3],
- klasifikácia podľa Nórskeho geotechnického inštitútu – Bartonova (QB) [L2].

Požiadavky na výber použitej klasifikácie (klasifikácií) majú byť formulované projektantom stabilizačných opatrení skalného svahu v nadväzujúcej etape projektovej prípravy, prípadne v predošlej etape, pokiaľ nie je projektant nadväzujúcej etapy známy.

4.4 Príprava a realizácia IGP

Na riešenie geologickej úlohy vypracúva zhotoviteľ geologických prác projekt geologickej úlohy (ďalej projekt) a program prieskumu. Projekt vyjadruje cieľ geologickej úlohy, navrhuje a odôvodňuje vybrané druhy prác na riešenie geologickej úlohy a určuje metodický a technický postup ich odborného a bezpečného vykonávania. Projekt sa vypracováva podľa požiadaviek objednávateľa. Súčasťou prípravy IGP je časový harmonogram, riešenie stretov záujmov [Z8]. Projekt obsahuje geologickú časť, technickú a rozpočtovú časť. Ostatné požiadavky na prípravu sú v súlade s [T6]. Vypracovanie a schvaľovanie projektu IGP sa riadi zákonom [Z8] a vyhláškou [Z9].

4.4.1 Prehľad terénnych prieskumných prác a ich vykonávanie

Terénne prieskumné práce, ktoré sa využívajú v IGP slúžia na zistenie trojrozmerného modelu horninového prostredia, ktoré bude dotknuté projektovanou výstavbou. Pre skalné svahy a zárezy sa realizujú:

- priame prieskumné práce (vrtné a kopné) a metódy odberu vzoriek,
- meranie smeru a sklonu diskontinuit, hustoty, drsnosti, priebežnosti, povrchovej pevnosti tzv. 10 štruktúrnych znakov podľa ISRM, [L11]
- vhodné terénne skúšky na blokoch hornín, testovanie pevnosti na úlomkoch prístrojom PLT, a ostatné vhodné testy v zmysle STN EN 1997-2,
- zisťovanie výskytu, režimu a vlastností puklinovej podzemnej vody v horninovom prostredí,
- geofyzikálne práce (povrchové i karotážne),
- mapovacie práce a meračské práce.

Podrobný prehľad terénnych prieskumných prác je špecifikovaný v relevantných častiach [T6], [L6].

4.4.2 Záverečná správa IGP

Každá záverečná správa IGP musí obsahovať nasledujúce:

- zhrnutie faktografických údajov, t.j. uvedenie všetkých dostupných geotechnických informácií, obsahujúcich geologické vlastnosti a príslušné údaje,
- interpretáciu údajov; t. j. geotechnické zhodnotenie s uvedením predpokladov, za ktorých sa interpretovali výsledky skúšok,
- údaje na zostavenie modelu horninového prostredia.

Obsahové a formálne náležitosti záverečnej správy upravuje vyhláška [Z9] ku zákonu [Z8]. Všeobecne sú správy z IGP tvorené textovou časťou a prílohami. Osnova záverečnej správy sa prispôsobuje cieľom a zámerom etapy IGP v súlade s projektom geologických prác.

Záverečná správa IGP obsahuje:

- textovú časť – kde sú popísané ciele geologickej úlohy, charakteristika skúmaného územia a doterajšia geologická preskúmanosť, postup riešenia s realizovanými geologickými prácami a použitá metodika. Dôležité sú výsledky riešenia geologickej úlohy, závery a odporúčania, údaje o uložení geologickej dokumentácie a zoznam použitej literatúry a osobitných prameňov,
- prílohovú časť - textové prílohy, protokoly skúšok, laboratórne výstupy, grafické prílohy, tektonogramy, profily, 3D snímky a fotodokumentáciu.

4.5 Príprava sanácie geologického prostredia

Na riešenie úlohy sanácie geologického prostredia vypracúva zhotoviteľ geologických prác projekt sanácie geologického prostredia (ďalej projekt). Projekt vyjadruje cieľ geologickej úlohy, navrhuje a odôvodňuje vybrané druhy prác na riešenie geologickej úlohy a určuje metodický a technický postup ich odborného a bezpečného vykonávania. Projekt sa vypracováva podľa požiadaviek objednávateľa. Súčasťou prípravy sanácie GP je časový harmonogram. Pre vypracovanie projektu poskytnú objednávateľ spracovateľovi potrebné podklady získané počas výstavby alebo predošlých realizovaných prieskumov. Vypracovanie a schvaľovanie projektu sanácie GP sa riadi zákonom [Z8] a vyhláškou [Z9]. Náležitosti projektu sú v zmysle [T6]. Projekt má spravidla 3 časti - geologickú, technickú časť a rozpočtovú.

V geologickej časti projektu vypracúva zodpovedný riešiteľ spôsob sanácie a stabilizácie horninového prostredia so zameraním sa na stabilitné pomery vrátane analýzy rizikovosti skalného svahu a jej predikcie v čase.

4.5.1 Schvaľovanie projektu sanácie GP

Vypracovaný návrh projektu podpisuje štatutárny orgán zhotoviteľa geologických prác alebo ním splnomocnený zástupca a zodpovedný riešiteľ geologickej úlohy.

4.5.2 Záverečná správa zo sanácie GP

Každá záverečná správa zo sanácie GP musí obsahovať nasledujúce:

- zhrnutie faktografických údajov, t. j. uvedenie všetkých dostupných geotechnických informácií, popisujúcich geologické vlastnosti a príslušné údaje;
- interpretáciu údajov; geotechnické hodnotenie informácie s uvedením predpokladov, za ktorých sa interpretovali výsledky skúšok.
- údaje na zostavenie modelu horninového prostredia.

Obsahové a formálne náležitosti záverečnej správy upravuje podrobnejšie vyhláška [Z9] ku zákonu [Z8]. Všeobecne sú správy zo sanácie GP tvorené textovou časťou a prílohami. Osnova záverečnej správy sa vypracováva v súlade s projektom sanácie geologického prostredia.

4.6 Odborný geologický dohľad

Odborný geologický dohľad, ktorým sa zabezpečuje kontrola vykonávania geologických prác slúži na:

- overovanie priebežných výsledkov geologických prác dokladovaných zhotoviteľom geologických prác,
- kontrolu realizácie technologických postupov, odber kontrolných vzoriek,
- obhliadku a dokumentáciu odkryvov hornín, horizontálnych, zvislých a úklonných banských diel, rýh, výkopov, odkopov, lomových stien a vrtov,
- návrh kontrolných a dopĺňujúcich skúšok,
- návrh opatrení na zníženie alebo odstránenie rizika,
- sledovanie vynakladaných finančných prostriedkov v súlade s projektom geologickej úlohy.

Osoba vykonávajúca odborný geologický dohľad:

- kontroluje správnosť vykonávania geologických prác,
- vypracováva štvrťročné správy o priebehu riešenia geologickej úlohy, ktoré do 15 dní po uplynutí príslušného obdobia podáva objednávateľovi.

5 Princípy posudzovania stability, rizikové analýzy skalných svahov a zárezov

5.1 Rizikové geofaktory skalných zosuvov a zrútení

Skalné zosuvy a zrútenia, skalné prúdy, patria medzi rizikové geofaktory v našom prostredí, a oproti zosuvom v zeminách sú nebezpečnejšie pre svoju rýchlosť a krátky čas aktivácie. Riziko skalných zosuvov a zrútení možno opísať mierou rizika a stupňom odolnosti (stability) pred ich aktiváciou s použitím niekoľkých kritérií.

5.2 Vybrané klasifikácie horninového masívu pre hodnotenie skalných svahov a zárezov

Použité klasifikácie by mali byť špecifikované už pri zadávaní požiadaviek pre IG prieskumné práce skalného svahu. Voľba klasifikácie sa prispôsobuje geologickým, geotektonickým a klimatickým podmienkam v mieste stavby. Týmto sa predchádza doplnkovému prieskumu alebo sondovaniu, ak daná klasifikácia nebola požadovaná.

5.2.1 Klasifikácia RHRS

Princípom pôvodnej klasifikácie RHRS - *Rockfall Hazard Rating System* [L14, L17] je hodnotenie rizikovosti skalného zrútenia, kde riziko vyjadruje mieru poškodenia objektov, ohrozenie osôb s ich frekvenciou výskytu v mieste dopadu a hazard ako pravdepodobnosť vzniku javu.

Hodnotenie hazardu je zostavené do 12-tich kritérií, ktoré zohľadňujú – výšku svahu, účinnosť záchytných opatrení, priemerné riziko zdržania vozidiel v mieste pádu, dĺžku rozhľadu na zastavenie vozidla, šírku komunikácie, stupeň rozpukania, trenie na puklinách, náchylnosť k erózii svahu, veľkosť možných nestabilných blokov, objem skalného zrútenia, klimatické pomery na svahu a históriu lokality. Jednoduchým súčtom bodového hodnotenia z uvedených dvanástich kritérií je potom vyhodnocované riziko spojené so skalným zrútením v danom úseku. Orientačne platí, že svahy s hodnotami pod 300 bodov nevyžadujú sanačný zásah, pri dosiahnutí 500 bodov a viac sa jedná o havarijné stavby.

5.2.2 Klasifikácia RMR

Geomechanická klasifikácia RMR - *Rock Mass Rating* (Bieniawski, [L3]), je klasifikáciou veľmi vhodnou do našich geologických pomerov rozpukaných masívov a používa sa hlavne v podzemnom staviteľstve. Horninový masív sa najprv rozdelí na priestorovo vymedzené celky s podobnými geotechnickými a petrografickými parametrami, a následne sa vykoná hodnotenie v každom úseku zvlášť. Je to klasifikácia pomocou 6-tich parametrov, ktorú neskôr vylepšil Palmström [L12]. Výsledné hodnotenie masívu je dané súčtom klasifikačných bodových hodnotení:

$$RMR = A1+B1+B3+C2+D1+D3+D4+D5+F, \quad (1)$$

kde jednotlivé hodnotenia sa pridelujú podľa:

- pevnosti horniny v tlaku alebo ťahu - A1,
- indexu RQD - B1,
- vzdialenosti diskontinuit - B3,
- orientácie diskontinuit k osi zárezu - C2,
- charakteru diskontinuit D1, D3, D4 a D5,
- režimu podzemnej puklinovej vody F.

Podľa RMR klasifikácie je hodnotená časť svahu klasifikovaná do piatich tried I. až V, [L5]

5.2.3 Klasifikácia SMR

Táto účelová klasifikácia vznikla na základe potreby detailnejšieho hodnotenia skalných svahov, pretože bolo nutné odčleniť sa od typických klasifikácií pre tunely a pokúsiť sa ich modifikovať. Na základe tohto snaženia bola uvedená do praxe klasifikácia SMR - *Slope Mass Rating* [16], ktorá modifikuje výsledky klasifikácie RMR pomocou opravných koeficientov F v tvare:

$$SMR = RMR + (F1.F2.F3) + F4, \quad (2)$$

kde: F1 [-] reprezentuje vzájomný smer sklonu svahu a diskontinuity,
F2 [-] sklon svahu,
F3 [-] vzájomný sklon svahu a diskontinuity,
F4 [-] spôsob vzniku skalného svahu.

Vzhľadom k diskrétnemu spôsobu stanovenia opravných koeficientov bola neskôr vykonaná ich spresňujúca matematická formulácia kontinuálnym spôsobom pomocou cyklometrických funkcií.

5.2.4 Hodnotenie svahu Q_{slope}

Ďalšou z radu modifikácií tunelových klasifikácií je empirické hodnotenie skalného svahu pomocou indexu Q_{slope} [L2]. Ten vychádza zo známeho indexu Q – *Rock Tunnelling Quality Index*, odvodeného Bartonom [L1]. Úprava indexu spočíva vo špecifických zmenách hodnotenia vstupných parametrov zodpovedajúcich prostrediu skalného svahu. Obmedzením použitia tohto kritéria je výška svahu $H < 30$ m a sklon max. 90° , takto upravený index definuje hodnoty:

$$Q_{slope} = \frac{RQD}{J_n} \cdot \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \cdot \frac{J_{wice}}{SRF_{slope}}. \quad (3)$$

V rovnici pre Q_{slope} sú prvé dva členy totožné s určením indexu Q , zmenený bol J_w na index J_{wice} zohľadňujúci dlhodobú klimatickú expozíciu povrchu svahu a SRF_{slope} bol tiež upravený. Okrem týchto korekcií systém umožňuje zohľadniť vplyv prevládajúceho systému diskontinuit a oslabené miesta svahu.

5.2.5 Určenie stabilného sklonu skalného svahu

Barton a Bar [L2] odvodili na základe korelácie viac ako 200 hodnotených svahov jednoduchú rovnicu, ktorá určuje stabilný generálny sklon nezabezpečeného skalného svahu pomocou parametra Q_{slope} výšky max. 30 m:

$$\beta = 20 \cdot \log_{10} Q_{slope} + 65^\circ. \quad (4)$$

5.2.6 Stupeň stability skalného svahu

Stupeň stability skalného svahu F_s v zmysle klasickej teórie predstavuje odolnosť svahu voči porušeniu a následnému pohybu, vo svojej podstate predstavuje pomer medzi pasívnymi a aktívnymi silami na svahu (šmykové porušenia), príp. je to pomer medzi pasívnymi a aktívnymi momentmi (porušenie v odtrhnutí - previsy). V zmysle návrhového postupu 3 podľa STN EN 1997-1 je stupeň stability definovaný ako % čerpania šmykovej pevnosti (< 100 % stabilné, > 100 % nestabilné svahy) a stabilné analýzy riešime postupnou redukciou parametrov šmykovej pevnosti. Pre dočasné svahy výkopov zárezov postačuje podľa klasickej teórie stupeň stability $F_s = 1,2 - 1,3$, pre trvalé skalné svahy $F_s = 1,5$ a kotvené skalné svahy je to $F_s = 2,0$.

Pri stabilných výpočtoch je veľmi dôležitá dĺžka hodnotenia skalného svahu, je totiž rozdiel ak posudzujeme svahovú lavičku, čiastkový zárez, alebo celý strmý svah. Komplikované strmé svahy prestúpené viacerými systémami puklín riešime analytickými výpočtovými modelmi s predpokladaným

modelom porušenia a implementovanými kritériami šmykovej pevnosti podľa Coulomba, Pattona, Bartona, Poncelleta, Griffitha a i., [L6]. Presnejšími sú numerické výpočty pomocou hraničných prvkov DEM, implementované v softwarových produktoch (napr. UDEC, PFC2D, EDEM) alebo aj kombinované s metódou konečných prvkov FEM. Pre modelovanie sutinových prúdov a kamenných prúdov sú vhodné bezsieťové metódy (Mesless method) a metódy prúdenia častíc (Particle flow code), [L6].

6 Ochranné a stabilizujúce konštrukcie skalných svahov a zárezov

Súčasťou komplexnej ochrany skalného svahu je nielen budovanie ochranných a stabilizujúcich konštrukcií, ale aj vykonanie ďalších opatrení, ktorými sú povrchové odstraňovanie nestabilných blokov, spevňovanie, čistenie a škárovanie, odvodnenie, vypĺňanie kaverien, lokálne podchyťovanie previsov.

Okrem bežných opráv svahov po dažďovej erózií alebo lokálneho uvoľnenia blokov zo svahu, akékoľvek návrhy na zhotovenie ochranných a stabilizujúcich konštrukcií by mali byť riešené **skúseným geotechnikom** na základe realizovaného **inžinierskogeologického prieskumu (IGP)** skalného svahu. Nevhodný spôsob sanácie môže v krátkom časovom horizonte spôsobiť ďaleko vážnejšie problémy, ba dokonca môže aktivovať skalný zosuv.

Rozhodnutie o technickom spôsobe zabezpečenia stability skalného svahu musí rešpektovať:

- geologické a hydrogeologické pomery na svahu,
- odolnosť horninového prostredia voči procesom zvetrávania,
- miestne klimatické pomery,
- musí garantovať dostatočnú bezpečnosť počas návrhovej doby životnosti,
- vplyv výkonu zimnej údržby a iné vplyvy (bludné prúdy, agresívne prostredie),
- budúce prevádzkové náklady potrebné na vykonávanie údržby a opráv.

Ochranné opatrenia je možné rozdeliť podľa rozsahu na:

- značnej veľkosti a významu, kde je nutné vypracovať komplexné zhodnotenie stavu riešenej oblasti a navrhnúť detailné návrhy riešenia navrhovaných riešení,
- a na drobné opatrenia, pri ktorých ak je to opodstatnené je možné aplikovať zjednodušené prístupy.

