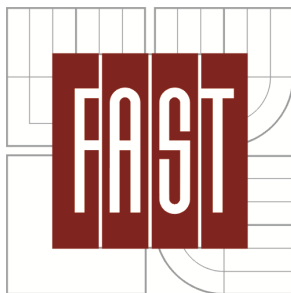




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

NÁVRH ZAJIŠTĚNÍ HLUBOKÉHO ZÁŘEZU

THE DESIGN OF DEEP CUT SECURING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOM'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. LENKA ŠTAINEROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. VĚRA GLISNÍKOVÁ, CSC.

BRNO 2015

Abstrakt

Cílem práce je navrhnout ekonomické a hlavně bezpečné zajištění hlubokého zářezu, a to jak ve fázi výstavby, tak po celou dobu užívání stavby. V první, rešeršní části diplomové práce bude přiblížena problematika území výstavby z inženýrskogeologického hlediska. Druhá část pak bude obsahovat geotechnický výpočet konstrukce. Ve třetí části budou navrženy bezpečnostní doporučení ve smyslu geotechnického monitoringu.

Abstract

The aim is to design economical and above all safe securing a deep notch, both in the construction phase and throughout the use of the building. In the first part of the thesis Background research will be given an idea of the construction of the geotechnical point of view. The second part will contain the geotechnical design calculation. The third part will be proposed safety recommendations in terms of geotechnical monitoring.

Klíčová slova

geologie, mechanika zemin, laboratorní zkoušky, inženýrskogeologický průzkum, zárubní zeď, pilotová stěna, geotechnický monitoring, stabilita svahu, stupeň stability, sesuv, kotvy

Key words

geology, soil mechanics, laboratory tests, engineering geological survey, retaining wall, pile wall, geotechnical monitoring, slope stability, safety factor, landslide, anchors

Bibliografická citace VŠKP

ŠTAINEROVÁ, Lenka. *Návrh zajištění hlubokého zářezu*. Brno, 2015. 76s., 69s. příloh. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav geotechniky. Vedoucí diplomové práce Ing. Věra Glisníková, CSc.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....
podpis autora

Poděkování

Chtěla bych poděkovat všem, kteří mi pomohli k vypracování této diplomové práce. V první řadě děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Glisníkové, CSc. za její ochotu a pomoc. Dále firmě Geostar spol. s.r.o. za poskytnuté podklady a v neposlední řadě své rodině. Za to, že mi studium umožnili a po celou dobu mě v něm podporovali.

Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	TYPY SESUVŮ.....	12
2.1	Plouživé pohyby.....	12
2.1.1	Plouživý pohyb sutí a zvětralin.....	12
2.1.2	Soliflukce	12
2.1.3	Hlubinné plouživé pohyby horských svahů.....	12
2.1.4	Gravitační vrásnění	13
2.1.5	Vytlačování měkkých hornin na dně údolí.....	13
2.1.6	Pomalé pohyby horninových bloků na měkkém podloží – blokové sesuvy.....	13
2.2	Sesouvání	14
2.2.1	Sesouvání zemin podél rovinných nebo mírně zvlněných smykových ploch	14
2.2.2	Sesouvání pelitických hornin podél zakřivených, zpravidla válcových ploch nebo zón, rotační sesuvy.....	15
2.2.3	Sesouvání skalních hornin podél rovinných, zpravidla předurčených ploch	15
2.2.4	Sesouvání podél složených smykových ploch.....	15
2.3	Stékání.....	16
2.3.1	Zemní proudy, proudové sesuvy.....	16
2.3.2	Přivalové suťové proudy, mury	17
2.3.3	Sesuvy vzniklé vyplavováním písku.....	17
2.3.4	Sesuvy senzitivních jíľů	17
2.3.5	Subakvatické skluzy.....	17
2.4	Skalní řícení	18
2.5	Další rozdělení sesuvů.....	19
2.6	Faktory porušující stabilitu svahu	20
3	MOŽNOSTI SANACE SVAHOVÝCH POHYBŮ.....	22
3.1	Úprava geometrie svahu.....	22
3.2	Odvodnění sesuvů.....	22
3.2.1	Povrchové odvodnění	22
3.2.2	Hlubkové odvodnění	23
3.3	Sanace sesuvů rostlinným porostem	24
3.4	Zárubní zdi.....	25
3.5	Svorníky a zemní kotvy	25

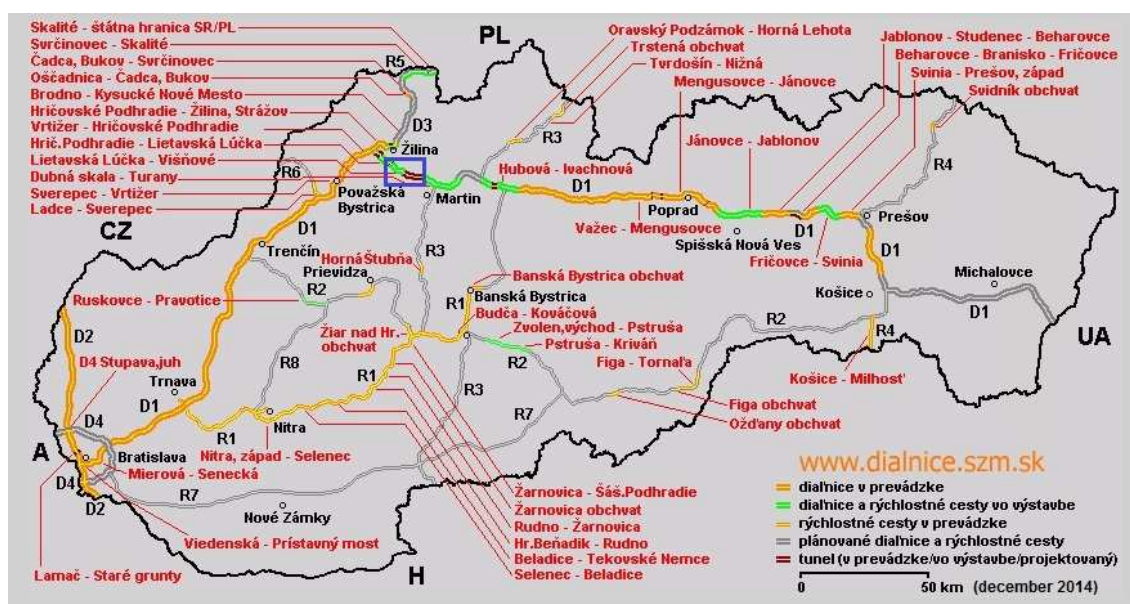
3.6	Pilotové a štětové stěny.....	27
4	MONITORING, MĚŘÍCÍ TECHNIKA	30
4.1	Využití geotechnického monitoringu.....	30
4.2	Měření sil	31
4.2.1	Siloměry – dynamometry.....	31
4.3	Měření pórových tlaků vody	32
4.3.1	Měřidla pórového tlaku	32
4.3.2	Otevřené piezometry	33
4.4	Měření posuvů na povrchu hornin a objektů	35
4.4.1	Geodetické metody.....	35
4.4.2	Přímé měření posuvů	37
4.4.3	Měření náklonů.....	39
4.4.4	Hydrostatická nivelace	39
4.5	Měření přetváření uvnitř horninového masivu ve vrtech	39
4.5.1	Tyčový extenzometr.....	40
4.5.2	Magnetický extenzometr	41
4.5.3	Křehké vodiče.....	41
4.5.4	Přesná inklinometrie	42
5	INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY A PRŮZKUM LOKALITY.....	44
5.1	Inženýrskogeologické poměry	44
5.1.1	Geomorfologie	44
5.1.2	Geologie	44
5.1.3	Hydrogeologie	44
5.1.4	Geodynamické jevy	45
5.2	Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum.....	45
5.2.1	Inženýrskogeologické poměry	45
5.2.2	Hydrogeologické poměry	47
5.2.3	Geofyzikální měření	47
5.2.4	Geotechnické parametry zemin a hornin	49
5.2.5	Geotechnické rizikové faktory	52
6	METODY VÝPOČTU	53
6.1	Stabilita svahu.....	53
6.1.1	Rovinná smyková plocha.....	53
6.1.2	Pettersonova metoda – kruhová smyková plocha.....	54

6.1.3	Bishopova metoda – kruhová smyková plocha.....	55
6.1.4	Sarma – polygonální smyková plocha	56
7	NÁVRH OPATŘENÍ A ŘEŠENÍ STABILITY ZÁŘEZU	59
7.1	Sanační opatření a technologický postup prací	59
7.1.1	Odvodnění.....	59
7.1.2	Navržená konstrukce a hloubení zářezu	60
7.2	Statický výpočet	63
7.2.1	Vstupní parametry zemin.....	63
7.2.2	Fáze výpočtu	64
7.2.3	Posouzení kotev na vytažení kořene kotvy z horniny	66
7.3	Kontrolní sledování	68
8	ZÁVĚR	71
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	72
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	74
	SEZNAM PŘÍLOH	76

1 ÚVOD

Diplomová práce Zajištění hlubokého zářezu se zabývá seříděním dat z inženýrsko-geologického průzkumu a následně jejich použitím při návrhu sanačních opatření k zajištění zářezu. Protože se stavba nachází v sesuvné oblasti, je v teoretické části věnována pozornost svahovým pohybům a jejich sanacím. Díky významnosti stavby a složitým inženýrsko-geologickým podmínkám, je kladen důraz také na kontrolní sledování i po dokončení stavby po celou dobu její životnosti.

Těleso zářezu se nachází na Slovensku, v Žilinském kraji, okresu Žilina na plánovaném úseku dálnici D1 Lietavská Lúčka – Dubná Skala o celkové délce 13,5 km. Tento úsek je součástí dálničního tahu D1 z Bratislavy přes Trenčín, Žilinu, Martin, Poprad, Prešov, Košice a Michalovce až k hranicím s Ukrajinou. Zahájení výstavby se uskutečnilo 17. června 2014, dokončení stavby je plánováno za 5,5 let.



Obr. 1.1: Mapa silnic a dálnic

Původně byl úsek rozdělen na dvě části, a to Lietavská Lúčka – Višňové a Višňové – Dubná Skala. Jelikož podklady inženýrsko-geologického průzkumu byly poskytnuty k původnímu úseku Lietavská Lúčka – Višňové, bude k němu vztažena i diplomová práce. Trasa Lietavská Lúčka – Višňové má 5,4 km, vede jižně od Žiliny a prochází v těsném kontaktu s pohořím Malá Fatra. Dálnice zářezem prochází v km 0,820 – 1,320.

Jedná se o oboustranný zářez s maximální hloubkou 20m. Zářez je hlouben ve složitých inženýrsko-geologických poměrech ve flyšových sedimentech náchylných k sesuvům.



Obr. 1.2: Vizualizace úseku Lietavská Lúčka - Višňové

2 TYPY SESUVŮ

Existuje spousta typů dělení svahových pohybů. U nás se často používá dělení podle autorů Nemčok, Pašek a Rybář (1974). Ti vypracovali dělení svahových pohybů na 4 hlavní skupiny, a to ploužení, sesouvání, stékání a řícení.

2.1 Plouživé pohyby

2.1.1 *Plouživý pohyb sutí a zvětralin*

Jedná se o pomalý pohyb způsobený povětrnostními vlivy, kdy v zimě dochází k nakypření a zvednutí malých úlomků mrazem. Na jaře se úlomky nevracejí zpátky, ale posouvají se po svahu vlivem gravitace. Jílovité sutě a zvětraliny v povrchových vrstvách se po svahu pohybují účinkem plastického přetváření, které má charakter ploužení (creepu). Obvykle se nevytváří smyková plocha. Pohyby probíhají pouze na povrchu v širokých zónách, a to do hloubky, kam zasahují povětrnostní vlivy.

Častým jevem je tzv. hákování vrstev. Při tření mezi pohybující se sutí a skalním podkladem dochází k vyvlečení a roztrhání vrstev skalního podloží. Vrstvy se pak stávají součástí svahových sedimentů, které tak zvětšují svoji mocnost.

2.1.2 *Soliflukce*

Vzniká na trvale zamrznutém území táním povrchové vrstvy. V době letního tání dojde k rozmrznutí jen do malé hloubky. Povrch je pak rozmáčen vodou uvolněnou táním i dešťovou vodou. Podloží zůstává zmrzlé a tudíž nepropustné. Utvoří se rozbředlá povrchová vrstva, která se na svahu pohybuje už i při jeho malém sklonu. Za nepříznivých podmínek může k soliflukci dojít i u nás na horských svazích.

2.1.3 *Hlubinné plouživé pohyby horských svahů*

Probíhají na vrstevních plochách horských svahů a v horninách, které mají svoje dílčí vrstvy odlučnosti (např. svor, fylit), bez vytvoření průběžné smykové plochy. Vlivem povětrnostních vlivů dochází k rozvolňování skalních bloků, zvětšování puklin. Dalším faktorem může být reziduální napětí, které se uvolní po vyhloubení údolí. Řadíme zde i

tzv. gravitační skluzu. Ty jsou následkem tektonických pohybů, kdy dojde k vyzdvižení souvrství sedimentárních hornin. To se pak po starých tektonických plochách nebo jílových vrstvách posouvá dolů směrem k úpatí.

2.1.4 Gravitační vrásnění

Bývá také velice pomalé, proto se řadí k plouživým pohybům. Je to např. shrnování vrstev na strmých okrajích sedimentačních pánví. Nastává, pokud se mírné pánevní prohnutí sedimentů v pánvi zvětšuje. Narůstá sklon vrstev a tím i tangenciální složka napětí. Pokud je nad souvrstvím mocné nadloží, deformace se nemůžou výrazně zvětšovat. K sesuvům dojde při odlehčení vrstev odejmutím nadloží. Pokud se nakloněné vrstvy v patě svahu podříznou např. při zhotovení zářezu, může dojít i k rychlému sesuvu.

2.1.5 Vytlačování měkkých hornin na dně údolí

Je to velmi pomalý proces. Řadí se zde deformace svahů vzniklé nakypřováním měkkých jílu na dně erozních údolí nebo zářezů. K tomuto jevu dochází také na náspech, které leží na neúnosném podloží. Pohyby probíhají podél dílčích smykových ploch, mají charakter plastického přetváření. Po delším čase se jednotlivé smykové plochy mohou spojit v jednu souvislou plochu. V takovém případě může nastat náhlý sesuv.

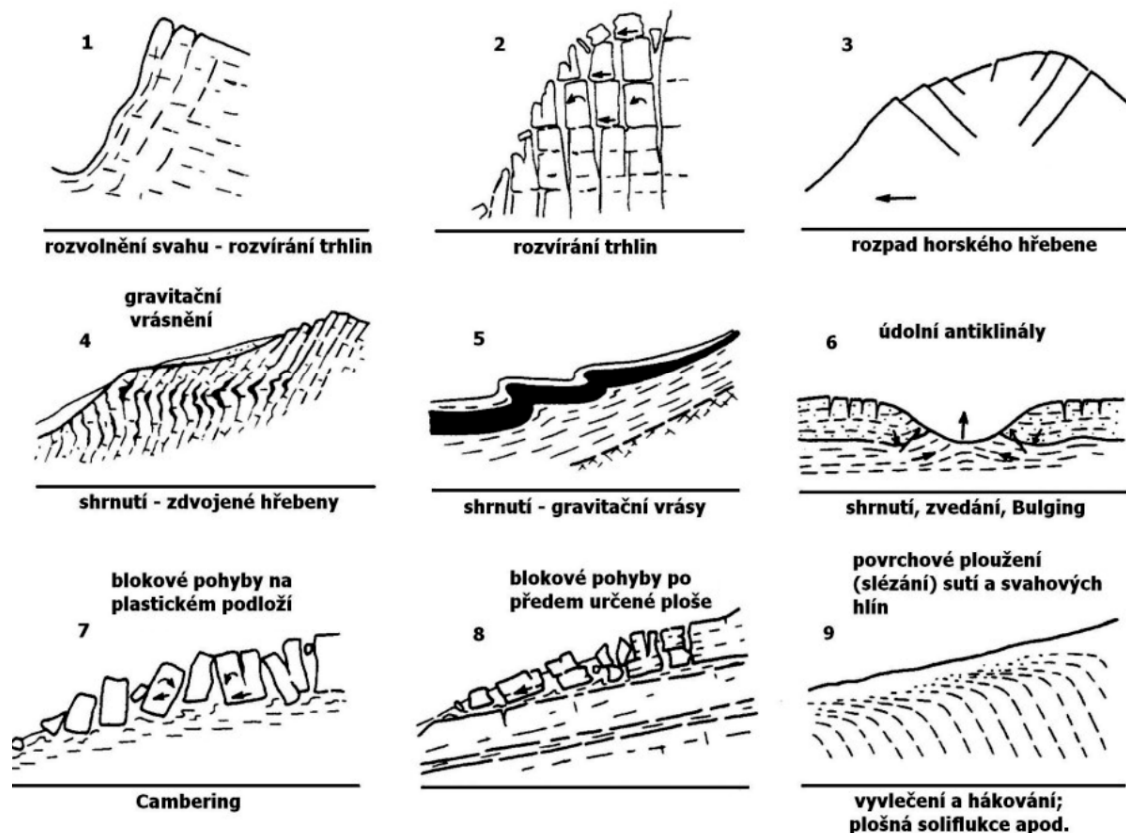
2.1.6 Pomalé pohyby horninových bloků na měkkém podloží – blokové sesuvy

Tyto pohyby vznikají na svazích, kdy jsou v podloží měkké jíly a na nich spočívají bloky hornin. Puklinami oddělené bloky hornin se na okrajích zatlačují do měkkých jílu, které se pak vytlačují do stran a s sebou posouvají i pevné bloky hornin. Tím se zvětšují pukliny v horninách, dolní část bloku se posouvá směrem dolů a horní část se naklání proti svahu.

PLAZENÍ, PLOUŽENÍ, CREEP

- velmi pomalé a pomalé

roztrhání horských masívů



Obr. 2.1: Plouživé pohyby

2.2 Sesouvání

Sesouvání je poměrně rychlý pohyb hornin po zřetelné smykové ploše nebo zóně. Rychlost pohybů je řádově v metrech až desítkách metrů za den. Rozdělení sesouvání je dle Nemčoka hlavně podle tvaru smykové plochy.

2.2.1 Sesouvání zemin podél rovinných nebo mírně zvlněných smykových ploch

U nás je to častý druh sesuvu. Po pevném skalním podloží se sesouvá kvartérní pokryv. V horní části vzniká tzv. odlučná oblast, která je od sesunutého bloku hornin oddělena hlavní trhlinou. Hloubka povrchové porušené vrstvy nebývá obvykle větší než 2-3m. Plocha sesuvu ale bývá rozsáhlá, proto se tyto sesuvy označují jako plošné. Plošné sesuvy bývají aktivní působením vody, během sucha jsou dočasně uklidněné.

2.2.2 Sesouvání pelitických hornin podél zakřivených, zpravidla válcových ploch nebo zón, rotační sesuvy

Rotační sesuvy vznikají v slínech, jílech, jílovcích, jílovitých břidlicích a bývají hluboké. Díky zakřivené smykové ploše dojde při sesuvu k rotaci a sesuté horniny se tak naklánějí proti svahu. Odlučná oblast má konkávní tvar, na svahu se tvoří příčné trhliny. V nich se může hromadit voda, která ještě více naruší stabilitu svahu. Pokud je sesutá hornina hodně nasycená vodou, označuje se splaz jako zemní proud. V umělých zářezech v jílovitých horninách mají smykové plochy malé rozměry. Oblast sesuvu se může zvětšit rozšiřováním odlučné oblasti proti svahu. Vznikají dílčí válcové smykové plochy, území sesuvu je nepravidelně zvlněné.

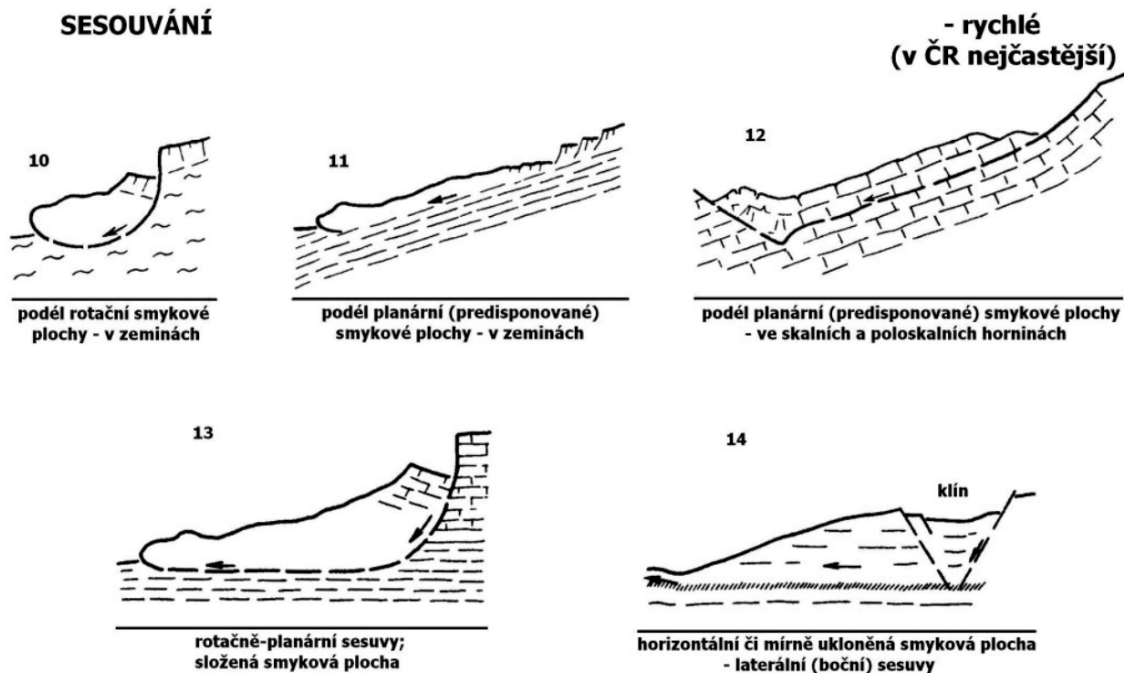
2.2.3 Sesouvání skalních hornin podél rovinných, zpravidla předurčených ploch

U nás jsou nejčastější sesuvy skalních hornin po vrstevních plochách, puklinách nebo dislokacích pokud mají sklon ve směru svahu a pokud je jejich souvislost při patě svahu porušena. U vrstevnatých hornin je často sklon vrstev shodný s maximálním možným sklonem zaručujícím trvalou stabilitu svahu. Čím jsou vrstvy hladší, tím menší je smykový odpor podél těchto vrstev. K porušení stability dojde vlivem povětrnostních podmínek nebo např. vlivem vrásnění. V horských oblastech jsou skalní sesuvy více nebezpečné, protože mohou nabýt charakteru skalního řícení.

