

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta,
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky



**Stabilitní poměry sesuvného svahu v údolí Jíloveckého potoka
v Semilech**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Ondřej Kujan

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jan Novotný, CSc.

Konzultant diplomové práce: doc. RNDr. David Mašín, Ph.D.

Praha, 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání stejného či jiného akademického titulu.

V Praze dne 8. 8. 2016

Podpis:

Poděkování:

V první řadě děkuji svému vedoucímu panu Ing. Janu Novotnému CSc. za odborné vedení této diplomové práce, za poskytnutí cenných rad, ale také za vstřícnost a trpělivost. Dále bych rád poděkoval panu doc. RNDr. Davidovi Mašínovi, Ph. D. za odbornou konzultaci v oboru mechaniky zemin a Bc. Janu Jermanovi, M.Sc. za pomoc při zpracování stabilitních výpočtů. Děkuji také RNDr. Petru Táboříkovi, Ph.D. a Mgr. Jaroslavu Jirků za pomoc s realizací geofyzikálního měření a v neposlední řadě společnosti Arcadis CZ a.s. za zapůjčení geotechnických norem.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá stabilitními poměry sesuvného svahu „U Čtrnácti pomocníků“, který se nachází v severovýchodní části města Semily v Libereckém kraji. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části byla provedena rešerše odborné literatury o dané problematice a přírodních poměrech širšího okolí zájmové oblasti. Praktická část se skládá z jednotlivých částí, v rámci kterých byla provedena rešerše archivní vrtné dokumentace, inženýrskogeologické mapování zájmové oblasti, vlastní technické práce v podobě ručních vrtů, odběrů vzorků a geofyzikálního měření, laboratorní práce a stabilitní výpočty. Vytvořen byl také inženýrskogeologický model sesuvného území. Výsledky praktické části jsou využity jako podklad pro závěrečné inženýrskogeologické zhodnocení oblasti.

Abstract

The thesis deals with slope stability of a landslide „U Čtrnácti pomocníků“, which is located in the north-eastern part of the city Semily in the Liberec district. The thesis is divided into theoretical and practical part. The theoretical part was carried out literature search on the issue and the natural conditions around the wider area of interest. The practical part consists of individual sections within which the research were conducted archival documentation, mapping areas of interest, own technical work, sampling and geophysical measurements and laboratory work and stability calculations. Also the engineering geological model of the landslide was created. The results of the practical part are used as the basis for the final engineering geological evaluation of this area.

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Cíl a metodika práce	13
3. Teoretická část	15
3.1. Problematika svahových pohybů	15
3.1.1. Svahové pohyby a jejich oblasti výskytu v ČR.....	15
3.1.2. Klasifikace svahových pohybů	16
3.1.3. Charakteristické znaky sesuvného území.....	22
3.1.4. Příčiny svahových pohybů.....	23
3.1.5. Metody průzkumu sesuvných území.....	24
3.1.6. Způsoby zajištění sesuvných svahů	24
3.2. Charakteristika širšího okolí zájmové oblasti	27
3.2.1. Geografické vymezení širšího okolí.....	27
3.2.2. Geomorfologické poměry	28
3.2.3. Klimatické poměry.....	30
3.2.4. Geologické poměry	31
3.2.5. Tektonika	34
3.2.6. Hydrogeologické a hydrologické poměry.....	36
3.2.7. Těžba nerostných surovin	38
3.2.8. Svahové pohyby.....	38
4. Analýza sesuvného území	40
4.1. Údaje o sesuvném území „U Čtrnácti pomocníků“	40
4.1.1. Lokalizace zájmového území	40
4.1.2. Archivní zprávy z geologických průzkumů	41
4.1.3. Popis sesuvného území	41
4.1.4. Geologie zájmového území.....	45
4.1.5. Hydrogeologie zájmového území	45
4.2. Technické terénní práce provedené v rámci diplomové práce	46
4.2.1. Ručně vrtané sondy a odběr vzorků zeminy	46
4.2.2. Geofyzikální měření.....	48
4.3. Laboratorní práce	50
4.3.1. Stanovení přirozené vlhkosti.....	50
4.3.2. Stanovení zrnitosti.....	51
4.3.3. Stanovení konzistenčních mezí	53

4.3.4.	Zatřídění a pojmenování zemin.....	56
4.3.5.	Stanovení smykové pevnosti.....	56
4.3.6.	Zkouška v translačním smykovém přístroji.....	58
4.3.7.	Zkouška v rotačním smykovém přístroji.....	64
4.4.	Inženýrskogeologická mapa geomorfologických tvarů	68
4.4.1.	Vymezení mapovaného území	68
4.4.2.	Metodika tvorby mapy	68
4.4.3.	Přípravné práce	69
4.4.4.	Terénní mapování	70
4.4.5.	Zpracování mapy.....	70
4.5.	Inženýrskogeologický model sesuvného svahu	71
4.6.	Stabilitní výpočty	72
4.6.1.	Postup při práci v programu Plaxis	72
4.6.2.	Výsledky stabilitních výpočtů.....	73
5.	Diskuze	74
5.1.	Diskuze výsledků laboratorních prací.....	74
5.2.	Diskuze výsledků stabilitních výpočtů	74
5.3.	Inženýrskogeologické zhodnocení oblasti	75
5.4.	Vyplývající doporučení a návrhy opatření.....	76
6.	Závěr	78
7.	Seznam použité literatury.....	79

Seznam příloh

Vázané přílohy

1. Souřadnice dokumentačních bodů
2. Archivní vrtná dokumentace
3. Vlastní vrtné ruční sondy
4. Vlastní dokumentační body
5. Výsledky laboratorních prací
6. Výsledky stabilitních výpočtů

Nevázané přílohy

7. Inženýrskogeologická mapa geomorfologických tvarů 1:2000
8. Mapa dokumentačních bodů 1:2000
9. Mapa digitálního modelu reliéfu 1:2000
10. Historická mapa oblasti 1:2000
11. Podélný geofyzikální řez svahem 1:1200
12. Inženýrskogeologický model sesuvu 1:1200

Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obrázky

Obr. 1: Zjednodušená geologická mapa ČR s vyznačenými oblastmi výskytu sesuvů	16
Obr. 2: Schematický nákres rotačního sesuvu	17
Obr. 3: Schematický nákres planárního sesuvu	18
Obr. 4: Schematický nákres rotačně planárního sesuvu.....	18
Obr. 5: Schematický nákres stékání.....	19
Obr. 6: Schematický nákres skalního řízení.....	19
Obr. 7: Půdorysné tvary svahových pohybů	21
Obr. 8: Charakteristické znaky sesuvného území	22
Obr. 9: Příklady příčiny ovlivňující stabilitu svahu.....	23
Obr. 10 Schématická mapa ČR s vyznačením polohy zájmového území.....	27
Obr. 11: Mapa okolí Semil (1:50 000).....	28
Obr. 12: Mapa geomorfologického členění ČR.....	29
Obr. 13: Reliéf krajiny v okolí Semil s vyznačením zájmové lokality	30
Obr. 14: Výřez mapy 1:200 000 - Klimatické regiony ČR dle Quitta 1971	30
Obr. 15: Rozšíření limnických permokarbonských pánví v Českém masívu	31
Obr. 16: Výřez z geologické mapy ČR 1:200 000 – Podkrkonošská pánev	32
Obr. 17: Výřez geologické mapy 1:25 000.....	33
Obr. 18: Zjednodušená geologická mapa okolí Semil s tektonickými poruchami.....	35
Obr. 19: Výřez mapy o měřítku 1:20000 – Hranice povodí Jíloveckého potoka.....	36
Obr. 20: Výřez z mapové aplikace Svahové nestability	39
Obr. 21: Výřez mapy 1:10 000 s vyznačeným mapovaným územím	40
Obr. 22: Nepravidelně zvlněný terén v SV části svah „U Čtrnácti pomocníků“	42
Obr. 23: Trhlina vedoucí svahem v SV části svahu „U Čtrnácti pomocníků“.....	44
Obr. 24: Praskliny ve zdech domu v ulici Chocholka 401.....	44
Obr. 25: Ruční vrták Edelman značky Eijkelkamp.....	47
Obr. 26: Průběh vrtných prací ručním vrtákem Edelman	48
Obr. 27: Technická zařízení pro měření metodou ERT	49
Obr. 28: Průběh geofyzikálního měření metodou ERT v SV části sesuvného svahu	49
Obr. 29: Průběh zrnitostní zkoušky.....	52
Obr. 30: Průběh zkoušky - stanovení vlhkosti na mezi tekutosti – kuželová zkouška	54
Obr. 31: Průběh zkoušky - stanovení vlhkosti na mezi plasticity	55
Obr. 32: Závislost smykového napětí na posunu.	57
Obr. 33: Schéma translačního přístroje ShearPLEX.....	59
Obr. 34: Schéma uspořádání smykové krabice translačního přístroje ShearPLEX	59