Návrhové životnosti stabilizačných opatrení s ohľadom na prostredie v ktorom sa nachádzajú:

- sú pre siete a bariéry **min. 30 rokov**, pre kombinované konštrukcie, galérie a kotvené siete, **min. 100 rokov**
- návrhová životnosť musí byť definovaná v projektovej dokumentácii,
- podľa životnosti sa v PD zadefinuje spôsob antikorozynej ochrany jednotlivých prvkov, ako aj hrúbka krytia kotevných prvkov vo vrte, hrúbka krytia výstuže v betóne, prísady do betónu na zvýšenie korozívnej ochrany, napr. pre prostredie C4, dvojité antikorozyne úprava kotevných tyčí (pozinkovanie + prídavná polymérna ochrana).

Ak je komplikované predpovedať všetky vplyvy na životnosť stabilizujúcich prvkov, je možné spoľahlivosť a funkčnosť v čase kontrolovať metódami geotechnického monitoringu a pravidelnými prehliadkami. Ochranné a stabilizujúce opatrenia a s nimi súvisiace špeciálne konštrukcie členíme podľa miesta ich realizácie a funkcie na **aktívne a pasívne**. Prehľad možných aktívnych a pasívnych stavebnotechnických opatrení pre zabezpečenie stability skalných svahov prezentuje tabuľka 4.

6.1 Aktívne opatrenia

6.1.1 Úprava a reprofilácia skalného svahu

Tieto opatrenia sú jednoduché a veľmi účinné, pri väčších výškach svahov zárezov sú však ťažko realizovateľné. Ak sklon svahu nemožno zmierniť alebo inak upraviť z priestorových dôvodov, musíme ho stabilizovať napr. zárubným múrom. Častokrát je vhodným opatrením zriaďovanie svahových lavičiek, alebo záchytných priekop pozdĺž komunikácie alebo železničnej trate, ktoré slúžia na akumuláciu svahových zvetralín a drobných blokov horniny.

Požiadavky pre návrh opatrenia:

- definovanie nestabilných častí skalného svahu;
- definovanie rozsahu a navrhovanej úpravy tvaru;
- návrh riešení s cieľom obmedziť procesy povrchovej erózie;
- návrh postupu sanačných prác zohľadňujúc okolité podmienky (prítomnosť domov, dopravná infraštruktúra a iné obmedzenia);
- posúdenie stability pôvodného a upraveného svahu.

Tabuľka 4 - Opatrenia pre zabezpečenia stability skalných svahov, [L5]

Aktívne opatrenia				
Úprava tvaru svahu	Odvodnenie svahu	Ochrana proti zvetrávaniu, erózii	Spevňovanie povrchu svahu	
- odťazenie nestabilných častí - odľahčenie v aktívnej zóne - zmiernenie sklonu svahu - priťažovacie kamenné lavice	Povrchové - rigoly - žľaby - trativody - vodné skoky Hlbinné - drenážne rebrá - šachty, studne - štôlne	- zahumusovanie - výsadba krovín - kotvené siete s vegetačným pokryvom - utesnenie škár a trhlín - plášte z torkrétu - obkladové múry - spevňovanie brehov - ochranné matrace	- povrchové - hĺbkové - ochranné siete - kotvenie blokov - plošné kotvenie - klincovanie a nástrek torkrétu - injektovanie - podmurovanie a podchytávanie previsov	
Pasívne opatrenia a konštrukcie				
Ľahké bariéry a oplotenia	Ťažké bariéry	Stabilizujúce konštrukcie	Ochranné konštrukcie	Zemné valy a priekopy
- drevené záchytné bariéry - ľahké oplotenia	- flexibilné záchytné bariéry - dynamické bariéry	- zárubné a oporné múry - mikropilótové steny - pilótové steny - prefabrikované steny - kotvené steny	- ochranné steny, múry - galérie - hĺbené tunely	- záchytné priekopy, valy - valy z vystuženej zeminy

6.1.2 Plošná stabilizácia skalných svahov

V súčasnom období prevládajú požiadavky na minimalizáciu záberov pozemkov pri hĺbení zárezov a budovaní násypov ciest a diaľnic, ako aj železničných tratí, čo sa dá docieľiť budovaním zabezpečených strmých svahov. Vzhľadom na ich prístupnosť je ideálnym riešením budovať tieto svahy ako **bezúdržbové, zelené, alebo pokryté vhodnou vegetáciou** [T3], s určitým typom ochrany proti dažďovej erózii a hlbšiemu zvetrávaniu.

Plošná stabilizácia sa vzťahuje na spevnenie svahov predovšetkým použitím stabilizačných systémov z ocelových sietí, výstužných protieróznych rohoží, resp. iných plošných prvkov v kombinácii s kotviacimi prvkami (zemné klince, kotvy, svorníky).

Požiadavky pre návrh opatrenia:

- geometrické zameranie riešeného územia,
- definovanie geotechnických a geomechanických parametrov prostredia,
- definovanie hydrogeologických parametrov,
- definovanie nestabilných častí skalného svahu a rozsahu zvetrania,
- definovanie povrchovej diskontinuity a charakteru trhlín (tvar, drsnosť, výplň),
- identifikácia príčin nestability svahu a možných pohybov svahu,
- návrh postupu realizácie stabilizačných prác zohľadňujúc okolité podmienky,
- posúdenie stability pôvodného a upraveného svahu,
- návrh a posúdenie plošných prvkov (sietí, rohoží a pod) – pevnosť v ťahu, kolmé pretlačenie cez hlavu klinca, max. deformácia siete v kolmom smere,
- návrh a posúdenie kotviacich prvkov – na ťah, strih a vytiahnutie z horninového masívu,
- posúdenie spolupôsobenia plošných a kotviacich prvkov,
- návrh protikoróznej ochrany ocelových prvkov v závislosti od prostredia a návrhovej životnosti.

6.1.3 Pokrytie svahu ochrannými ocelovými sieťami

Pokiaľ strmý skalný svah je stabilný, odolnosť horniny voči zvetrávaniu je dostatočná, avšak hrozí postupné uvoľňovanie blokov na strmom svahu, riešením je pokrytie svahu ocelovými sieťami (drôtenými panelmi) prichytenými krátkymi tyčovými kotvami. Pevnosť siete, ako aj hustota potrebného kotvenia sú predmetom konkrétneho návrhu.

Štandardne používanými typmi sietí sú:

- oceľové dvojzákrutové siete s vpletenými lanami,
- oceľové jednozákrutové siete s diagonálnymi okami,
- lanové panely biaxiálne tvorené ortogonálne spletenými lanami.

Oceľové siete môžu byť kombinované s protieróznymi rohožami.

6.1.4 Ochrana svahu oceľovým stabilizačným 3D systémom

V prípade riešenia ochrany strmých skalných svahov (alternatívne aj zvetraných svahov so zeminami), kde je požiadavka na vytvorenie vegetačného pokryvu, prípadne bezúdržbového povrchu svahu (výplň kamenivom) je obtiažne použitie ochranných oceľových sietí. V týchto prípadoch je riešením aplikácia 3D stabilizačného systému.

Tento systém je tvorený oceľovou 3D rohožou, ktorá sa ukladá diagonálnym spôsobom na svah, následne je ukotvená systémovými T-klincami, alebo je upevnená na už existujúce stabilizujúce prvky (klince, kotvy). Celý systém je doplnený oceľovými lanami a distribučnými tyčami. Rohože sa po fixácii vyplnia vhodnou štrkodrvinou alebo zeminou pre prirodzené zazelenanie, prípadne sa aplikuje hydrosew podľa predpisu dodávateľa tejto technológie, [L1].

6.1.5 Injektáže

Použitie injektážnych zmesí je zamerané predovšetkým na spevnenie horninového prostredia, na zníženie filtrácie vody a s tým spojené minimalizovanie negatívnych účinkov vyplývajúcich zo zmrazovacích cyklov. Medzi hlavné druhy materiálov používaných na injektáž sú malty na báze cementu a živice.

Požiadavky pre návrh opatrenia:

- geometrické zameranie riešeného územia,
- definovanie geotechnických a geomechanických parametrov prostredia,
- definovanie hydrogeologických parametrov,
- definovanie nestabilných častí skalného svahu a rozsahu zvetrania,
- definovanie povrchovej diskontinuity a charakteru trhlín,
- definovanie dutín, ich polohy a charakteru,
- definovanie agresivity podzemných vôd,
- identifikácia príčin nestability svahu a možných pohybov svahu,
- návrh rozsahu injektážnych prác s definovaním typu zmesi a maximálneho vstrekovacieho tlaku,
- posúdenie stability pôvodného a upraveného svahu,
- analýza chemickej kompatibility medzi injektážnou zmesou a horninovým prostredím.

6.1.6 Hĺbkové škárovanie a nástreky torkrétu

Striekaný betón sa používa na spevnenie skalných svahov charakterizovaných rozptýlenými a povrchovými nestabilitami. Zároveň striekaná betónová vrstva utesňuje diskontinuity povrchu svahu a chráni ich pred povrchovými a hlbokými zmenami v dôsledku pôsobenie poveternostných podmienok. Striekaná betónová vrstva musí byť pre správne fungovanie ukotvená k masívu vhodnými kotviacimi prvkami – klincami, svorníkmi. Tieto opatrenia sa vykonávajú podľa charakteru svahu, jeho stavu zvetrania, exponovanosti a používajú sa hlavne pre svahy suché, rozpukané s dobrou puklinovou priepustnosťou podzemnej vody. Vhodné sú pre skalné svahy prestúpené viacerými systémami puklín (diskontinuit), v ktorých zatekajúca voda by urýchlila proces zvetrávania vplyvom zamŕzania puklinovej vody.

Cieľom hĺbkového škárovania je zabrániť priesaku vody do masívu. Škára sa na povrchu očistia od humusu a porastu a škárovacími pištoľami sa vyplnia cementovou maltou a zahľadia. Ak je hornina náchylná na plošné zvetrávanie prekryjeme ju vrstvou torkrétu na celom povrchu.

Torkrétové nástreky nie sú však vhodné, ak je voda v skalnom masíve, alebo je hornina na povrchu namŕzavá. V takomto prípade uzatvorením povrchu skalného masívu sa zvýšia vztlakové účinky vody na puklinách a stabilitné pomery sa výrazne zhoršia, životnosť torkrétu je do prvého zimného obdobia.

Požiadavky pre návrh opatrenia:

- geometrické zameranie riešeného územia,
- definovanie geotechnických a geomechanických parametrov prostredia,
- definovanie hydrogeologických parametrov,
- definovanie nestabilných častí skalného svahu a rozsahu zvetrania,

- definovanie povrchovej diskontinuity a charakteru trhlín,
- definovanie agresivity podzemných vôd,
- identifikácia príčin nestability svahu a možných pohybov svahu,
- posúdenie stability pôvodného a upraveného svahu,
- návrh a posúdenie hrúbky, vystuženia a triedy striekaného betónu,
- návrh a posúdenie kotviacich prvkov – na ťah, strih a vytiahnutie z horninového masívu,
- posúdenie spolupôsobenia striekaného betónu a kotviacich prvkov,
- návrh zmesi striekaného betónu zohľadňujúc agresivitu okolitého prostredia,
- zabezpečenie odvodnenia horninového masívu za striekaným betónom,
- návrh finálnej ochrany striekaného betónu podľa požiadaviek investora (kamenný obklad, drôtokamenné koše, a pod.).

6.1.7 Odvodnenie svahov

V prípade skalných svahov je dôležité nebrániť vode v puklinovom systéme aby sa dostala na povrch, a bola odvedená do pozdĺžnych odvodňovacích prvkov komunikácie alebo železničnej trate. Pre odvodnenie svahov používame šikmé odľahčovacie vrty v miestach zvodnenia skalného svahu. V prípade sústredených výronov puklinovej vody tieto zachytávame pomocou rebier, ktoré môžu byť vyplnené kamennou rovnatinou, štrkodrvinou alebo použijeme gabiónové koše. Ak nám pri intenzívnych zrážkach steká po svahu voda, túto musíme zachytávať priekopami alebo pozdĺžnymi rigolmi, drénmi ešte pred hranou zárezu. Dlhé plochy svahu prerušíť svahovými lavičkami, alebo realizovať jednoduché svahové opevnenia plošnou geosyntetikou, 3D panelmi a pod. Drenážne rigoly sa môžu zhotoviť s použitím geosyntetických výrobkov – drenážnych geokompozitov, pre ktoré musí byť vykonané kapacitné posúdenie dlhodobej návrhovej prietochnej kapacity drénu v daný okrajových podmienkach a s ohľadom na návrhovú životnosť.

6.1.8 Kotvenie nestabilných častí svahu

Kotvenie a klincovanie [T4] je najrozšírenejšou sanačnou metódou nestabilných svahov a zárezov. Kotvy na rozdiel od klincov sú predpínané a vnášame pomocou nich aktívne stabilizujúce sily. Kotvy používame lanové alebo tyčové, ktoré volíme podľa prostredia a potrebnej predpínacej sily. Kotvy ako hlavný prvok stabilizácie využívame vtedy, keď stabilita skalného svahu je nedostatočná na vznik zosuvu. Návrh kotiev, ich dĺžka, hustota rozmiestnenia a smer kotvenia je predmetom komplexného posúdenia svahu autorizovaným inžinierom. Sústredenú silu od kotvenia zvyčajne prenášame cez železobetónové pätky, prefabrikované rošty a rebrá, zostavené z prefabrikátov, prípadne sú tieto pomocné konštrukcie vybetónované priamo v mieste kotvenia. Pri návrhu a posudzovaní overujeme odolnosť voči pretrhnutiu kotvy v jej predpínacej časti, jej vytrhnutiu z koreňovej časti, priemer a dĺžku koreňovej časti pre upnutie požadovanej sily do horninového prostredia, ako aj internú stabilitu svahu s kotvou. Pre návrh a posúdenia platia príslušné normy a ostatné technické predpisy.

6.1.9 Obkladové múry

Pre ochranu častí svahov proti zvetrávaniu zhotovujeme kamenné obkladové múry, na väčšie plochy prefabrikované múry. Dobrý estetický vzhľad majú aj obkladové gabiónové múry kombinované so záchytnými konštrukciami. V súčasnosti tento spôsob ochrany svahov využívame skôr pri sanačných prácach, alebo rekonštrukčných prácach menšieho rozsahu. Typ obkladu (kamenný, prefabrikovaný, gabiónový) by mal byť navrhnutý podľa požiadaviek investora.

6.2 Pasívne opatrenia

Pasívne opatrenia sú tvorené hlavne zo systémov závojových spevnení z ocelových sietí, ľahkých tuhých bariér (plotov) do 100 kJ, flexibilných a dynamických bariér (100 – 10 000 kJ), ochranných valov (2 500 - 25 000 kJ). Účinky na pasívne opatrenia sa musia definovať vhodnou analýzou dynamického správania sa uvoľneného skalného bloku, aby bolo možné stanoviť jeho trajektóriu, rýchlosť a kinetickú energiu. Na základe týchto analýz je možné navrhnuť vhodné a dostatočné účinné pasívne opatrenie, [ZT3, ZT6].

Pre voľbu pasívnych konštrukcií a opatrení je potrebné vykonať analýzy kinematickej energie, ktorá sa môže pri uvoľnenom a rotujúcom bloku na svahu indikovať v mieste dopadu, zadržania [ZT4]. Návrhové parametre:

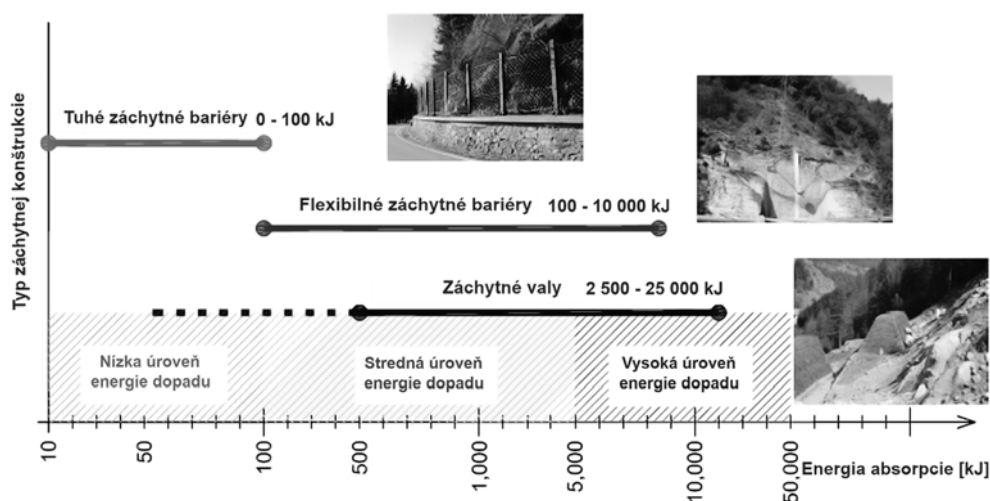
- **návrhová rýchlosť** v_d je definovaná ako nárazová rýchlosť zodpovedajúca 95% percentilu všetkých rýchlostí v_i z analýz padania skalných blokov $v_d = v_t \cdot \psi_F$, pričom koeficient

$\psi_F = \psi_{Tr} \cdot \psi_{Dp}$ kde ψ_{Tr} reprezentuje spoľahlivosť určenia trajektórie (1,02 pri spätnej analýze; 1,10 pri voľbe z literatúry) a ψ_{Dp} zohľadňuje presnosť topografického merania (1,02 vysoká; 1,10 stredná presnosť),

- **návrhová hmotnosť bloku** $m_d = (Vol_b \cdot \gamma) \cdot \psi_m$, kde Vol_b – je objem bloku, γ – objemová tiaž horniny a parciálny súčiniteľ $\psi_m = \psi_{VolF1} \cdot \psi_\psi$ pričom $\psi_{VolF1} = 1,02$ ak je presné zameranie a prieskum, $\psi_{VolF1} = 1,1$ ak nie je vykonané zameranie a koeficient ψ_ψ je presnosť určenia objemovej tiaže = 1,0.