2.2.4 Sesouvání podél složených smykových ploch

Obvykle vznikají v horizontálně uložených souvrstvích pelitických a písčitých sedimentů. V horní části svahu bývá zpravidla nově vytvořená smyková plocha, kdežto ve spodní části se sesuvné hmoty pohybují po některé z vrstev menší pevnosti, která je vzhledem k ohybu vhodně uložena.

SESOUVÁNÍ



Obr. 2.2: Sesouvání

2.3 Stékání

Za stékání jsou označovány svahové pohyby, kde sesutá hornina je natolik nasycena vodou, že pohyb má charakter tečení. Sesuvy bývají náhlé a poměrně krátké. Uvolněná hornina rychle po svahu proteče a ukládá se na jeho úpatí.

2.3.1 Zemní proudy, proudové sesuvy

Mohou nastat tam, kde jsou časté i plošné sesuvy. Odlučná oblast v horní části svahu bývá rozlehlá. Úzkým proudem z ní odtékají svahové suti a kupí se při patě svahu, kde se tak tvoří oblast akumulací. Zemní proud se přizpůsobuje reliéfu povrchu. Probíhá např. ve starém korytě potoka.

Existují i složené typy sesuvů. Hornina se může uvolnit podél zakřivené smykové plochy jako rotační sesuv, a až dále při dostatečném množství vody nabýt charakteru proudu.

Proudové sesuvy jsou přechodným typem svahových pohybů. Mají tvar proudu ale menší rychlost než zemní proud. Často se vyskytují ve flyšových horninách na východní Moravě a Slovensku.

2.3.2 Přívalové suťové proudy, mury

Suťové proudy jsou náhlé rychlé pohyby svahových sutí, někdy i vulkanického popela, při vodních přívalech. Vznikají v suchých oblastech, kde území není chráněno vegetací. Nesoudržné horniny za přívalových dešťů vytvářejí spolu s vodou suspenzi.

Mury jsou suťové proudy vzniklé v horských oblastech. Většinou k nim dochází ve výšce nad hranicemi lesů nebo v roklích vyplněných úlomky hornin. Materiál z těchto sesuvů obsahuje jak velké balvany, tak i drobnou hlinito-písčitou suť.

2.3.3 Sesuvy vzniklé vyplavováním písku

Řadí se zde sesuvy vzniklé buď vyplavováním písku, nebo jeho ztekucením. Ztekucení hrozí spíše u jemných písku než u hrubých písků a štěrků. Na přirozených původních svazích dochází k těmto pohybům, je-li písčitá vrstva najednou zavodněna vodou z výše položeného zdroje.

V zářezech může ke ztekucení písků dojít při odstranění méně propustné vrstvy zeminy, pod kterou leží zvodnělá písčitá vrstva. Dalším příkladem je ztekucení vysoce pórovitých písků při náhlých otřesech, proudem vody nebo smykovými silami při odkopání.

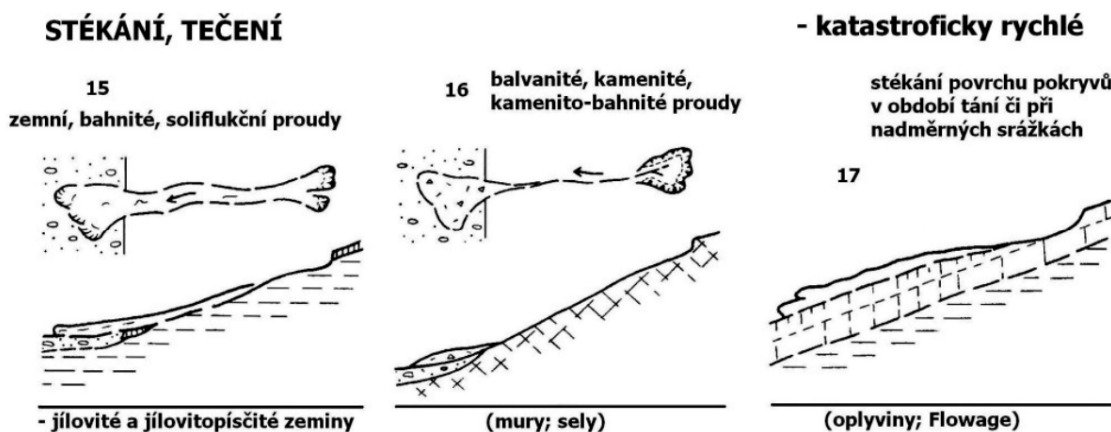
2.3.4 Sesuvy senzitivních jílů

Jílové sedimenty mořského původu se za určitých podmínek mohou měnit z pevného stavu na viskózní kapalinu. Této vlastnosti se říká tixotropie. Senzitivní jíly se vyskytují např. v Kanadě nebo Skandinávii v oblastech nad hladinou moře. Během staletích senzitivní jíly ztrácejí svou pevnost. Je to způsobeno snižováním obsahu soli ve vodě v pórech zeminy. Příčinou pohybů mohou být břehové eroze vodních toků nebo umělý výkop na patě svahu, pokud tím odkryjeme vrstvu senzitivních jílů. Ta rychle odteče a tak se poruší stabilita celého svahu.

2.3.5 Subakvatické skluzy

Probíhají po ukloněném dnu pod hladinou vody. Vznikají v nezpevněných sedimentech, hlavně jílovitých nebo siltovitých a vápenitých kalech. Mohou se vyskytnout i ve zvodněných písčitých náplavech. Rozměry skluzů bývají různé. Vrstvy sedimentů

mohou být jen zprohýbané nebo až roztrhané. Tvoří se v jezerech a na mořském pobřeží, často v deltách. Mohou vznikat i vlivem seismicity, kdy se sesouvají buď povrchové usazené vrstvy, nebo dochází i k vytlačování měkkých pelitických hornin z podloží. Někdy tyto pohyby přecházejí do podmořských turbiditních proudů.

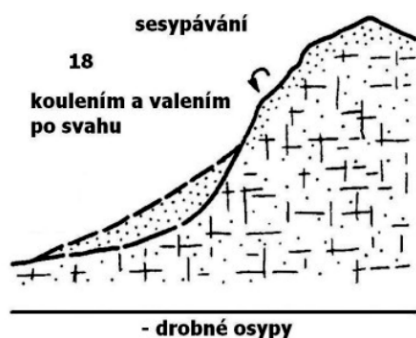


Obr. 2.3: Stékání

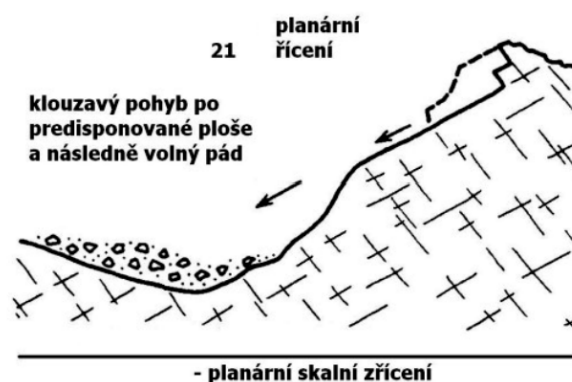
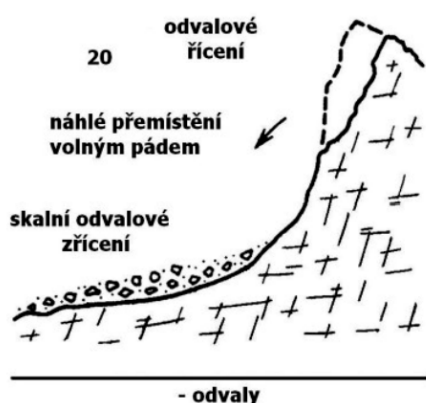
2.4 Skalní řícení

Jako skalní řícení označujeme náhlé pohyby uvolněných bloků nebo komplexů vrstev ze strmých skalních stěn. Mají spíše lokální charakter. Vyskytují se na strmých horských úbočích, často v údolích, které byly předhloubeny horskými ledovci. Převládá volný pád, smyková plocha nebývá výrazná. Tyto sesuvy mají různé rozměry. Upadávat mohou jen jednotlivé kameny nebo celé skalní komplexy. Při úpatí svahu suť pokrývá velkou plochu. Při těchto pohybech spolupůsobí několik faktorů jako zemská tíže, rozpukání a tektonické porušení hornin, povětrnostní vlivy, podemletí nebo odkopání skalních svahů, zemětřesení i úder blesku.

ŘÍCENÍ (zřícení)



- katastroficky rychlé



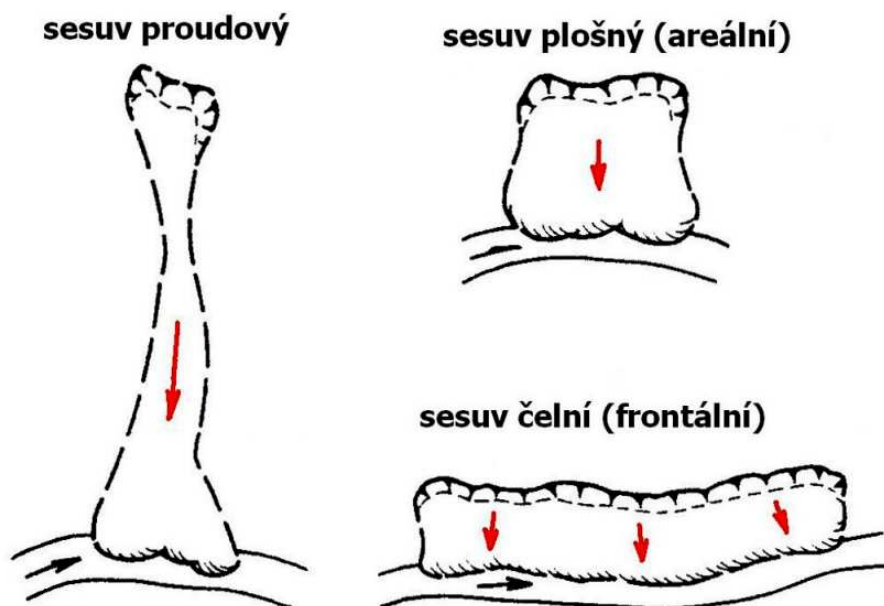
Obr. 2.4: Skalní řícení

2.5 Další rozdělení sesuvů

Sesuvy dělíme dle stáří na současné neboli recentní a staré. Staré sesuvy, které se za dnešních klimatických podmínek nemohou opakovat, nazýváme sesuvy fosilní. Pokud je tento sesuv pokryt jinými mladšími sedimenty, např. sprašemi, říká se mu sesuv pohřbený.

Z inženýrského hlediska se sesuvy dělí dle stupně stabilizace na živé – aktivní, dočasně uklidněné – potenciální a sesuvy trvale uklidněné – stabilizované. Aktivní sesuvy mají tvary na povrchu čerstvé, jsou patrné trhliny, stromy bývají vychýlené, případné cesty či stavby jsou porušeny. Dočasně uklidněné sesuvy jsou ty, u nichž přetrvává příčina svahových pohybů. Povrch je zarostlý, nebo porušený. Stabilizované sesuvy jsou ty, u kterých se nemůžou opakovat podmínky jejich vzniku, ať už morfologické nebo klimatické.

Podle půdorysného tvaru se rozeznávají sesuvy plošné, proudové a čelní.



Obr. 2.5: Půdorysné tvary sesuvů

2.6 Faktory porušující stabilitu svahu

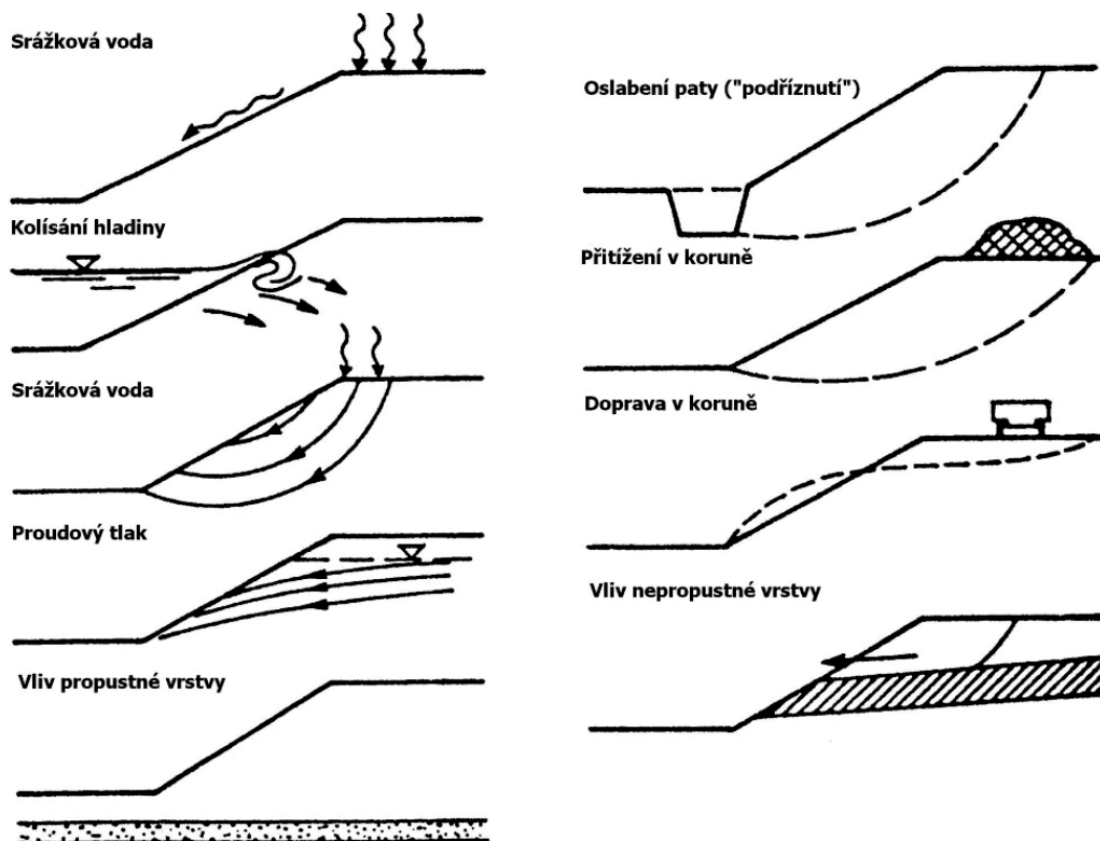
Častým činitelem při vzniku svahových pohybů je voda

- Změna obsahu vody, více vody v pórech, vyšší tlak v pórech znamená menší pevnost.
- Vnikání vody do jílovitých hornin, které se v předešlém období sucha smrštily.
- Proudící podzemní voda působí tlak na částice zeminy, stabilita svahu se zhoršuje. V jemných píscích a siltech proudění podzemní vody způsobuje vyplavování zrn ze svahu. Podzemní voda taky může vyplavit rozpustný tmel a negativně tak ovlivnit smykovou pevnost. Pokud je hladina podzemní vody napjatá, působí na nepropustné vrstvy v podloží jako vztlak.

Dalšími faktory jsou

- Změna sklonu svahu
- Přetížení násypy

- Otřesy a vibrace
- Účinek mrazu
- Zvětvávání hornin
- Změny ve vegetačním porostu



Obr. 2.6: Faktory ovlivňující stupeň stability svahu

3 MOŽNOSTI SANACE SVAHOVÝCH POHYBŮ

3.1 Úprava geometrie svahu

Zvýšení stability svahu můžeme dosáhnout buď přitížením paty, nebo odlehčení koruny svahu. Velikost přísypů a odlehčení v koruně závisí na druhu hrozícího svahového pohybu. Např. v měkkých jílech musí být přísyp objemnější. Přísypy by také měly být odvodněny, budují se pod nimi drény. Ochranné přísypy v jílech jsou velice účinné, pokud jsou zřízeny včas. Mohou se tedy budovat i po částech při postupném hloubení zářezu. Minimální tloušťka přísypu je dána nezámrznou hloubkou.

3.2 Odvodnění sesuvů

3.2.1 *Povrchové odvodnění*

Povrch sesuvného území bývá zvlněný, časté jsou trhliny, jimiž se voda může dostávat dovnitř zemního tělesa. V trhlínách a prohlubních se mohou tvořit mokřadla. Je proto důležité povrchovou vodu odvést. Musí se odvést voda ze všech potoků na sesuvném a přiléhajícím území, a všechny prameny, které na území sesuvu vytékají.

Jako první rychlé řešení se používá plastového potrubí. Lze je snadno překládat, ale v zimním období může zamrzat. Toto opatření vede k částečnému uklidnění sesuvu. Poté se zřizují otevřené příkopy, dostatečně dimenzované a vyspádované. V tomto kroku se také zarovná povrch. Deprese se vyplní, trhliny zadusají tak, aby voda mohla odtékat a nedocházelo k její infiltraci do podloží. Dno příkopů se dláždí přírodním kamenem nebo betonovými tvárnicemi. Kámen nebo tvárnice se osazují do pískového lože, spáry se pak vyplní cementovou maltou nebo drnem. Mohou se použít také železobetonové tvárnice, které jsou na jednom konci zúžené a teleskopicky se vkládají do sebe. Jejich výhoda je nepropustnost a také pružné uložení, které zaručí funkčnost odvodnění i při menších svahových pohybech. Je možné použít i dřevěné žlaby, které se snadno skládají a přemísťují. Jsou však díky použitému materiálu opravdu pouze dočasné.

Nad odlučnou plochou sesuvu se někdy zřizují obvodové příkopy. Ty odvádějí vodu z okolních, výše položených svahů. Je nutno je pravidelně udržovat. Při ucpání nebo

porušení příkopu by se v místě hromadila voda, což by vedlo k dalším zatrháváním svahu a porušení jeho stability.

3.2.2 Hloubkové odvodnění

Ke zvýšení stability svahu je důležité nejen odvedení povrchové vody, ale také snížení hladiny podzemní vody ve svahu. U zářezů lze pak zvýšit sklon svahu a zmenšit tak nutný zábor pozemků. Hloubkové odvodnění zvyšuje stabilitu svahu, neboť snížením HPV dochází ke zmenšení vztlaku vody na smykové ploše, omezí se působení vodního tlaku a urychlí se rozptýlení pórového tlaku. Prvním opatřením ke snížení HPV může být čerpání vody ze svislých odvodňovacích prvků a studní. Je to ale finančně náročné a proto se tato metoda používá pouze krátkodobě. Po provedení geologického a hydrogeologického průzkumu se navrhne hloubkové odvodnění.

3.2.2.1 Čerpací studně

Etapy geologického a hydrogeologického průzkumu a návrhu hloubkového odvodnění lze spojit v jednu, zřízením čerpacích studní. Čerpací studně se využijí jednak při průzkumu a poté k odvodnění. Jejich nevýhodou je průměr vrtu, který musí být 280 až 300mm. Použití je vhodné tam, kde nelze zřídit vodorovné vrty, např. vedle vodních nádrží, nebo tam, kde by se vodorovné vrty ucpávaly.

3.2.2.2 Drenážní štoly

Dalším způsobem hloubkového odvodnění je použití drenážních štol. Jsou však velice drahé a proto se používají jen zřídka. Jejich výhodou je dobrý geologický a hydrogeologický průzkum a možnost zřizování vodorovných vrtů zevnitř štol. Díky svému velkému průřezu štoly zůstávají funkční a odvádějí vodu i při jejich narušení.