Obr. 36: Smyková krabice před spuštěním konsolidační fáze	61
Obr. 35: Translační smykový přístroj ShearPLEX	61
Obr. 37: Vzorek zeminy po smykové zkoušce v translačním smykovém přístroji	61
Obr. 38: Rotační smykový přístroj Bromhead	64
Obr. 39: Vzorková krabice rotačního smykového přístroje	65

Tabulky

Tabulka 1: Hodnoty přirozené vlhkosti vzorků zeminy	51
Tabulka 2: Výsledné hodnoty konzistenčních mezí jednotlivých vzorků	56
Tabulka 3: Výsledky ze zkoušky v translačním krabicovém přístroji	63
Tabulka 4: Výsledky ze zkoušky v rotačním krabicovém přístroji	67
Tabulka 5: Hodnoty zadaných parametrů pro geotyp 1	73
Tabulka 6: Hodnoty zadaných parametrů pro geotyp 2	73
Tabulka 7: Výsledné stupně stability získané pomocí programu Plaxis 2D	73
Tabulka 8: Srovnání výsledků z laboratorních zkoušek s archivními údaji	74
Tabulka 9: Srovnání stupňů stability pro různé situace	75

Grafy

Graf 1: Výsledný graf závislosti smykového napětí na posunutí	62
Graf 2: Graf obálky kritické smykové pevnosti	63
Graf 3: Výsledný graf závislosti smykového napětí na posunutí	66
Graf 4: Graf obálky kritické a reziduální smykové pevnosti	67

Seznam použitých zkratk

ASGI – automatizovaný systém geologických informací (ASGI) – webová aplikace spravovaná Českou geologickou službou

ČGS – Česká geologická služba

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČÚZK – Český úřad zeměměřičský a katastrální

DMR – digitální model reliéfu

HPV – hladina podzemní vody

CHKO – Chráněná krajinná oblast

IG – inženýrskogeologický

LIDAR – Light Detection And Ranging – letecké laserové skenování

NPP – národní přírodní památka

PKP – Podkrkonošská pánev

PR – přírodní rezervace

PřF UK – Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy

S, J, Z, V (příp. SZ, JV atd.) – světové směry: sever, jih, západ, východ

S-JTSK – jednotná trigonometrická síť katastrální

1. Úvod

Pro studium problematiky svahových pohybů je důležité si hned na počátku uvědomit, že formování krajiny svahovými pohyby je přirozeným projevem geologického vývoje. Člověk, který se v současné době na formování krajinného rázu také znatelnou mírou podílí, musí tento fakt respektovat, pokud nechce, aby došlo k jeho ohrožení. Je totiž známo, že svahové pohyby mohou způsobit nemalé škody, a často se tomu stává právě kvůli podcenění či úplnému zanedbání této problematiky. Aby člověk takovému konfliktu s přírodou předešel, měl by nejprve porozumět přírodním poměrům v dané lokalitě. Je jedním z úkolů inženýrského geologa, aby takové ohrožení dokázal vypočítat a zavčas najít vhodné řešení. Inženýrský geolog by na základě svých znalostí měl také dokázat zhodnotit případný negativní vliv lidského zásahu do krajiny, aby nedošlo k nepřirozenému vyvolání svahového pohybu a následnému ohrožení.

V rámci své diplomové práce na téma „Stabilitní poměry sesuvného svahu v údolí Jíloveckého potoka v Semilech“ se zabývám komplexní analýzou stability konkrétního sesuvného území. Pro podrobnější prozkoumání právě této oblasti jsem se rozhodl na základě závěrů své bakalářské práce, ve které jsem se zabýval shromážděním archivních údajů o sesuvných událostech na Semilsku. Hlavními podněty pro analýzu lokality „U Čtrnácti pomocníků“ byl především nález aktivních projevů svahových pohybů při terénní obchůzce a zároveň nedostatečná komplexní prozkoumanost tohoto svahu. Na sesuvném území sice bylo provedeno několik inženýrskogeologických průzkumů (Ocman et al., 1958; Trenda, 1989; Vybíral, 1996 a 1999), ty však byly zaměřeny lokálně bez ohledu na rozsah a složitost celého sesuvného území. Teprve až ve zprávě Kycla a Valigurského (2001) je území hodnoceno jako celek. Na významu této analýzy přidává i fakt, že je území částečně zastavěno rodinnými domy, které by vznikem náhlé sesuvné události mohly být poškozeny. V rámci této práce zároveň upozorním na nevhodnost některých antropogenních zásahů, které negativně působí na stabilitu svahu.

Hlavním přínosem této práce v praxi tak bude vyjádření o aktuálním stabilitním stavu svahu, na základě kterého budou doporučena případná opatření z inženýrskogeologického hlediska. Tato práce je významná i z teoretického hlediska, protože je v ní demonstrováno, jakým způsobem lze provést komplexní analýzu sesuvného území bez použití těžké techniky, která by byla pro diplomovou práci příliš nákladná. Pro řešitele podobných témat by mohlo být přínosné také to, že jsou v práci uvedeny a popsány způsoby aplikace moderních nástrojů pro řešení této problematiky, například využití dat DMR při mapování sesuvů, provedení geofyzikální metody ERT či stabilitního výpočtu v programu PLAXIS.

2. Cíl a metodika práce

Cíl práce

Cílem této diplomové práce je zhodnotit stabilitní poměry svahu „U Čtrnácti pomocníků“ v severovýchodní části města Semily souborem odborných činností zaměřených na pochopení geologické situace, a tím potvrdit nebo vyvrátit předpoklad možného ohrožení území vlivem sesuvné události.

Metodika práce

Základní struktura této diplomové práce se opírá o obecné postupy při řešení stabilizace sesuvných svahů, které se užívají v rámci podrobného inženýrskogeologického průzkumu. Metodicky se jedná o komplex činností především pak činností rešeršních, terénních, technických, laboratorních a výpočetních, na základě kterých je možné provést souhrnné inženýrskogeologické zhodnocení zájmové lokality. Vzhledem k tomu, že zpracovávané téma nebylo součástí žádného oficiálního výzkumu, nebylo možné provádět žádné nové technické práce, ke kterým je zapotřebí těžké techniky.

V rámci teoretické části nejdříve provedu rešerši odborné literatury, jež se zabývá obecnou terminologií dané problematiky svahových pohybů. V této kapitole čerpám zejména z publikací Nemčoka, Rybáře a Paška (1974), Rybáře a Ondrášika (1991), Rybáře a Novotného (2005), Paška a Matuly (1995) a Záruby a Mencla (1987). Ve druhé části kapitoly pro zjištění informací o přírodních poměrech širšího okolí zájmové lokality zpracuji rešerši odborných publikací a archivních zpráv z Geofondu ČR.

Praktická část diplomové práce bude rozdělena na několik dílčích částí, které dohromady budou tvořit podklady pro výsledné inženýrskogeologické zhodnocení zájmové lokality. V první řadě budou shromážděny veškeré dostupné informace o sesuvném území a to včetně studia historických mapových podkladů a archivní vrtné dokumentace. Po vymezení zájmového území provedu terénní mapování, při kterém budu průběžně zaznamenávat vlastní dokumentační body, a s využitím dat digitálního modelu reliéfu vytvořím Inženýrskogeologickou mapu geomorfologických tvarů v měřítku 1:2000. Při práci v terénu také provedu vlastní technické práce v podobě ručních vrtaných sond, ze kterých budou odebrány vzorky zemin. Z vlastních terénních technických prací bude provedeno i geofyzikální měření, ze kterého vytvořím geofyzikální řez svahem, abych zjistil kontinuální informaci o geologickém podloží zájmové lokality. Na základě těchto poznatků stanovím inženýrskogeologický model sesuvného svahu. Abych mohl určit stabilitní poměry daného území, musím nejprve na odebraných vzorcích provést laboratorní zkoušky, díky kterým zjistím mechanické vlastnosti zkoumané zeminy. Laboratorní práce se budou skládat ze stanovování

přirozené vlhkosti, zrnitosti, konzistenčních mezí a smykových parametrů. Zjištěné údaje budou sloužit jako podklady pro stabilitní výpočty v programu Plaxis.

V závěrečné diskuzi okomentuji a případně srovnám své výsledky s archivními zdroji. Na základě zjištěných informací tímto komplexním souborem činností zhodnotím území z inženýrskogeologického hlediska a uvedu případná doporučení či opatření pro zlepšení stabilitních poměrů v sesuvném území.