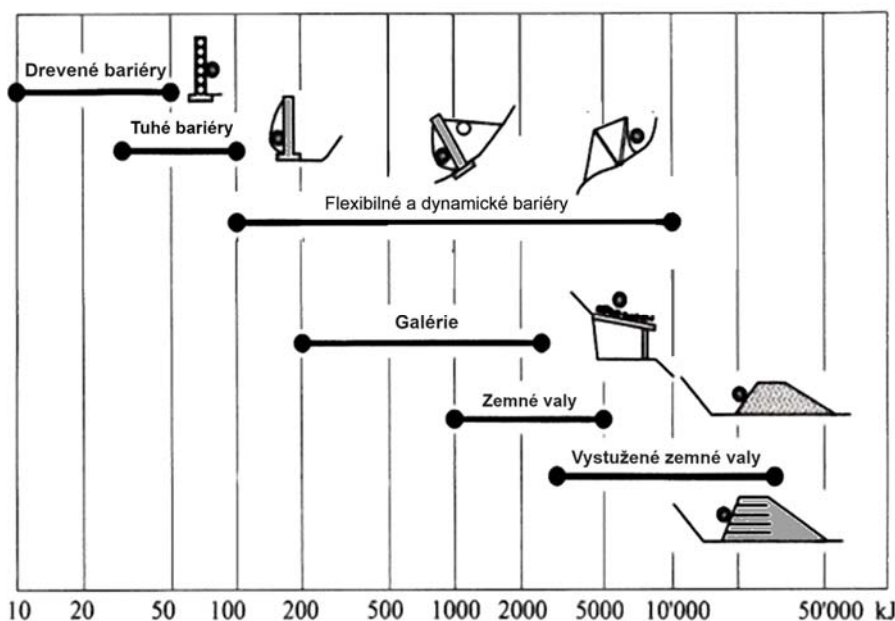
- **návrhová kinetická energia** E_{sd} sa vypočíta: $E_{sd} = \frac{1}{2} \cdot m_d \cdot v_d^2$.

- **návrhová výška** h_d je definovaná ako maximálna výška dráhy blokov zodpovedajúca 95% percentilu dosiahnutých výšok z analýzy padania skalného bloku + návrhový deformačný priestor bariéry.



Obrázok 10 - Prehľad pasívnych prvkov ochrany skalných svahov a zárezov

Typ pasívnych skalných opatrení sa volí s ohľadom na ich priestorové umiestnenie a schopnosť zachytiť padajúce skalné bloky. Voľba pre určenie typu pasívneho prvku na základe úrovne energie zadržania je prezentovaná na nasledovnom obrázku 11.



Obrázok 11 - Jednoduchá pomôcka pre určenie typu ochrannej konštrukcie na základe určenia maximálnej kinetickej energie [kJ]

Záchytné prvky a bariéry sa vždy testujú na dva typy kinetickej energie, a to SEL (Service Energy Level – prevádzková úroveň energie) a MEL (Maximum Energy Level – maximálna úroveň energie).

Pre návrh a posúdenie vhodnej bariéry platí:

$$E_{Sd} < E_{\text{barrier}} / \psi_E \quad (5)$$

kde: E_{Sd} – je návrhová kinetická energia [kJ],
 E_{barrier} – je záchytná schopnosť energie bariéry [kJ],
 ψ_E – je koeficient bezpečnosti pri uvažovaní prevádzkovej úroveň energie (SEL) = 1,0;
pri uvažovaní maximálnej úroveň energie (MEL) = 1,2.

6.2.1 Lahké tuhé ploty a drevené bariéry

Sú jednoduchým pasívnym prvkom ochrany na svahu. Navrhujú sa iba v prípadoch nízkej záchytnej energie do 100 kJ. Tam, kde je energia vyššia, musia sa navrhovať dynamické bariéry.

Minimálne požiadavky na projektovú dokumentáciu sú:

- situácia, geometrické zameranie riešenej oblasti,
- inžinierskogeologické posúdenie,
- vytyčovací výkres,
- technická správa,
- výkresová časť (pričné rezy, pohľady, vzorové rezy, detaily),
- výkaz výmer.

6.2.2 Dynamické bariéry

Dynamické bariéry sú pasívne záchytné plotové systémy tvorené zo sústavy prvkov umožňujúcich zachytenie padajúcich blokov vďaka svojej konštrukcii schopné pohltiť veľkú časť kinetickej energie.

Požiadavky pre návrh opatrenia:

- geometrické zameranie riešeného územia,
- definovanie geotechnických a geomechanických parametrov prostredia,
- definovanie nestabilných častí skalného svahu,
- definovanie tvaru a hmotnosti najrizikovejších skalných blokov,
- analýza trajektórie padajúcich skalných blokov s určením návrhovej kinetickej energie a návrhovej výšky,
- návrh a definovanie výkonnostných parametrov dynamickej bariéry v zmysle [ZT4] (min. energetická trieda, min. reziduálna výška, max. predĺženie bariéry po zásahu),
- návrh umiestnenia bariéry na svahu vzhľadom na morfológiu terénu a trajektóriu padajúcich blokov,
- definovanie geometrie bariéry (výška, dĺžka, vzdialenosť stĺpov),
- návrh a posúdenie založenia bariéry,
- návrh protikoróznej ochrany oceľových prvkov v závislosti od prostredia a návrhovej životnosti.

Minimálny obsah projektovej dokumentácie pre dynamické bariéry

- technická správa,
- geometrické zameranie riešenej oblasti,
- inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum alebo posudok,
- výkresová časť:
 - o situácia, vzorový priečny rez, charakteristické pričné rezy, pohľady na svah,
 - o vytýčenie, detaily,
- statický výpočet:
 - o určenie pravdepodobnej trajektórie padajúcich blokov,
 - o výpočet maximálnej záchytnej energie v mieste kontaktu s bariérou,
- výkaz výmer.

Klasifikácia dynamických bariér

Pre zatriedenie dynamických bariér sú použité rôzne klasifikácie pre SEL a MEL energie. Úroveň zadržania pre SEL (v kJ) sú 85, 170, 330, 500, 660, 1 000, a mimoriadna do 1 500 (tabuľka 5).

Energia nesmie byť menšia ako sa uvádzajú hodnoty v tejto tabuľke. Pre poslednú otvorenú klasifikáciu sa musí deklarovať príslušná hodnota SEL. Pre klasifikáciu 0, nie je vyžadovaná skúška SEL [ZT4].

Tabuľka 5 - Klasifikácia prvkov dynamických bariér podľa úrovne zachytnej energie

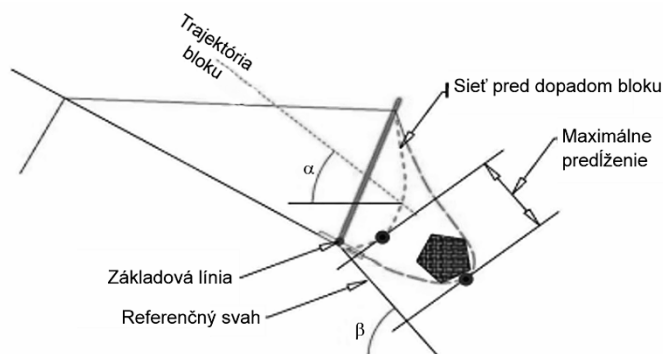
Klasifikácie úrovne energie	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL	-	85	170	330	500	660	1 000	1 500	>1 500
MEL $\geq$	100	250	500	1000	1500	2 000	3 000	4 500	>4 500

Klasifikácia pre zostatkovú výšku pre skúšku MEL sa stanovuje nasledovne:

- Kategória A: zostatková výška $\geq 50\%$ nominálnej výšky,
 Kategória B: 30% nominálnej výšky < zostatková výška < 50% nominálnej výšky,
 Kategória C: zostatková výška $\leq 30\%$ nominálnej výšky.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že je veľmi dôležité pri výbere a návrhu bariéry dbať na typ kategórie, pretože tá určuje zachytňú schopnosť dynamickej bariéry pre ďalšie dopady. Pravdepodobnosť, že medzi prvým dopadom a opravou bariéry nenastane žiaden ďalší náraz je veľmi nízka, a je preto je veľmi dôležité, aby bariéra dovtedy mala čo najväčšiu zostatkovú výšku a zachytňú plochu.

Rovnako dôležitým faktorom, ako je energetická trieda bariéry, je parameter maximálnej deformácie bariéry pri MEL teste. Tento je vyjadrený ako dĺžka (m) maximálneho kolmého posunu siete zachytňého poľa bariéry v smere dopadu bloku meraná rovnobežne s rovinou referenčného sklonu svahu, od najspodnejšieho počiatočného bodu siete zachytňého poľa bariéry pred MEL testom a po ňom, vid'. schéma na obrázku 12.



Obrázok 12 - Maximálna deformácia siete zachytňého poľa bariéry pri MEL teste

Deformácia bariéry je dôležitá s ohľadom na umiestnenie bariéry v teréne s ohľadom na chránenú infraštruktúru (v prípade obmedzených priestorových možností je nevyhnutné preferovať dynamické bariéry s čo najnižšou mierou deformácie).

Ďalším zásadným faktorom s ohľadom na návrh opatrenia pomocou dynamických bariér okrem parametra zostatkovej výšky a deformácie bariéry, je aj faktor, či po MEL teste vzniknú v bariére tzv. bočné medzery. V zmysle metodiky EAD 340059-00-0106, sú tieto bočné medzery definované ako:

- maximálne bočné posunutie siete zachytňého poľa bariéry (na vonkajšom stĺpiku) z jeho počiatočnej polohy, merané rovnobežne so základnou líniou (prístup 1), alebo
- maximálna vzdialenosť siete zachytňého poľa bariéry po skúške od počiatočnej polohy vonkajšieho stĺpika, meraná rovnobežne so základnou líniou (prístup 2).

Vznik bočných medzier po MEL teste má zásadný vplyv na spôsob návrhu dynamických bariér. V prípade, že po MEL teste vzniknú v zachytňom paneli bočné medzery, ktoré majú zásadný rozsah (dôjde k významnému zmenšeniu zachytňého plochy poľa dynamickej bariéry), projektant by mal v takomto prípade, pre prípad ďalšieho impaktu, zvážiť použitie dynamickej bariéry, ktorá bude dlhšia o jedno funkčné pole (zachytňý panel) na každom konci bariéry, tak, aby bol zachovaný rovnaký stupeň bezpečnosti, ako je uvažovaný v návrhu. Pre použitie v podmienkach SR sú povolené len dynamické bariéry, ktoré sú zaradené **do triedy A**.

Rovnako dôležitým faktorom, ako samotná energetická trieda bariéry, ktorý je pri návrhu bariéry potrebné vziať do úvahy, je aj parameter maximálnej deformácie bariéry pri MEL teste. Tento je vyjadrený ako dĺžka (m) maximálneho kolmého posunu siete zachytňého poľa bariéry v smere dopadu bloku meraná rovnobežne s rovinou referenčného sklonu svahu, od najspodnejšieho počiatočného bodu siete zachytňého poľa bariéry pred MEL testom a po MEL teste, podrobnejšie [ZT3] a [ZT4].

6.2.3 Závojové systémy z oceľových sietí

Jednoduché závojové systémy sú tvorené zo sietí inštalovaných pozdĺž svahu bez priebežných kotevných prvkov, uchytených len korune, prípadne v päte svahu. Sú určené na obmedzovanie trajektórie a rýchlosti padajúceho skalného bloku. Sú vhodné len v kombinácii s pozdĺžnou akumulácnou priekopou, alebo v prípade dostatočného priestoru pre akumulácie materiálu v päte.

Požiadavky pre návrh opatrenia:

- geometrické zameranie riešeného územia,
- definovanie geotechnických a geomechanických parametrov prostredia,
- definovanie hydrogeologických parametrov,
- definovanie nestabilných častí skalného svahu a rozsahu zvetrania,
- definovanie povrchovej diskontinuity a charakteru trhlín (tvar, drsnosť, výplň),
- identifikácia príčin nestability svahu a možných pohybov svahu,
- návrh postupu realizácie stabilizačných prác zohľadňujúc okolité podmienky,
- návrh a posúdenie oceľovej siete - pevnosť v ťahu, kolmé pretlačenie cez hlavu klinca,
- návrh a posúdenie kotviacich prvkov v korune - na ťah, strih a vytiahnutie z horninového masívu,
- posúdenie spolupôsobenia siete a kotviacich prvkov v korune,
- návrh a posúdenie kotvenia siete v päte svahu (ak je použité) v závislosti od navrhovaného objemu naakumulovaného materiálu pod oceľovou sieťou,
- návrh protikoróznej ochrany oceľových prvkov v závislosti od prostredia a návrhovej životnosti.

Minimálny obsah projektovej dokumentácie

- technická správa,
- geometrické zameranie riešenej oblasti,
- inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum,
- výkresová časť:
 - o situácia, vzorový priečny rez, charakteristické priečne rezy, pohľady na svah,
 - o vytýčenie, detaily,
- statický výpočet:
 - o geotechnické posúdenie stability pôvodného a upraveného svahu,
 - o návrh a posúdenie ochranných a stabilizujúcich konštrukcií,
 - o analýzy trajektórie padajúcich skál (pre bariéry, ochranné valy),
- výkaz výmer.

6.2.4 Oporné a zárubné múry

V prípade inžinierskych stavieb sú veľmi častým prvkom stabilizácie strmých svahov zárubné a oporné múry, ktoré umožňujú realizovať stavby v zmenšenom dopravnom priestore mestských zástavieb, alebo v prípadoch zložitého reliéfu územia.

Oporné a zárubné múry sa zhotovujú:

- z простého betónu, železobetónu, prefabrikovaného betónu, pohľadového betónu,
- kameňa - riadkového a kyklopského muriva,
- z betónu s kamenným obkladom.

Nakoľko bolo budovanie takýchto múrov zdĺhavé a náročné nielen na finančné prostriedky ale aj na pracovnú silu a nedala sa uplatniť mechanizácia murárskych prác, začali sa budovať subtilejšie tenkostenné obkladové a zárubné múry, pričom spevnenie pasívnej zóny svahu zárezu, násypu, respektíve odkopu sa dosiahne ich spriahnutím s horninovým masívom pomocou kotiev. Podľa hĺbky potenciálnej šmykovej plochy pod povrchom sa používajú prútové, alebo lanové kotvy, ktorých koreň musí byť uchytený v masíve za predpokladanou šmykovou plochou. V závislosti od technických možností dodávateľa, estetických požiadaviek, topografických a stabilitných podmienok sa volí spôsob ich výstavby.

Požiadavky na minimálny rozsah projektovej dokumentácie sú:

- technická správa,
- geometrické zameranie riešenej oblasti,
- inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum,
- výkresová časť:
 - o situácia, vzorový priečny rez, charakteristické priečne rezy, rozvinuté pohľady,
 - o vytýčenie, detaily,

- statický výpočet:
 - o geotechnické posúdenie stability pôvodného a upraveného svahu,
 - o návrh a posúdenie ochranných a stabilizujúcich konštrukcií,
- výkaz výmer.

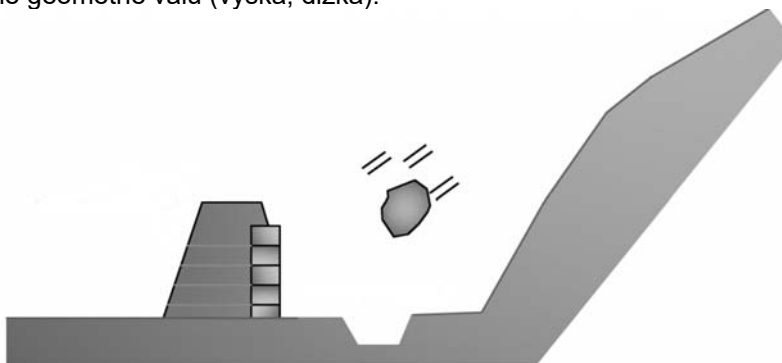
6.2.5 Vystužené strmé svahy a zemné valy

Vystužené strmé svahy a valy sa realizujú so zvislými stenami s vertikálnym lícovým prvkom vyplneným kamenivom alebo ako strmé svahy s prekladanými čelami a s vonkajšou konštrukciou z biodegradovateľného materiálu, ako zelené bezúdržbové svahy.