3.2.2.3 Vodorovné odvodňovací vrty

Často používané jsou vodorovné odvodňovací vrty. Oproti odvodňovacím štolám jsou rychleji vyhotovené. Jejich účinnost může být ale zmenšena hned z několika příčin. Maximální délka vrtů je 300m, směr vrtu se může odchýlit i o více jak 5m. Řešením omezené délky vrtu je zřízení mezilehlé jámy, ze které se vrtá na obě strany. Díky kovovému materiálu mají pažnice vrtů omezenou životnost. Tu lze prodloužit vložením

pásu plastových perforovaných trubek dovnitř perforované ocelové pažnice. To je však kvůli finanční náročnosti málo používané. Vrty lze vyplachovat a předejít tak jejich ucpání. Vrty by měly dosáhnout až k nejpropustnější vrstvě za svahem. Jinak není odvodnění tímto způsobem účinné. Jeden dlouhý vrt zasahující do nejpropustnější vrstvy nelze nahradit několika kratšími vrty. Je dobré s vrtem kus pokračovat i v této propustné vrstvě, často se načerpá zvýšený přítok vody. Účinnost vodorovných odvodňovacích vrtů je samozřejmě velice ovlivněna propustností horniny. Odvodnit lze i neogenní jíly díky tomu, že bývají potrhane a často obsahují vrstvičky písku. Komplikované bývá odvodnění v plioceních a glacigeních sedimentech, kde se střídají jílovité, prachovité a jemně písčité vrstvičky a čočky. Metoda zřizování vodorovných odvodňovacích vrtů závisí hlavně na jejich délce. Krátké vrty na nízkých svazích se provádí zatlučením perforovaných trubek. Dlouhé vrty se vyhotovují např. vrtáním valivým dlátem, které je upevněno na soutyčí. Dláto za sebou táhne a spoluotáčí ocelové perforované trubky pažení vrtu, po skončení vrtu se soutyčí vytáhne a dláto zůstane ve vnitř vrtu. Vyústění vrtu je dobré zakrýt vrstvou šterku o mocnosti 1,5m a předejít tak promrzání povrchu svahu.

3.2.2.4 Drenážní žebra

Drenážní žebra lze použít pro mělkou drenáž. Jsou to rýhy vedené po spádnicí vyplněné šterkem. Hloubka žebor bývá 1 – 2 m. Může však být i větší, běžně bývají žebra hloubena bagrem, jehož dosah je 3 – 5m. Hlubší rýhy je nutno pažit. Pokud žebro zasahuje pod smykovou plochu, plní i funkci ztužující.

3.3 Sanace sesuvů rostlinným porostem

Zalesňování a zatravňování sesuvných území patří k závěrečným pracím, kdy je svah alespoň částečně uklidněn. Předchází tomu povrchové odvodnění, zarovnání povrchu a zadusání trhlin. Samotné zalesnění může fungovat jako trvalá stabilizace pouze u mělkých sesuvů. U sesuvů, které mají smykovou plochu hlouběji má zalesnění ale také svoji úlohu. Odebírá ze svahu povrchovou vodu. Tím se vysuší povrchová vrstva, která je pak zajištěna hlubokými kořeny stromů. Ve středních polohách jsou nejvhodnější duby s příměsí habrů, olší, jasanů, dále vrby topoly a osiky. Nad 900m potom klen,

jeřáb, břízy, olše a borovice. Nejprve se zasejí traviny a byliny se živými ploty a poté se vysazují dřeviny. Dle zkušeností je nejlepší trvale smíšený les.

3.4 Zárubní zdi

Dnes jsou zárubní zdi často nahrazovány pilotovými stěnami. Dříve se využívaly k zajištění svahů výkopů. Jejich vyhotovení je pracnější, je potřeba udržovat příjezd do nedokončeného výkopu. Z funkčního hlediska můžeme rozlišit tyto typy zárubních zdí:

Nízké zdi chrání patu svahu, zabraňují porušení příkopu a jeho rozbahnění. Tam kde není dostatek místa pro přísyp v patě svahu, mohou podepírat tyto přísypy. Říká se jim také tížní nebo gravitační zdi, protože odpor proti zemnímu tlaku je vyvolán převážně pouze jejich vlastní tíhou. Z toho plynou nevýhody porušení či vybočení zárubní zdi už při malém zvětšení zemního tlaku, např. vlivem promrznutí jílovité zeminy. Obdobou jsou srubové zdi používané v horských oblastech. Bývají tlustější, spotřeba betonu je menší, výplň zdi tvoří hutněné kamenivo s velkým úhlem vnitřního tření.

Jako ochrana vozovek proti odpadávajícím úlomkům skal je vhodná srubová zeď s písčitým nadnásypem. Ten brzdí nárazy padajících kamenů. Po zásypu zdi se v koruně může zřídit berma, u nižších svahů se může vyhotovit za příkopem.

Poslední skupinou jsou opěrné zdi chránící proti proudovým sesuvům a podobným pohybům. Pro správnou funkčnost je třeba odvodnit patu sesuvu.

3.5 Svorníky a zemní kotvy

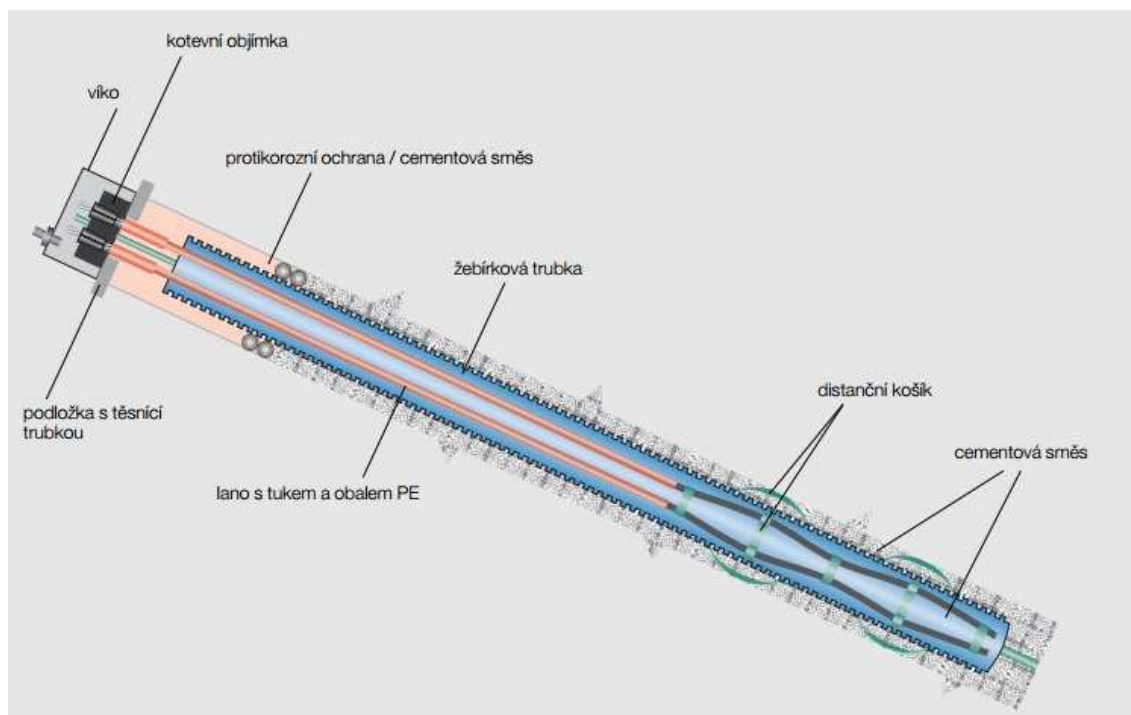
Svorníky jsou poměrně krátké kotevní tyče. Obvykle jsou používány k zabránění rozvolnění líce skalního nebo poloskalního svahu. Osazují se do hustého rastru, působí v tahu i smyku. Zpravidla se po celé délce svorníku provede zálivka. Tzv. pasivní svorníky kotví rozpukané, ale jinak pevné horniny bez již přítomné smykové plochy. K předepnutí svorníků dochází při vzniku smykové plochy vlivem zvětšení objemu horniny. Tam, kde smyková plocha už existuje, se musí svorníky předepnout utažením kotevních matek. Z toho vyplývá, že je důležité včasné načasování osazení svorníků. Hlavy svorníků se upínají pomocí kotevních desek. Pod menšími kotevními deskami se

hornina ulamuje a rozpadává. Proto jsou častěji používány větší spojité kotevní desky, tzv. kotevní žebra.

Zemní kotvy jsou buď pramencové, nebo tyčové. Bývají hluboké a působí jako táhla. Skládají se z hlavy, volné délky a kořene neboli kotevní délky. Podle doby svého působení se kotvy dělí na dočasné a trvalé s funkcí delší než dva roky. Podle způsobu namáhání kořene na kotvy s kořenem taženým nebo tlačným. Pro účel zajištění zářezu je nejvhodnější použití trvalé kotvy pramencové. Tyčové kotvy mají omezenou délku na cca 12 metrů kvůli dopravě. Používají se dva typy trvalých pramencových kotev, které se navzájem liší konstrukcí a antikorozní úpravou.

U prvního z nich má každý pramenec zvlášť svoji volnou a kořenovou délku. Pramence jsou potaženy pryžovým povlakem, nařezány na příslušné délky a následně jsou pramence ve své kořenové části zbaveny pryžového povlaku. Dále se na pramenec navlékne PE trubka o průměru 20 mm, která je připáskovaná na začátku volné délky. Prostor mezi pramencem a PE trubkou se zainjektuje, konec kořene se opatří botkou z umělé hmoty. Na stavbě se z pramenců montují kotvy pomocí mažetové trubky z PE profilu 32/3,6 mm s manžetami po 0,5 m.

Druhý typ se skládá z holých pramenců Lp 15,5 mm. Pramence jsou spojeny po cca 2m lepící páskou. Mezi ně se vloží 2 PE trubičky. Jedna slouží k plnění kořenové části kotvy a druhá k odvodu vzduchu při plnění kořenové části. Dále se navlékne PE trubka s vyřezaným závitem na volnou délku a druhá, vrubovaná PE trubka na kořenovou část. Navzájem se sešroubují a přepáskují a upraví se špička kotvy z plastbetonu. Kotva se opatří manžetovou trubkou a vkládá se do vrtu opatřeného zálivkou. Kořenová část se vyplní cementovou suspenzí, plnění je považováno za dokončené, pokud z odvodu vzdušňovací hadičky vytéká suspenze. Takto se mohou vyhotovit kotvy s max 6 pramenci. Pokud je potřeba větší únosnosti, jednotlivé kotvy se vkládají do jednoho vrtu.



Obr. 3.1: Pramencová kotva Dywidag

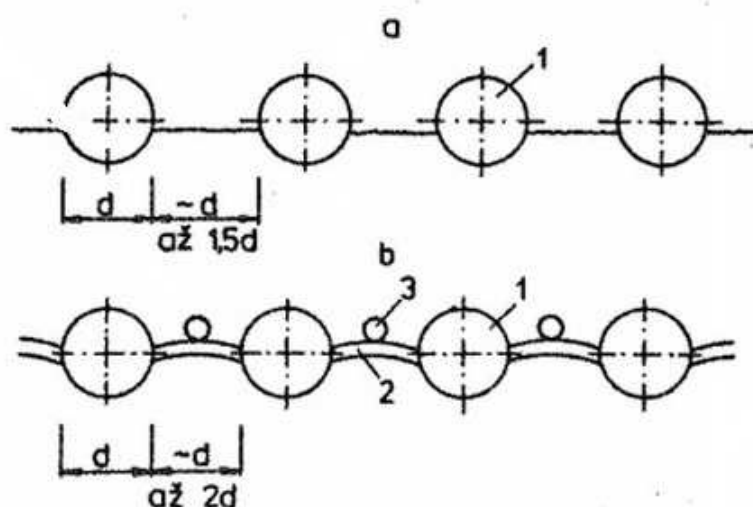
Technologie provádění kotev se skládá z těchto částí:

- Zhotovení maloprofilového vrtu
- Vyplnění vrtu zálivkou
- Výroba, doprava, manipulace a osazení kotvy
- Injektáž kořene, v případě potřeby reinjektáž nebo předinjektáž okolní základové půdy
- Napínání kotev, jejich zkoušení, přezkušování

3.6 Pilotové a štětové stěny

Pilotové stěny se používají místo zárubních zdí. Mají tu výhodu, že se mohou zřídit před dokončením zářezu a mají menší tloušťku. Na staveništi ale musí být dostatek místa pro soupravy, kterými se piloty zřizují. Pilotové stěny jsou tvořeny řadou vrtaných pilot namáhaných na ohyb, respektive mimostředný tlak. Pilotové stěny používané jako zárubní zdi pro zajištění zářezů se provádějí s velkou osovou vzdáleností pilot, kde $a \gg$

d. Mezery mezi pilotami se obvykle volí jako $0,5 - 1,0 d$. Mezi pilotami se ze stříkaného vyztuženého betonu provedou ploché klenbičky. Musí být odvodněné. To se provádí perforovanými hadicemi z PE, které se umístí na rub pilotové stěny. Pro kotvení se používají železobetonové převázky hlavové i předsazené v jedné nebo více úrovních pod hlavami pilot. Převázky se dělají jako průběžné dilatované asi na 20 – ti metrové úseky. S pilotou musí být pevně spojeny, v případě hlavových převázek pomocí výztuže vyčnívající z hlav pilot. Tento systém umožňuje díky své tuhosti omezit počet kotev.



- a - stěna s mezerami mezi pilotami v soudržné zemině
- b - stěna s mezerami mezi pilotami v nesoudržné zemině
- 1 - vrtané železobetonové piloty
- 2 - torkret nebo stříkaný beton s výztužnou sítí
- 3 - odvodnění rubu stěny pomocí flexibilních hadic z PVC, PE

Obr. 3.2: Úprava pilotových stěn

Ocelové štětové stěny se používají pouze zřídka. Mají menší tuhost než pilotová stěna. Proto bývají použity pouze např. u rychlé stabilizace menších plošných sesuvů. Malá tuhost dovoluje výšku okolo 3,5 m, vyšší štětové stěny už musejí být kotveny. I tyto stěny vyžadují odvodnění ze svého rubu. Díky použitému materiálu se také přenáší hlouběji účinek mrazu, proto je vhodné svah i konstrukci stěny překrýt přísypem proti promrzání.



Obr. 3.3: Příklad kotvené pilotové stěny – pilotová stěna na silnici 464 u Bílova

4 MONITORING, MĚŘÍCÍ TECHNIKA

4.1 Využití geotechnického monitoringu

Observační metoda je využití monitoringu, kdy se pomocí jeho výsledků projekt či stavební postup upravuje. Observační metodu lze výhodně použít tehdy, pokud není proveden podrobný geotechnický průzkum v potřebném rozsahu. V takovém případě je vypracován pouze základní stavební projekt bez podrobného řešení, který se během výstavby postupně upravuje podle výsledků monitoringu neboli kontrolního sledování. Lze tak dosáhnout ekonomičtějšího řešení stavby. Principem observační metody je kontrolní sledování odpovědi horninového masivu na inženýrský zásah přímým měřením, následuje zpětná analýza skutečného chování systému hornina – stavba a přijímání opatření na jejím základě. Jednotlivými kroky observační metody jsou:

- 1) Jednoduchý průzkum pro zjištění základních vlastností horninového prostředí
- 2) Určení pravděpodobných geologických poměrů a předpokládaného chování horninového masivu v daném prostředí, stanoví se i nejméně příznivé odchylky od tohoto chování
- 3) Z předpokladu nejpravděpodobnějších geologických poměrů v místě stavby se vypracuje projekt na základě pracovní hypotézy o spolupůsobení systému horninový masiv – konstrukce
- 4) Výběr sledovaných veličin a jejich výpočet
- 5) Stanovení hodnot sledovaných veličin pro nejnejpříznivější geologické poměry
- 6) Návrh technických, technologických a bezpečnostních opatření, přijímaných pro pro stanovení odchylky zvolených veličin od jejich průměrných hodnot
- 7) Zahájení stavby a sledování odezvy horninového masivu pomocí vybudovaného systému monitoringu
- 8) Podle výsledků kontrolního sledování následuje úprava projektu či navržených technologií

- 9) Úprava měření průměrného očekávaného chování a možných odchylek na základě zkušeností a poznatků o vlastnostech horninového prostředí získaných během stavby

Pokud nejsou splněny výše uvedené kroky a podmínky, pak se jedná o prostý monitoring. Observační metoda se často používá v tunelovém stavitelství. Příkladem je využití tohoto postupu při NATM. Hojně využívaná je také při kompenzačních injektážích, kdy se měří zvedání povrchu terénu nebo konstrukčních prvků, a podle toho se upravují tlaky injektážích směsí a postup injektování v jednotlivých vrtech a etážích. Lze ji ovšem využít i pro klasické geotechnice úlohy.

4.2 Měření sil

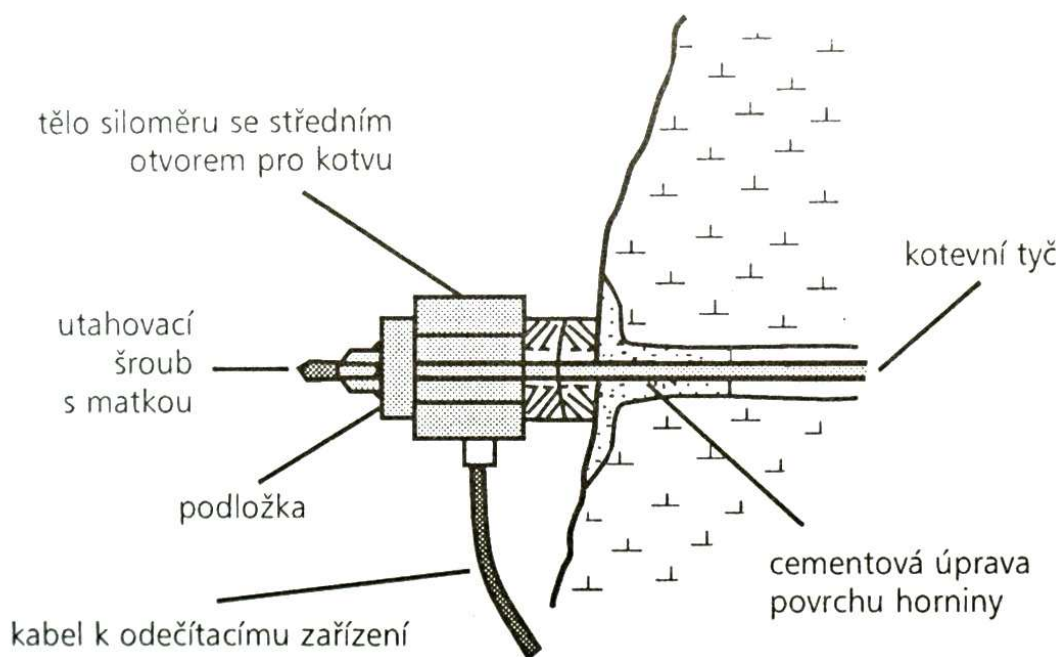
4.2.1 Siloměry – dynamometry

Existuje několik typů siloměrů. Podle principu měření je můžeme rozdělit na siloměry s odporovými tenzometry, siloměry s fotoelasticimetrickým čidlem, siloměry pracující na hydraulickém principu a strunové siloměry.

V geotechnice je nejvíce používaný strunový siloměr, např. k měření sil v kotvách. Uvnitř těla siloměru je napnutá struna, která se rozkmitá vždy stejným impulzem. Měřenou veličinou je kmitočet struny, který se mění v závislosti na jejím napnutí. Struna se napíná tlakem působícím na tělo siloměru.

Na výrobu siloměru je používána velmi kvalitní ocel. Nejčastější tvar je silnostěnný válec. Ve svislých stěnách válce jsou vyvrtány otvory, v nichž jsou umístěny struny. Minimální počet strun je 3, vzájemně jsou pootočený o 120°. Siloměry s velkou kapacitou mohou mít až 6 strun. Vevnitř válce se nachází zařízení, které struny rozkmitává. Siloměr je zespodu i shora uzavřen ocelovými kryty.

Výhody strunového siloměru jsou přesnost, citlivost, časová stabilita, lze je vyrobit ve vodovzdorném provedení, jednoduše se osazují. Odečty jsou rychlé, odečítat se může i daleko od těla siloměru. Pokud se struny poškodí, lze je vyměnit. K jeho nevýhodám patří vyšší cena a potřeba speciálního odečítacího přístroje.



Obr. 4.1: Siloměr s otvorem pro měření kotevních sil

4.3 Měření pórových tlaků vody

Piezometry slouží k měření vztlaku a pórových tlaků vody a HPV. Mohou být otevřené nebo uzavřené. Uzavřené piezometry jsou nazývány také jako měřidla pórového tlaku. Rozdíl mezi uzavřeným a otevřeným piezometrem spočívá hlavně v tom, že uzavřený piezometr je v zemině utěsněn tak, že měří pórový tlak, ne volnou hladinu ve vrtu, jako otevřený piezometr.