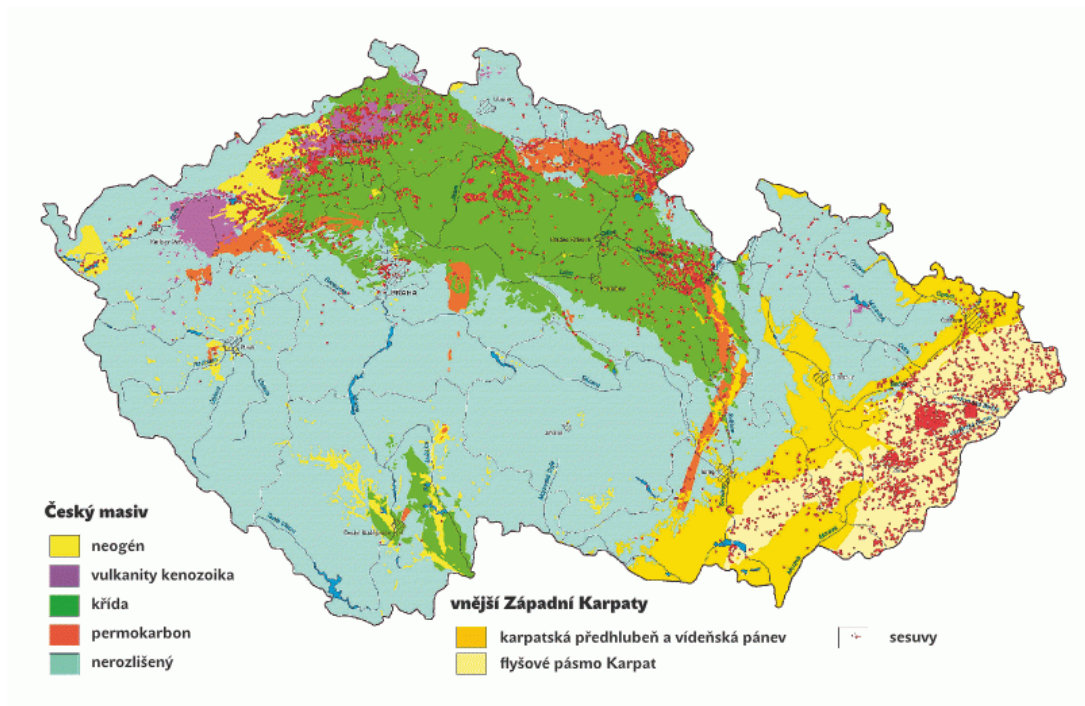
3. Teoretická část

3.1. Problematika svahových pohybů

3.1.1. Svahové pohyby a jejich oblasti výskytu v ČR

V České republice jsou svahy velmi častým terénním prvkem, a z toho důvodu je zapotřebí počítat s otázkou jejich stability takřka při jakémkoli stavebním zásahu v terénu, a to jak ve svazích v původním přírodním stavu tak ve svazích uměle vytvořených člověkem (Záruba, Mencl, 1987). Z geologického hlediska totiž není podle Záruby a Mencla (1987) žádný svah trvale stabilní. Porušením rovnováhy sil ve svahu vznikají procesy, při nichž se horninové hmoty kvůli působení gravitace pohybují po svahu dolů, čímž se snaží dosáhnout rovnovážného stavu. Tyto procesy se nazývají svahové pohyby a jejich vznik je podmíněn především místními přírodními poměry, zejména těmi geomorfologickými a geologickými. Podoba dnešní krajiny potažmo svahů je tak výsledkem interakce horninového prostředí s řadou vnějších reliéfových procesů, které mohou mít jak přírodní tak antropogenní původ (Pašek, Matula, 1995). Jednou z úloh inženýrské geologie je tak pochopení a zvládnutí nebezpečných typů svahových pohybů s ohledem na racionální využití území. Důležitým předpokladem pro zmírnění negativních dopadů svahových pohybů je získat co nejvíce informací o podmínkách a faktorech, které způsobují jejich vznik (Ondrášík a Rybář, 1991). Svahové pohyby patří ve světě k velmi rozšířeným geodynamickým jevům a mohou způsobovat značné přímé i nepřímé škody - mohou ohrožovat a poškozovat budovy, vodohospodářské stavby, porušovat silniční a železniční tratě, komplikovat výstavbu tunelů či těžbu nerostných surovin (Ondrášík a Rybář, 1991). Svahové pohyby ztěžují a ohrožují práci v lomech a naopak nesprávně založené a neodpovědně provozované lomy mohou porušit stabilitu celého svahu (Záruba a Mencl, 1987). Škody však nemusí být pouze materiální, některé svahové pohyby dokáží ničit i životní prostředí člověka nebo jej ohrožovat přímo na zdraví či životě.

Na území České republiky se vzhledem k výrazné členitosti terénu projevuje poměrně značné množství sesuvů, a to zejména v geologických jednotkách, které jsou kvůli danému typu geologického podloží víc náchylné ke vzniku sesuvů. V Českém masivu se sesuvy vyskytují zejména v české křídové pánvi a v oblasti Českého středohoří, o něco méně obvyklé jsou pak výskyty v sedimentech permokarbonských pánví. K velmi častým sesuvným událostem dochází v sedimentech flyšového pásma Západních Karpat (Obr. 1). Podle Rybáře (2004) je v geologicky starším Českém masivu sesuvy postiženo asi 1 % území, zato ve flyšovém pásmu Západních Karpat jsou postiženy až 3% území.



Obr. 1: Zjednodušená geologická mapa ČR s vyznačenými oblastmi výskytu sesuvů (Krejčí et al., 2014)

3.1.2. Klasifikace svahových pohybů

Vzhledem k rozmanitosti svahových pohybů neexistuje celosvětově jednotná klasifikace pro tento geodynamický jev. Svahové pohyby je možné klasifikovat hned podle několika kritérií, které spolu často nemusí zcela souviset. Pro udržení přehlednosti a jednoduchosti klasifikace není možné vystihnout všechny případy podmíněné regionálními zvláštnostmi, stejně jako není možné brát v úvahu všechny varianty, přechodné typy a kombinace svahových pohybů (Nemčok et al., 1974). O vyřešení této problematiky se sice pokoušelo mnoho odborníků, což ale paradoxně způsobilo značnou různorodost a nesjednocenost v názvosloví těchto jevů. Mezi nejvíce zdařilé a nejkompaktnější se u nás považuje klasifikace od autorů Nemčoka, Rybáře a Paška z roku 1974 a pouze s drobnými úpravami se tato klasifikace v oboru inženýrské geologie užívá u nás dodnes. Právě z tohoto důvodu bude v této diplomové práci čerpáno především z Nemčokovy klasifikace.

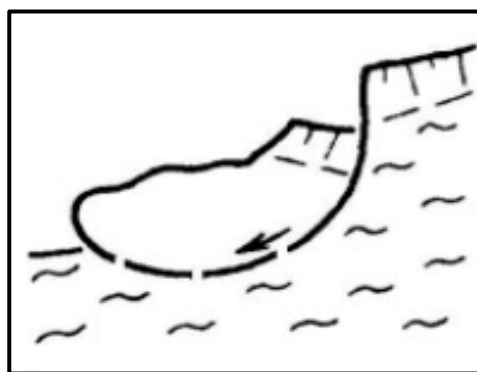
Klasifikace svahových pohybů podle mechanismu a rychlosti pohybu

Pro Nemčokovu klasifikaci jsou základem dvě hlavní kritéria - mechanismus a rychlost svahového pohybu. Nemčok se spoluautory vytvořili přehledné schéma se stručnou charakteristikou příkladů svahových pohybů. Ve schématu je uveden typ svahového pohybu, dále jeho příklad, rychlost pohybu a výsledný produkt, tedy svahová deformace. Podle mechanismu a rychlosti pohybu (Nemčok et al., 1974) rozdělili svahové pohyby do čtyř skupin: ploužení, sesouvání, stékání a řícení.

Ploužení je definováno z geologického hlediska jako dlouhodobý, zpravidla nezrychlující se pohyb horninových hmot, přičemž hranice vůči pevnému podloží je ve většině případů nezřetelná. Rychlost tohoto pohybu se totiž měří pouze v řádech milimetrů za rok. Velikost posunů hmot je tak vzhledem k prostorovým rozměrům postiženého horninového masívu zanedbatelná. Při změně podmínek může rychlost pohybu hmot značně narůst a ploužení tak může přejít do sesouvání, stékání, či řícení (Nemčok et al., 1974). Autoři Nemčokovy klasifikace rozdělili tento typ svahového pohybu na dvě podskupiny a to na ploužení hlubinné a povrchové. Mezi konkrétní typy hlubinného ploužení patří rozvolňování skalních svahů, gravitační vrásnění a blokové pohyby. Povrchové ploužení postihuje především pokryvné útvary a zvětralé partie předkvartérního podkladu (Pašek a Matula, 1995). Dá se také označovat jako slézání svahových hlín a sutí nebo také jako plastické přetváření svahů tzv. creep. Jde obvykle o periodicky se opakující dílčí přemísťování nepevných hornin po svahu, podmíněné sezónními změnami teploty a vlhkosti (Nemčok et al., 1974).