Zemné valy sú jednoduchým a účinným opatrením, ktoré dokážu zachytiť a absorbovať energiu rotujúcich blokov po strmých svahoch. V prípade valov sa môžu použiť modulárne systémy využívané pri vystužovaní zemín, pri vytváraní mechanicky stabilizovaných násypov. Základný prefabrikovaný prvok môže byť vyrobený z dvojzákrutovej ocelevej siete, geosyntetickej alebo biodegradovateľnej rohože, panelu zo zvaranej siete a oceľových podpier. Zemné valy môžu byť navrhnuté ako strmé svahy so sklonom 45 – 70°, alebo čiastočne zvislé alebo uklonené svahy opevnené drôtokamennými košmi, obrázok 13. Zásady navrhovania vystužených strmých svahov a oporných múrov z drôtokamenných košov sú popísané v [T4].

Požiadavky pre návrh týchto opatrení sú:

- geometrické zameranie riešeného územia,
- definovanie geotechnických a geomechanických parametrov prostredia,
- definovanie nestabilných častí skalného svahu,
- definovanie tvaru a hmotnosti najrizikovejších skalných blokov,
- analýza trajektórie padajúcich skalných blokov s určením návrhovej kinetickej energie a návrhovej výšky,
- návrh a posúdenie vnútornej stability (vrátane výstužných prvkov) a schopnosti ochranného valu pohltiť zásah skalným blokom bez narušenia jeho štruktúry (penetračnej hĺbky), dodávateľ musí doložiť návrhový model, ktorý je overený napr. modelovým výpočtom pomocou FEM analýzy,
- posúdenie ochranného valu na preklopenie a posunutie v základovej škáre, posúdenie celkovej stability ochranného valu,
- návrh umiestnenia valu na svahu vzhľadom na morfológiu terénu a trajektóriu padajúcich blokov,
- definovanie geometrie valu (výška, dĺžka).



Obrázok 13 - Schéma vystuženého ochranného valu s priekopou

Požiadavky na výkresovú dokumentáciu sú rovnaké ako pre 6.2.4.

6.2.6 Múry z drôtokamenných košov

Tieto esteticky dobre pôsobiace konštrukcie, nazývané aj gabiónové múry, sú používané pre novo budované konštrukcie dopravných stavieb, ale aj pre sanácie a rekonštrukcie múrov, sanácie zosuvov, budovanie protihlukových stien, spevňovanie a ochranu zvetraných skalných svahov.

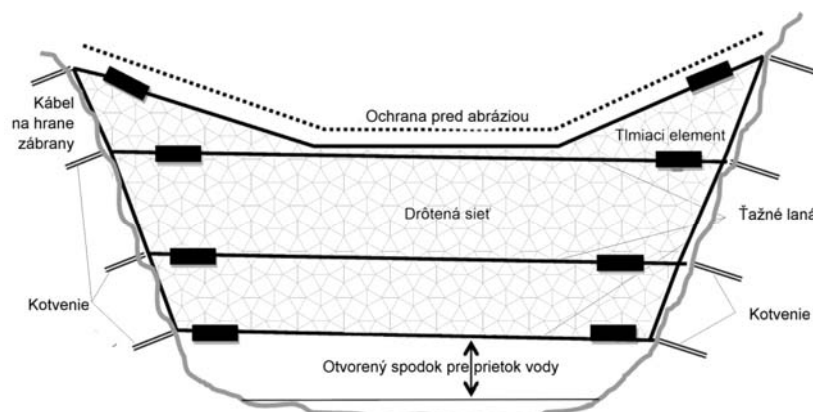
Hlavné výhody gabiónových konštrukcií:

- vysoká estetická úroveň,
- zlepšenie stabilitných pomerov v čase,
- možnosť budovať konštrukciu v zimnom období, bez mokrého procesu,
- výstavba bez technologických prestávok, bezdilačné riešenie, využívanie materiálov z miestnych zdrojov.

Drôtokamenné koše sú **zvárané** alebo **pletené** vyplnené kameňom, zhotovené priamo na mieste uloženia alebo plnené v lome a prepravené ako hotové na stavbu. Pri návrhu konštrukcie postupujeme podobne ako pri gravitačnom múre. Na oporné a zárubné múry sa uvažuje s pôsobením aktívneho zemného tlaku a s účinkami od pohyblivého zaťaženia. Následne sa určí vhodný vonkajší sklon – pre oporné múry je to 10:1, 7:1, 5:1. Pre aplikácie gabiónových múrov použitých v rámci ochrany skalných svahov sa preferujú tie gabiónové koše, ktoré majú vzhľadom na namáhanie, charakter prostredia, možné poškodenie priaznivejšie pevnostno-deformačné charakteristiky. Jednotné pravidlá pre realizáciu múrov z drôtokamenných košov sú popísané v [T4], praktické rady a skúsenosti sú v publikáciách [L5, L18].

6.2.7 Flexibilné záchytné bariéry pre sutinové prúdy

Pri vedení komunikácií a železničných tratí horskými oblasťami, častokrát nastáva fenomén ich zaplavenia nánosmi sutinového prúdu. Deje sa tak pri intenzívnych dažďoch alebo aj pri rýchlom topení sa snehu v horských oblastiach, kedy aj malé občasné potoky, po niekoľkonásobnom zvýšení prietoku vody po strmom svahu strhávajú zo sebou erodované úlomky skalného podložja – vznikajú tzv. sutinové prúdy.

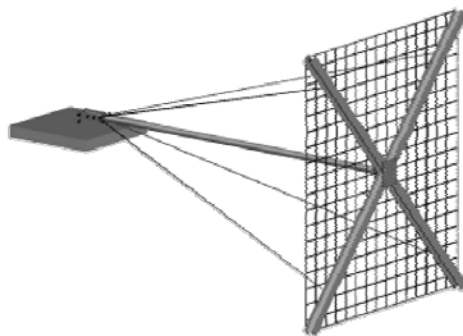


Obrázok 14 - Základné usporiadanie typickej flexibilnej zábrany pre sutinové prúdy

Flexibilné zábrany inštalujeme do miest s predpokladaným prúdom, ešte pred vyústením k blízkosti komunikácie. Skladajú sa zo zakotvených horizontálnych lán s tlmivými elementami po okrajoch, na ktorých je naviazaná záchytná flexibilná sieť. Výkonnosť flexibilných zábran je definovaná schopnosťou pohltiť statické a dynamické zaťaženie od sutinového prúdu počas celého trvania sutinového prúdu až do momentu údržby (vyčistenia) bariéry. Pri skúškach flexibilných bariér sa takisto sleduje a zaznamenáva maximálna deformácia bariéry. Flexibilné zábrany podľa konštrukcie rozlišujeme na zábrany so stĺpmi (dĺžka $L > 15\text{m}$) a zábrany bez stĺpov (dĺžka $L < 15\text{m}$). Zábrany bez stĺpov sa skladajú zo zakotvených horizontálnych lán s tlmivými elementami po okrajoch, na ktorých je naviazaná záchytná flexibilná sieť, obrázok 14. Flexibilné bariéry sa navrhujú na záchytné tlaky od 60 kPa do 280 kPa.

6.2.8 Pyramídálne stabilizačné konštrukcie

Pyramídálna stabilizačná konštrukcia (obrázok 15) sa používa na povrchovú stabilizáciu zosuvov, sutinových prúdov a lavín.

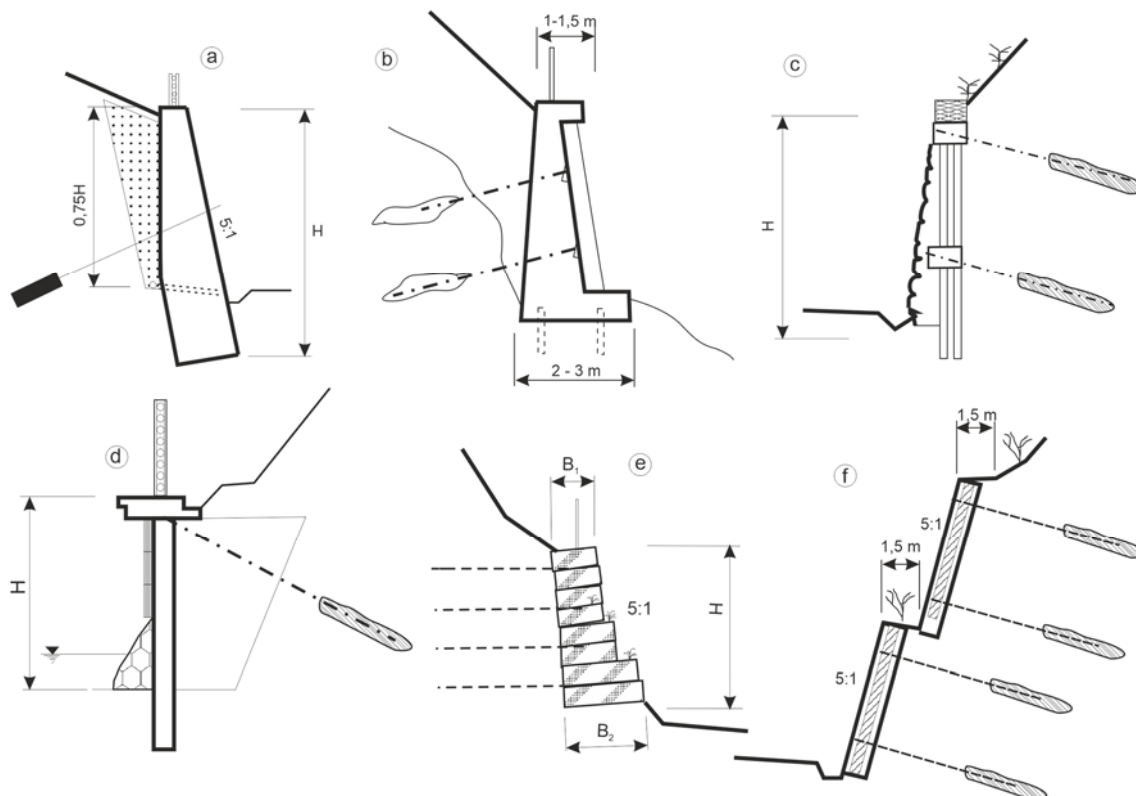


Obrázok 15 - Príklad pyramídálnej stabilizujúcej konštrukcie

Je to ľahká modulárna konštrukcia s pyramídálnou geometriou s jedným zakotvením. Kotviacim prvkom môže byť betónová doska, oceľová doska, lanová kotva, alebo sámozávrtná injektovaná kotva v závislosti od miestnych geologických podmienok a návrhu konštrukcie.

6.2.9 Kombinované spôsoby zabezpečenia stability svahov

Prispievajú k celkovej stabilite zemných konštrukcií. Sú tvorené predovšetkým odvodňovacími a stabilizačnými rebrami, ktoré sú účinným opatrením, klasickými zárubnými a opornými múrmi, podmurovaním a podchycovaním previsov, (obr. 16). Z uvedených metód plynie zistenie, že na sanáciu zosuvov sa vo väčšine prípadov používa kombinácia viacerých sanačných opatrení. Či už je to kombinácia kotvenia zárubných a oporných múrov, alebo kombinácia kotvenia s plošným spevňovaním kľincovaním a torkrétom spolu s kotvením cez vystužené monolitické prahy.



Obrázok 16 - Príklady oporných a zárubných konštrukcií dopravných stavieb, [L5]

- a) gravitačný múr b) kotvený múr vo svahu na mikropilótach c) dvojradová kotvená mikropilótová stena d) kotvená pilótová stena e) gabiónový oporný múr f) kotvený zárubný múr s vystuženými rebrami a výplňou medzi nimi

Nevyhnutnou súčasťou každej z uvedených metód je odvodnenie aktívnej zóny a odvedenie povrchových vôd nad aktívnou zónou zosuvu. Optimálne využitie jednotlivých metód závisí od dostatočne presného určenia príčin nestability prieskumom, odbornej a technickej vyspelosti projekčných a stavebných organizácií.

6.2.10 Záchytné steny, galérie, tunely

Zriaďovanie záchytných stien a galérií možno zaradiť medzi klasické technické opatrenia, ktoré využívame na zabezpečenie prevádzky stavebného diela pod svahom, pričom nezväčšujú výrazne stabilitu svahu. Záchytné steny sa využívajú na zachytávanie úlomkov horniny padajúcich zo steny prípadne na zachytenie drobných úlomkov a zeminy splavované zo steny.

Príťaženie a čiastočné podopretie päty svahu sú iba sekundárnym stabilizačným faktorom. Záchytný priestor za opadovou stenou sa musí pravidelne čistiť. Galérie zriaďujeme na ochranu líniových dopravných stavieb, potrubných vedení a iných vedení na exponovaných svahoch v horskom teréne, ktoré ohrozujú uvoľnené balvany, skalné a snehové lavíny, plytké zosuvy atď. Tým, že galéria

prekrýva komunikáciu alebo železničnú trať a podopiera svah je zabezpečená nepretržitosť prevádzky. Najčastejšie sa galérie budujú vo vysokohorskom teréne na príjazdoch k priesmykom a tunelom.

Pri návrhu stien, galérií a tunelov musíme vyriešiť:

- návrhovú výšku a posúdiť konštrukcie stĺpov, dosiek,
- navrhnúť zakladanie stĺpov na vonkajšej časti,
- navrhnúť vrstvu alebo systém pre tlmenie alebo rozptyľovanie nárazov na stropnú časť galérie;
- systémy na odvádzanie a zber vody.

6.2.11 Záchytné prvky proti pádu lavín

Tento predpis nerieši špecifiká návrhu protilavínových zábran, ich návrh je podobný s plošnou stabilizáciou povrchu skalného svahu. Protilavínovú funkciu plnia aj záchytné konštrukcie, ich funkcie je možné kombinovať. Používajú sa jednoduché drevené bariéry alebo jednoduché oplotenia, ťažké oplotenia a bariéry vo viacerých radoch za sebou.

7 Technologické spôsoby zhotovenia ochranných a stabilizujúcich konštrukcií

7.1 Postup pri realizácii aktívnych opatrení

7.1.1 Plošná stabilizácia skalných svahov

- očistenie skalného svahu od vegetácie a nestabilných častí,
- realizácia dočasných ochranných opatrení na zabezpečenie bezpečnosti pri realizácii sanačných prác,
- presuny materiálu na miesto inštalácie (v závislosti od dostupnosti ručne, žeriavom, letecky)
- vytýčenie polohy klincov,
- vŕtanie a realizácia kotviaceho systému,
- ukotvenie plošných prvkov (ochranných oceľových sietí, výstužných rohoží...) v korune cez pozdĺžne lano,
- inštalácia ochranných sietí v zmysle inštalačného manuálu výrobcu,
- osadenie platní na klince a ukotvenie ochranných sietí,
- inštalácia doplnkových kotiev, tak aby sieť čo najviac kopírovala profil svahu,
- dokončovacie práce.

7.1.2 Odvodnenie svahov

- očistenie skalného svahu od vegetácie a nestabilných častí,
- úprava odvodňovacích prvkov,
- injektáž puklín a súvisiace práce, výplň kaverien, podmurovanie,
- zachytenie prameňov a výronov na svahu vyhlbením rebier a ich vyplnením štrkodrvinou, drôtenými košmi a pod.,
- napojenie odvodňovacích prvkov do systému odvodnenia komunikácie, alebo železničnej trate,
- dokončovacie práce.

7.2 Postup pri realizácii pasívnych opatrení

7.2.1 Dynamické bariéry

- realizácia musí byť v zmysle inštalačného manuálu výrobcu,
- očistenie skalného svahu od vegetácie a nestabilných častí,
- realizácia dočasných ochranných opatrení na zabezpečenie bezpečnosti pri realizácii sanačných prác,
- vytýčenie polohy bariéry, prípadne spresnenie jej polohy podľa skutočného tvaru očisteného svahu,
- presuny materiálu na miesto inštalácie (v závislosti od dostupnosti ručne, žeriavom, letecky),
- realizácia založenia bariéry – vŕtanie a osadenie kotviaceho systému stĺpov, horného a bočného kotvenia,
- v prípade, že tvar terénu vytvára v pôdorysnom usporiadaní bariéry zlom, je potrebné osadiť prídavné spodné kotvenie stĺpa bariéry,
- realizácia betónových pätiiek pod stĺpmi bariéry,
- montáž stĺpov bariéry,

- montáž horných kotviacich lán a upevnenie stĺpov do požadovanej pozície,
- montáž vrchného a spodného pozdĺžneho kotviaceho lana,
- montáž záchytného panelu na pozdĺžne laná,
- kontrola dostatočného napnutia lán a utiahnutia matíc a svoriek,
- dokončovacie práce.