4.3.1 Měřidla pórového tlaku

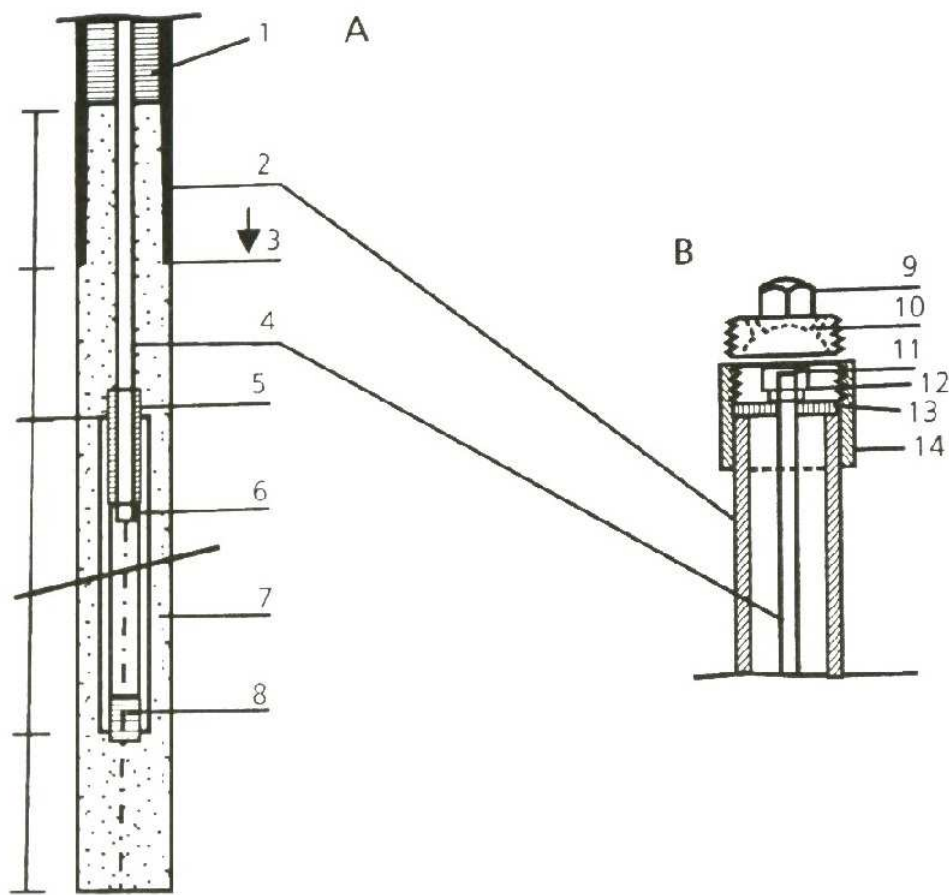
Každé měřidlo pórového tlaku se skládá z těla měřidla, porézního prvku, měřicího čidla, hadičky nebo kabelu spojující měřidlo s povrchem terénu a odečítací aparatury. Dovnitř měřidla pórového tlaku vstupuje voda porézním prvkem. Čidlo v nitru měřidla měří tlak vody. Samotných měřidel je opět několik typů. Jsou to piezometry pneumatické, hydraulické, odporové, piezoelektrické a strunové. Signál z čidla je k odečítací aparatuře doveden buď kabelem, nebo v případě hydraulických či pneumatických čidel hadičkou.

Měřidla pórového tlaku se osazují buď do vrtů, nebo na povrch vrstvy sledované zemní konstrukce v průběhu jejího sypaní. Uzavřený piezometr musí být pečlivě obsypán pískem okolo porézního prvku a utěsněn nad měřidlem ve vrtu. Těsnění je provedeno z jílu nebo bentonitu. Utěsnění je znesnadněno kabelem nebo hadičkou procházející k odečítací aparatuře na povrchu terénu. Proto se měřidla osazují do vrtů o malém průměru, obvykle 100mm, max. 150mm.

4.3.2 Otevřené piezometry

Otevřenými piezometry se měří hladina HPV v propustných a středně propustných zeminách. Tento přístroj není schopný rozlišit několik různých hladin HPV, měří jen tu nejvyšší. Hladina podzemní vody může být měřena pásmem s písťalou nebo měřidly na principu plováku. Poloha plováku se měří vzhledem ke zhlaví vrtu. Odečet může být prováděn vizuálně nebo průběžně pomocí automatického odečtu. Piezometry mohou být jednotrubicové nebo dvoutrubicové.

Jednotrubicový piezometr se skládá z tzv. koncovky neboli dutého válce z porézní keramiky. Válec má průměr 4 – 5cm a tloušťku stěny 0,6 – 1cm. Méně propustné zeminy musí mít delší koncovku, tím se zvětší objem zeminy působící na měřidlo. Kratší koncovka znamená méně vytlačené vody a pomalejší reakci měřidla. Porézní válec má svrchu zátku s otvorem, do kterého se nasazuje samotná měřičská trubice. Trubice je vyrobena z tvrdého PVC, vnější průměr bývá 12 – 20 mm, tloušťka stěny 1,5 – 2mm. Jednotrubicové piezometry se hodí k měření HPV v poměrně propustných zeminách. V málo propustných zeminách je měření zdlouhavé. Jsou ovšem levné a snadno se osazují i do špatně přístupných míst.



A - uspořádání měřidla, B - detail ukončení měřidla na povrchu území
 1 - těsnění, 2 - pažnice, 3 - konečná poloha pažnice, 4 - PVC trubice, vnější průměr 12 až 20 mm, 5 - gumová průchodka, 6 - válec z porézní hmoty, vnější průměr 4 až 5 cm, 7 - písek, 8 - gumová zátka, 9 - listová zátka, 10 - vzduchové ventily, 11 - zátka, 12 - svorka, 13 - kotouč z PVC, 14 - nátrubek

Obr. 4.2: Detail jednotrubcového otevřeného piezometru

Dvoutrubicový piezometr je složen z koncovek z porézního materiálu z nichž vedou dvě trubice k odečítacímu zařízení. To je umístěno co nejnižší. Tlak je odečítán pomocí manometrů. Po osazení koncovek se napojí dvě trubice na měřicí stanici, celý systém je zaplněn odvzdušněnou vodou. Koncovky zachycují tlaky, které se následně přenášejí pomocí vody v trubicích až k manometrům v měřicí stanici. Systém musí mít odvzdušňovací zařízení, čerpadlo a zásobník vody, aby bylo kdykoli možno systém proplachovat a plnit odvzdušněnou vodou. Po úpravě koncovek lze dvoutrubicová hydraulická měřidla použít i pro měření pórových tlaků v zeminách částečně nebo plně nasycených vodou. Dají se měřit i pórové podtlaky. Trubice spojující koncovku s odečítajícím zařízením musí být dokonale vzduchotěsná i vodotěsná. Bývají měděné

nebo z plastu. Mohou mít i zdvojenou stěnu. Pórové tlaky jsou odečítány membránovými, nebo v případě malých tlaků rtuťovými manometry. Převýšení manometru nad piezometrem by nemělo být větší než 5m.

4.4 Měření posuvů na povrchu hornin a objektů

4.4.1 Geodetické metody

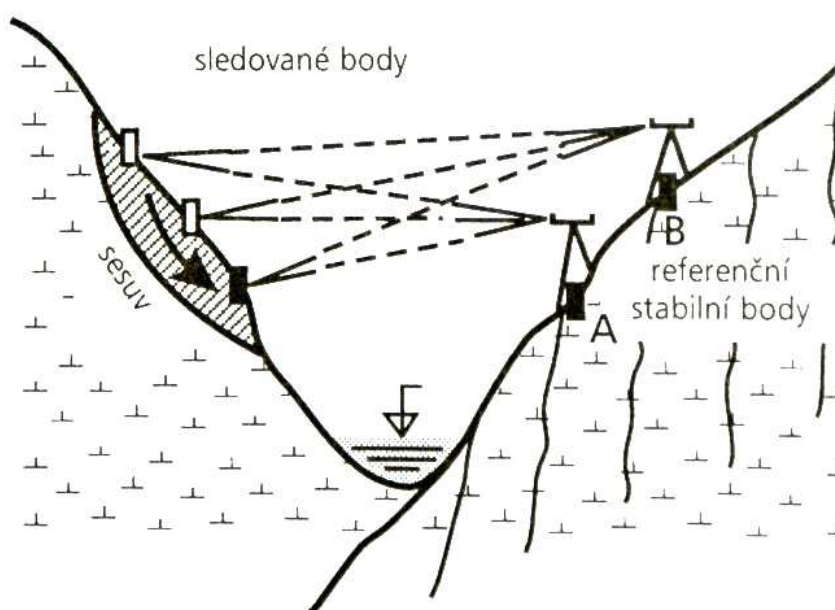
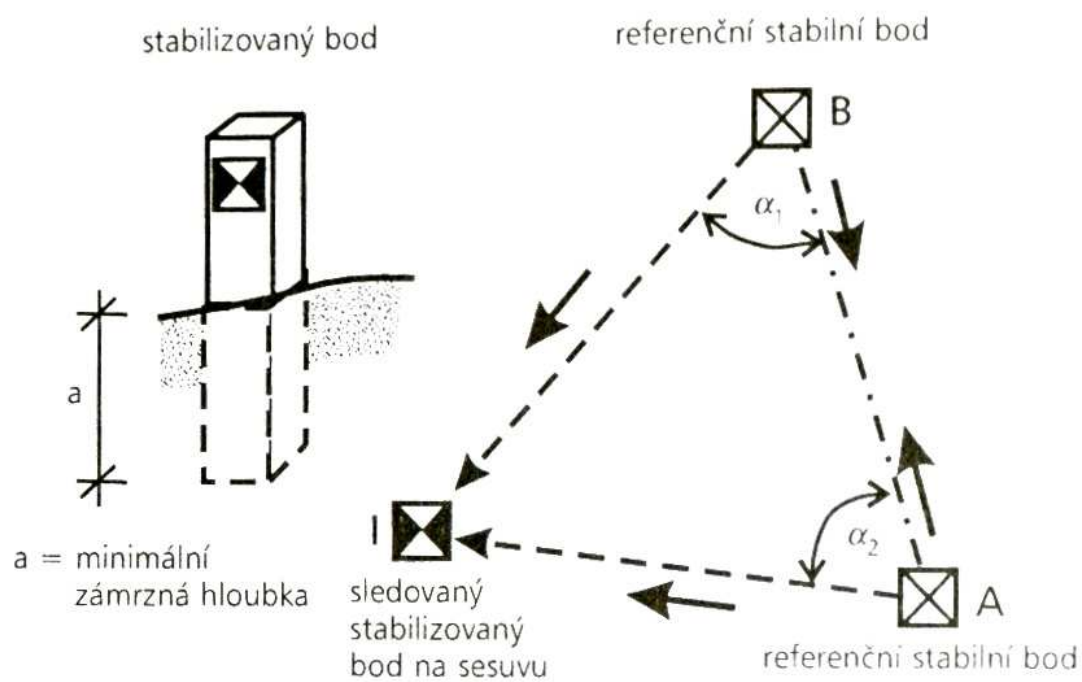
Geodetická měření jsou nejběžnějším způsobem sledování polohy stabilizovaných bodů. Nejčastěji se používá nivelace, trigonometrická měření, přesná délková měření elektronickými distančními přístroji, měření totálními automatickými optickými stanicemi a fotogrammetrii. Vhodnost použité metody závisí na rychlosti pohybu, velikosti měřených polohových změn a přístupnosti terénu.

4.4.1.1 Přesná nivelace

Přesnou nivelací se měří svislé posuny s přesností řádově desetin milimetrů. Využívá se spolu s dalšími geodetickými metodami. Pokud se měří na povrchu terénu, body by měly být stabilizovány tak, aby měření nebylo zkresleno objemovými změnami, např. vlivem promrzání.

4.4.1.2 Trigonometrická měření

Pro tuto metodu je výhodné, pokud jsou k dispozici dva stabilní referenční body mimo sesuvné území. Musíme znát vzdálenost mezi těmito dvěma referenčními body, ze kterých se úhlově zaměřují sledované body na sesuvu. Přesnost závisí na přesnosti stanovení vzdálenosti mezi referenčními body a na úhlech pod kterými se zaměřují body sesuvu.



Obr. 4.3: Trigonometrické měření

4.4.1.3 Délková měření elektrooptickými přístroji

Je rychlé, přesné a přitom pohodlné. Přesnost se pohybuje $\pm$ miliontin z měřené vzdálenosti. Kombinuje se s trigonometrickým měřením.

4.4.1.4 Totální samočinné optické stanice

Měří všechny určující veličiny, tzn. Vodorovný úhel, zenitový úhel a vzdálenost. Dokážou samočinně cílit a měřit skupiny sledovaných bodů, měření vyhodnotit a případně odeslat.

4.4.1.5 Fotogrammetrie

Pomocí této metody lze sledovat posuvy po celé ploše, ne jen na sledovaných bodech. Používá se, pokud je terén zbaven vegetace. Fotogrammetrie je mnohem méně přesná. Pro zachycení prostorového pohybu musíme mít dva stabilní referenční body, na kterých jsou umístěny kamery.

Všechny uvedené metody se často doplňují jednodušším měřením pomocí pásma a optického hranolu, např. metodou záměrné přímky. Při tomto postupu se vhodně zvolí přímka, která má oba své konce na stabilním území a směřuje kolmo na pohyb svahu. Měří se odchylky od původní polohy bodů na této přímce. Měření se provádí buď pásmem a optickým hranolem pro vytyčování pravých úhlů nebo teodolitem a nivelací. V nepřístupném území se můžou použít opakovaná měření polygonových pořadů. Přesnost je nejmenší ze všech uvedených postupů, řádově $\pm$ několik cm.

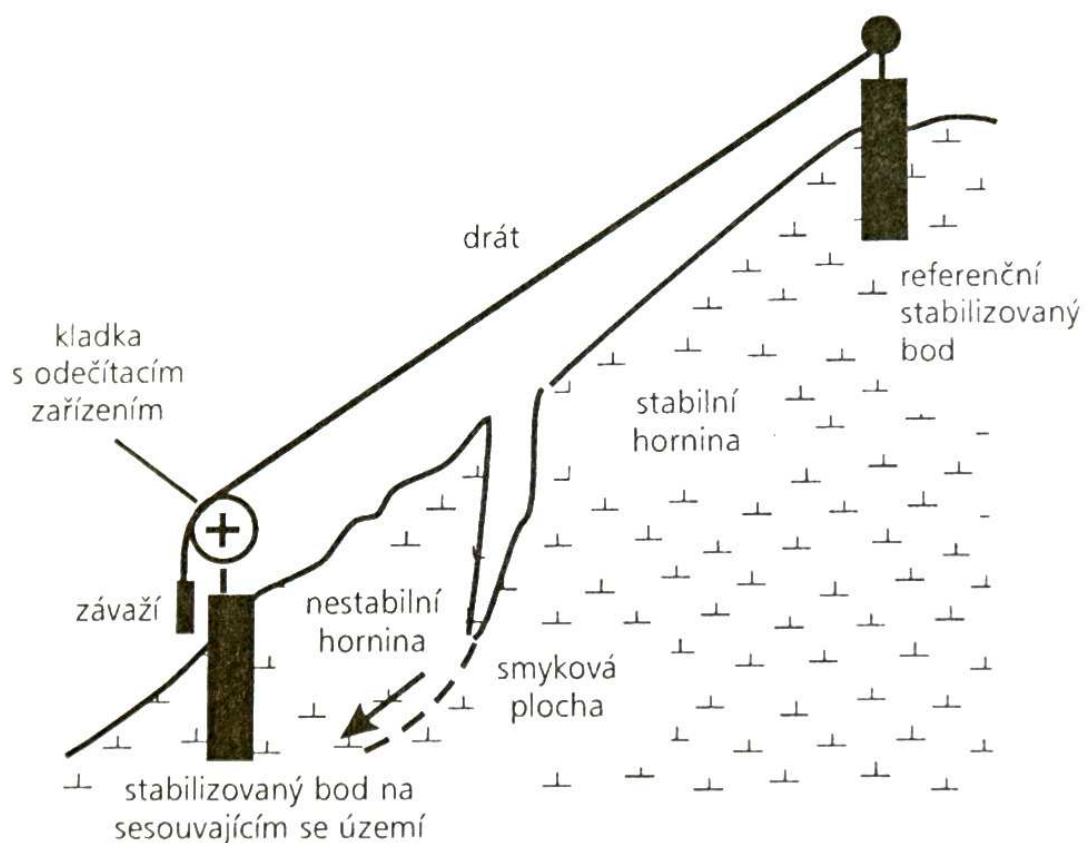
4.4.2 Přímé měření posuvů

Používá se k měření rozevírání trhlin a puklin, a při sledování svahových pohybů v odlučných tahových zónách sesuvu. U rychlých větších sesuvů lze využít pásma, měří se vzdálenost dvou bodů na stabilním území. Každý z bodů je na opačné straně trhliny, měří se vzdálenost kolmo na puklinu. Pokud není jistý směr pohybu, měří se diagonály mezi čtyřmi body, na každé straně trhliny jsou umístěny dva body. Jestliže je požadována větší přesnost měření, používají se deformetry, drátové povrchové extenzometry a přenosné pásmové extenzometry. Deformetr je principiálně nepřenosné posuvné měřítko. Jeden konec je pevně uchycen na jedné straně pukliny, druhý konec se

na druhé straně posouvá kolem pevného bodu, na kterém je připevněno samotné měřítko.

4.4.2.1 Drátový povrchový extenzometr

Princip drátového povrchového extenzometru je takový, že se přes rozevírající trhlinu natáhne drát, který je na jedné straně připevněn do referenčního bodu na stabilním území a na druhé straně je veden přes kladku s odečítacím zařízením umístěným na posuvném území. Drát je napnut pomocí závaží. Pokud je drátový extenzometr vícenásobný, stabilizované body na sesuvném území jsou od referenčního bodu různě vzdálené. Drát je z invarové oceli malé roztažnosti.



Obr. 4.4: Princip drátového extenzometru pro měření na povrchu území

4.4.2.2 Pásmový extenzometr

Pásmový extenzometr je pásmo z invarové oceli vybavené pružinou, která vždy zaručí stejné napětí pásma. K pásmu je dodáván i kalibrační rám pro teplotní korekce. Měří se

mezi dvěma pevnými body s kulovým zhlavím. Výhodou tohoto měření je vysoká přesnost. Není možný průběžný samočinný záznam dat.

4.4.3 Měření náklonů

Náklony se měří stabilními nebo přenosnými náklonoměry. Ty jsou vybaveny elektronickými čidly nebo závažím připevněným na lanku. Takto lze měřit průběh naklánění skalních boků nebo objekty, které se zabořují do měkkého podloží. Z průběhu náklonu skalních bloku lze vyvodit zakřivení smykové plochy. Přenosný sklonoměr je sestaven z podstavce destičky a stojanu se závěsem. Destička je vyrobena z keramiky nebo bronzu, aby byla odolná vůči změnám teploty. Destička se přibetonuje na stabilní referenční blok nebo skalní podklad. Na ni se při měření připevní sklonoměr. Ten může být buď elektronický s čidlem, nebo se skládá ze stojanu a závěsu. Pro zaručení vždy stejné polohy sklonoměru, má destička zarážky.

4.4.4 Hydrostatická nivelace

Pomocí hydrostatické nivelace se určují svislé posuvy měřených bodů současně na několika místech. Metoda funguje na principu spojených nádob. Ty jsou rozmístěny na měřeném místě na klesajícím terénu či konstrukci. Jedna nádoba je osazena na stabilním referenčním bodu nebo musí být její poloha sledována přesnou nivelací. Nádoby jsou propojeny soustavou trubek nebo hadic, uvnitř nesmí být vzduch. Hydrostatická nivelace se používá v podzemí pro měření bodů v podzákladi budov, pod kterými se provádí podzemní práce, pro řízení kompenzační injektáže nebo při sledování sedání u vysokých násypů. Většinou je vybavena samočinným záznamem dat.

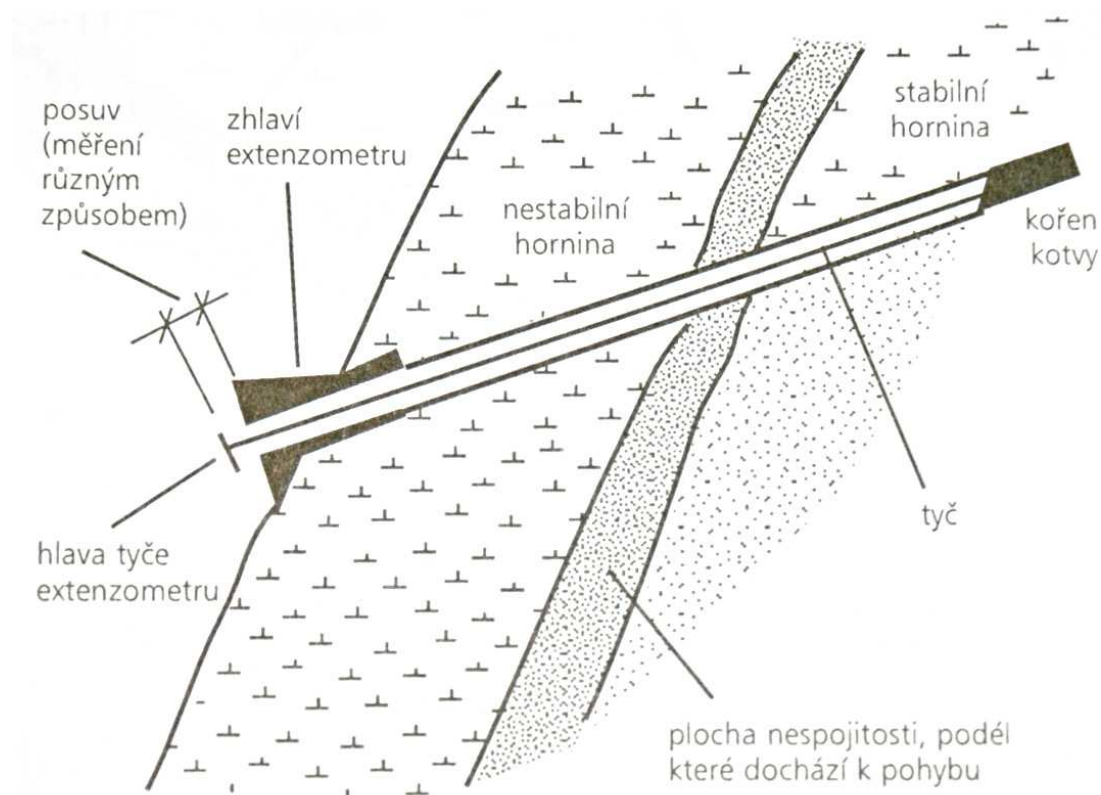
4.5 Měření přetváření uvnitř horninového masivu ve vrtech

Posuny nebo sedání uvnitř horninového masivu se měří pomocí tyčových nebo drátových extenzometrů, které jsou trvale osazeny ve vrtu. Klouzavým deformetrem nebo klouzavým mikrometrem se měří průběžné svislé deformace. Další způsob je měření vzdáleností magnetických kroužků osazených ve svislém vrtu. Vodorovné přetvoření se nejlépe zjišťuje inklinometrickou sondou. Existuje také přístroj pro opakované měření vodorovných a svislých deformací v jednom vrtu, je to např. systém

Trivec. Je to kombinace inklinometru a klouzavého mikrometru. Další přístroj je tzv. reflektometr, není ale tolik přesný.