Sesouvání je relativně rychlý, krátkodobý klouzavý pohyb horninových hmot na svahu podél jedné nebo více průběžných smykových ploch (Nemčok et al., 1974). Výslednou formou sesouvání je sesuv. Charakteristické je, že část hmot se nasune na původní terén v předpolí, dále pak vznik odlučné stěny v horní části svahu či existence příčných trhlin. Při sesouvání se mohou v hlubších partiích současně uplatňovat i pomalé deformace plouživého charakteru, v povrchových partiích i stékání a řícení (Nemčok et al., 1974). Nemčokova klasifikace rozlišuje čtyři základní typy sesouvání, které se vyznačují rozdílným tvarem smykové plochy. Jedná se o sesuvy podél rotační, rovinné nebo složené smykové plochy a o sesuvy laterální.

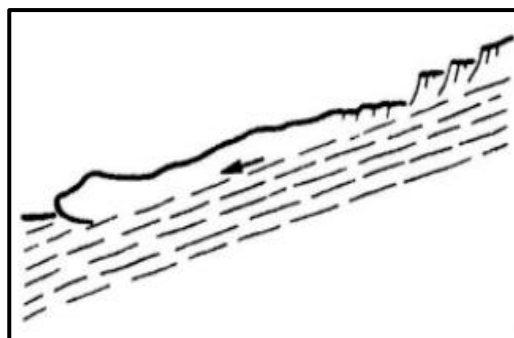
Rotační sesuvy se vytvářejí nejčastěji v homogenních jílovitých horninách například v terciérních sedimentech, křídových jílovcích a v hlinitých, jílovitých pokryvných útvarech, ale případně i v umělých svazích zářezů a násypů (Pašek, Matula, 1995). Takové sesuvy vznikají z důvodu překročení maximální smykové pevnosti zeminy, a to podél zakřivené smykové plochy (obr. 2). Tato plocha má víceméně rotační válcový tvar, díky čemuž je povrch sesutých hmot obvykle



Obr. 2: Schematický náčrt rotačního sesuvu (Nemčok et al., 1974)

nakloněn proti svahu. Hmoty sesuté podél smykové plochy za určitých okolností nemusí vykazovat známky výraznějšího vnitřního poškození (Highland a Bobrowsky, 2008). Sesuv se může postupně rozšiřovat po dílčích válcových plochách směrem do svahu, což může mít za následek vznik nepravidelného zvlněného terénu (Záruba a Mencl, 1987).

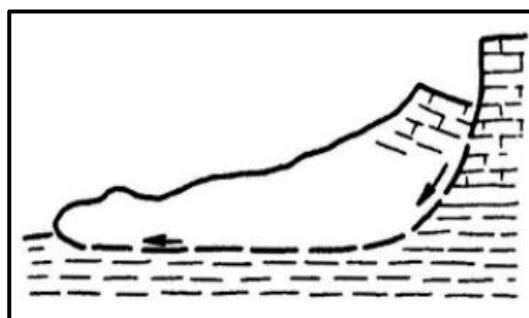
Planární sesuvy (obr. 3) se vytvářejí pohybem podél předurčené smykové plochy, kterou mohou určovat vrstevní plochy, pukliny nebo poruchy, ale i geologické nebo tektonické rozhraní, nejčastěji mezi podkladem a pokryvnými útvary (Pašek a Matula, 1995). Materiálem takových sesuvů mohou být jak zeminy, tak horniny. Hmota se při planárním sesuvu pohybuje pouze s malou rotací či



Obr. 3: Schematický náčrt planárního sesuvu (Nemčok et al., 1974)

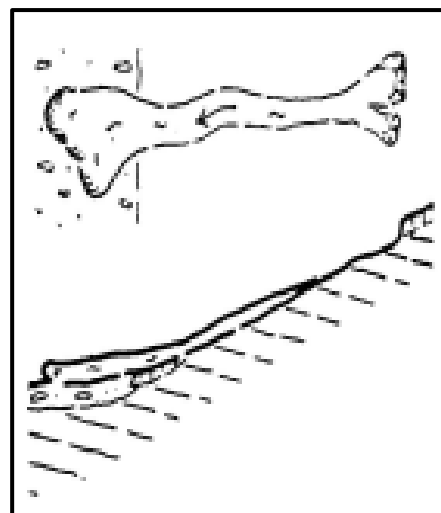
zpětným naklápěním, z toho důvodu jsou také obecně planární sesuvy mělké než rotační (Highland a Bobrowsky, 2008). Typickým znakem jsou rozměry takto postižených sesuvných území. U planárních sesuvů se mnohdy stává, že jejich šířka je v poměru k délce větší a může tak dosahovat až regionálních rozměrů (Highland a Bobrowsky, 2008). Sesuvný materiál může za vhodných geologických podmínek, jako je dostatečný úklon podložních vrstev, putovat do značné vzdálenosti a v některých situacích vytvořit až proudový sesuv, v němž také spočívá jeden z největších rozdílů od rotačního sesuvu, při kterém se hmoty po změně rozložení sil ve svahu snaží dostat zpět do rovnovážného stavu (Highland a Bobrowsky, 2008). U nás se planární sesuvy vyskytují jednak v pokryvných útvarech, ale i ve výrazně vrstevnatých nebo břidličnatých horninách (Pašek a Matula, 1995). Pro tento typ sesuvů je navíc typické, že většinou nastanou v oblastech, kde se opakovaně vyskytovaly již v minulosti (Pašek a Matula, 1995).

Rotačně planární sesuvy jsou kombinací obou předchozích typů, kdy smyková plocha je zčásti zakřivená a zčásti sleduje předurčené plochy (obr. 4). Vyskytují se v subhorizontálně uložených souvrstvích, u nás nejčastěji v terciérních nebo kvartérních pelitických sedimentech (Pašek a Matula, 1995).



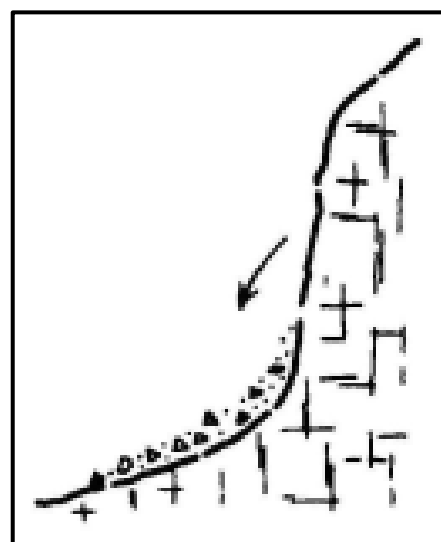
Obr. 4: Schematický náčrt rotačně planárního sesuvu (Nemčok et al., 1974)

Stékání je rychlý krátkodobý pohyb horninových hmot ve viskózním stavu. Podstatná část hmot vyteče z odlučné oblasti a přemístí se po povrchu terénu na značnou vzdálenost (obr. 5). Stékající hmoty jsou ostře odděleny od neporušeného podloží. Ve srovnání s pomalým pohybem při ploužení jde v tomto případě o rychlé tečení, protože hmota obsahuje tak velké množství vody, že vnitřní tření je takřka nulové. Výslednou formou tohoto svahového pohybu je proud (Nemčok et al., 1974). Stékání u nás může nastat kdekoliv na svazích s příznivým geologickým podkladem, většinou však při abnormálně vysokých srážkových úhrnech (Nemčok et al., 1974).



Obr. 5: Schematický nákres stékání (Nemčok et al., 1974)

Řícení je dle Nemčokovy klasifikace náhlý krátkodobý pohyb horninových hmot na strmých svazích, přičemž se postižené hmoty rozvolní a ztrácejí krátkodobě kontakt s podložím (obr. 6). Při pohybu se uplatňuje volný pád a materiál se tak nepohybuje podél typických smykových ploch. Předcházet mu ale mohou jiné druhy svahových pohybů (Nemčok et al., 1974). Vzdálenost přemístění hmot je většinou vzhledem k prostorovým rozměrům zříceného masívu mnohonásobně větší. Řícení se může projevovat prakticky na jakýchkoli skalních výchozech, kdy se velikost padajícího materiálu může pohybovat od malých kamenů až po celé skalní bloky. Mezi nejznámější typické lokality u nás patří především pískovcová skalní města v okolí Hřenska, v Českém Ráji či v okolí Broumova (Nemčok et al., 1974).