7.2.2 Ochranné valy z vystužených zemín

- realizácia dočasných ochranných opatrení na zabezpečenie bezpečnosti pri realizácii sanačných prác,
- vytýčenie polohy ochranného valu,
- príprava základovej škáry a založenia ochranného valu,
- presuny materiálu na miesto inštalácie,
- inštalácia systému ochranného valu v zmysle inštaláčného manuálu výrobcu,
- realizácia a hutnenie spätného zásypu v zmysle zásad budovania zemných konštrukcií,
- postupné budovanie valu až po dosiahnutie finálnej výšky konštrukcie,
- aplikácia vhodného hydroosevu (v prípade valov so zeleným lícom),
- dokončovacie práce.

7.2.3 Závojové systémy z oceľových sietí

- očistenie skalného svahu od vegetácie a nestabilných častí,
- realizácia dočasných ochranných opatrení na zabezpečenie bezpečnosti pri realizácii sanačných prác,
- vytýčenie polohy klinec v korune svahu,
- presuny materiálu na miesto inštalácie (v závislosti od dostupnosti ručne, žeriavom, letecky),
- vŕtanie a realizácia kotviaceho systému,
- ukotvenie ochranných oceľových sietí v korune cez pozdĺžne lano,
- inštalácia ochranných sietí v zmysle inštaláčného manuálu výrobcu,
- inštalácia doplnkových kotiev, tak aby sieť čo najviac kopírovala profil svahu,
- realizácia kotvenia a ukotvenie siete v päte svahu (ak je navrhnuté),
- dokončovacie práce.

8 Materiálové a technické požiadavky na stabilizujúce prvky a konštrukcie

Ochranné a stabilizujúce konštrukcie, vzhľadom na svoju dôležitosť a funkciu musia spĺňať minimálne materiálové a technické požiadavky. Kapitola 6 popisuje široký rad stabilizujúcich konštrukcií a prvkov, niektoré z nich sú bežne používané konštrukcie, ktoré je možné použiť aj na aplikácie ochrany skalných svahov (napr. gabióny, vystužené ochranné valy, atď.) Návrh týchto konštrukcií podlieha príslušným technickým normám a sú popísané aj v [T4]. Táto kapitola pojednáva o konštrukciách a stabilizačných prvkoch, ktoré nie sú zahrnuté v [T4] a poväčšine nepodliehajú ani žiadnej harmonizovanej norme.

8.1 Ochranné oceľové siete a panely

Ochranné oceľové siete a vysokopevnostné panely sú špecifické produkty a pre účely stabilizácie skalných svahov nepodliehajú žiadnej harmonizovanej norme a pre každý typ materiálu bol vypracovaný tzv. EAD (*European Assessment Document*), na základe ktorého sú materiály certifikované. Dokumenty EAD v prípade neexistencie normy stanovujú základné charakteristiky materiálov, spôsob testovania, systém certifikácie a označovania výrobkov, [ZT1, ZT2, ZT5].

Technické požiadavky na vybrané typy oceľových ochranných sietí a panelov:

- dvojzákrutová sieť,
- dvojzákrutová sieť s pozdĺžne (príp. priečne) vpletenými lanami, alebo iným spôsobom priemyselne spojená dvojzákrutová sieť s lanami v rôznych vzdialenostiach, čo potom definuje výslednú návrhovú pevnosť siete,
- lanový panel tvorený diagonálne alebo ortogonálne spletenými lanami rovnakej pevnosti, panel je možné vyrobiť ako kompozit so zabudovanou dvojzákrutovou sieťou,
- lanový panel pre vysokú zádržnú schopnosť (HEA) tvorený diagonálne alebo ortogonálne spletenými lanami s rovnakou pevnosťou v oboch hlavných smeroch,
- sieť s voľnými diagonálnymi okami (tzv. chain link) s vysokou pevnosťou ocele.

- nie je možné používať systémy alebo riešenia, ktoré nemajú overené technické parametre vstupujúce do návrhu stabilizačného opatrenia, tzn. pevnosť v ťahu, únosnosť, deformácie v pretlačení definované príslušnými normami a EAD dokumentmi.

Pri uvádzaní parametrov v prípade kompozitných sietí a panelov (priemyselne spojená dvojzákrutová sieť s lanami, alebo lanovými panelmi) musí byť zrejmé, že materiál bol testovaný ako kompozit. Nie je akceptovateľné udávať technické parametre a výkonnosť jednotlivých častí samostatne testovaných. Pri navrhovaní vhodného typu vysokopevnostnej siete (panelov) treba vziať do úvahy aj deformácie siete pri zaťažení. V prípade, že projekt vyžaduje limitované deformácie, vtedy je vhodnejšie pristúpiť k materiálom s lanovými prvkami. Uvedené hodnoty sú minimálne možné pre použitie na daný účel, nemôžu byť však považované za vhodné pre každý účel použitia. Pri navrhovaní stabilizačných ochranných opatrení je nutné posúdiť každý problém individuálne a navrhnúť vhodné riešenie pre danú lokalitu.

Tabuľka 6 - Technické požiadavky na vybrané typy oceľových ochranných sietí a panelov

Informácia, vlastnosť	Oceľová ochranná sieť podľa typu aplikácie		Panely z oceľových lán s priebežným kotvením
	s kotvením len v korune	s priebežným kotvením	
Pevnosť v ťahu v hlavnom smere (podľa príslušného EAD)	$\geq 75 \text{ kN/m}$	$\geq 100 \text{ kN/m}$	$\geq 160 \text{ kN/m}$
Únosnosť v pretlačení ISO 17 746, Príloha B	$\geq 80 \text{ kN}$	$\geq 125 \text{ kN}$	$\geq 200 \text{ kN}$
Deformácia pri max. pretlačení ISO 17 746, Príloha B	$\leq 450 \text{ mm}$	$\leq 450 \text{ mm}$	$\leq 360 \text{ mm}$

Požiadavky na povrchovú ochranu oceľových drôtov sú definované podľa STN EN 10223-3. Pri použití ochranných sietí s protieróznou rohožou je potrebné definovať okrem pevnostných charakteristík oceľových sietí aj faktor ochrany svahu podľa ASTM D 6459 [ZT7], ktorý charakterizuje schopnosť protieróznej ochrany zvýšiť povrchovú odolnosť chráneného svahu.

8.2 Oceľový stabilizačný systém 3D

Tento typ stabilizácie je vo forme 3D roštu výšky 60 - 100 mm. Systém je zložený z jednotlivých panelov, ktoré sú vzájomne previazané viazacími slučkami a vystužené v dvoch diagonálnych smeroch pomocou distribučných tyčí [L9]. Oceľový systém je kotvený do svahu pomocou vlastných systémových T-profilových tyčí, resp. je možné ho upevniť aj na existujúce klince / kotvy. 3D systém je vyplnený zmesou vegetačnej zeminy a kameniva pre finálnu úpravu s vegetáciou, resp. iba kamenivom fr.32/63mm pre finálnu bezúdržbovú úpravu. V prípade návrhu vyplnenia kamenivom fr. 32/63 pri väčších sklonoch svahu je nutné doplniť na líce tohto systému po celej jeho ploche ochrannú sieť. Rozmer oka siete musí byť menší ako najmenšie zrno kameniva, materiál siete musí mať min. životnosť rovnakú ako samotný oceľový systém.

Kontrolované technické parametre systému:

- hrúbka 3D oceľovej konštrukcie,
- odolnosť 3D roštu min. 70,0 kN, (pre všetky hrúbky plechov a všetky výšky roštu),
- odolnosť zemných klinčov 12,0 kN, tyč $\varnothing 10 \text{ mm}$; $\varnothing 12 \text{ mm}$ pri jednostrannom namáhaní,
- odolnosť zemných klinčov 29,0 kN, tyč $\varnothing 10 \text{ mm}$; $\varnothing 12 \text{ mm}$ pri symetrickom namáhaní,
- odolnosť spojovacích prvkov 100,0 kN,
- počet hodín v umelej atmosfére 1 536 hod., (soľná hmla pri vzniku hnedej hrdze na ploche menej ako 5% plochy vzorky), pre žiarovo pozinkované komponenty (zemné klince a spojovacie prvky).

8.3 Požiadavky pre budovanie ochranných valov

Pre budovanie ochranných valov sa používajú výstužné a protierózne prvky - pletené a zvárané drôtokamenné koše, oceľové siete, geomreže, geotextílie a kombinované geosyntetické výrobky.

Tabuľka 7 - Minimálne parametre vybraných výstužných prvkov pre ochranné valy

Typ	Hodnota*	Norma
Zvárané drôtokamenné koše		
Typ oceľovej siete	25x100, 50x100, 100x100	STN EN 10223-8
Priemer oceľového drôtu	ø 3,5 – 6,0 mm	STN EN 10 223-3
Ťahová pevnosť drôtu	min. 400 MPa	STN EN 10223-8
Pevnosť zvaru	min. 75% pevnosti drôtu	STN EN 10223-8
Povrchová ochrana oceľového drôtu	Zn+5%Al, trieda A	STN EN 10244-2;
Odolnosť voči korózii v skúške v soľnej hmle do vzniku 5% korózie na povrchu	min. 2 000 h	STN EN ISO 9227
Pletené koše a siete **		
Typ oceľovej siete - dvojzákrutová	80x100 mm	STN EN 10223-3
Priemer oceľového drôtu (vnútorný/vonkajší)	ø 2,70/3,70 mm	STN EN 10218-2
Ťahová pevnosť drôtu	min. 350 MPa	STN EN 10223-3
Odolnosť siete voči pretlačeniu	min. 67 kN	STN EN ISO 12236
Ťahová pevnosť siete	min. 55 kN/m	STN EN 10223-3
Modul elasticity a pretvorenie siete (pri priťaženi 75 kPa)	min. 1000 kN/m, 5%	STN EN 13738, ASTM D6706
Povrchová ochrana oceľového drôtu	Zn+5% Al, trieda A + polymérna ochrana	STN EN 10244-2; STN EN 10245-1
Odolnosť voči korózii v skúške v soľnej hmle do vzniku 5% korózie na povrchu siete	min. 2000 h	STN EN ISO 9227
Zníženie mechanických vlastností (predĺženie a pevnosť v ťahu) polymérnej ochrany po vystavení 2500 hodín Q-UVA žiareniu	max. 25 %	STN EN ISO 4892-3
Dlhodobá návrhová ťahová pevnosť (so zohľadnením redukčných súčiniteľov pre teplotu 20°C, 4< pH <9, zásypový materiál frakcie d ₉₀ < 38 mm a návrhovú životnosť 120 rokov) ***	min. 39,8 kN/m	[ZT5], STN EN 10218-1, ISO TR 20432

* Všetky hodnoty musia byť preukázané Vyhlásením o parametroch, alebo protokolmi zo skúšok spracovaných nezávislou akreditovanou inštitúciou alebo organizáciou.

** Systémový výstužný blok z dvojzákrutových sietí musí byť vyrobený a certifikovaný podľa EAD [ZT2].

*** Hodnoty redukčných súčiniteľov pre výpočet dlhodobej ťahovej pevnosti deklarované dodávateľom musia byť verifikované nezávislou akreditovanou inštitúciou (napr. BBA, TSUS), inak je nutné uplatnenie celkového redukčného súčiniteľa RF=2.

Požiadavky na kamenivo a materiál zásypov sú predmetom geotechnického návrhu, podobne parametre výstužných geomreží zemných valov musí byť overené statickým výpočtom a musia byť v súlade s podmienkami [T4].

8.4 Dynamické bariéry

Dynamické bariéry sú veľmi špecifický konštrukčný systém. Pre tento systém nebola vydaná harmonizovaná norma a testovanie, skúšanie a vydávanie CE certifikátov sa riadi podľa Európskeho dokumentu EAD 340059-00-0106 [ZT3], ktorý nahradil v r. 2013 dovtedy platný ETAG 027 s názvom „Zostavy pre ochranu pred padajúcimi skalami“. Tento dokument presne stanovuje jednotnú metodiku testovania dynamických bariér tak, aby systém od každého výrobcu označený danou klasifikáciou a energetickou triedou spĺňal minimálne požiadavky.

8.4.1 Základné princípy testovania dynamických bariér

Všetky certifikované dynamické bariéry musia byť testované v mierke 1:1 na skúšobnom mieste schopnom zabezpečiť zrýchlenie kalibrovaného betónového bloku na požadovanú skúšobnú rýchlosť a nárazu do siete bariéry s potrebnou presnosťou. Skúšobné miesto ako aj všetky testy sú pod kontrolou nezávislej notifikovanej osoby. Všetky dynamické bariéry sa testujú ako trojpoľové, štandardne so vzdialenosťou stĺpov 10,0 m. Blok musí vždy pri teste dopadnúť do stredu centrálného poľa.

Dynamické bariéry sa vždy testujú na dva typy kinetickej energie, a to SEL (Service Energy Level – prevádzková úroveň energie) a MEL (Maximum Energy Level – maximálna úroveň energie).

Pri SEL testoch sa vykonávajú dva nárazy bloku s rovnakou kinetickou energiou. Test vyhoví v prípade, že bariéra je schopná pohltiť danú energiu a redukcia výšky bariéry (tzv. residual height) je v danom limite.

MEL test je vykonávaný iba jedným dopadom (nárazom bloku). Tento test stanovuje maximálnu možnú energiu, ktorú je daná bariéra schopná pohltiť. Výsledkom testu je tak isto reziduálna (zostatková) výška bariéry a maximálne predĺženie (deformácia siete pri dopade bloku). MEL test sa vždy vykonáva po SEL teste na tej istej bariére po potrebných opravách, alebo na novej bariére, avšak výrobca už pred testom musí stanoviť jeden z týchto dvoch postupov.

8.4.2 Označovanie dynamických bariér

Podľa Smernice 93/68/EEC označenie CE pozostáva z písmen „CE“ vo forme uvedenej v Smernici, za ktorým nasleduje číslo notifikovanej osoby, ak ho je možné použiť. Pre výrobky, na ktoré sa vzťahuje Smernica Rady 89/106/EEC musí byť dané číslo notifikovanej osoby na prefabrikované stavebné bunky, ako pre systém preukazovania zhody 1.

Označenie CE zostavy pre ochranu pred padajúcimi skalami musí byť sprevádzané nasledovnými informáciami:

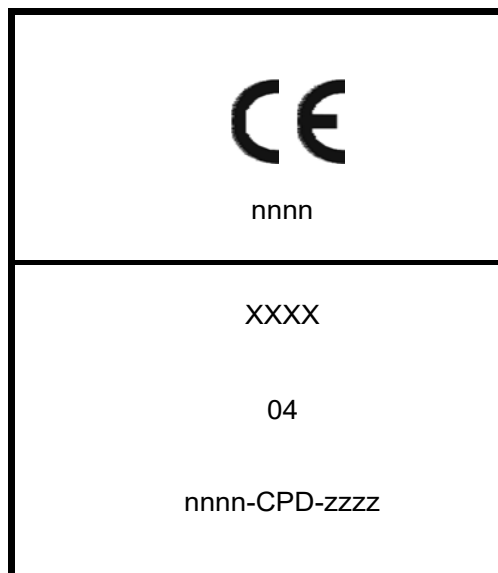
- názov a adresa výrobcu (právnickej osoby zodpovednej za výrobu),
- posledné dve čísla roku, v ktorom bolo CE označenie umiestnené na výrobok,
- číslo CE certifikátu zhody pre výrobok,
- číslo európskeho technického osvedčenia,
- vyznačenie klasifikácie úrovne energie a kategória reziduálnej výšky pre maximálnu úroveň energie podľa článku 2.4.3.2 v tomto návode na ETA.

Umiestnenie CE označenia

CE označenie ako príklad 1 sa môže pripevniť na každý stĺp zostavy. Môže byť zhotovený z kovového štítku alebo sa otláči pečiatkou na stĺp.

CE označenie ako príklad 2 sa môže upevniť na obal zostavy a iné komponenty.