4.5.1 Tyčový extenzometr

Tyčový extenzometr může být jednoduchý nebo vícenásobný. Jednoduchý tyčový extenzometr je vlastně tyč zakotvená na dně vrtu. Tyč ve vrtu je vedena v ochranné trubce až k referenčnímu bodu na zhlaví vrtu. Na zhlaví vrtu se měří posuv povrchu horninového masivu vzhledem ke kořeni tyče. Měří se posuvným měřidlem, odečtem na číselníkovém úchylkoměru nebo samočinně dle druhu čidla. Do jednoho vrtu se může umístit i více tyčových extenzometrů, max. však osm. Jedná se pak o vícenásobné extenzometry. Kořen každého z nich je umístěn ve vrtu v jiné hloubce. Tímto způsobem se dá zjistit i přibližná poloha smykové plochy, přesnost závisí na vzdálenosti kořenů extenzometru. Průměr vrtu dle počtu tyčových extenzometrů je 28 až 110 mm, délka extenzometru nebývá větší než 50 m. Pro dlouhodobé měření je nutný antikorozní materiál tyčí, používá se sklolaminát.



Obr. 4.5: Princip fungování tyčového extenzometru

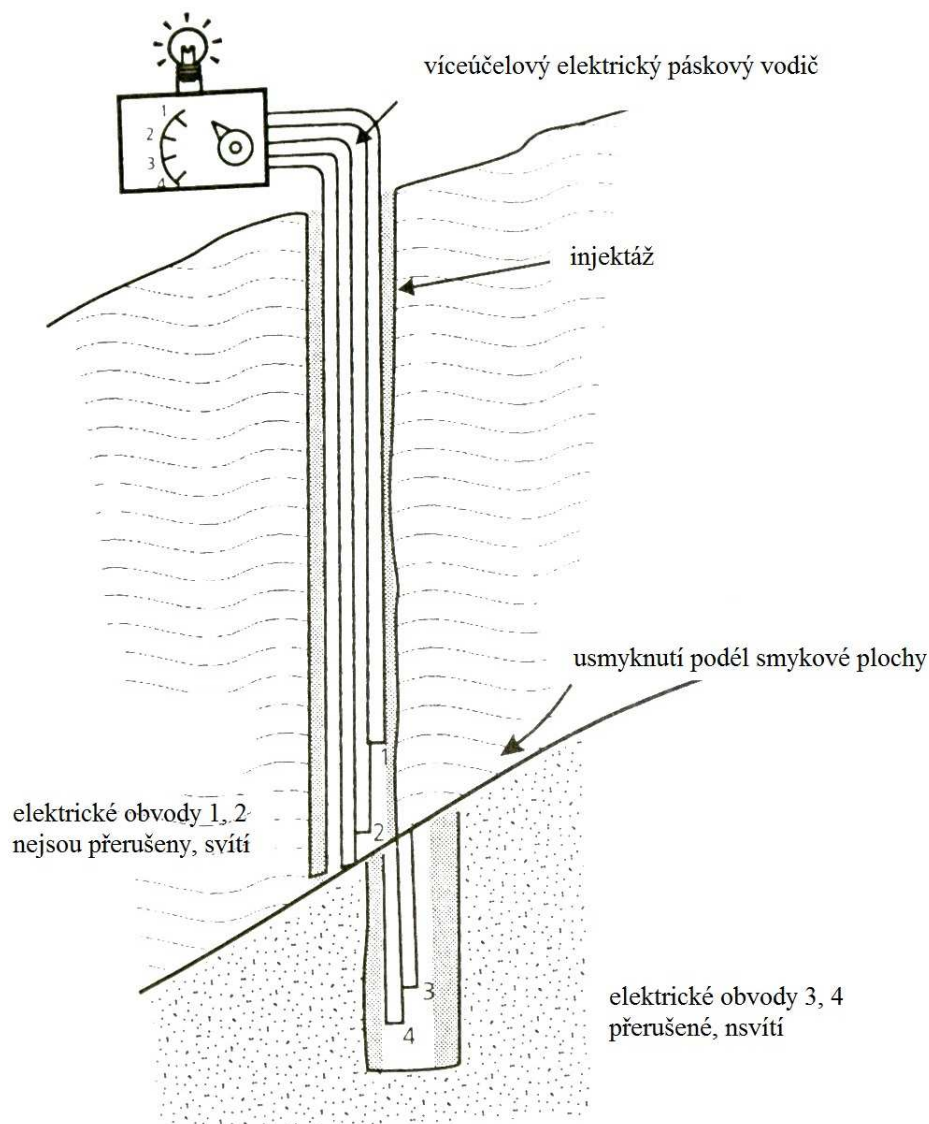
Drátové extenzometry fungují podobně. Osazují se do svislých suchých vrtů, lanka jsou zakotvena v různých hloubkách. Ke zhlaví vrtů k odečítacímu zařízení jsou vyvedeny pomocí kladek. Drát je napnut pomocí závaží vhodné hmotnosti. Díky tření mezi dráty nejsou vhodné příliš dlouhé, šikmé nebo vodorovné drátové extenzometry.

4.5.2 Magnetický extenzometr

Magnetické kroužky jsou v různých úrovních osazeny ve vrtu. Mohou být uchyceny buď mechanicky, nebo jsou osazeny do stěn z pažnic z PVC. Mezikruží mezi pažnicí a stěnou vrtu je zainjektováno. Vlastním měřením se zjišťuje stlačení vrstev mezi jednotlivými kroužky. Provádí se spuštěním elektrického čidla, které reaguje na magnetické pole okolo kroužku. Měří se hloubka od zjištěného magnetického pole ke zhlaví vrtu. Průměr vrtu je min 60 mm, lépe 100 mm.

4.5.3 Křehké vodiče

Křehkými vodiči lze zjistit polohu smykové plochy, ne však časový průběh sesouvání. Páskový elektrický vodič je sestaven z 10 až 20 i více rovnoběžných drátků, které jsou uloženy v polyetylenovém pásku. Drátky mají malou průtažnost. Drátky se po určitých vzdálenostech propojí vodivými můstky, vzniknou tak elektrické obvody. Vzdálenosti vodivých můstků jsou zvoleny tak, aby po spuštění pásku do vrtu byly co nejblíže předpokládané poloze smykové plochy. Vrt se po spuštění pásku zalije cementovou zálivkou. Zálivka se při vzniku smykových pohybů poruší, elektrický páskový vodič se také poruší a tím dojde k přerušení elektrických obvodů nacházejících se pod smykovou plochou. Proměřování elektrických obvodů se provádí na terénu. Z toho vyplývá, že přesnost metody je rovna vzdálenosti můstků v křehkém vodiči. Jestliže má sesuv více smykových ploch, tímto měřením zjistíme pravděpodobně pouze tu, na které jsou pohyby nejrychlejší. K porušení zálivky stačí posuv okolo 1 mm. U hlubokých vrtů, kde zálivka nemusí být dokonale provedena, to může být i několik centimetrů. Metoda je zvláště vhodná pro určení smykových ploch rychlých sesuvů do mocnosti 20 až 30 m.

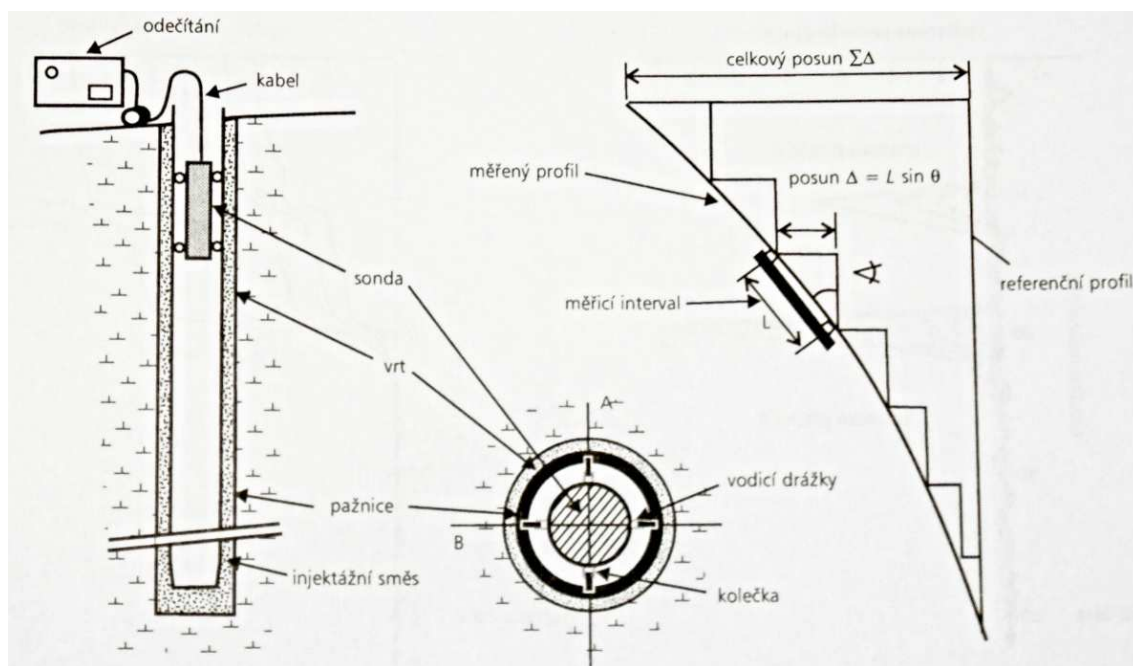


Obr. 4.6: Určování smykové plochy křehkými vodiči

4.5.4 Přesná inklinometrie

Vertikální inklinometry jsou nástroje pro měření relativních vodorovných posunů. Inklinometr tvoří svislý vrt, který je osazen dostatečně tuhou pažnicí buď z PVC, nebo z hliníkových slitin. Pažnice je ve vrtu zajištěna cementovou zálivkou. Zálivka se dovnitř vhání tlakem ode dna. Tímto způsobem je eliminováno vlastní sednutí pažnice ve vrtu. Uvnitř pažnice jsou dvě navzájem kolmé drážky, které zajišťují přesnou polohu inklinometrické sondy. Spodní konec pažnice slouží jako nulový referenční bod a musí tak být umístěn mimo deformační zónu pod smykovou plochu. Základem měřicího systému je inklinometrická sonda opatřená dvěma dvojicemi koleček. Při měření se

nejprve sonda spustí až na dno vrtu (na konec pažnice), je připevněna ke kabelu, který se postupně povytahuje směrem nahoru po určitých vzdálenostech (např. 0,5m). Uvnitř sondy je umístěn náklonoměr, měří náклон od svislice ve dvou na sebe kolmých rovinách. Na základě známé délky a náklonu od svislice se vypočte vodorovný posun. V prvním kroku se sonda umístí do jedné dvojice drážek, poté se otočí o 90° a spustí se do druhé dvojice drážek. Relativní posunutí v průběhu času je určeno opakujícím se měřením (alespoň 3x) vždy ve stejných hloubkách a porovnáváním dat měření. Pokud je dno pažnice perforováno a obsypáno propustnou vrstvou písku, lze měřit hladinu podzemní vody. Životnost vrtu je určena deformací pažnice. Jestliže je příliš velká, sonda jí neprojde a měření nelze realizovat. Existují také trvalé inklinometry s automatickým odečtem hodnot. Využívají se, pokud očekáváme pomalé pohyby. Jejich použití je nutno zvážit a posoudit z hlediska náročnosti stavby, protože jsou ekonomicky náročnější.



Obr. 4.7: Princip měření inklinometrickou sondou

5 INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY A PRŮZKUM LOKALITY

5.1 Inženýrskogeologické poměry

5.1.1 Geomorfologie

Řešený úsek dálnice D1 se nachází v provincii Západní Karpaty, subprovincii Vnitřní západní Karpaty, ve Fatransko-tatranské oblasti, celku Žilinská kotlina, podcelku Žilinská pahorkatina. Reliéf území je pahorkatinný s členitými svahy, které jsou porušeny svahovými deformacemi. Reliéf se utvářel v neogénu a pleistocénu, kdy byla Žilinská kotlina v podhůří Malé Fatry vystavena proluviální erozně – akumulární činnosti.

5.1.2 Geologie

Z geologického hlediska se Žilinská kotlina řadí do regionu neogenních tektonických vkleslin, oblasti vnitrohorských kotlin. V třetihorách se v předpolí vnějších flyšových Karpat současně s miocéními horotvornými procesy zformovala asymetrická čelní karpatská předhlubeň. Ta byla do středního badenu vyplňována molasovými sedimenty, avšak její větší část byla překryta flyšovými sedimenty. Žilinská kotlina je tak právě vyplněna třetihorními souvrstvími flyšové formace.

Z paleogenních hornin se vyskytují převážně jílovce, méně pískovce a slepence. Tyto horninové formace jsou výrazně porušeny vlivem tektonického vývoje území. Kvartérní pokryv tvoří fluvialní sedimenty – nivní hlíny, písčité nebo štěrkovité hlíny údolních niv a niv horských potoků, dále deluviofluivální sedimenty – převážně ronové hlíny, písčité hlíny s úlomky, jemnozrnné písky a splachy ze spraší. Najdeme zde také deluviální sedimenty vcelku – litofaciálně nerozlišené svahoviny a sutiny.

5.1.3 Hydrogeologie

Podzemní vody jsou v neogenních sedminetech tektonických vkleslin vázané hlavně na vrstvy štěrku a písku. Vytvářejí artézské vody s vydatností obvykle $1 - 3 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$, zřídka až

10 l . s⁻¹. Směrem do hloubky přecházejí do minerálních vod. Podzemní vody v oblasti kotlin vystupují přes porušené třetihorní podloží z hlubokých artézských nádrží, které jsou vázané na struktury zkrasovatělých a zvodnělých komplexů vápencovo – dolomitické formace. Proto mají často zvýšený obsah CO₂ a SO₄, jsou tedy agresivní a je nutné stavby proti těmto vodám chránit.

5.1.4 Geodynamické jevy

Převládajícím typem svahových pohybů ve vnitrohorských kotlinách jsou plošné a proudové sesuvy na svazích pahorkatin, díky boční erozi řek se mohou vyskytnout i hlubší sesuvy po rotačních smykových plochách. Typické je v tomto území nahromadění soliflukčních deluvií o mocnosti až 20m v místních depresích, úvalinách a při úpatí svahů. Tyto zeminy jsou velice náchylné k sesouvání, proto se při stavebních pracích musí věnovat zvýšená pozornost stabilitě svahu.

5.2 Inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum

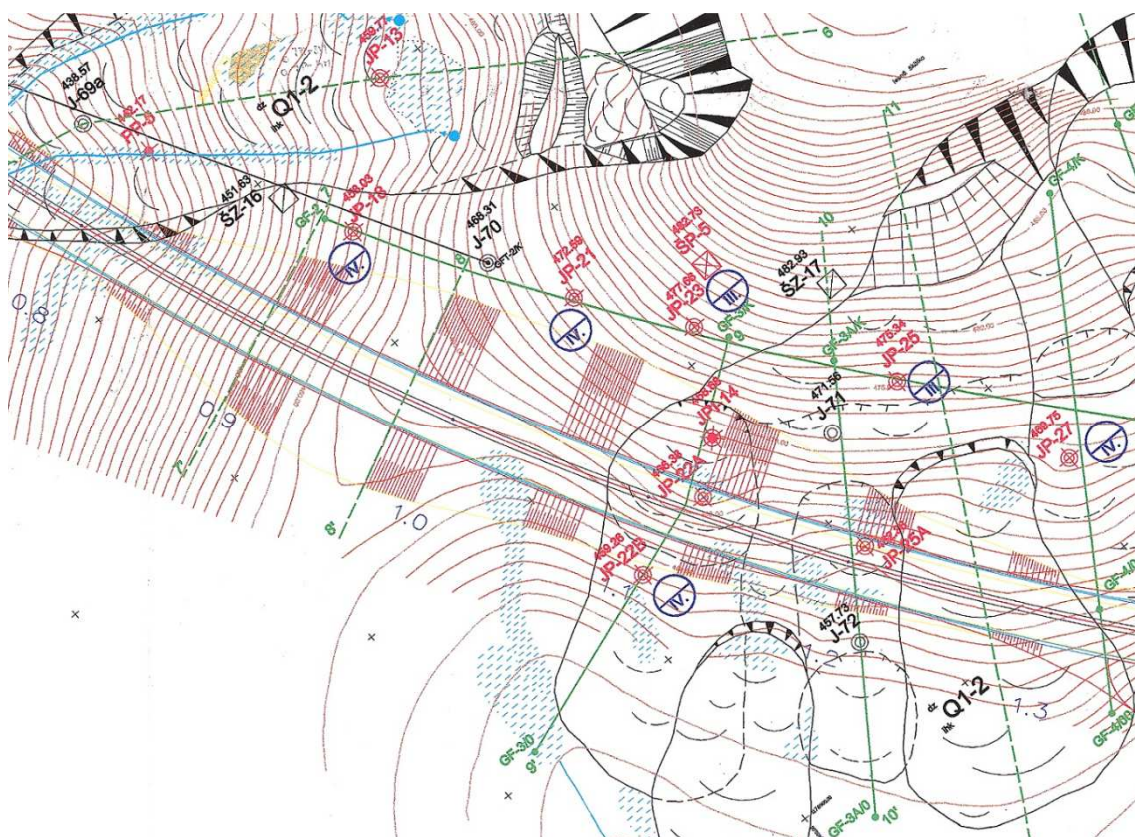
5.2.1 Inženýrskogeologické poměry

V rámci podrobného inženýrsko-geologického a hydrogeologického průzkumu, který byl realizován v roce 1999, bylo v úseku Lietavská Lúčka - Višňové provedeno celkem 8 vrtů, JP – 18, 21, 22A, 22B, 23, 25, 25A, 27, z dřívějšího průzkumu v roce 1996 jsou pak známy vrty J – 70, 71, 72. V příloze č. 1 je obsažena situace s vyznačenými vrty, geologická dokumentace vrtů je v příloze č. 2. Byly uskutečněny také průzkumné šachtice, ŠP – 5 a ŠZ – 17 (roku 1996). Geofyzikální měření proběhlo v profilech GF – 2, 3, 3A, 4. Během průzkumu byly z vrtů odebírány vzorky zemin a hornin a také vzorky podzemní vody.

V km 0,820 – 1,080 prochází trasa dálnice paleogenním hřbetem s pokryvem deluviálních nízko až středněplastických jílu tuho – pevné konzistence, mocnosti 0,7 – 1,8 m. Paleogenní souvrství jílovce, pískovce a slepence je zvětralé do hloubky 15 m a více, v oblasti skalního hřbetu do hloubky 7,5m. Souvrství jeví znaky tektonického porušení, které se projevuje výskytem lesklých ploch a zbřidličnatělých poloh, tektonických puklin vyplněných jílem a opracovanými a vyhlazenými úlomky hornin.

Tektonicky porušený materiál obsahuje podle výsledků RTG vysoký podíl bobtnavého minerálu smektitu (příloha č. 4).

V km 1,080 – 1,320 dálnice prochází rozsáhlým, sesuvným územím, které sestává ze starších, částečně již uklidněných sesuvů v km 1,080 – 1,227 a z mladších recentních proudových sesuvů v km 1,227 – 1,325, dočasně uklidněných – potenciálního charakteru. Přírozená geneze vzniku těchto svahových deformací byla podmíněna v odlučných oblastech geologicko – tektonickou predispozicí. Mocnost sesuvného deluvia, které má charakter středněplastického jílu a sutě kamenito – jílovité, se nachází od 2m (J-71) do 6,7m (JP-22A) s kluznou plochou v hloubce 6,7m. Podloží je v sesuvném území do hloubky realizovaných děl (15m) zvětralé a tektonicky porušené.



Obr. 5.1: Situace

5.2.2 Hydrogeologické poměry

V území mimo sesuv bylo zjištěno několik zvodněných horizontů v hloubce od 3,4m do 15,5m. Vyskytují se ve zvětralém pískovci a jílovci, mají vztlakový charakter s výstupem do úrovně 1,3 m p.t. (JP – 18) až 3,5 m p.t. (J – 70).

Několik zvodnělých horizontů se vyskytuje i v sesuvném území, převážně ve zvětralém a porušeném podloží, méně v sesuvném deluviu, v hloubce 2,5 m p.t. (JP – 25A) až 8,5 m p.t. (J – 71). Podzemní voda má vztlakový charakter s výstupem do úrovně 2,5 – 5,5 m p.t., v blízkosti vrtu JP – 25 a J – 72 s výstupem do úrovně 0,0 – 1,3 m p.t.. Sesuvné území je v dílčích depresích zamokřené.