Obr. 6: Schematický nákres skalního řícení (Nemčok et al., 1974)

Vedlejší kritéria klasifikace svahových pohybů

Vedle hlavní klasifikace, která hodnotí svahové pohyby podle mechanismu a rychlosti pohybu, existují ještě vedlejší kritéria klasifikace, podle kterých se dají svahové pohyby blíže specifikovat. Při popisu jevu se v tomto případě užívá především přídavných jmen. Jak moc rozvinutý je popis daného svahového pohybu, záleží na jeho momentální prozkoumanosti. Podle Nemčoka et al. (1974) se dají svahové pohyby hodnotit podle jejich stáří, stupně aktivity,

tvaru půdorysu, vzniku, vývojového stádia, směru narůstání pohybu či zřetelnosti morfologické formy.

Dělení podle stáří sesuvu

Svahové pohyby jsou buď recentní, tedy takové, které vznikly nebo mohou vzniknout za současných klimatických a morfologických podmínek, anebo fosilní, které se naopak vytvořily za jiných klimatických a morfologických podmínek než jsou ty dnešní. Vznikaly například v pleistocénu a dnes tak není možné, aby se znovu aktivovaly (Nemčok et al., 1974).

Dělení podle stupně aktivity

Velmi důležité pro geotechnickou praxi je zhodnocení svahových pohybů podle stupně aktivity. Toto kritérium je rozděleno na tři skupiny, které vystihují momentální stav posuzované svahové deformace. Rozlišujeme stav aktivní, potenciální a stabilizovaný (Nemčok et al., 1974). Aktivní jsou v současné době pohybující se svahové pohyby. Většinou jsou snadno pozorovatelné, protože povrch terénu a tvar deformace bývá výrazný a na první pohled čerstvý. Kromě samotné svahové deformace jsou pozorovatelné například vychýlené stromy, čerstvé trhliny ve svahu či poškozená až zničená obydlí nebo komunikace. Potenciální svahové pohyby bývají často zarostlé vegetací nebo rozrušené erozní činností. Také stopy po posledních pohybech bývají hůře rozpoznatelné. Nicméně pokud příčiny vzniku pohybu doposud přetrvávají, může se pohyb za příznivých podmínek opět aktivovat (Nemčok et al., 1974). Za stabilizované jsou považovány ty pohyby, jejichž příčiny vzniku přirozeně zanikly nebo byly lidským zásahem odstraněny. Vnitřní síly ve svahu jsou v rovnováze a v současné době tak nejsou vykazovány známky pohybu a nemělo by dojít ani k jeho obnovení. Pašek a Matula (1995) uvádějí, že pro objektivní posouzení stupně aktivity je nutné dlouhodobě pečlivě a přesně svahový pohyb monitorovat. Na základě velmi přesných měření totiž bylo zjištěno, že řada svahových deformací, považovaných podle povrchového posouzení za dočasně či trvale uklidněné, ve skutečnosti vykazovala velmi pomalý pohyb.

Dělení podle geneze

Svahové pohyby vznikají buď samovolně na přirozených svazích bez zásahu člověka a působením pouze přírodních vlivů, nebo jsou vyvolány uměle (antropogenně), kdy se pohyb vytvoří na přirozených svazích či v zářezech a násypech působením lidské činnosti (Nemčok et al., 1974).

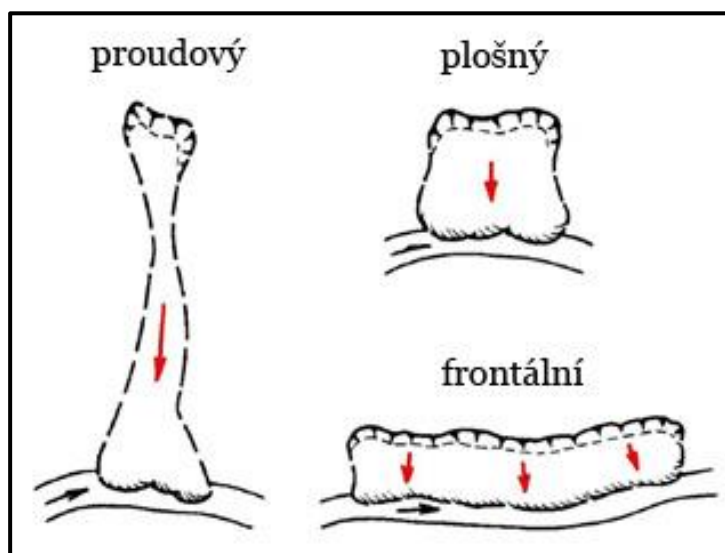
Dělení podle směru narůstání pohybu

Pohyb hmot ve svahu může mít buď progresivní nebo regresivní charakter. Během progresivního průběhu se svahový pohyb rozšiřuje po svahu ve směru pohybu. Při regresivním

průběhu se postižená oblast šíří postupným zahlubováním odlučných hran do svahu proti směru pohybu neboli proti svahu (Nemčok et al., 1974).

Dělení podle půdorysného tvaru

Jedním z úkolů při průzkumu svahových pohybů je zjištění rozměrů postiženého území a následně určení jeho přibližného půdorysného tvaru. Zjištění této skutečnosti může napomoci k určení správného typu svahového pohybu. Toto kritérium se však užívá především u sesuvů, které mohou mít tyto základní tvary (Obr 15). Proudový tvar určujeme, pokud délka deformovaného území mnohonásobně převyšuje šířku. U plošného tvaru se délka přibližně rovná jeho šířce. Dále sesuvy mohou mít tzv. frontální tvar, to je případ, kdy šířka mnohonásobně převyšuje délku svahové deformace. Pochopitelně každý sesuv nemusí mít jednoznačně zařaditelný tvar, v takové situaci je nepravidelný.



Obr. 7: Půdorysné tvary svahových pohybů (Ondrášík a Rybář, 1991)

Dělení podle vývojového stadia

Nemčok et al. (1974) uvádí další možné dělení svahových pohybů a to dle jejich fáze vývoje. Rozlišujeme stádium iniciální (počáteční), rozvinuté (pokročilé) a finální (závěrečné).

Dělení podle směru narůstání pohybu

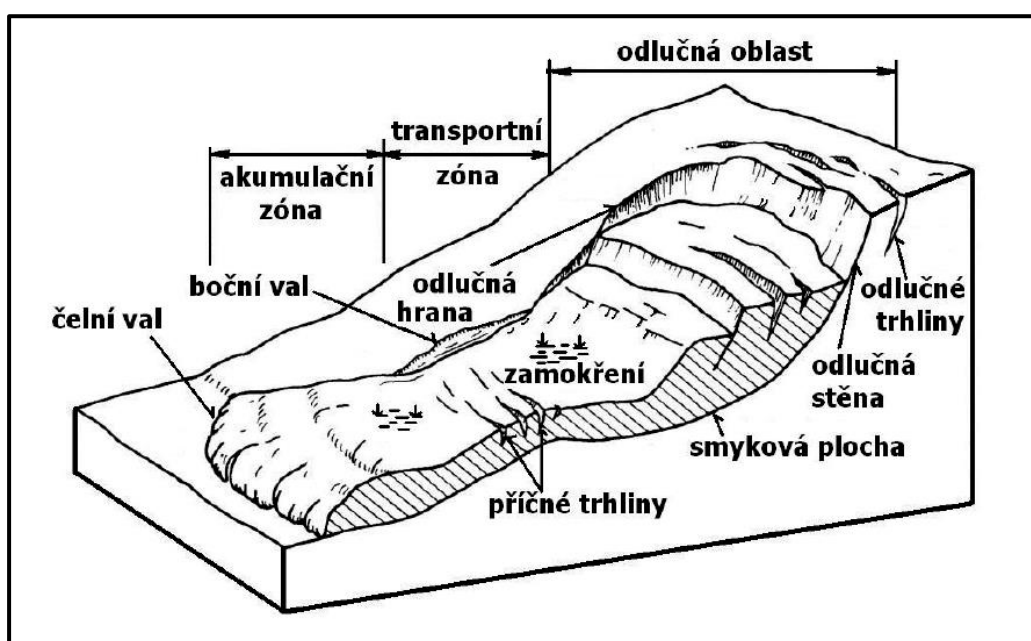
Pohyb hmot ve svahu může mít buď progresivní, nebo regresivní charakter. Během progresivního průběhu se svahový pohyb rozšiřuje po svahu ve směru pohybu. Při regresivním průběhu se postižená oblast šíří postupným zahlubováním odlučných hran do svahu proti směru pohybu neboli proti svahu (Nemčok et al., 1974).

Dělení podle zřetelnosti morfologických forem

Jedno z dalších vedlejších kritérií klasifikace je dle Nemčoka et al. (1974) tzv. zřetelnost morfologických forem. Autoři pomocí tohoto kritéria rozlišují tři typy zřetelnosti svahových deformací. První je zřetelná svahová deformace, kde jsou jasně viditelné morfologické formy neporušené mladšími modelačními procesy ani lidskou činností. Dalším typem jsou zastřené svahové deformace, které jsou porušeny mladšími modelačními procesy. Tzv. pohřbenou svahovou deformací se rozumí případ, kdy mladší sedimenty nejčastěji spraše, váte písky či aluviální uloženiny zakryjí geologicky starší svahový materiál (Nemčok et al., 1974).