Príklad 1



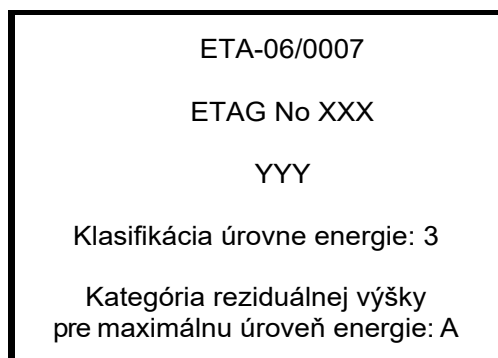
- Písmená "CE"

- Identifikačné číslo notifikovanej osoby, ktorá vykonala preukázanie zhody (certifikačný orgán)

- Názov a adresa výrobcu (právnickej osoby zodpovednej za výrobu)

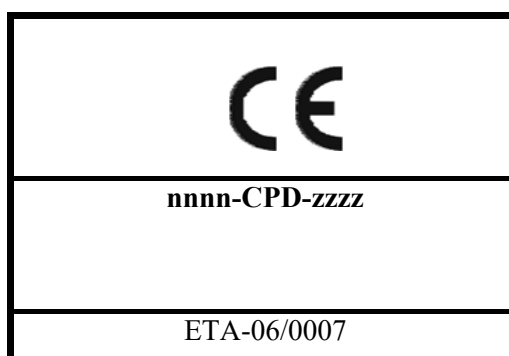
- Posledné dve čísla roku, v ktorom bolo pripevnené označenie CE

Číslo certifikátu zhody CE (pozostáva z čísla notifikovanej osoby, ktorá vykonala preukázanie zhody ("nnnn") – CPD – číslo certifikátu zhody CE ("zzzz")



- Číslo európskeho technického osvedčenia
- Číslo ETAG a dátum vydania
- Korešponduje definícii výrobku (vrátane možnosti použiť obchodnú značku)
- Trieda podľa čl. 2.4.3.2 v ETAG-u
- Kategória podľa čl. 2.4.3.2 v ETAG-u

Príklad 2



- Písmená "CE"
- Číslo certifikátu zhody CE (pozostáva z čísla notifikovanej osoby, ktorá vykonala preukázanie zhody ("nnnn") – CPD – číslo certifikátu zhody CE ("zzzz")
- Číslo európskeho technického osvedčenia

9 Údržba a obnova ochranných a stabilizujúcich konštrukcií

Ochranné a stabilizujúce konštrukcie majú svoju životnosť a v prípade zachytávania skalných blokov, sutín, drevín a pod., vyžadujú si špeciálnu starostlivosť, aby ich funkcia nebola znížená a takisto sa neskrátila doba ich životnosti. Napríklad v prípade dynamickej záchytnej bariéry hrozí riziko opätovného pádu bloku, ktorý bariéra nezachytí, navyše dôjde k poškodeniu jej prvkov. Ochranné a stabilizujúce konštrukcie musíme preto pravidelne sledovať a kontrolovať. Pravidelné vykonávanie prehliadok je nutné z dôvodu včasného odhalenia porúch skalných svahov a stabilizujúcich konštrukcií.

Je vhodné vyhotoviť **plán údržby** ochranných a stabilizujúcich konštrukcií platný v rámci organizácie spravujúcej tieto konštrukcie a zosúladiť ho s plánmi údržby a obnovy príslušných objektov, pre dosiahnutie bezpečného a ekonomického systému spravovania komunikácií. Každá špeciálna konštrukcia musí mať spracovaný **plán údržby** (užívateľský manuál), ktorý **zhotoviteľ špeciálnych prác odovzdá investorovi** po jej dokončení a uvedení do prevádzky. Manuál užívania musí presne definovať podmienky používania tak, aby bola počas celej životnosti konkrétne zrealizovaného technického riešenia zabezpečená jeho funkčnosť a zároveň boli dodržané podmienky pre uplatnenie prípadných reklamácií. Všetky vykonané prehliadky a zásahy do konštrukcií je nutné evidovať ako súčasť plánu údržby. V prípade, že jestvuje projekt monitoringu sanovaných úsekov skalných svahov a zárezov, je vhodné zosúladiť požiadavky monitoringu a plán údržby a obnovy ochranných a stabilizujúcich konštrukcií.

9.1 Prehliadky skalných svahov a zárezov

Pravidelné prehliadky a revízie zásadného významu sa musia vykonávať po zimnom období, najlepšie v mesiacoch marec až máj. Frekvencia prehliadok je závislá na miere nebezpečenstva padania kameňov a skalného rútenia, čo je dané geologickým charakterom lokality, t. j. stupňom zvetrania, náchylnosťou horniny k zvetrávaniu, výške steny apod.

Revízie prehliadky musia vykonávať viacerí odborní pracovníci za účasti geológa alebo geotechnika. Výsledkom revízie musí byť revízná správa. Súčasťou revíznej správy musí byť fotodokumentácia, zameranie a lokalizácia porúch, geologický posudok a prípadne návrh opatrení. Podľa výsledkov revízie sa vyberú úseky, ktoré nie je možné bežnou údržbou dostať na bezpečnú úroveň a je nutné ich sanovať. V prípade, že skalný svah pokračuje aj nad umelo vytvorenou strmou stenou zárezu (odrezu), je nutné venovať pozornosť aj vyššie situovaným polohám. Je dôležité posúdiť pravdepodobnosť zasiahnutia trati alebo komunikácií aj z týchto miest.

Mimoriadne prehliadky je potrebné vykonávať vždy po výrazných meteorologických udalostiach, napr. po náhlom odmäku v zimnom období, po veľkých privalových dažďoch a po dlhotrvajúcich dažďoch. Je vhodné spojiť prehliadky skalných svahov a zárezov a ochranných a stabilizujúcich konštrukcií.

9.2 Prehliadky ochranných a stabilizujúcich konštrukcií

V rámci prehliadok konštrukcií rozlišujeme:

- pravidelné prehliadky realizované spravidla dva-krát ročne odborníkmi alebo školenými osobami,
- revízne prehliadky realizované každých 5 až 10 rokov odborníkmi,
- mimoriadne prehliadky po udalostiach napr. po zrútení skál,
- testovacie prehliadky vykonané interdisciplinárnym odborným tímom.

Druh, frekvencie a spôsob vykonávania prehliadok musí stanoviť zhotoviteľ v manuáli užívania konštrukcií (užívacej dokumentácii), ktorý spracuje pre správcu. Pri stanovovaní podmienok prehliadok je potrebné zohľadniť dôležitosť ochranných a stabilizujúcich konštrukcií pre bezpečnosť iných stavieb a obyvateľstva a náročnosť vykonávania prehliadok. Je preto vhodné spojiť prehliadky týchto konštrukcií s prehliadkou príslušných stavieb (napr. diaľnic, ciest alebo železníc) tak, aby bolo možné čo najskôr identifikovať potenciálne riziko ohrozujúce bezpečnosť v danom území.

Výstupom prehliadok by malo byť hodnotenie stavu ochranných a stabilizujúcich konštrukcií, na základe ktorého by sa stanovili opatrenia pre vykonanie nápravy jestvujúceho stavu. Vzhľadom na veľký rozsah používaných konštrukcií a rozsiahly súbor vplyvov pôsobiacich na tieto konštrukcie, je potrebné pri hodnotení konštrukcií postupovať individuálne a aj návrh opatrení by mal reflektovať podmienky daného miesta osadenia konštrukcie. Každý výrobca konštrukčného systému musí mať vypracovaný tzv. manuál údržby, ktorý stanovuje presné postupy a intervaly kontroly jednotlivých častí konštrukcie a spôsob ich opravy resp. výmeny (viď príklad postupu podľa schémy na obrázku 17).

9.2.1 Pravidelné prehliadky

Zameriavajú sa najmä overenie funkčnosti bariér a zádržných zariadení, deformácie a poruchy konštrukcií (korózia), nahromadený horninový materiál za bariérami apod.

9.2.2 Revízne prehliadky

Zahŕňajú kontrolu stavu a funkčnosti jednotlivých komponentov konštrukcií najmä so zameraním na životnosť prvkov nevyhnutných pre plnohodnotnú funkčnosť konštrukcie. V prípade oceľových prvkov je potrebné skúmať najmä vplyv korózie a poškodenie ochrany proti korózii. V prípade drevených a betónových konštrukcií je potrebné skúmať vplyv klimatických, biologických a chemických faktorov na životnosť a funkčnosť prvkov počas návrhovej životnosti.

9.2.3 Mimoriadne prehliadky

Cieľom je zhodnotiť stav a funkčnosť konštrukcií po udalosti, napr. pádu skál, ktoré konštrukcia zachytila. Po výskyte udalosti je odporúčané vykonať testovaciu prehliadku.

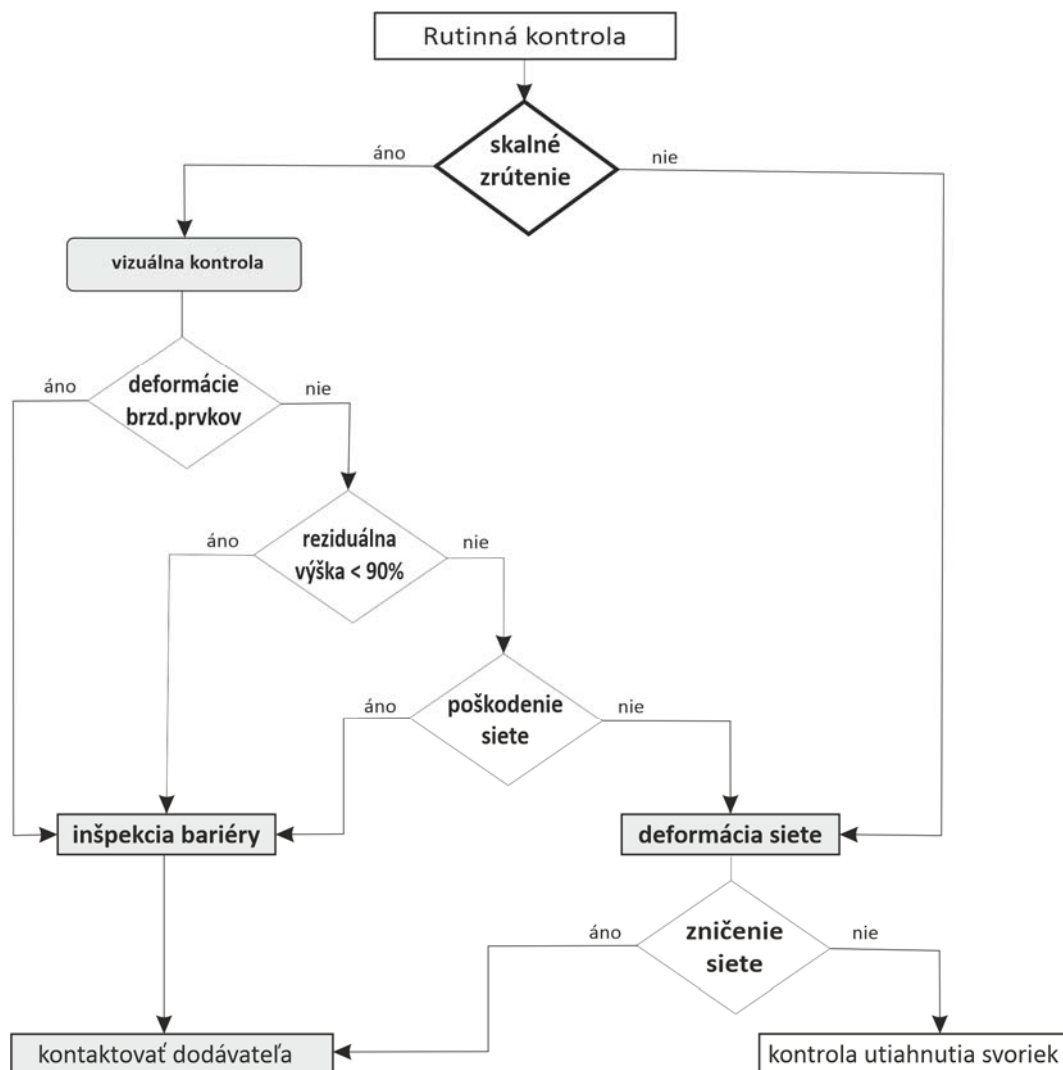
9.2.4 Testovacia prehliadka

Vykonáva sa pokiaľ interdisciplinárny odborný tím nie je schopný vyhodnotiť stav konštrukcie po udalosti. Skúšanie jednotlivých prvkov konštrukcií je závislé od ich druhu a malo by byť vykonané tak, aby bolo možné zhodnotiť celkovú stabilitu a bezpečnosť konštrukcie s ohľadom na jej ochrannú a stabilizačnú funkciu.

9.3 Údržba skalných svahov a zárezov

9.3.1 Vyrezávanie nežiadúcej vegetácie

Veľmi dôležité je vyrezávanie náletových drevín. Stromy svojimi koreňmi prenikajú do puklín, rozširujú ich a umožňujú vtekaniu vody. Nárazmi vetra do stromov sa koreňmi prenášajú do horninového masívu. Je vhodné odstraňovať túto vegetáciu v období vegetačného pokoja. Je žiaduce použitie chemického ošetrovania, ktoré zamedzuje zmladeniu vyrezaných drevín. Pri týchto výrezoch, kedy je nutné terén sprístupniť spravidla pomocou horolezeckej techniky, je vhodné vykonať zároveň podrobnú prehliadku skalného svahu.



Obrázok 17 - Postup rozhodovania pri vykonávaní obhliadok

9.3.2 Odstránenie zvetraných a nestabilných polôh

Súčasne s vyrezávaním je vhodné vykonávať očistenie skalných svahov od zvetraných a uvoľnených horninových úlomkov a voľných častí skál. Uvoľnené skalné bloky, ktoré nemožno vzhľadom k ich veľkosti a hmotnosti či z iných dôvodov odstrániť manuálne, sa musia pri prehliadke označiť a je nutné navrhnuť buď sanačné opatrenia alebo odstránenie skalných blokov iným spôsobom.

9.4 Údržba ochranných a stabilizujúcich konštrukcií

Pre bezpečný stav skalných svahov je potrebné vykonávať ich pravidelné sledovanie a realizovať pravidelnú údržbu už vykonaných sanačných opatrení, prípadne ich zlepšovanie a dopĺňanie. Toto sledovanie je potrebné nielen z dôvodu bezpečnosti prevádzky, ale aj pre prípadné uplatnenie záruky na vykonané sanačné opatrenia. Pravidelnou údržbou a opravami poškodených sanačných prvkov sa zabezpečuje ich funkčnosť a stála účinnosť počas celej návrhovej životnosti. V rámci údržby počas záručnej doby sa vykonáva:

- odstránenie zachyteného materiálu z akumuláčnych miest záchytných sietí a plotov,
- oprava poškodených častí alebo lokálna výmena poškodených prvkov ochranných sietí a bariér, ktoré boli poškodené pri záchyte padajúcich blokov,
- doplnenie chýbajúcich prvkov konštrukcií (v prípade vandalizmu alebo krádeže),
- v prípade zistenia nedostatočnej funkčnosti prvkov, ich nadmerných deformácií alebo poškodení, ktoré nesúvisia s ich ochrannou prevádzkovou činnosťou, sa ich opravy počas doby záruky riešia reklamáciou,
- kontrola a čistenie odvodňovacích zariadení.

Po skončení záručnej doby sa činnosti rozširujú o ďalšie práce:

- čistenie a aplikácia ochranných náterov na drevené prvky záchytných konštrukcií,
- ochranné nátery oceľových prvkov proti korózii,
- uzatváranie trhliniek v betónových prvkoch výplňovými hmotami.

9.5 Obnova ochranných a stabilizujúcich konštrukcií

Obnova jednotlivých prvkov alebo celých ochranných a stabilizujúcich konštrukcií sa vykonáva na základe vyhodnotenia ich stavu v rámci vykonaných prehliadok. Obnova prvkov konštrukcie musí byť vykonaná tak, aby boli dosiahnuté aspoň parametre prvkov v zmysle realizačnej projektovej dokumentácie alebo podľa dokumentácie vyhotovenej pre obnovu daného prvku alebo časti či celej konštrukcie.

V prípade nutnosti zložitého a nákladného testovania potenciálne poškodených komponentov pre určenie ich kapacity a životnosti je vhodnejšie vykonať ich výmenu. Použitie prvku s nižšou úrovňou parametrov je možné iba ak sa výpočtom alebo skúškou na mieste preukáže možnosť jeho použitia. Vzhľadom na to, že niektoré systémy ochranných a stabilizujúcich konštrukcií skalných svahov a zárezov sú špecifické pre konkrétnych výrobcov, je potrebné pri návrhu obnovy zohľadniť špecifiká daného výrobcu a dodržať odporúčania a postupy dané výrobcom pre navrhované prvky.

10 Geotechnický monitoring skalných svahov a zárezov

Geotechnickému monitoringu pre objekty líniových stavieb sa venujú zvlášť [T5]. Metódy monitorovania svahov resp. meracie zariadenia sa dajú rozdeliť do troch hlavných kategórií:

- geodetické,
- geotechnické,
- diaľkové snímanie.

Striktné zaradenie do jednej z uvedených skupín môže byť vecou názoru, všetky uvedené kategórie sa môžu použiť pre moderné monitorovanie deformácií alebo sa dajú bez problémov kombinovať a dopĺňať.