Podle STN 73 12 15 odebrané vzorky vod z vrtů JP – 18, 21, 22B, 27 nejsou agresivní na betonové konstrukce. Podle STN 03 83 75 pro vysokou konduktivitu ($585 \mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) vykazuje voda z vrtu JP – 25 agresivitu prostředí na železo zvýšenou – III., ostatní vody jsou velmi vysoce agresivní – IV. na železo.

5.2.3 Geofyzikální měření

Pro geofyzikální měření byly využity geoelektrické odporové metody SOP – symetrické odporové profilování a VES – vertikální elektrické sondování. Nejdříve se provedlo měření SOP s dvěma rozestupy elektrod s krokem 5m. Úkolem SOP bylo ročlenit profil z hlediska průběhu zdánlivého měrného odporu ρ_z v horizontálním směru, vyčlenit stejnorodé úseky, nebo odporově kontrastní prostředí a určit tak mocnost a charakter kvartérních sedimentů a charakter podloží. Poté byly provedeny sondy VES. Tímto měřením se horninové prostředí rozčlenilo ve vertikálním směru a určil se tak litologický charakter horninového prostředí a mocnost jednotlivých vrstev.

5.2.3.1 Geofyzikální profil 3

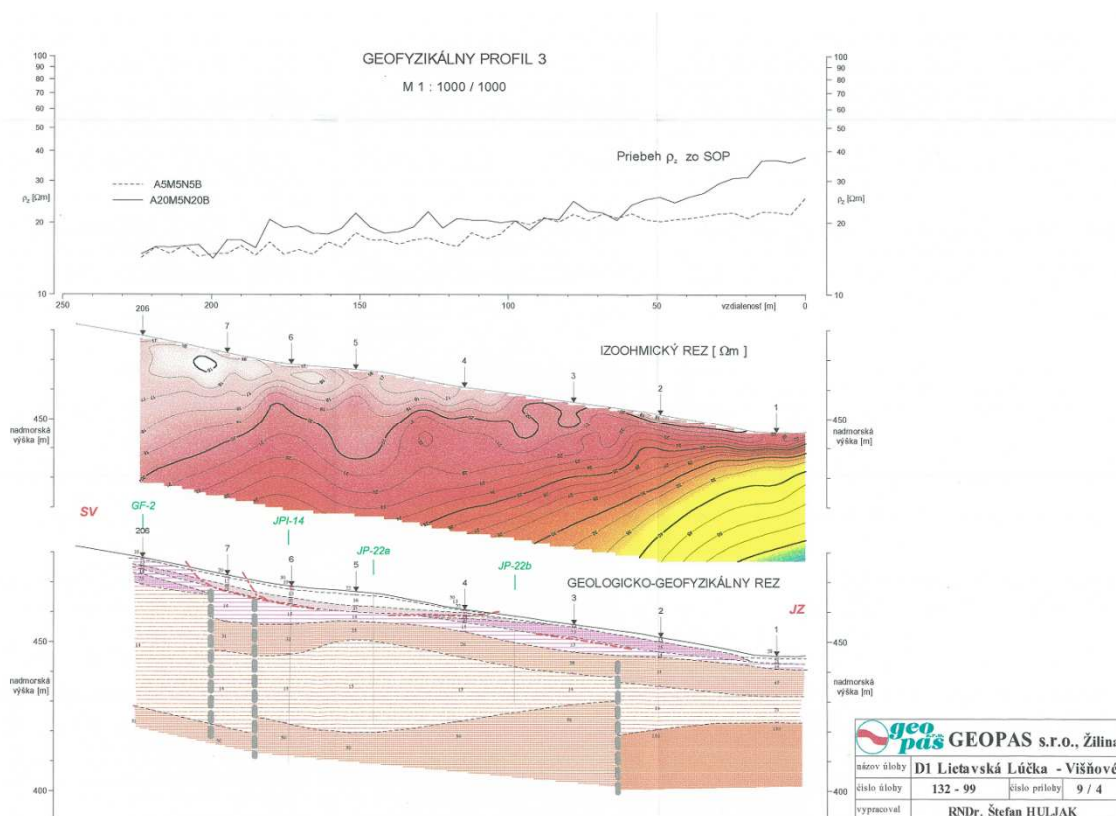
V izochemickém řezu i na křivkách SOP se projevuje nárůst zdánlivých měrných odporů s hloubkou, ale také nárůst zdánlivých odporů od VES 206 směrem k VES 1.

V geologicko – geofyzikálním řezu se střídají nízkoodporové vrstvy interpretované jako jíly ($12 - 21 \Omega\text{m}$) a jílovce ($13 - 21 \Omega\text{m}$) s vrstvami písčitých jíků ($22 - 32 \Omega\text{m}$) a jílovcovo-pískovcovými vrstvami s převahou jílovců ($23 - 56 \Omega\text{m}$). V oblasti

nejvýraznějšího nárůstu zdánlivých odporů v místech VES 1 a 2 mají v řezu převahu jílovcovo-pískovcové vrstvy, přičemž do hloubky 22m (VES 1) jsou vyčleněné pískovcové vrstvy s interpretovanými měrnými elektrickými odpory 150 Ω m.

Odporové intervaly kvartérních jíílů a předkvartérních intenzivně zvětralých jílových a jílovcovo-pískovcových hornin jsou prakticky stejné. Se zohledněním vrtných prací byly vyčleněny největší mocnosti kvartérních materiálů v místech VES 4 – 7 (do 6,8 m VES 5). V podloží kvartéru jsou vyčleněny vrstvy intenzivně zvětralých jílovců (13 – 15 Ω m) a intenzivně zvětralých jílovcovo – pískovcových vrstev s převahou jílovců (23 – 30 Ω m), přičemž jejich spodní okraj je interpretován v loubkách 4,3 m (VES 1) až 15,5 m (VES 7).

Na bázi kvartéru jsou interpretované smykové plochy. Tektonické poruchy jsou vyčleněny ve vzdálenostech 65, 185 a 200 m.



Obr. 5.2: Geofyzikální profil

5.2.4 Geotechnické parametry zemin a hornin

Na základě makroskopického vyhodnocení průzkumných děl a výsledků laboratorních zkoušek byly zeminy a horniny rozčleněny na jednotlivé inženýrsko-geologické typy. Těm pak byly přiřazeny normové charakteristiky základových půd, nebo byly vlastnosti zemin určeny laboratorními zkouškami, viz Tab. 5.2.

Oedometrický modul deformace zvětřalého paleogénu byl zjištěn v oedometrickém přístroji v laboratoři.

Tab. 5.1: E_{oed} pro PGZV

	Hloubka		E_{oed} [MPa]		
Sonda	[m]	Geneze	Zatěžovací stupeň [MPa]		
			0,058–0,110	0,110–0,210	0,210–0,310
JP - 18	4,7 – 4,8	PGZV	6,13	6,38	8,82

Tab. 5.2: Charakteristiky základových pŮd

IG typ				JD - jíl deluviální	JS - jíl sesuvný	SKHS - sut' kamenito- hlinitá sesuvná	PGEL - paleogén deluviální	PGZV - paleogén zvětralý	PGNA - paleogén navětralý	PGTP - paleogén tektonicky porušený
Charakteristika		Symbol	Rozměr	Normová charakteristika						
Přirozená vlhkost objemová		w _n	%	40,40	43,78	35,64	33,42	27,03	21,54	25,62
Přirozená objemová hmotnost		ρ _n	g/cm ³	2,00	1,93	1,99	2,04	2,05	2,2 - 2,3	2,12
Hustota pevných částic		ρ _s	g/cm ³	2,70	2,68	2,66	2,68	2,71	2,70	2,68
Pórovitost		n	%	41,09	44,25	38,35	36,37	34,36	29,09	30,44
Stupeň nasycení		S _r	%	97,05	100,00	100,00	86,00	78,36	77,03	83,75
Mez tekutosti		w _L	%	54,52	55,17	47,87	48,04	46,00	46,00	46,00
Mez plasticity		w _p	%	25,30	23,97	23,00	23,24	21,65	22,00	21,04
Číslo konzistence		I _c	-	0,96	0,70	0,96	1,14	0,96 - 1,34	1,56	1,35
Obsah zrn	φ < 0,002 mm	c	%	34,74	29,48	25,67	29,11	25,49	20,58	23,37
	0,002 < φ < 0,06 mm	m	%	54,40	50,27	38,07	54,20	49,04	40,48	48,72
	0,06 < φ < 2,0 mm	s	%	8,92	11,81	13,28	11,49	13,85	19,78	14,05
	2,0 mm > φ	g	%	1,94	8,43	22,99	5,19	11,62	19,15	13,87
Totální smyková pevnost		c _u	kPa	<u>50,00</u>	<u>40,00</u>	<u>50,00</u>	80,00	<u>80,00</u>	<u>70,00</u>	<u>80,00</u>
		φ _u	°	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>	<u>0,00</u>	0,00	<u>0,00</u>	<u>12,00</u>	<u>0,00</u>
Efektivní smyková pevnost		c _{ef}	kPa	<u>13,00</u>	<u>16,00</u>	<u>16,00</u>	<u>16,00</u>	16,00	<u>22,00</u>	16,24
		φ _{ef}	°	<u>17,00</u>	<u>15,00</u>	<u>19,00</u>	<u>23,00</u>	<u>22,00</u>	<u>26,00</u>	19,23
Reziduální smyková pevnost		c _{rez}	kPa		0,00	0,00		0,00		0,00
		φ _{rez}	°		12,0 - 14,0	11,67		21,05		21,00
Modul přetvárnosti		E _{def}	Mpa	<u>5,00</u>	<u>4,00</u>	<u>5,00</u>	8,00	<u>10,00</u>	<u>12,00</u>	<u>10,00</u>
Poissonovo číslo		γ	-	<u>0,40</u>	<u>0,42</u>	<u>0,40</u>	0,40	<u>0,30</u>	0,25 - 0,30	<u>0,35</u>
Únosnost		R _{dt} * ¹	kPa	80 - 100	80 - 100	100 - 200	160 - 200	160 - 300	200 - 400	160 - 200
Zatřídění dle ČSN 73 1001				F6 - F8	F6 - F8	F2 - F6 - G5	F6 - F8	R5 - R6/F6 - F8	R4/F2 - F6	F6 - F8 - F2
				CI - CH	CI - CH	CG - CI - GC	CL - CI - CH	CL - CI - CH	CG - CI	CI - CH - CG

Legenda

- 40** statisticky zpracované hodnoty laboratorních zkoušek
- 40 laboratorně zjištěné hodnoty
- 40 směrné normové charakteristiky pro laboratorně určenou třídu zeminy a doporučené hodnoty
- 40* směrné normové charakteristiky pro odhadem určenou třídu zeminy
- R_{dt} únosnost je udávána orientačně jako tabulková únosnost R_{dt} podle STN 73 1001 pro soudržné zeminy při $d=0,8 - 1,5\text{m}$ ($b<3$)

Na vzorcích zvětřalého jílovce (PGNA) a tektonicky porušeného jílovce (PGTP) byly realizovány zkoušky prostého tlaku v triaxiální komoře.

Tab. 5.3: Pevnost v prostém tlaku

Sonda	Hloubka [m]	Geneze	Prostý tlak σ_c [kPa]
JP – 18	14,0 – 14,3	PGTP	270
JP – 21	23,0 – 23,5	PGTP	180
JP – 23	26,8 – 27,0	PGNA	152
JP – 25	23,0 – 23,6	PGTP	160
JP - 27	12,6 – 12,8	PGTP	589

Byly provedeny také presiometrické zkoušky IN – SITU, hodnoty presiometrických modulů a z nich odvozené deformační moduly jsou uvedeny v Tab. 5.4.

Tab. 5.4: Deformační moduly

Sonda	Hloubka [m]	IG typ	Ep [MPa]	Edef [MPa]
JP – 21	14,7	PGZV	87,74	219,35
JP – 21	19,7	PGTP	68,14	170,35
JP – 23	19,8	PGNA	149,98	197,05
JP – 23	22,3	PGNA	93,61	122,99

5.2.5 Geotechnické rizikové faktory

Ze zhodnocení inženýrsko-geologického průzkumu vyplývají tyto rizikové faktory:

5.2.5.1 Úsek 0,825 – 1,080km

Těleso zářezu se nachází v deluviálních jílech s úlomky o mocnosti 0,7 – 1,8m a ve zvětralém souvrství jílovce, pískovce a slepence s hloubkou zvětrání 15 m a více, v oblasti paleogenního hřbetu 7,5m. Tektonicky porušené souvrství obsahuje až 70 % bobtnavého jílového minerálu smektitu, což představuje riziko nabobtnávání zářezových svahů. Hladina podzemní vody se nachází v několika úrovních v hloubce 3,4 – 15,5m, ve zvětralém jílovcu, váže se taky na polohy pískovce a má vztlakový charakter. Podzemní voda má velmi vysokou agresivitu na železo.

5.2.5.2 Úsek 1,080 – 1,320km

Zářez je zde hluboký max. 12,5 m, nachází se z části v sesuvném území s kluznou plochou v hloubce 6,6 m, a z části v rozloženém, zvětralém a tektonicky porušeném souvrství jílovce, pískovce a slepence. Sesuvné území je v dílčích depresích zamokřené. Podzemní voda je vztlaková s výstupem do úrovně 2,5 – 5,0 m p.t., ojediněle výše do 1,3 m p.t., má vysokou až velmi vysokou agresivitu na železo.

6 METODY VÝPOČTU

6.1 Stabilita svahu

V této kapitole budou rozebrány některé možnosti řešení stability svahu pomocí metody mezní rovnováhy. Principem této metody je řešení rovnováhy sil podél uvažované smykové plochy případného sesuvu. Základní výpočetní postupy jsou:

Rovinná smyková plocha bez HPV – pro nesoudržné zeminy

Pettersonova metoda – pro soudržné zeminy

Bishopova metoda

Výpočet podle Sarmy

6.1.1 Rovinná smyková plocha

Metoda je vhodná pro nesoudržné materiály, jako je např. štěrkopísek nebo uhlí. Pro každý objemový element na svahu platí stejné podmínky rovnováhy. Stačí spočítat jeden z nich. Jednotkový element má tíhu γ . Max smyková síla, která může být aktivována je rovna $\gamma * \cos\alpha * tg\varphi_{ef}$

$$\gamma * \sin\alpha = \gamma * \cos\alpha * tg\varphi_{ef}$$

Rovnováha je zachována, pokud tangenciální složka tíhy (aktivní síly) je stejná, nebo rovna tření (pasivní síly), tedy: $T \leq N * tg\varphi_{ef}$

Pro jednotkový objem:

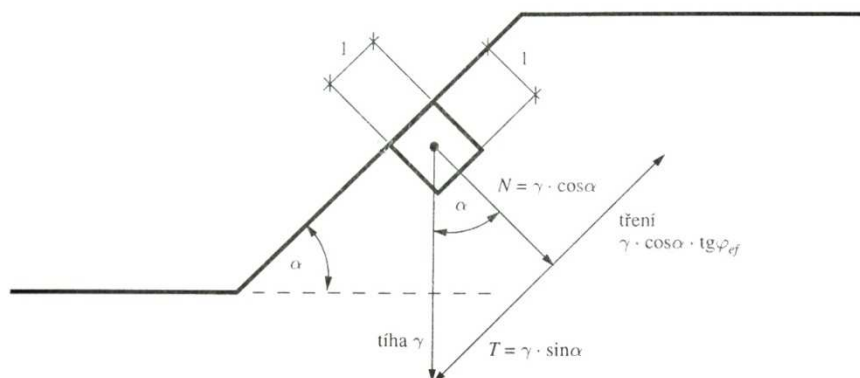
$$\gamma * \sin\alpha \leq \gamma * \cos\alpha * tg\varphi_{ef}$$

$$tg\alpha \leq tg\varphi_{ef}$$

$$\alpha \leq \varphi_{ef}$$

Z rovnice po úpravě vyplývá, že stabilita svahu je zajištěna, pokud sklon svahu α je menší než úhel vnitřního tření zeminy φ_{ef} . Stupeň stability je definován podílem pasivních sil k silám aktivním. Svah je stabilní jestliže $F > 1$.

$$F = \frac{N * tg\varphi_{ef}}{T}$$

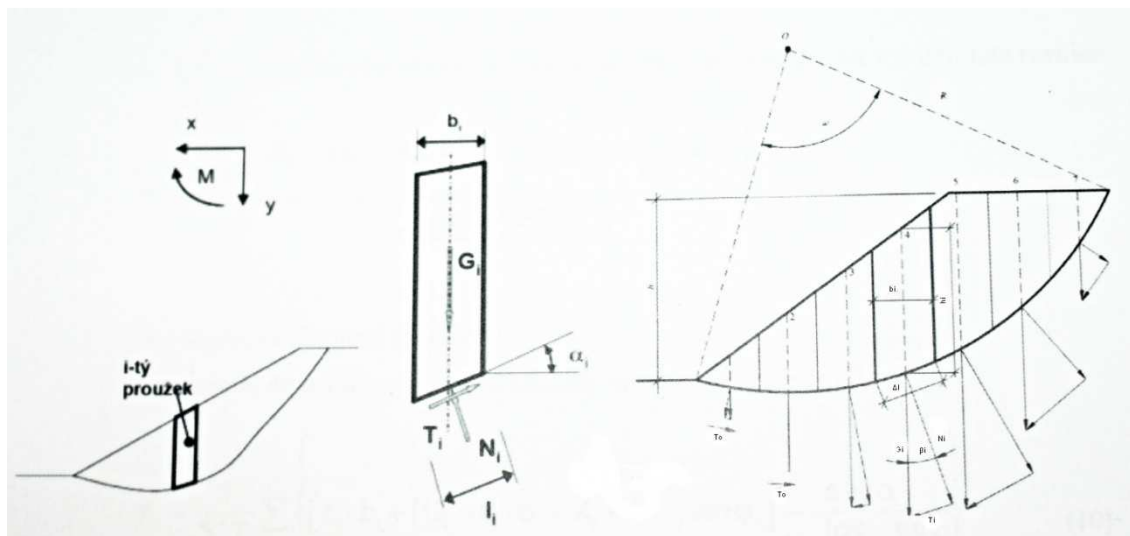


Obr. 6.1: Rovinná smyková plocha

6.1.2 Pettersonova metoda – kruhová smyková plocha

Tato metoda se používá pro soudržné zeminy. Je vhodná také pro vrstevnaté svahy a podloží. Podle způsobu výpočtu se Pettersonově metodě říká také metoda proužková. Smyková plocha je nahrazena kruhovým obloukem poloměru R o středu O . Úloha se řeší na 1m svahu, tedy jako úloha rovinná. Zemina nad smykovou plochou se rozdělí na proužky stejné šířky. Řeší se síly, které proužky přenášejí na příslušnou část smykové plochy a určí se výsledný moment pasivních a aktivních sil vzhledem ke středu otáčení. Neuvažuje se vliv sousedních proužků. Tíha proužků G se rozloží na normálové síly N a tangenciální síly T . Potom stupeň stability F je roven:

$$F = \frac{M_{pasivních\ sil}}{M_{aktivních\ sil}} = \frac{\sum(N * tg\varphi) + 0,8c \sum \Delta l}{\sum T - \sum T_0}$$



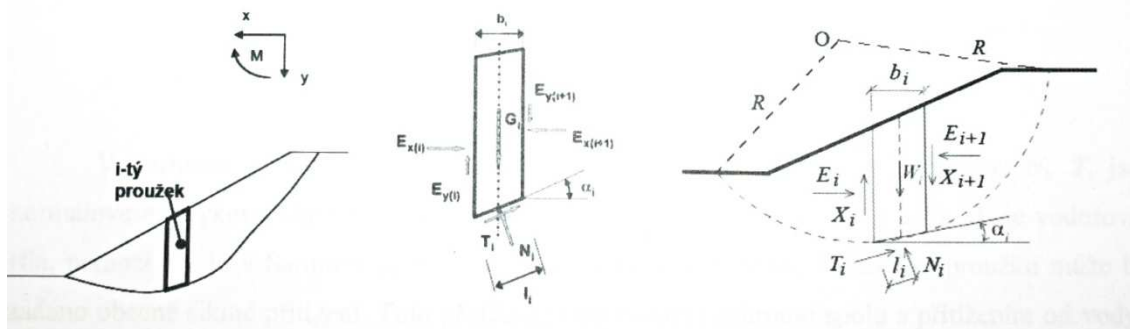
Obr. 6.2: Pettersonova metoda

Koheze na smykové ploše se uvažuje pouze na 80% délky smykové plochy $\sum \Delta l$. V horní části smykové plochy totiž tíha nepůsobí plnou hodnotou a taky proto, že v koruně svahu vznikají tahové trhliny. V dolní části mohou působit tangenciální síly proti usmyknutí T_0 . Působí jako pasivní, proto se do zlomku dávají do jmenovatele se záporným znaménkem.