3.1.3. Charakteristické znaky sesuvného území

Obecně je krajina působením denudačních procesů průběžně přetvářena do plynulých a zarovnaných tvarů. Sesuvná území se proto mnohdy svou morfologií od okolí odlišují. Reliéf formovaný svahovými pohyby bývá často neurovnaný nebo nepravidelně zvlněný a může být dokonce porušen trhlinami (Pašek a Matula, 1995). Pokud je sesuvné území zalesněné, často se může vyznačovat tzv. opilým lesem. Na obrázku (obr. 8) jsou uvedeny hlavní charakteristické znaky sesuvných území.



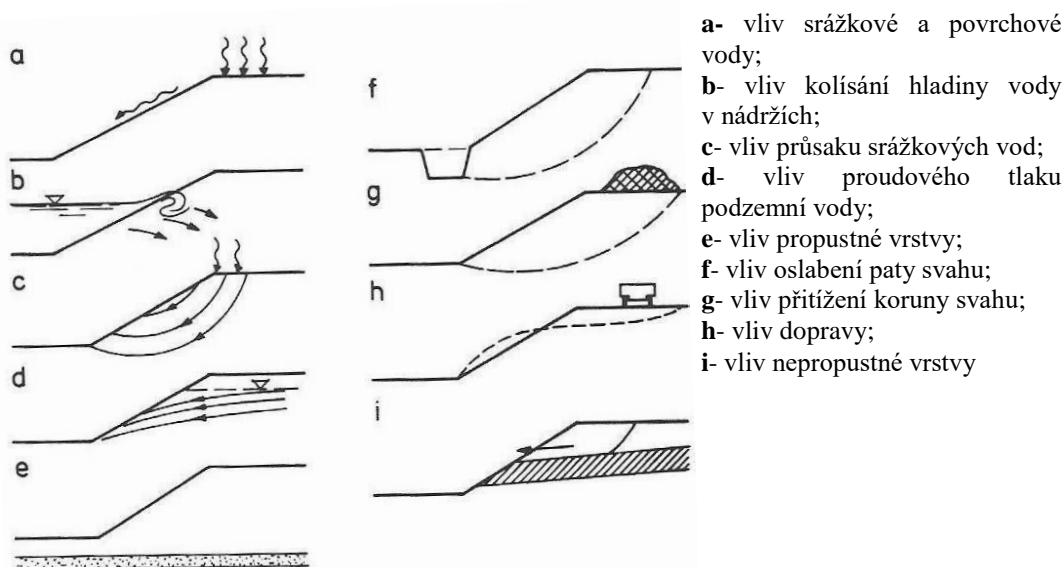
Obr. 8: Charakteristické znaky sesuvného území (Záruba a Mencl, 1987)

Pro sesuvné území jsou také charakteristické odlišné hydrogeologické poměry. Oproti okolí sesuvné území často nemá průběžný vyrovnaný spád, jeho odtokové poměry jsou nevyrovnané a na povrchu se mohou nacházet bezodtoké deprese zamokřené nebo vyplněné vodou (Pašek a Matula, 1995). Dalším poměrně výrazným znakem sesuvných území je typ

vegetace. Charakter vegetačního pokryvu na sesuvu se totiž zpravidla liší od pokryvu v neporušeném okolí (Pašek a Matula, 1995). V místech bezodtokých depresí bývá často vegetace zelenější a bujnější než v okolí. Bylo zjištěno, že na takových místech často rostou i odlišné typy rostlin než v okolí a dají se tak využít jako fytoindikátory při průzkumu sesuvného území (Sýkora, 1961).

3.1.4. Příčiny svahových pohybů

Jednou z hlavních úloh studia svahových pohybů je stanovení jejich příčin, protože bez jejich správného vyhodnocení se vznik a vývoj svahových pohybů nedá předpovídat a tedy mu ani efektivně čelit (Ondrášik a Rybář, 1991). Příčiny vzniku sesuvů se dělí na podmínky, ve kterých svahové pohyby vznikají, a na faktory, které porušení svahů vyvolávají (Rybář a Novotný, 2005). Dle Ondrášika a Rybáře (1991) se jako podmínky vývoje svahových pohybů považují přírodní poměry daného území, mezi které jsou řazeny geologické, geomorfologické, hydrogeologické, hydrologické a klimatické poměry. Takovéto podmínky působí dlouhodobě a samy o sobě svahové pohyby nevyvolávají. Většinou se jedná o procesy působící na regionální úrovni. Za faktory jsou považovány procesy, které mají přímý vliv na stabilitní poměry svahů (Ondrášik a Rybář, 1991). Tyto procesy mohou být způsobovány přírodními vlivy v podobě klimaticky podmíněných faktorů, procesů zvětrávání a eroze, přirozené seismicity či recentních tektonických pohybů (Rybář a Novotný, 2005). Mezi klimatogenní faktory jsou zařazovány dešťové či sněhové srážky, výkyvy teplot či působení mrazu. Faktory mohou být i antropogenní, kdy člověk svou činností zhoršuje stabilitní poměry ve svahu. Několik faktorů je uvedeno na obrázku (obr. 9). Spouštěcí faktor neboli „trigger“ způsobuje přechod mezi potenciálním a aktivním sesuvem (Glade et al., 2005). Vlivem spouštěcího faktoru tak dochází k bezprostřednímu narušení rovnovážného stavu svahu (Rybář a Novotný, 2005).



Obr. 9: Příklady příčiny ovlivňující stabilitu svahu (Záruba a Mencl, 1987)

3.1.5. Metody průzkumu sesuvných území

Průzkum sesuvných oblastí je nezbytný, pokud chceme zjistit informace o sesuvu potřebné k určení dalšího vývoje sesuvné události, čímž eliminujeme nebezpečí vzniku neočekávaných škod. Ondrášik a Rybář (1991) uvedli následující metody průzkumu sesuvů. První etapa průzkumu sesuvů jsou tzv. předběžné průzkumné práce. Zpravidla předcházejí podrobným průzkumným pracím. Předběžné práce zahrnují zejména zpracování rešerše odborných publikací a archivních geologických zpráv z Geofondu ČR týkajících se dané oblasti. Ve druhém kroku průběžných prací se provádí terénní obhlídka dané lokality. Doporučuje se obrátit se na místní obyvatele, starousedlíky, kteří mnohdy o sesuvné činnosti vědí užitečné informace. Na základě doposud zjištěných informací by měl inženýrský geolog umět vytvořit hypotetický myšlenkový model zájmového území (Ondrášik a Rybář, 1991). Dalším krokem průzkumu je provedení podrobných průzkumných prací, během kterých se provádí inženýrsko geologické mapování daného území a to zpravidla v měřítku 1:10 000 nebo 1:5 000. Následuje sestavení schematických řezů a profilů zkoumaným územím. Následně se provedou odkryvné práce, které mohou být kopané nebo vrtané a během kterých se zároveň odebírají vzorky hornin či zemin pro následné zkoumání jejich mechanických vlastností v laboratořích.

Jedním z hlavních účelů průzkumu sesuvů je stanovení hloubky smykové plochy nebo poruchové zóny. Tento krok je důležitý pro určení rozsahu sesuvu a jeho dalšího případného vývoje. Zkušený inženýrský geolog dokáže hloubku odhadnout při terénním průzkumu, nicméně pro přesné určení hloubky je zapotřebí provést jádrový vrt nebo zavést inklinometrickou sondu (Ondrášik a Rybář, 1991). V hydrogeologických vrtech je sledováno kolísání hladiny podzemní vody ve svahu. Používají se i nepřímé metody jako je geofyzikální průzkum, který je vhodné užít v kombinaci s přímými metodami průzkumu. Průzkum svahových deformací by měl také vést ke stanovení prognózy dalšího vývoje svahových pohybů (Rybář a Novotný, 2005). Celková prognóza se skládá z prognózy prostorové, časové a prognózy rozměrů a mechanismu porušení. Pro prognózu vývoje svahových pohybů je určující správné zhodnocení podmínek a stanovení hlavních příčin vzniku svahových pohybů (Rybář a Novotný, 2005).