10.1 Geodetické zameranie

Zameriavanie – ako súčasť geodézie – sa špecializuje na praktické merania a ich vyhodnotenie, ako aj na použité prístroje. V prípade monitorovania svahov je hlavným cieľom geodetického prieskumu opis geometrických zmien (napr. bodových súradníc) povrchovej topografie miesta meraním množstva geometrických prvkov (napr. uhlov, vzdialeností alebo výškových rozdielov). Nasledujúce kapitoly opisujú najčastejšie používané geodetické riešenia, ktoré sa aplikujú na sledovanie deformácií povrchu.

Geodetické monitorovacie riešenia sa v zásade opisujú ako siete vo všetkých použitých geodetických metódach a pozostávajú z (

Obrázok 18):

- Referenčnej siete so stabilnými bodmi a niektorými obslužnými bodmi. Referenčná zostava bodov musí byť mimo nestabilného územia, aby nedochádzalo ku skresleným a teda neplatným výsledkom. Pred samotným určením referenčných bodov je dôležité sa presvedčiť, že je oblasť mimo zosuvu naozaj stabilná.
- Pozorovaných bodov, na ktorých sú umiestnené geodetické zariadenia, aby vykonávali merania na niekoľkých stabilných alebo nestabilných miestach. Takáto stanica nemusí byť umiestnená na stabilnom území, pozorovacie body môžu byť umiestnené na deformovanom povrchu. Ich súradnice musia byť stanovené pri každej etape meraní, merania vykonávané z jedného stabilného bodu na druhý sú absolútne merania.
- Zameriavacie body rozdeľujú svah. Pre tento druh bodu môžu byť stanovené špeciálne ciele a merania sa realizujú iba na smerom „na“ body. zameriavacie body sú spojené relatívnymi meraniami. V súčasnosti sa merania realizujú pomocou hranolovej tachymetrie alebo laserovým skenovaním.

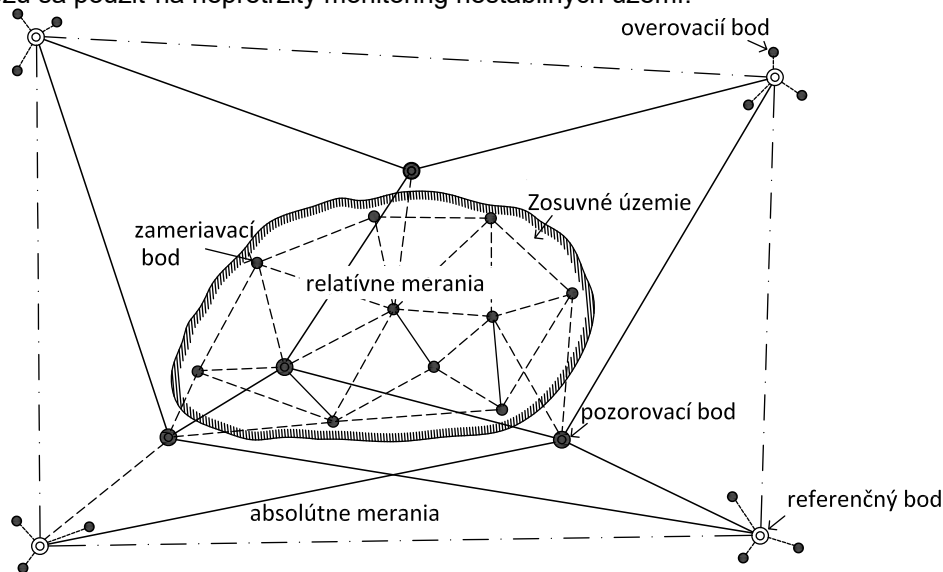
10.1.1 Tachymetria

Tachymetria je kombinácia meraní horizontálnych a zenitových uhlov, vzdialeností od stojaceho bodu smerom k cieľovým bodom (odrazové sklá). Umožňuje určiť súradnice bodu v troch rozmeroch prenosom polárnych meraní do karteziánskeho systému (obr. 19). Táto technika môže byť použitá na meranie povrchu iba priamo na svahu.

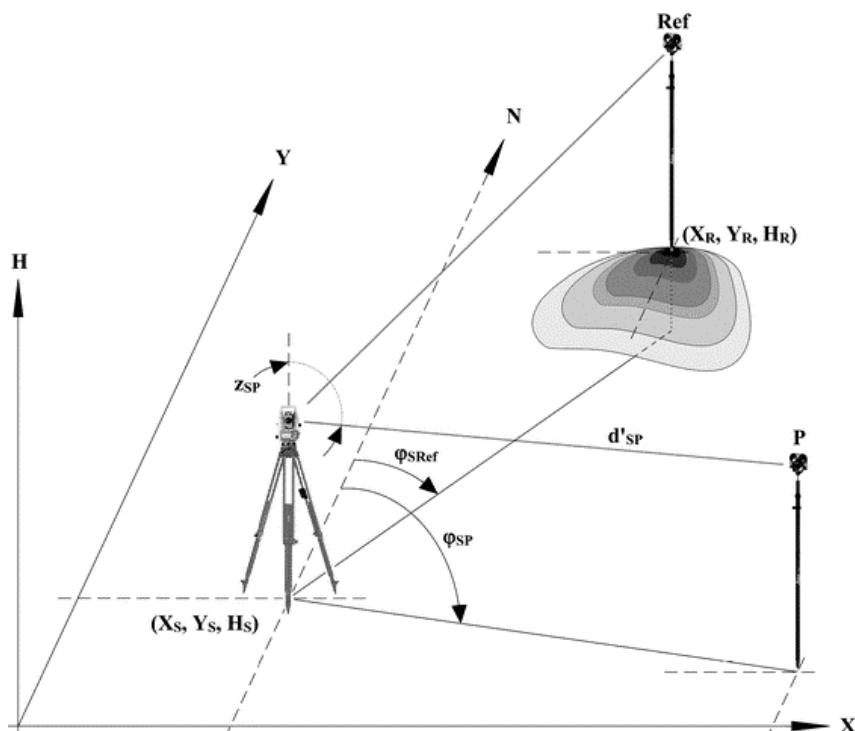
Pre meranie uhlov je možné použiť teodolity s citlivosťou do 0,1'' a s presnosťou do 0,5'', pre meranie vzdialeností sa môžu použiť elektrooptické merače vzdialeností (EDM Electrooptical

distancemeters) založené na infračervenom svetle. Vzďalenessi sa môžu merať s presnosťou nominálneho čítania do $D = \pm 1 \text{ mm} + 1 \times 10^{-6} \cdot D$. Uvedená terestrická metóda má značné výhody, najmä v súvislosti s presnosťou meraní, nízkymi nákladmi a vysokým potenciálom automatizácie. Za špeciálnych podmienok a veľkou námahou je možné dosiahnuť presnosť na 1 mm. Obmedzenia pri využití metódy sú:

- vzdialenosť medzi pevnými bodmi a referenčnými bodmi má limit, ktorý sa mení podľa použitých prístrojov v rozpätí 1 až 10 km,
- kritické môže byť vyhľadanie stabilného bodu v rozsahu, v ktorom je schopná technika merať s určenou presnosťou, často sa volí stabilné miesto na svahu oproti deformovanému územiu,
- požadovaná vzdialenosť medzi stabilnými bodmi a reflektormi,
- poveternostné podmienky môžu v konečnom dôsledku zabrániť meraniam a pre určité kategórie strojov môžu znížiť presnosť merania.
- jeden operátor dokáže obsluhovať viacero staníc, pokiaľ sú vybavené potrebnými zariadeniami, ako sú hranolové reflektory a rôzne vysielacie. Stanice dokážu komunikovať medzi sebou a môžu sa použiť na nepretržitý monitoring nestabilných území.



Obrázok 18 - Návrh geodetickej siete pre monitoring svahu



Obrázok 19 - Meranie polárnych súradníc totálnou stanicou

10.1.2 Terestriálne laserové skenovanie (TLS)

Metóda je primárne určená na meranie topografie Zemského povrchu. Základná myšlienka spôsobu prevádzky je jednoduchá: Laserový lúč je vysielaný vysielacou diódou pod určitým známym smerovým vektorom. Vyslaný lúč, resp. jeho časť, je odrazený od zameriavaného objektu späť k prístroju, kde je zaznamenaná prijímacou diódou. Z rozdielov časov od vyslania lúča po jeho prijatie, alebo na základe fázových posunov medzi vyslaným a prijatým laserovým lúčom a frekvencie daného laserového lúča sa vypočíta vzdialenosť zariadenia od zameriavaného objektu. Keďže je už pri vyslaní lúča známy jeho smer, je na základe získaných údajov možné vypočítať polohu bodu, odkiaľ sa laserový lúč odrazil.

Väčšina dostupných prístrojov na trhu v súčasnosti dokáže merať rozsahy objektov až na niekoľko stoviek metrov, s presnosťou 0,6 až 15 mm. Pretože terén zosuvných oblastí je často rozsiahly a má komplexný tvar, na zachytenie celej zóny je potrebná séria skenov z rôznych polôh a s rôznymi uhlami pohľadu, aby sa zabezpečilo úplné znázornenie povrchu terénu. Zosnímané skeny sa zlučujú a prenášajú do geodetického súradnicového systému. Hlavnou výhodou TLS oproti tradičným geodetickým technikám je vlastnosť priameho, rýchleho a podrobného zachytenia objektu v 3D podobe. TLS poskytuje vysokú úsporu nákladov a oveľa rýchlejšiu realizáciu projektu monitoringu v porovnaní s leteckým 3D skenovaním.

10.1.3 Presná nivelácia

Metóda je prostriedkom na presné meranie výškových rozdielov medzi bodmi vzdialenými niekoľko desiatok metrov. Je dôležité, aby bol nivelačný prístroj stabilne postavený a zameriavacia línia bola horizontálne v rovine. Všetky moderné prístroje používajú istú formu automatického kompenzátora, ktorý užívateľovi umožní vyrovnať prístroj iba kruhovou libelou a akékoľvek malé odchýlky sú vyrovnané kompenzátorom. Medzi dva zameriavané body sa umiestni statív s nivelačným prístrojom. Nad prvým zameriavaným bodom je nivelačná lata, na ktorej sa zameria prvé čítanie, nad druhým bodom sa realizuje čítanie vpred. Rozdiel týchto čítaní je rozdiel výšky medzi dvoma bodmi. V súčasnosti sú najmodernejšie digitálne prístroje. Táto úroveň používa na čítanie špeciálne čiarové kódy. Obrázok nivelačnej laty prechádza cez šošovku objektívu a potom cez rozdeľovač lúčov do poľa fotodetektorov, kde je digitalizovaný. Mikroprocesor porovná získaný obraz s kópiou čiarových kódov a vypočíta čítanie na nivelačnej late, ktoré zobrazí, prípade uloží. Citlivosť zariadenia je taká, aby bolo možné dosiahnuť presnosť jedného čítania $h = 0,2 - 0,3$ mm.

10.1.4 Globálny pozičný systém

V súčasnosti je najbežnejším a najfunkčnejším globálnym navigačným satelitným systémom, ide o americký globálny pozičný systém vyvinutý pre armádne účely. Systém využíva postavenie najmenej 24 satelitov (vesmírne segmenty s orbitálnou nadmorskou výškou cca 20 000 km), umožňuje prijímaču GPS definovať svoje umiestnenie, rýchlosť a smer pohybu. Satelity vysielajú v podstate presné kódované mikrovlnné signály, ktoré dokáže prijímať anténa GPS.

Tabuľka 8 - Výhody a nevýhody systému GPS

Prečo použiť systém GPS?	Obmedzenia
• nevyžaduje sa žiadna vzájomná viditeľnosť bodov. • Môže sa použiť kedykoľvek (počas dňa, noci, za akéhokoľvek počasia). • Vytvára výsledky s vysokou geodetickou presnosťou. • Viac práce sa dá vykonať za kratší čas a s menším počtom ľudí.	• GPS anténa musí mať výhľad na najmenej 4 satelity. • Satelitné signály môžu byť blokované stromami a ich použitie v lese je ťažké. • Presnosť komponentu výšky je nižšia ako presnosť polohy. • Potrebný zdroj energie na každej stanici.

V posledných rokoch je zaznamenaný rýchly rozvoj meraní zosuvov pomocou metódy GPS. Merania sa ukázali ako spoľahlivý a účinný nástroj najmä pre merania deformácií povrchu veľkých a pomaly sa pohybujúcich zosuvov. Aplikácia pre menšie plošné rozlohy pomaly sa pohybujúcich zosuvov nie je veľmi rozšírená. Každý GPS systém sa skladá z niekoľkých meradiel na povrchu zosuvov, sú to tzv. referenčné body. Ich pozície sa merajú oproti pozíciám niektorých referenčných hodnôt umiestnených mimo deformovaného územia. Ideálny počet stabilných referenčných bodov by mal byť 4. Do meranej siete je dôležité zaviesť redundanciu, to znamená, že každý bod by sa mal počas

jednej etapy merania merať najmenej dva krát. Merania sa realizujú zvyčajne manuálnymi odnímateľnými stanicami GPS.

10.2 Geotechnický monitoring deformácií

Zariadenia pre geotechnické monitorovanie svahových deformácií môžeme rozdeliť do základných skupín na:

- zariadenia na monitorovanie povrchu – používajú sa ak pohyb na povrchu reflektuje správanie masívu,
- zariadenia inštalované pod povrchom (vo vrtoch) – meranie deformácií a napätosti v horninovom prostredí, meranie pórových tlakov a vodných hladín,
- zariadenia monitorujúce technický stav geotechnických konštrukcií (meranie napätí v kotevných lanách, meranie predpätia na kotvách.

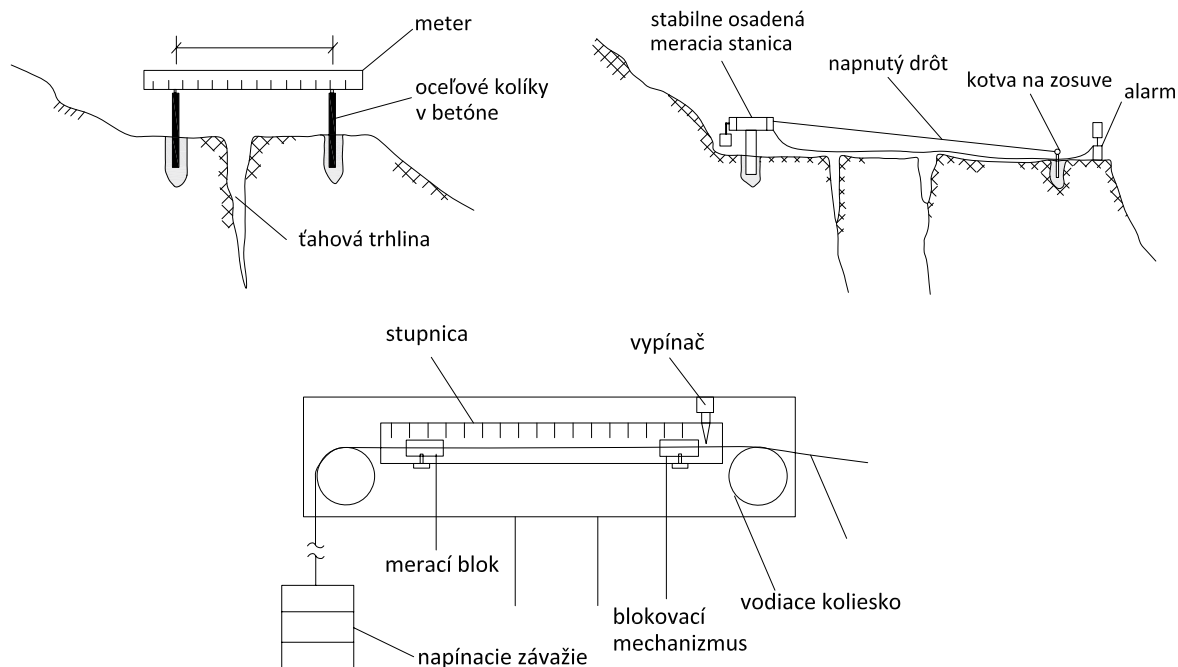
10.2.1 Meranie šírky trhlín

Trhliny sú sprievodným javom pri každom zosuve. Meranie rozvoju trhlín je spoľahlivým a lacným prostriedkom na sledovanie aktivity svahu. Vo svahu môžu byť osadené kolíky, ktorých vzdialenosť sa priebežne meria (kap. 10.2.3). Vzdialenosť by nemala byť väčšia ako 2 m. Pre sériu trhlín sa inštalujú na svahy drôtené extenzometre, ktoré môžu merať deformáciu dvoch bodov vo vzdialenosti do 20 m. Dôkladné meranie trhlín poskytuje dôležité informácie o mechanizme porušenia a aktivite zosuvu. Citlivosť referenčných kolíkov na poškodenie inými procesmi, ako je zosuvná činnosť, je problém pri sledovaní rozvoja trhlín. Medzi príklady takýchto procesov patrí náhodné poškodenie stavebnou mechanizáciou, zvieratami, vandalizmus.