6.1.3 Bishopova metoda – kruhová smyková plocha

Od Pettersonovy metody se liší zavedením vlivu sil sousedních proužků. Principem metody je momentová a svislá silová podmínka rovnováhy. Smyková plocha je opět kruhová o poloměru R a středu O. Zjednodušená Bishopova metoda předpokládá nulové smykové síly mezi bloky x_i . Stupeň stability FS se získá postupným iterováním vztahu:

$$FS = \frac{1}{\sum_i W_i * \sin \alpha_i} * \sum_i \frac{c_i * b_i + (W_i - u_i * b_i) * \tan \varphi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i * \sin \alpha_i}{FS}}$$



Obr. 6.3: Bishopova metoda

u_i - pórový tlak na bloku

c_i, φ_i - efektivní parametry zemin

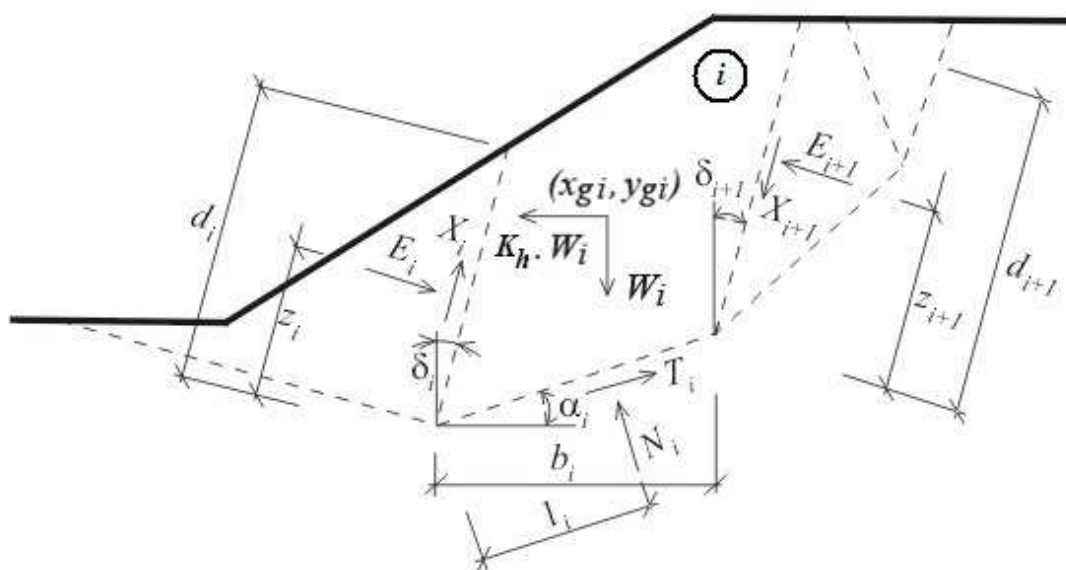
W_i - tíha bloku

α_i - sklon úseku smykové plochy

b_i - šířka bloku

6.1.4 Sarma – polygonální smyková plocha

Je to obecná proužková metoda mezní rovnováhy. Oblast zeminy nad smykovou plochou se rozdělí na bloky, které obecně mohou mít různý sklon. Principem je pak rovnováha sil i momentů na těchto blocích.



Obr. 6.4: Statické schéma – Sarmova metoda

- E_i - meziblokové síly
- N_i - normálové síly na smykové ploše
- T_i - smykové síly na smykové ploše
- X_i - smykové síly mezi bloky
- z_i - polohy působišť sil
- l_i - polohy působišť sil
- K_h - faktor vodorovného zrychlení

Všechny síly jsou rozloženy na vodorovné a svislé síly F_{xi} , F_{yi} . Faktor vodorovného zrychlení K_h je do výpočtu zaveden pro uvedení bloku do rovnováhy. Mezi faktorem K_h a stupněm stability F existuje závislost, pomocí níž se stupeň stability počítá. Obvykle je K_h rovno nule. Nenulovou hodnotou K_h lze vyjádřit vodorovné zatížení terénu, např. zemětřesení.

Ve výpočtu mezní rovnováhy je celkem $6n-1$ neznámých, n je počet bloků, na které se dělí zemina nad smykovou plochou. K vyřešení je potřeba $5n-1$ rovnic. Jsou to vodorovné součtové podmínky, svislé součtové podmínky, momentové podmínky na blocích, vztahy mezi normálovými a smykovými silami podle Mohr – Coulombovy

teorie. Nejprve je potřeba odhadnout $n-1$ neznámých, aby se problém stal staticky určitým. Malou nepřesnost působí odhad působišť sil E_i . Hlavním výsledkem je hodnota faktoru K_h .

Stupeň stability se do výpočtu zavede redukováním parametrů c a $tg\varphi$. Pro redukované parametry se opět provede výpočet a získá se tak faktor K_h pro daný stupeň stability. Iterační výpočet se opakuje, dokud nezískáme nulovou hodnotu faktoru vodorovného zrychlení K_h nebo hodnotu zadanou.

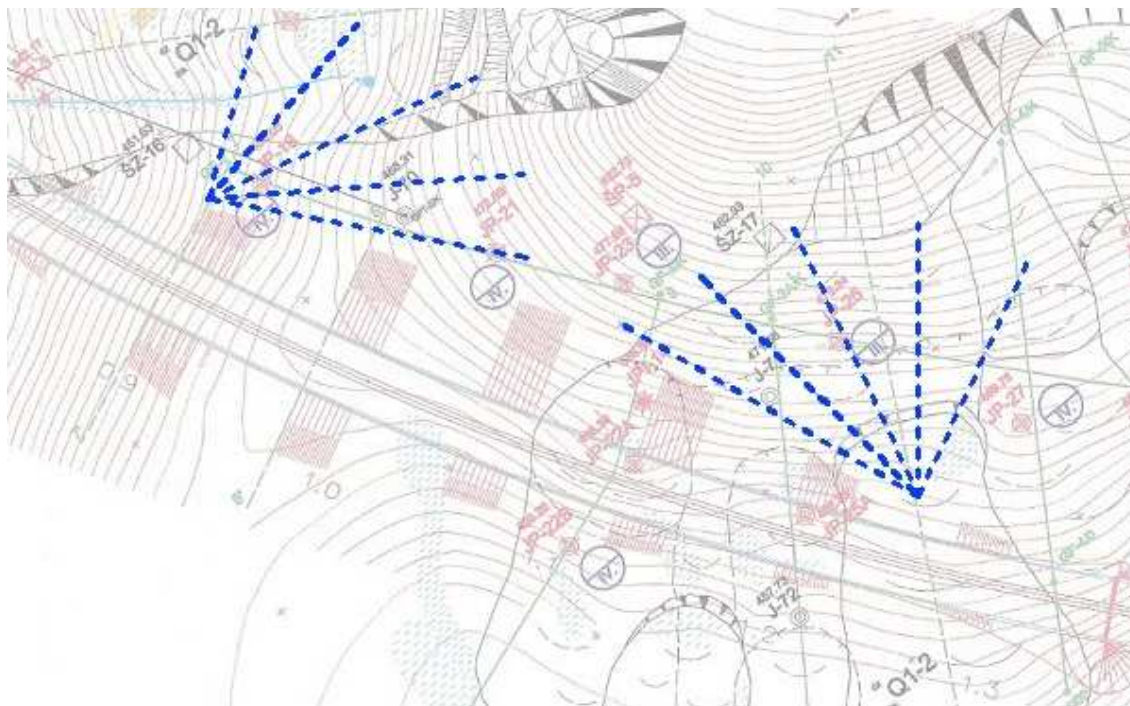
7 NÁVRH OPATŘENÍ A ŘEŠENÍ STABILITY ZÁŘEZU

7.1 Sanační opatření a technologický postup prací

Řešení stability zářezu bylo navrženo v rizikovém km 1,119. Tímto místem prochází geofyzikální řez profil 3 a byly zde v rámci průzkumu vyvrtány sondy JPI 14, JP 22 – A a JP – 22 B. Podle toho byl vytvořen inženýrsko-geologický profil zemin. V řezu jsou smykové plochy starších, částečně uklidněných sesuvů.

7.1.1 Odvodnění

Hladina podzemní vody dosahuje v sesuvném území 2,5 m až 5,5 m pod terénem. Snížením HPV dojde ke snížení vztlaku a přetížení smykových ploch a tím ke zvýšení stupně stability svahu. Vhodným řešením je povrchové odvodnění pomocí drenážních žeber a příkopů spolu s horizontálními odvodňovacími vrtly, které zajistí hloubkové odvodnění tělesa svahu. Jsou navrženy dva vějíře odvodnění. Vrtů je celkem 10, v každém vějíři po 5. Vějíř s vyústěním u km 0,900 má vrtly pod úhlem 2 - 6° od horizontu pod azimutem 15 - 100° od severního azimutu. Vrtly druhého vějíře jsou navrženy pod úhlem 3 - 8° od horizontály, a pod azimutem 25 - 335° od severního azimutu ve směru hodinových ručiček. Délka vrtů se pohybuje okolo 150 - 190 m. Vějíře odvodňovacích vrtů budou doplněny o dvě výškové úrovně odvodňovacích vrtů, vyústěných na povrchu zářezu. Osová vzdálenost těchto vrtů je 12 m, délka vrtů 15 m, sklon 10° od horizontály. Vrchní řada vrtů bude oproti spodní posunuta o 6 m. Voda z odvodňovacích vrtů bude odvedena pomocí povrchového rigolu. Vyústění vrtů bude na povrchu chráněno proti promrzání štěrkovým přísypem.



Obr. 7.1: Schéma odvodňovacích vrtů

7.1.2 Navržená konstrukce a hloubení zářezu

Zajištění zářezu bylo navrženo pomocí kotvených svahů. Hloubka zářezu v řešeném km 1,119 je v ose komunikace 14 m, výška levého svahu 19,38 m a pravého svahu 8,47 m. Oba svahy jsou navrženy ve sklonu 1:1,25. Levá strana zářezu je kotvena celkem v šesti úrovních, pravá ve dvou úrovních. Kotvy jsou navrženy jako trvalé pramencové kotvy typu L_p 15,5/1800. Horizontálně jsou od sebe kotvy vzdáleny po 3 m, vertikální rozteč je různá. Kotvy jsou umístěny v zákrytu nad sebou, jejich účinek bude roznesen pomocí monolitických kotevních žeber. Terén mezi kotevními žebry bude zajištěn georochozí s následným zatravněním např. od firmy Maccaferri, produktem řady MacMat pro ochranu proti erozi a opláštění zemních svahů. Zemina bude odebírána postupně v sedmi fázích.

V první fázi se nejprve odebere zemina v místě každé druhé kotvy do hloubky 2,38 m v šířce 3 m. Tím vznikne pracovní plošina o šířce cca 3 m, ze které se budou zhotovovat kotvy. Po vyhotovení kotevního žebra se vytvoří maloprofilový vrt pro kotvu délky 20 m, ve sklonu 20° od horizontály, osazení kotvy, proinjektování kořene a předepnutí

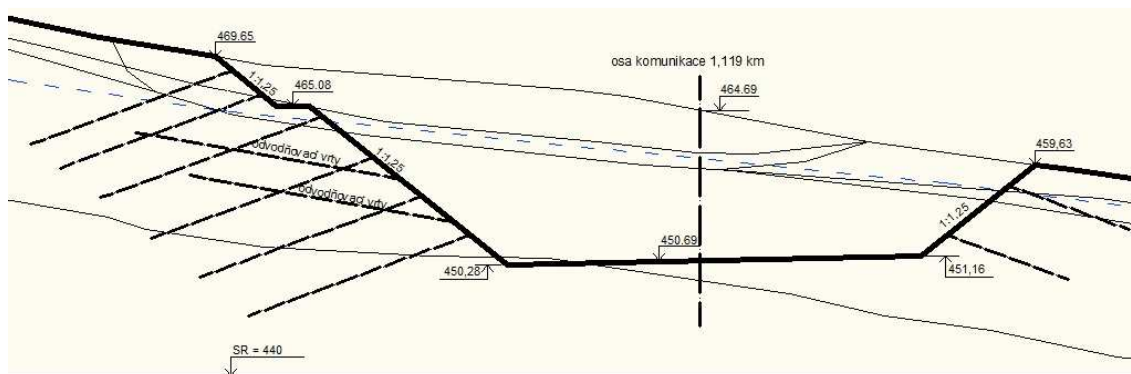
kotvy na 750 kN. Takto se provede každá druhá kotva. Poté se vytěží zbytek zeminy mezi pracovními plošinami a stejně se zhotoví i mezilehlé kotvy.

Ve druhé fázi se bude postupovat podobně. Odebere se další 2,2 m zeminy na úroveň lavičky, která je široká 3 m, v místě každé druhé kotvy, napojí se kotevní žebro a stejně jako v první etáži budou postupně zhotoveny kotvy. Takto se bude postupovat i v dalších čtyřech fázích, v poslední sedmé fázi se odtěží zbylých 1,8 m a tím se zářez dostane až na úroveň zemní pláň. Během páté, šesté a sedmé fáze se bude odtěžováním zeminy tvarovat i pravá strana zářezu, který bude v páté a šesté fázi kotven stejným postupem jako je uvedeno výše.

Hloubení zářezu bude probíhat postupně i pod původní hladinou podzemní vody, která bude postupně klesat. Vytékající voda se však bude muset z pracovních žeber odvést pryč. Proto se zhotoví provizorní rigoly, které vodu odvedou z pracovního prostoru na líc svahu. Během postupného hloubení zářezu se provedou také odvodňovací žebra ve vzdálenosti 6 m hloubky 1,5 m, které budou kryty georohoží.

Tab. 7.1: Navržené kotvení levého svahu

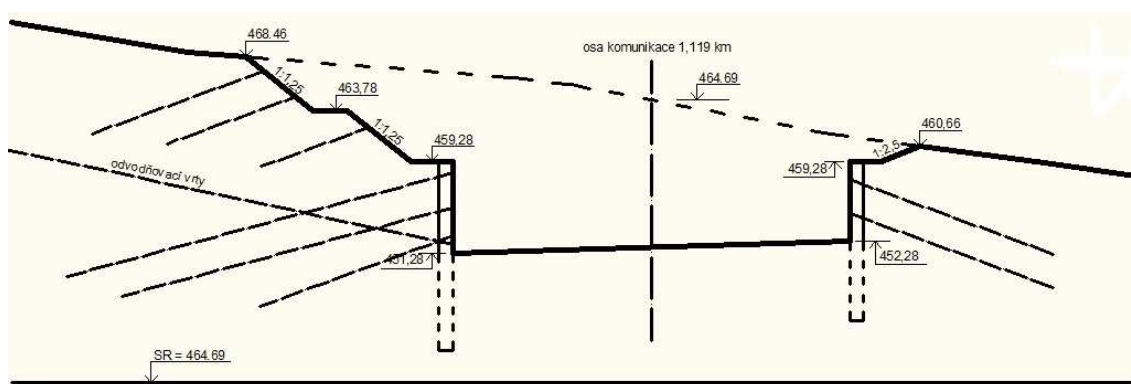
Hl. zářezu [m]	Hl. kotvení [m]	Počet lan	Celková délka [m]	Délka kořene [m]	Sklon [°]	b [m]	Předpínací síla F [kN]
2,38	1,28	8	20	10	20	3	750
4,58	3,48	8	20	10	20	3	750
6,78	5,58	8	22	10	20	3	750
10,38	9,38	8	22	10	20	3	750
13,98	12,98	8	22	10	20	3	750
17,58	16,58	8	22	10	20	3	750



Obr. 7.2: Schéma navrženého řešení

7.1.2.1 Stabilizace zářezu pomocí pilotové stěny

Zajištění zářezu bylo zvažováno také jako kombinace kotvené pilotové stěny a kotvených svahů. Piloty ve stěně měly průměr 1,2 m, vzdálenost mezi pilotami byla 1,8 m. Délka pilotové stěny byla 18,5 m, z toho hloubka v zemině 10,5 m. Byla kotvena ve třech úrovních. Svahy byly upraveny ve sklonu 1:1,25, výšky cca 4,5 m. Horní svah byl kotven ve dvou úrovních, spodní svah v jedné úrovni. Toto řešení se však ukázalo jako nevhodné kvůli velkým kotevním silám a příliš velkým deformacím pilotové stěny. Kotevní síla v třetí kotvící etáži po dokončení poslední fáze výstavby byla 894,3 kN i přesto, že vodorovná vzdálenost kotev v této etáži byla 0,9 m. Maximální deformace po dokončení pilotové stěny dosáhla 35 mm, v průběhu výstavby až 45,2 mm (u vlastního výpočtu mezních tlaků bylo nastaveno neredukovat). Z těchto důvodů byla stabilizace zářezu pomocí pilotové stěny vyhodnocena jako nevyhovující. Navíc, tato varianta by byla ekonomicky náročnější. Statický výpočet z programu Pažení posudek je uveden v příloze B.



Obr. 7.3: Řešení s využitím pilotových stěn

7.2 Statický výpočet

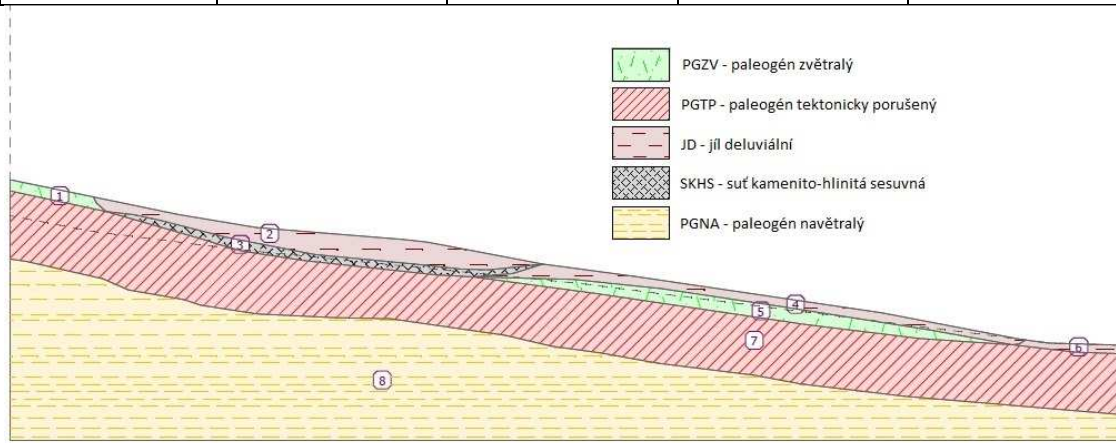
Výpočty byly provedeny v programu GEO 5. Program GEO 5 je sestaven z mnoha dílčích programů řešících jednotlivé geotechnické úlohy. Fungují na bázi analytických postupů i metodě konečných prvků. V této diplomové práci byly použity dílčí programy Stabilita svahu, Pažení návrh a Pažení Posudek. Ručním výpočtem byly samostatně posouzeny kotvy na vytažení a únosnost kořene kotev.

7.2.1 Vstupní parametry zemin

Protože se jedná o trvalou konstrukci zářezu, byly pro výpočet použity efektivní parametry zemin, v okolí smykových ploch reziduální parametry. Parametry zemin byly dále upraveny tak, aby se stupeň stability svahu na smykových plochách starších, částečně uklidněných sesuvů pohyboval okolo 1,1, tedy na hranici stability. Rozložení zemin v řezu je znázorněno na Obr. 7.4, jejich parametry v Tab. 7.2.

Tab. 7.2: Parametry zemin

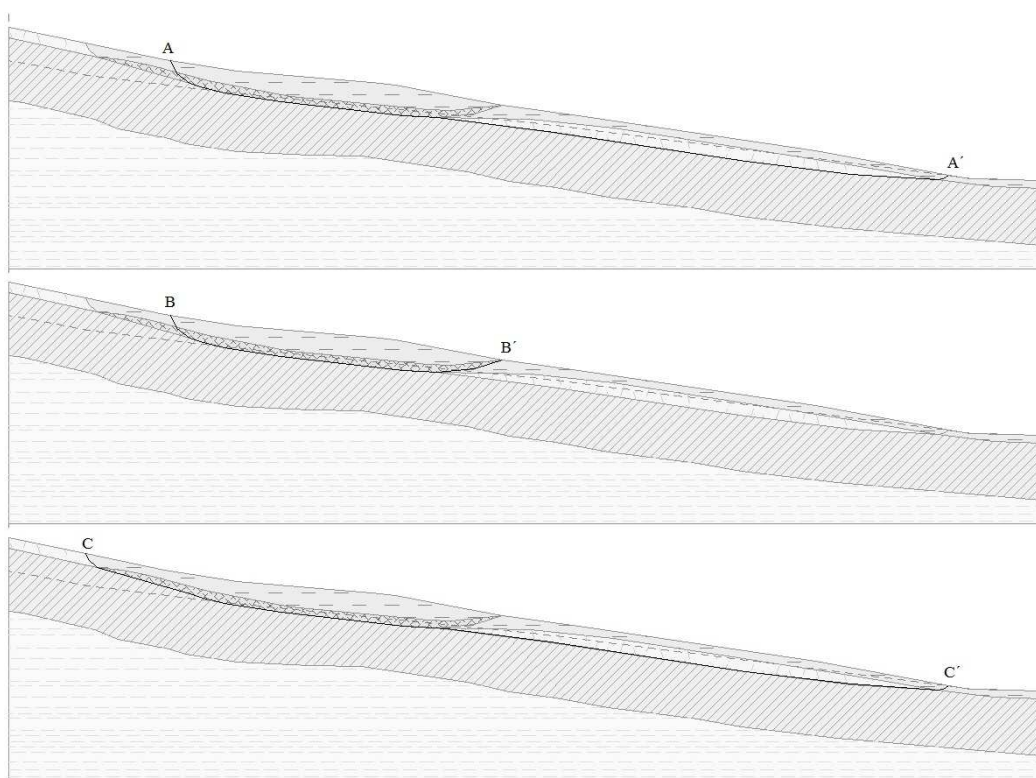
	γ [kN/m ³]	φ_{ef} [°]	c_{ef} [kPa]	γ_{sat} [kN/m ³]
PGZV	20,5	11	0	21,03
PGTP	21,2	19,23	16,24	21,69
JD	20	17	13	20,01
SKHS	19,9	7	0	20,23
PGNA	22,5	26	22	23



Obr. 7.4: Rozložení zemin v řezu

7.2.2 Fáze výpočtu

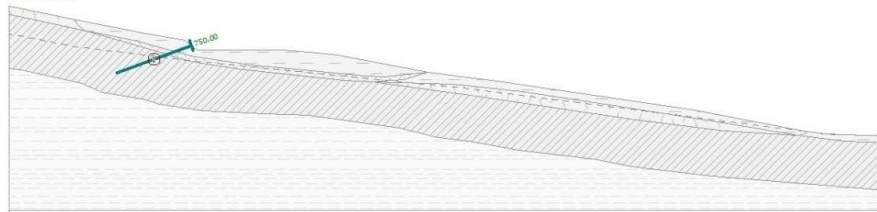
Jednotlivé fáze výstavby byly počítány pro tři smykové plochy zjištěné během inženýrsko-geologického průzkumu. Smykové plochy jsou znázorněny na Obr. 7.5. Dalším výpočtem byla kontrolována smyková plocha na svahu zářezu, a to optimalizací podle Bishopa. Výpočet byl proveden se zadanými délkami kotev. To znamená, že do výpočtu je zaveden pouze vliv kotev, které zasahují za smykovou plochu. Délky kotev prvních třech etází byly zvoleny tak, aby se jejich kořenová část, tedy 10 m, nacházela za smykovou plochou.