3.1.6. Způsoby zajištění sesuvných svahů

Sanace svahů postižených svahovými pohyby se provádí nejen z důvodu odstranění následků proběhlého svahového pohybu, ale také proto, aby se zamezilo dalšímu rozvoji pohybu hmot. Před zavedením jakýchkoli sanačních prací je potřeba zjistit co nejvíce informací o konkrétní situaci a je proto nutné provést IG průzkum dané oblasti. Zvláštní pozornost je kladena především na určení typu svahové deformace a jejího plošného a hloubkového rozsahu, zjištění hlavních příčin vzniku svahového pohybu a v neposlední řadě se musí vzít v potaz

ohrožení objektů, které se nachází v blízkosti sesuvu. Dle zjištěných údajů se určí nejvhodnější metoda stabilizačního opatření. V případech nezastavěného území se dají použít jednodušší a zároveň levnější metody sanace, oproti tomu v intravilánu je zapotřebí použít technicky náročnějších ale také nákladnějších metod. Vždy by však mělo platit pravidlo omezení zásahu v co nejmenší míře. Konkrétní sanační metody se dají rozdělit podle principu působení na stabilitu svahu. Jedná se o dvě hlavní skupiny opatření, kdy první skupina přispívá ke snížení aktivních sil ve svahu, a ve druhé skupině opatření přispívají ke zvýšení sil pasivních.

Sanační metody snižující aktivní síly ve svahu

Úprava geometrie svahu

Jedním ze základních a nejjednodušších metod sanace je dodatečná úprava geometrie svahu. V principu jde o zmírnění sklonu svahu, s čímž se pojí i snížení podílu aktivních sil, které negativně působí na stabilitu svahu. Nejčastěji se metoda provádí buď odstraněním horních partií postiženého svahu, nebo přitížením při jeho patě náspeem. Vždy je však nutné si dávat pozor, aby se při odlehčování nezhoršil stav nad sesuvem a nebyl tak způsoben další sesuv. Při přitěžování paty svahu či akumulací části sesuvu je vhodné spodní část takového násypu nechat drénovat (Záruba a Mencl, 1987).

Odvodnění svahu

Dalším způsobem, jak lze poměrně jednoduše zmírnit působení aktivních sil, je odvodnění svahu. Vzhledem k tomu, že přítomnost vody ve svahu je obecně jednou z nejčastějších příčin vzniku sesuvů, mělo by být odvodnění aplikováno snad ve všech případech sanace sesuvů (Záruba a Mencl 1987). Správným odvodněním se totiž dosáhne snížení pórového tlaku vody, který má negativní vliv na stabilitu svahu. Ze svahu lze po zavedení odvodňovacích prvků odvádět jak povrchové a srážkové vody, tak i podzemní voda. Jako nejlepší varianta se považuje situace, kdy se může užít kombinace obou těchto způsobů. Povrchové odvodnění, které odvádí vodu z povrchu svahu, brání dalšímu proniknutí vody do svahu. V případě potřeby rychlého stabilizačního zásahu se vytvoří prosté rýhy po spádnici, v případech, kdy jsou sesuvy částečně stabilizované nebo uklidněné, odvodní se systémem vodotěsných dlážděných příkopů a drenáží. Ty bývají svedeny do povrchové vodoteče nebo stávající kanalizace. Vedle povrchové sítě příkopů na vlastním sesuvném území se někdy zřizují příkopy nad odlučnou oblastí, které mají odvádět vodu z okolí nad sesuvem. Pro udržení funkčnosti by se měla odvodňovací zařízení pravidelně kontrolovat a čistit (Záruba a Mencl, 1987). Podpovrchové odvodnění se užívá hlavně při hlubších sesuvech s hloubkou smykové plochy více než cca 4 m. Tato metoda však patří k velmi účinným stabilizačním metodám. K odvodnění se používají systémy odvodňovacích vrtů. Správnou funkci vertikálních a šikmých vrtů zajistí jejich dosah, a to až do propustné vrstvy v podloží smykové plochy. Do drenážních

studní se voda z okolního masivu stahuje systémem horizontálních vějířovitých vrtů. Ze studny se voda následně odvádí do povrchového toku např. dalším horizontálním vrtem, žebry či kanalizací (Záruba a Mencl, 1987).

Omezení eroze a zvětrávání

Zvětrávání a eroze působí na stabilitu svahu negativně, protože jsou jejich působením zhoršovány mechanické vlastnosti horninového či zeminového prostředí. Ochrana před erozí se týká především povrchových vrstev násypů a zářezů v zeminách, ale v některých případech i samotných sesuvných svahů. K tomuto účelu se využívají tzv. geotextilie – tkaniny a rohože ze syntetických vláken, které jsou odolné vůči klimatickým vlivům a mají dobré pevnostní a deformační vlastnosti (Turček, 2005). Pozitivní vliv na zmírnění účinků eroze na svazích má také výsadba vhodného vegetačního pokryvu, konkrétně určitých druhů trav nebo dřevin, které svým kořenovým systémem zpevňují povrch svahu, chrání ho před erozí a navíc svah přirozeně odvodňují. Pro tento účel jsou vhodné traviny nebo dřeviny s hlubokým kořenovým systémem, velkou spotřebou vody a výparem (Záruba a Mencl, 1987).

Sanační metody zvyšující pasivní síly ve svahu

Stabilizační konstrukce

Technická opatření jsou pro stabilizaci svahu užívána v případech, kdy kvůli nedostatku prostoru není možné provést úpravu geometrie svahu a odvodnění je nedostačující. Pro tento účel se do svahů aplikují různé umělé nosné a zpevňující prvky (Záruba a Mencl, 1987). Patří mezi ně například opěrné konstrukce, což jsou tuhé stabilizující prvky, které mají za úkol podepírat svah v jeho dolních partiích. Dříve se pro tento účel užívalo masivních opěrných nebo *zárubních zdí*, jejichž aplikace byla zaprvé značně nákladná a zadruhé v krajině působily velmi nevzhledně. Pokud je to nevyhnutelné tak se dnes užívá spíše tenkostěnných betonových zdí, které se zakládají na pilotách nebo kotví do horninového masivu. Důležitou podmínkou pro správnou funkci takové zdi je její odvodnění, aby se za zdi neakumulovala voda a nezvýšil se tak hydrostatický tlak (Turček, 2005). V posledních letech jsou však pro vysokou odolnost v tahu i tlaku stále rozšířenější tzv. *gabionové stěny*. Jedná se o drátěné formy plněné drceným kamenivem, ze kterých se vytvoří opěrná konstrukce, která se časem může nechat zanést zeminou a zarůst vegetací. Gabiony lze také snadno přizpůsobovat nepravidelnému povrchu, jsou propustné a při jejich aplikaci lze využít místní materiál (Turček, 2005). Pilotové a podzemní stěny se užívají hlavně při stavbě komunikací a hlubokých stavebních jam, dají se však použít i jako stabilizační prvek při sanaci sesuvů. Aplikují se v případech, kdy je zapotřebí zavedení konstrukčního prvku ještě před samotným zásahem do tělesa sesuvu.

Zlepšování vlastností hornin a zemin

Dalším způsobem, kterým lze zvětšit pasivní síly ve svahu, je zlepšit vlastnosti hornin nebo zemin in-situ. Účelem takových úprav horninového prostředí je především zvýšení odolnosti zeminy vůči smykovému napětí. Nejběžnější metodou zlepšování horninového prostředí je *injektáž*. Pro zvýšení stability svahu se pod tlakem vhání cementační směs do míst poruchové zóny nebo přímo do prostoru předpokládané smykové plochy. Účinek injektování se projevuje tím, že se z poruchových zón vytlačuje voda a zároveň vnikne do horniny cementační směs, která po zatvrdnutí vytvoří zpevněnou oblast (Záruba a Mencl, 1987). Horninové prostředí se dá upravovat i chemicky. Především se jedná o způsob zpevňování měkkých jílovitých zemin nehašeným vápnem, které je do zeminy pod tlakem vháněno pomocí vrtů. Tak se vytvoří vápenné piloty, které díky chemickým reakcím zvýší pevnost jemnozrnných zemin a zároveň sníží vlhkost zeminy (Turček, 2005).