Pri osádzaní referenčných bodov treba zvážiť faktory ako sú:

- rast vegetácie,
- dostupnosť zariadenia na svahu,
- presnosť merania.

Inštalované prístroje na meranie rozširovania trhlín musia zodpovedať zemným podmienkam, je dôležité, aby boli dostatočne pevne zabudované, nepohybovali sa a neuvolňovali sa v čase alebo opakovaným meraním.



Obrázok 20 - Príklady merania šírky trhlíny a schéma meracieho zariadenia

Mechanické zariadenia pracujú s presnosťou ± 3 mm. Výrobcom elektronických tenzometrov navrhujú systémy tak, aby mali systémy vysokú spoľahlivosť pri meraní. Na trhu sú prístroje, ktoré sú schopné merať rozsah medzi 3 až 150 mm. Delenie čítania sa znižuje so zvyšujúcim sa rozsahom ale obvykle je medzi 0,001 až 0,13 mm alebo $\pm 0,1\%$ z celej meracej stupnice.

10.2.2 Meranie náklonu

Meranie náklonov sa môže uplatňovať pri skalných stenách a strmých previsoch. Meraný náklon na povrchu zaznamenáva činnosť nestability a poskytuje údaje o mechanizme porušovania skalného masívu. Je to spoľahlivý a reprezentatívny ukazovateľ pohybu skalného telesa, môže sa kombinovať s viacerými monitorovacími systémami. Medzi obzvlášť užitočné oblasti, pri ktorých sa náklonomer používa sú lokality, kde je zvýšené predpoklad porušenia skalných masívov. Náklometre poskytujú sekundárne meranie deformácie horninového masívu s veľmi presným meraním zmien sklonu v reakcii na posuny uskutočnené v horninovom masíve. Požiadavka na presné meranie znamená, že je dôležitá správna inštalácia zariadenia a správne identifikované zdroje, ktoré naklonenie spôsobili. Naklonenie môže byť vyvolané:

- zmenou teploty vyvolaná denným alebo sezónnym zahriatím,
- zmeny v prúde podzemnej vody,
- povrchovými deformáciami, ktoré nemusia mať zdroj vo väčšej hĺbke,
- zmenou teplot počas merania.

Sklon na jednotlivých miestach sa meria pomocou vertikálnych naklápacích náklonomerov. Tieto zariadenia pracujú buď s bublinovým alebo kyvadlovým mechanizmom a môžu byť mobilné alebo statické (osadené na jednom mieste), pričom statické zariadenie umožňuje automatický zber a zdieľanie údajov. Bublinové náklometre elektronicky merajú polohu bubliny o priemere 5 mm v zakrivenej sklenenej trubici. Sensory môžu byť jednoosové alebo dvojosové, s rozsahom merania až $\pm 30^\circ$ a s presnosťou $\pm 0,1\%$ z rozsahu stupnice. Sú to robustné a spoľahlivé prístroje, pretože nemajú žiadne pohyblivé súčasti.

10.2.3 Extenzometre

Extenzometre sa používajú na meranie posunov, konvergencie, pohybov spojov atď. Vyrábajú sa ako vrtné zariadenia alebo nástroje, ktoré sú nainštalované vo vrtoch medzi dvomi fixačnými bodmi. Existujú rôzne typy extenzometrov, ako sú:

- tyčové extenzometre,
- extenzometrické pásy,
- magnetické extenzometre,
- diaľkové extenzometre.

Citlivosť extenzometrov aplikovaných v horninách je rádovo asi 0,01 mm/m. Extenzometre môžu byť navrhnuté ako jednobodové alebo viacbodové prístroje. Princíp merania môže byť elektromechanický, pomocou vibračného drôtu, optického káblu, magnetický alebo často sa používa tzv. LVDT (lineárny variabilný diferenciálny transformátor).

10.2.4 Inklinometre vo vrtoch

Inklinometer sa používa na meranie sklonu vrtu, z čoho sa vyhodnocuje horizontálny posun na šmykových plochách. Existujú dva základné druhy inklinometrov. Klasické inklinometre pozostávajú z plastovej výpažnice, ktorá je trvale osadená vo vrte. Obsluha vykonávajúca geotechnický monitoring prichádza merať deformáciu podľa plánu geotechnického monitoringu a vyhodnocuje merania. Druhý typ zariadenia MUMS (*modular underground monitoring system*) je osadený vo vrte natrvalo. Systém je schopný merať pozíciu jednotlivých buniek v akomkoľvek časovom intervale, namerané dáta ukladá do datalogeru. Zariadenie dokáže zaznamenané údaje vyhodnotiť a pri neočakávanom nadmernom pohybe upozorňuje užívateľa na hroziace nebezpečenstvo. Merací rozsah je zvyčajne $\pm 30^\circ$, presnosť je 0,2 mm/m, rozlíšenie je 0,005 mm. Príklady uvedených inklinometrov sú na obrázku 21.

10.2.5 Piezometre

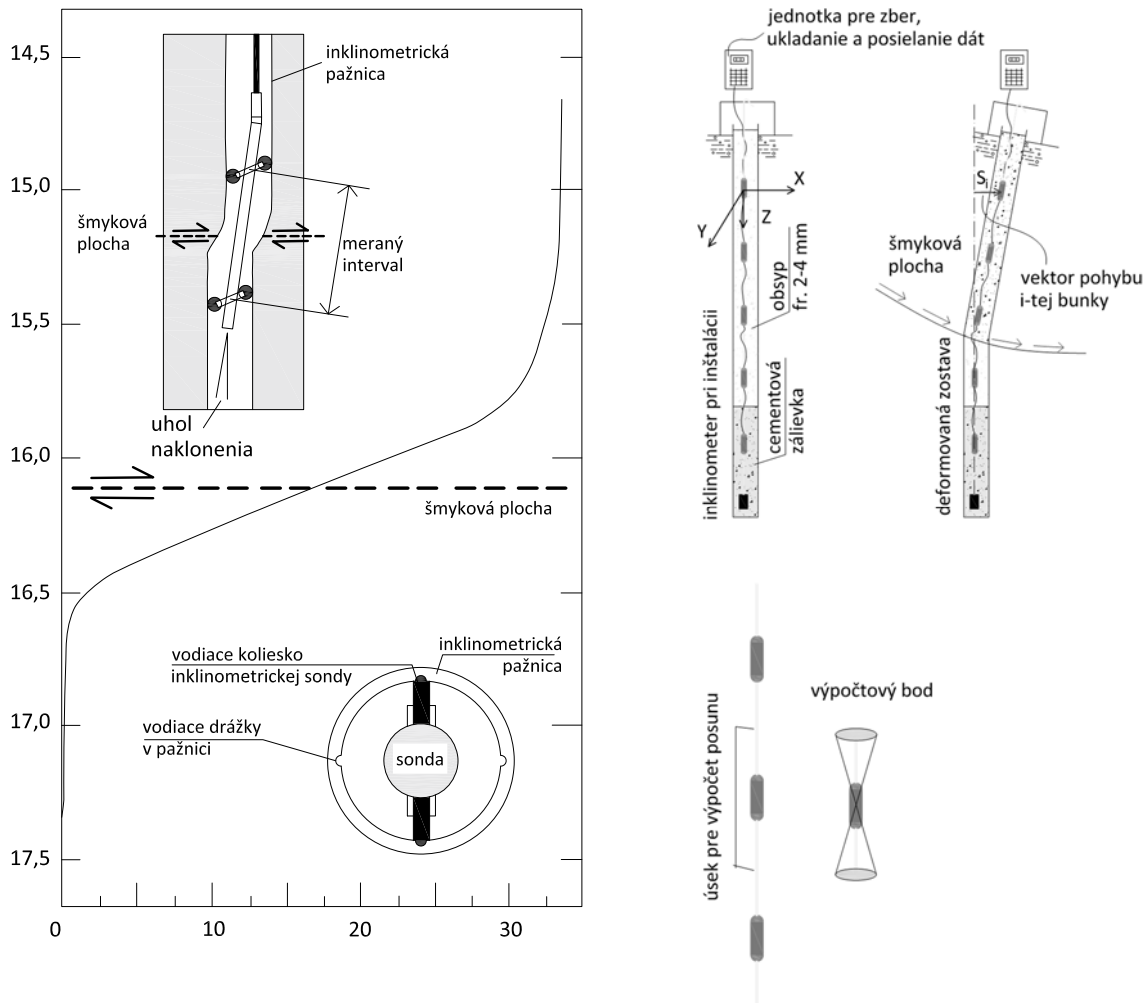
Nestabilita svahov môže byť citlivá na zmeny v prúde podzemnej vody. Monitorovanie hladiny podzemnej vody je dôležité pre stabilné analýzy a prognózy. Pri inštalácii je potrebné zabezpečiť, aby sa snímač piezometra nachádzal v šmykovej zóne, prípadne tesne nad ňou s pieskovým obsypom zasahujúcim do šmykovej zóny. Technicky sú piezometrické snímače opísané v [T5].

10.2.6 TDR technológie

Time domain reflectometry (TDR) je technológia merania odrazených impulzov vysielaných do koaxiálneho káblu pulznou aparatúrou, [L6]. Pri meraní sa získavajú krivky odrazového koeficientu po dĺžke kábla, kde na základe ich porovnania v čase je možné vykonať presnú lokalizáciu a progres vznikajúcej deformácie. Systém TDR sa skladá z dvoch základných komponentov:

- vysielacia / prijímača elektrických impulzov (TDR aparátúra - tester),
- koaxiálneho kábla.

TDR tester produkuje elektrické impulzy, ktoré sú vysielané koaxiálnym káblom. Keď vyslané impulzy prechádzajú deformovanou oblasťou kábla, mení sa sila odrazeného signálu, ktorý tester prijíma. Odrazené signály sa zbierajú a analyzujú v čase. Pre monitorovanie zosuvov je koaxiálny kábel inštalovaný do vrtu, ktorý presahuje predpokladanú šmykovú zónu o 3 m. V spodnej časti je kábel zaliaty v cementovej zálievke (asi 1 m od dna vrtu). Ostatná časť vrtu je vyplnená cementobentonitovou zálievkou, ktorá má podobné deformačné vlastnosti ako okolité horninové prostredie. TDR meranie má výhodu, že sa dá použiť aj v klasickej inklinometrickej pažnici. Ak deformácia pažnice presiahne limit merania klasickým inklinometrom, TDR kábel poskytuje ďalej údaje o podpovrchových deformáciách. Táto technológia je finančne menej náročná ako doteraz používané inklinometre.



Obrázok 21 - Vľavo schéma klasického inklinometra s plastovou výpažnicou, vpravo schéma bunkového inklinometra MUMS

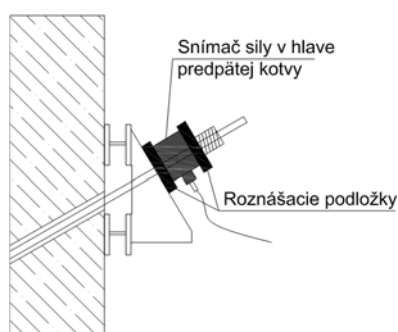
10.2.7 Tlakové bunky

Bunky sú konštruované z oceľových platní z nehrdzavejúcej ocele zvarených po obvode. Bunka je naplnená hydraulickým olejom, ktorý je prepojený so snímačom. Ak je na bunku vyvodzované zaťaženie, vytvára sa vnútorný tlak kvapaliny, ten sa prenáša cez oceľovú trubičku do snímača a záznamníka. Typická presnosť je 0,1 % z maximálnej meranej hodnoty. Merací rozsah buniek závisí od tuhosti a veľkosti buniek, často používané sú: 0,5 MPa, 1,0 MPa, 2,5 MPa, 6 MPa, 10 MPa, 16 MPa, 40 MPa, 60 MPa.

10.2.8 Meranie síl v kotvách

Skalné masívy sa často stabilizujú a spevňujú kotvami alebo svorníkmi. Pokiaľ sú kotevné prvky súčasťou významných dynamických bariér, je dôležité merať silu hlavách kotiev, teda minimálnu

kapacitu únosnosti, ktorú sú schopné kotevné prvky preniesť bezpečne do horninového prostredia. Geotechnický monitoring sanačných opatrení na skalných masívoch sa navrhuje na dlhodobé zaťaženie kotviace prvky, u ktorých je nevyhnutné sledovať zmenu predpätia, ktorá môže byť spôsobená opakovaným zaťažením napr. dynamických bariér. Pre dlhodobé merania sú predurčené dynamometre, ktoré sú robustnej konštrukcie, ich montáž je jednoduchá a nie sú výrazne citlivé na excentrické zaťaženie. Ak nie je zabezpečená rovinnosť plôch, ktoré sú v kontakte so snímačom, používajú sa pri inštalácii snímača roznášacie podložky, ktoré spoľahlivo zabezpečia rovnomerný roznos zaťaženia do snímača (obr. 22). Pokiaľ je odčítavanie sily pomocou manometra, snímače majú presnosť zvyčajne $\pm 1,0 \%$, s vyššou presnosťou pracujú snímače s elektrickým prevodníkom, ich odchýlka v presnosti môže byť $\pm 0,5 \%$. Rozsah merania snímačov je od 80 kN do 6 000 kN.



Obrázok 22 - Príklad inštalácie snímača sily s roznášacími doskami

10.3 Diaľkové snímkovanie

Ide o bezkontaktné zbieranie údajov o oblasti alebo objekte, ktorý je predmetom analýz. Prioritne je diaľkové snímkovanie určené pre prieskumné činnosti v území. Z nasnímaných údajov je možné sledovať zmeny určitých objektov a oblastí, ktoré sú zasiahnuté geodynamickými javmi. Medzi technológie diaľkového prieskumu patrí fotogrametria, vzdušné laserové skenovanie a pozemná radarová interferometria.

10.3.1 Fotogrametria

Patrí medzi metódy diaľkového zberu údajov o oblastiach, ktorou sa dajú určiť polohy a geometrické vlastnosti objektov a obrazcov. Obrázky sa získavajú pomocou rôznych senzorov – filmové kamery, digitálne fotoaparáty a skenery. V závislosti od podmienok expozície, veľkosti, rýchlosti zosuvov pôdy a druhu štúdie (monitorovanie alebo vedecký účel) sa môže použiť jedna alebo kombinácia niekoľkých techník a údajov. Techniky sa líšia rozlíšením, presnosťou, pokrytím povrchu a časom snímania.

10.3.2 Vzdušné laserové skenovanie

Vzdušné laserové skenovanie je tiež ako LIDAR (Light Detection and Ranging), je pomerne nová technológia, ktorá otvára možnosti kvalitatívneho a kvantitatívneho určovania zmien nadmorskej výšky. Vzdušné laserové skenovanie umožňuje diaľkové snímanie povrchu terénu. Tento systém má výhodu, že poskytuje kvalitné výsledky v oblastiach, do ktorých je náročný prístup (strmé skalné svahy, zalesnené oblasti). Aktívne snímače umožňujú prevádzku zariadení nezávislú od slnečného žiarenia, čo má výhodu v porovnaní s optickou fotogrametriou.

Systém je ovládaný z lietadla alebo z vrtuľníka. Laserový skener je inštalovaný priamo na konštrukcii lietadla. Systém laserového skenovania kombinuje viaceré technológie pre určenie presnej polohy zameriavaných bodov v 3D súradniciach. Na tento účel musia byť časovo synchronizované všetky zariadenia – dynamický systém určovania polohy a orientácie, globálny pozíčný systém, vnútorný navigačný systém na palube lietadla. Jedným z najdôležitejších výstupov sú informácie o objemových zmenách v zosuvnom území. Porovnávajú sa DTM súbory získané snímkaním v rôznych dátumoch.

10.3.3 Pozemná radarová interferometria

Využitie satelitných radarov pre radarovú interferometriu (InSAR) a diferenciálnu interferometriu (DInSAR) bolo uvedené do prevádzky s niekoľkými platformami. Konvenčná interferometria SAR preukázala potenciál pri aplikáciách, ako sú rekonštrukcia topografických digitálnych modelov DEM

a detekcia javov povrchových deformácií. Aplikácie techník monitorovania zosuvov obsahujú diferenciálnu interferometriu (DInSAR). Merania DInSAR sú jedinečným nástrojom na lacné monitorovanie povrchových deformácií s veľkým pokrytím. Interferometrická technika zahŕňa fázové porovnanie údajov o radaroch medzi dvomi snímkami, ktoré boli zhotovené v rôznych časoch s mierne odlišným uhlom pohľadu. Fázové porovnanie medzi dvomi obrázkami generuje interferogram, ktorý poskytuje zobrazenie deformácií na zemskom povrchu, ku ktorým došlo v časovom intervale medzi dvomi radarovými prieskumami. Presnosť merania posunu, ktorú je možné docieľiť interferometriou, je v rozsahu menšom ako je vlnová dĺžka radarového signálu.