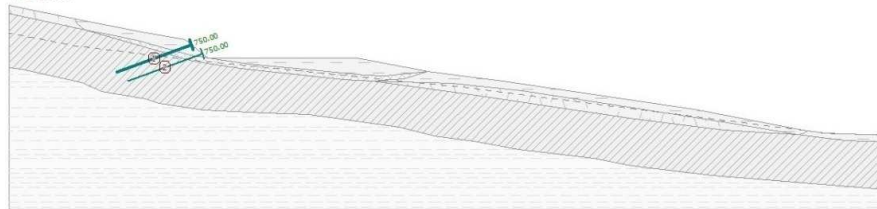
Obr. 7.5: Smykové plochy

Stupně stability pro dané smykové plochy původního svahu byly v první fázi spočítány s HPV a ve druhé fázi bez ní. Ve třetí až deváté fázi byl postupně odebírán zářez a předepínány kotvy dle výše uvedeného postupu. S hloubením zářezu byla postupně snižována hladina podzemní vody. V šesté fázi dojde k přerušení smykových ploch A-A', B-B', C-C'. První dvě etáže kotvení drží především sesuv na smykových plochách A až C. Další etáže kotvení drží zářezový svah.

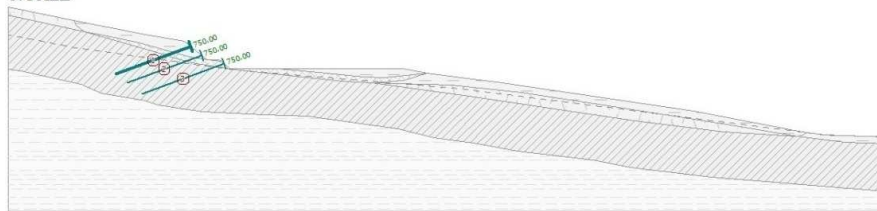
3. FÁZE



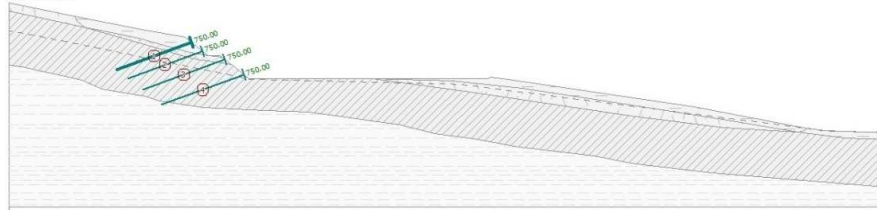
4. FÁZE



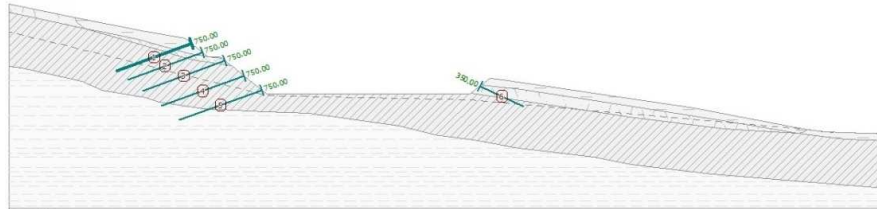
5. FÁZE



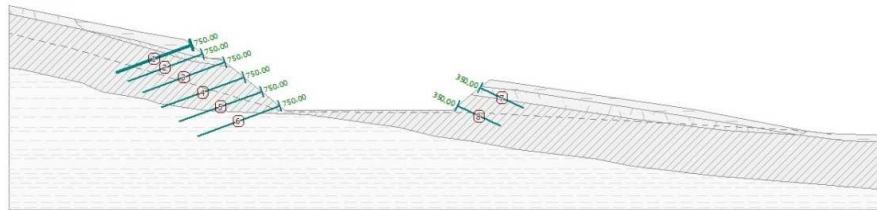
6. FÁZE



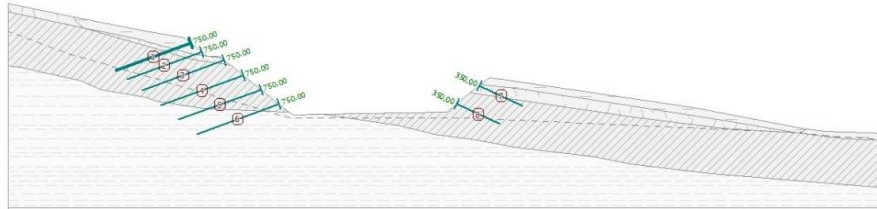
7. FÁZE



8. FÁZE



9. FÁZE



Obr. 7.6: Fáze výpočtu

Tab. 7.3: Dosažené stupně stability

fáze	A – A´	B – B´	C – C´	Optimalizovaná smyková plocha
1	1,10	1,10	1,14	-
2	1,32	1,16	1,31	-
3	1,21	1,51	1,24	1,99
4	1,39	3,17	1,40	1,89
5	1,80	-	1,83	1,63
6	-		20,25	1,56
7				1,52
8				1,49
9				1,52

7.2.3 Posouzení kotev na vytažení kořene kotvy z horniny

7.2.3.1 Levá strana zářezu

Kotvy jsou navrženy jako 8 – pramencové, pramence ϕ 15,5/1800, průměr vrtu pro osazení kotvy je 175 mm. Rozmezí plášťového tření pro poloskalní horniny R6 je 0,2 – 0,6 MPa, bylo zvoleno 0,2 MPa.

plocha	A =	141,5 mm ²
průměr pramence	d =	15,5 mm
napětí na mezi pevnosti	f _p =	1800 Mpa
napětí na mezi f _{p0,2}	f _{p0,2} =	1532 MPa
plášťové tření	τ _i =	0,2 Mpa
průměr vrtu	d =	175 mm
délka kořene	L _k =	10 m
počet pramenců	n=	8
předpínací síla	P ₀ =	750 kN

char. únosnost kotvy proti vytažení

$$R_{a,k} = \pi * d * L_k * \tau_i$$

$$R_{a,k} = 1099,0 \text{ kN}$$

návrhová únosnost kotvy proti vytažení

$$R_{a,d} = R_{a,k} / 1,1$$

$$R_{a,d} = 999,1 \text{ kN}$$

charakteristická konstrukční únosnost kotvy

$$R_{i,k} = n * A * f_{p0,2} / 1,15$$

$$R_{i,k} = 1508,0 \text{ kN}$$

navrhová konstrukční únosnost kotvy

$$R_{a,d} = R_{i,k} / 1,35$$

$$R_{a,d} = 1117,1$$

návrhová únosnost proti vytažení

$$R_{a,d} = \min \{R_{a,k} / 1,1; R_{i,k} / 1,35\}$$

$$R_{a,d} = 999,1 \text{ kN}$$

$$R_{a,d} > P_0$$

$$999,1 > 750 \text{ kN} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

síla na mezi pevnosti táhla

$$P_{t,k} = n * A * f_p$$

$$P_{t,k} = 2037,6 \text{ kN}$$

$$0,6 P_{t,k} = 1222,6 \text{ kN}$$

$$0, P_{t,k} > P_0$$

$$1222,6 > 750 \text{ kN} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

7.2.3.2 Prává strana zářezu

Kotvy jsou navrženy ze stejného materiálu jako 4 – pramencové, délka kořene je 7 m, předpínací síla 350 kN.

char. únosnost kotvy proti vytažení

$$R_{a,k} = \pi * d * L_k * \tau_i$$

$$R_{a,k} = 769,3 \text{ kN}$$

návrhová únosnost kotvy proti vytažení

$$R_{a,d} = R_{a,k} / 1,1$$

$$R_{a,d} = 699,4 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{charakteristická konstrukční únosnost kotvy} \quad R_{ik} &= n * A * f_{p0,2} / 1,15 \\ R_{i,k} &= 754,0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{návrhová konstrukční únosnost kotvy} \quad R_{a,d} &= R_{i,k} / 1,35 \\ R_{a,d} &= 558,5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{návrhová únosnost proti vytažení} \quad R_{a,d} &= \min \{ R_{a,k} / 1,1; R_{i,k} / 1,35 \} \\ R_{a,d} &= 558,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{a,d} &> P_0 \\ 558,5 &> 350 \text{ kN} \Rightarrow \text{vyhovuje} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{síla na mezi pevnosti táhla} \quad P_{t,k} &= n * A * f_p \\ P_{t,k} &= 1018,8 \text{ kN} \\ 0,6 P_{t,k} &= 611,3 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0, P_{t,k} &> P_0 \\ 611,3 &> 350 \text{ kN} \Rightarrow \text{vyhovuje} \end{aligned}$$

7.3 Kontrolní sledování

Kontrolní sledování svahu by mělo zaznamenat vývoj jeho přetváření v čase. Využívá se měření posuvů na povrchu i uvnitř horninového masivu. Sleduje se vývoj smykových ploch, změny polohy HPV a pórových tlaků. Síly v kotvách je vhodné sledovat dynamometry.

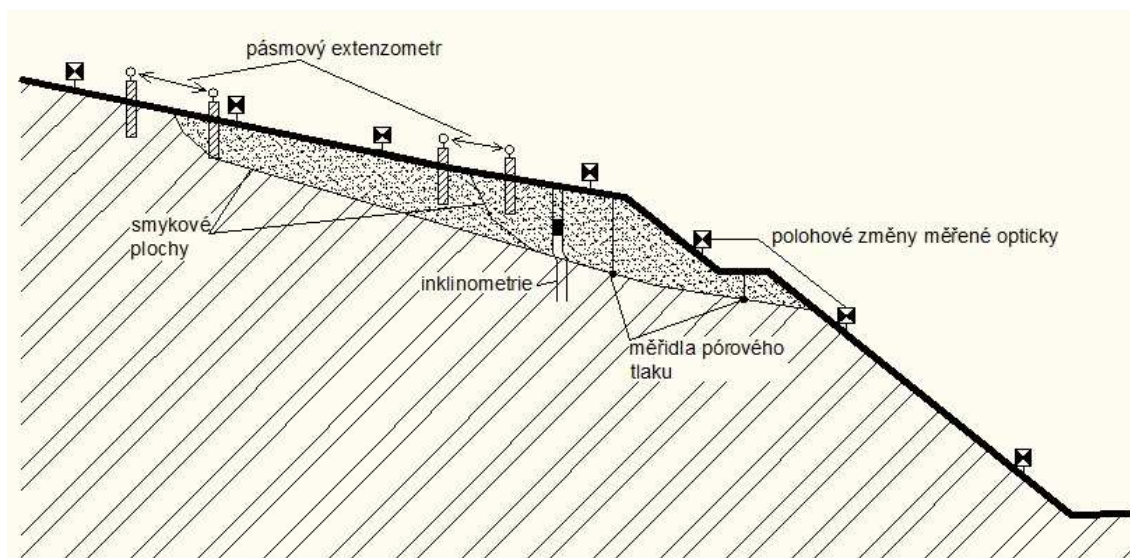
Pro měření posuvů na povrchu terénu lze využít polohového měření triangulací nebo moderních optických automatických stanic, které v daných časových intervalech měří polohu geodetických bodů, data vyhodnocují a porovnávají s předchozím stavem. Je zapotřebí sledovat nejen oblast možného sesuvu, ale území rozšířit zejména nad odlučnou oblastí. Klasická nivelace se využívá hlavně v akumulční oblasti sesuvu či tam, kde lze předpokládat vytlačování hornin pod jeho akumulční částí. Oblasti, ve kterých dochází k největším pohybům, se sledují trhliny pomocí přesných pásmových extenzometrů. Profily by měly být navrženy tak, aby kolmo protínaly hlavní trhliny a bylo tak možné sledovat rozevírání každé z nich.

Uvedené metody měření posuvů je nutné doplnit vizuálními prohlídkami, které by měly být dostatečně časté a pečlivé. Sledují se hlavně nově vznikající trhliny v odlučných oblastech, dále místa, kde se hromadí nebo ze svahu vytéká voda a rozhraní, kde se mění mechanismus porušování a přetváření svahu. Při prohlídkách je možné využít jednoduchou metodu měření pomocí záměrné přímky nebo hadicovou vodováhu ke sledování svislých posuvů. Na vhodných místech se zřizují měrná místa, kde se měří průtočné množství vody.

Polohu smykových ploch a vývoje posuvů podél nich je třeba sledovat pomocí inklinometrických vrtů. Tímto způsobem je možno zjistit i více smykových ploch nacházejících se v jiné hloubce a rychlost pohybů na nich probíhajících.

K měření vodního režimu v soudržných zeminách je vhodné použít měřidlo pórového tlaku. K reakcím na změny vodního režimu dochází s různě velkým zpožděním a to má pro kontrolu stability svahu zásadní význam. U zářezů ve vodou nasycených nebo polonasycených soudržných zeminách může po jejich vyhotovení dojít k poklesu pórového tlaku, který ale bývá dočasný. Později se pórový tlak může vrátit k původním hodnotám a to způsobí ztrátu stability svahu. Pórové tlaky mohou růst vlivem přitěžování soudržných zemin nebo během dlouhého období dešťových srážek. Pokles stability pak bývá postupný a dlouhodobý. V tomto případě se používá měřidlo pórového tlaku, které se umísťuje do míst, kde předpokládáme největší změnu pórového tlaku nebo vznik smykových ploch. Pórové tlaky se snižují pomocí odvodňovacích vrtů. U vyústění odvodňovacích vrtů se proto měří množství vytékající vody v závislosti na čase a na srážkách. Je třeba dávat pozor, aby se vrty neucpávaly.

Další příčinou změn stability svahu v čase je progresivní porušování a následné přerozdělování vnitřní napjatosti uvnitř svahu. Vlivem progresivního porušování se mění mechanické vlastnosti hornin. Obvyklé je dlouhodobé pomalé přetváření horninového masivu, které někdy může ustát nebo naopak vést k rychlé ztrátě stability svahu.



Obr. 7.7: Návrh kontrolního sledování

8 ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce pod názvem *Zajištění hlubokého zářezu* byl návrh sanačních opatření k zajištění zářezu. Těleso zářezu se nachází na Slovensku, v Žilinském kraji, okresu Žilina, na plánovaném úseku dálnice D1 Lietavská Lúčka - Dubna Skala o celkové délce 13,5 km. Stavba se nachází v sesuvné oblasti a s přihlédnutím k složitým inženýrsko-geologickým podmínkám i významnosti stavby je v teoretické části práce věnovaná pozornost sesuvným pohybům a jejich sanacím a kladen důraz na kontrolní sledování stavby po celou dobu její životnosti.

Pro řešení stability zářezu byly uvažovány dvě varianty: kotvená pilotová stěna a zajištění zářezu pomoci kotvených svahů včetně návrhu odvodnění. Pilotová stěna vykazovala velké deformace (až 45,2 mm), a také vycházely nepřiměřeně velké síly v kotvách (až 894,3kN). Proto byla, i vzhledem k ekonomické náročnosti, jako výhodnější alternativa zvolena varianta postupného kotvení zářezu.

Výpočet byl proveden pomocí softwaru Geo5, studentské verze. Parametry zemin v oblasti smykových ploch byly zadány jako reziduální, tak, aby se stupeň stability na smykových plochách, zjištěných během geotechnického průzkumu pohyboval okolo 1,1, tedy na hranici stability. Dále bylo navrženo postupné kotvení, tak, aby byl svah ve všech fázích výpočtu stabilní.

Ve výpočtu byla uvažována maximální hladina podzemní vody, která se průběžně s hloubením zářezu snižovala. Snižováním HPV dochází ke zvýšení stupně stability, což bylo ověřeno ve druhé fázi výpočtu. Proto bylo navrženo hloubkové odvodnění zemního tělesa pomoci horizontálních odvodňovacích vrtů.

Účinnost sanačních opatření je potřeba doložit kontrolním sledováním, kterým bychom měli získat informace o reakci sesuvu na inženýrský zásah. Zářez je potřeba průběžně udržovat, aby vyhověl stabilitním požadavkům i v dlouhodobém horizontu. To je obzvláště důležité u odvodňovacích vrtů, které se musí udržovat průchozí po celou dobu životnosti stavby.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ZÁRUBA, Q., MENCL, V. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. Vydání 2. Praha: Academia, 1987. 340s.
- [2] ROZSYPAL, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Vydání 1. Bratislava: Jaga group, 2001. 198s. ISBN 80-88905-44-3
- [3] NEMČOK, A. *Zosuvy v slovenských Karpatoch*. Vydání 1. Bratislava: Slovenská akadémia vied, 1982. 320s.
- [4] WEIGLOVÁ, K. *Mechanika zemin*. Vydání 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 186s. ISBN 80-7204-507-5
- [5] MASOPUST, J. *Speciální zakládání staveb, 1. díl*. Vydání 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 141s. ISBN 80-214-2770-1
- [6] MASOPUST, J. *Speciální zakládání staveb, 2. díl*. Vydání 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 150s. ISBN 80-7204-489-3
- [7] MASOPUST, J. *Navrhování pažicích konstrukcí, Příručka k ČSN EN 1997*. 2006. 100s.
- [8] ČSN EN 1997-1 *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 138s.
- [9] ČSN EN 1997-1 *Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 161s.
- [10] BOND A., HARRIS A. *Decodinc EC 7*. USA: Taylor & Francis, 2008, 598s.
- [11] FINE s.r.o.. [online]. dostupné z: <<http://www.fine.cz/>>
- [12] Štátný geologický ústav Dionýza Štúra. [online]. Mapový portal. dostupné z: <<http://geology.sk>>

- [13] VUT FAST v Brně, Ústav geotechniky. [online]. Svahové pohyby, sesuvy. dostupné z: <http://geotech.fce.vutbr.cz/studium/mech_hornin/mhig_8.pdf>
- [14] DYWIDAG Systems International. [online]. Lanové kotvy. dostupné z: <http://www.dywidag-systems.com/uploads/media/DYWIDAG-Lanove_kotvy_01.pdf>
- [15] Maccaferri. [online]. Georohože. dostupné z: <<http://www.maccaferri.sk/produkty/geosyntetika/georohoze/14824-1.html>>
- [16] Dialnice a tunely na Slovensku. [online]. dostupné z: <<http://dialnice.szm.com/>>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

c_{ef}	[kPa]	efektivní koheze
c_u	[kPa]	totální koheze
c_{rez}	[kPa]	reziduální koheze
ϕ_{ef}	[°]	efektivní úhel vnitřního tření
ϕ_u	[°]	totální úhel vnitřního tření
Φ_{rez}	[°]	reziduální úhel vnitřního tření
E_{def}	[MPa]	deformační modul
E_{oed}	[MPa]	edometrický modul
E_p	[MPa]	presiometrický modul
I_c	[-]	stupeň konzistence
I_p	[-]	index plasticity
n	[%]	pórovitost
R_{dt}	[kPa]	tabulková únosnost základové půdy
S_r	[%]	stupeň nasycení
w_n	[%]	přírozená objemová vlhkost
w_L	[%]	mez tekutosti
w_p	[%]	mez plasticity
ρ_n	[kg.m ⁻³]	objemová hmotnost v přírozeném uložení
ρ_s	[kg.m ⁻³]	zdánlivá hustota pevných částic
σ_c	[kPa]	pevnost v prostém tlaku
F	[-]	stupeň stability
u_i	[kPa]	pórový tlak na bloku

c_i, ϕ_i		efektivní parametry zemin
W_i	[kg*m ⁻³]	tíha bloku
α_i	[°]	sklon úseku smykové plochy
b_i	[m]	šířka bloku
E_i	[kN]	meziblokové síly
X_i	[kN]	smykové síly mezi bloky
z_i, l_i	[m]	polohy působišť sil
K_h	[-]	faktor vodorovného zrychlení

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A	Statický výpočet – stabilita postupně kotveného svahu
Příloha B	Statický výpočet – posouzení pilotové stěny
Příloha C	Geologický popis vrtů
Příloha D	Situace průzkumných děl
Příloha E	Geofyzikální profil 3
Příloha F	Inženýrskogeologický řez v 1,119 km