3.2. Charakteristika širšího okolí zájmové oblasti

3.2.1. Geografické vymezení širšího okolí

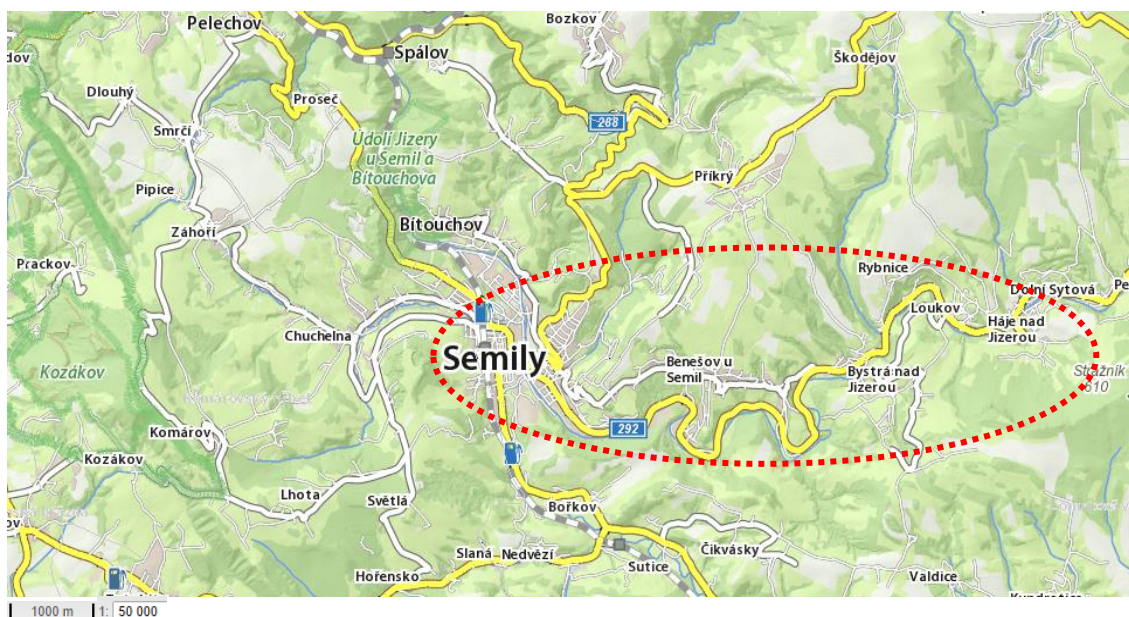
Oblast, která je předmětem zájmu této diplomové práce, se nachází v blízkosti města Semily v Libereckém kraji (obr. 10). V širším okolí města, zejména pak na pravém břehu řeky Jizery východně od Semil na přibližně 10 km dlouhém úseku mezi Dolní Sytovou a Semily, je dle ČGS registrováno několik sesuvných oblastí. Mezi ty nevýznamnější patří sesuv v Benešově u Semil nebo u obce Rybnice, o kterých bude v práci dále zmínka. V nedalekém okolí Semil u obce Košťálov se nachází také klasická sesuvná lokalita, kde vinou špatně navrženého náspu v kombinaci s místními podmínkami došlo v 70. letech 20. stol. ke zničení části železniční trati (Rybář a Pašek, 1975).



Obr. 10 Schématická mapa ČR s vyznačením polohy zájmového území

Údolím Jizery východně od Semil vede regionálně významná silniční komunikace II/292. Ta začíná v Železném Brodě a pokračuje dále na východ přes Semily a do Krkonoš. V tomto údolí silnice kopíruje tvar řeky Jizery a je tak v některých místech vystavena erozní činnosti řeky. V kombinaci s nestabilním podložím tvořeným deluviálními sedimenty docházelo v minulosti k relativně častému poškozování této komunikace (Hudec a Knapová, 1984). I když tato komunikace prošla rekonstrukcí a některé svahy v její blízkosti byly sanovány, není její další poškozování vyloučeno, a to především kvůli zanedbanému stavu odvodňovacích prvků v blízkém okolí silnice (Kysel a Valigurský, 2001). Druhou významnou komunikací v oblasti je silnice II/289 – Vysocká, která je spojovací silnicí II. třídy vedoucí ze Semil směrem na Cimbál a Příkrý. Tato silnice je ohrožena svahovými pohyby pouze na krátkém úseku v severní části Semil, kde zasahuje do údolí Jíloveckého potoka.

Semilsko leží mezi Krkonošským národním parkem na východě a CHKO Český ráj, která se nachází několik kilometrů západně od Semil. Nejbližší cca 2 km na západ od Semil se nachází PR Údolí Jizery u Semil a Bítouchova (obr. 11). Přibližně 4 km na sever od Semil se pak nachází NPP Boskovské dolomitové jeskyně a PR Údolí Vošmendy. Od roku 2005 se celé Semilsko stalo součástí Geoparku Český ráj UNESCO.

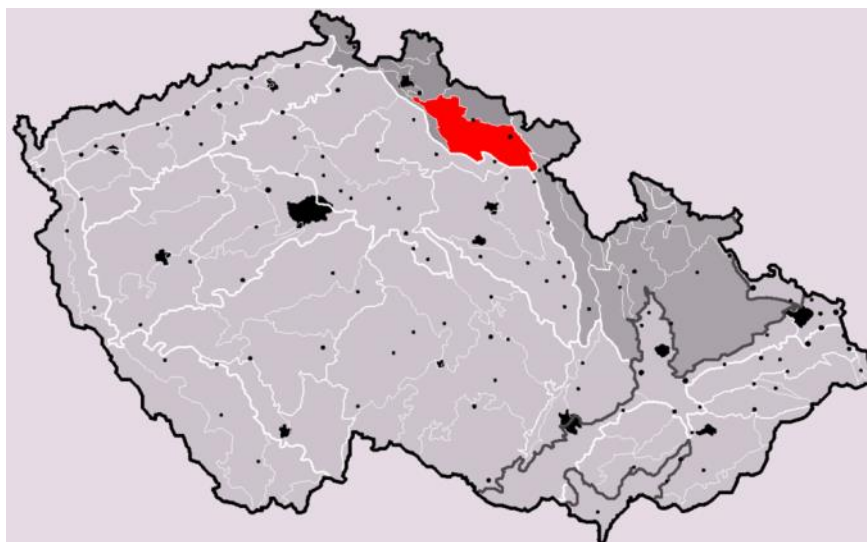


Obr. 11: Mapa okolí Semil (1:50 000). Oblast se zvýšeným výskytem sesuvů (červeně). (Geoportál Libereckého kraje, online)

3.2.2. Geomorfologické poměry

Předmětné území se z obecného geomorfologického hlediska podle Demka a Mackoviče (2006) nachází v SZ části okrsku zvaného Lomnická vrchovina s označením IVA-8B-1, který dále spadá do západní části Podkrkonošské pahorkatiny (IVA-8B). Ta je součástí většího celku, a to Krkonošského podhůří (IVA-8), jehož poloha je vyznačena červeně ve

schématické mapě ČR (obr. 12). Krkonošská podsoustava (IVA) je vyšší stupeň začlenění, kam zařazujeme zmíněné Krkonošské podhůří. Nicméně ta již spadá do jedné ze šesti hlavních soustav provincie České vrchoviny, známé jako soustava Krkonoško-jesenická (IV) – na obrázku 12 je vyznačena tmavě šedě.



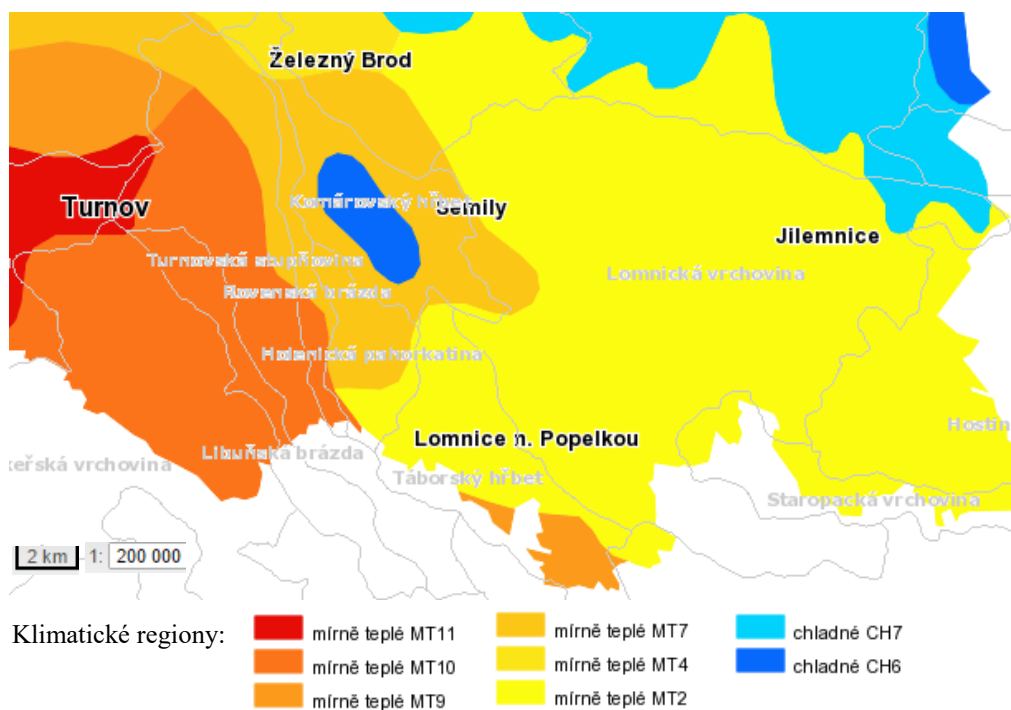
Obr. 12: Mapa geomorfologického členění ČR: červená - Krkonošské podhůří (IVA-8); tmavě šedá – Krkonoško-jesenická soustava (IV); šedá – ostatní geomorf. jednotky. (Wikipédia, online)

Krajinný ráz vymezeného území odpovídá charakteristice geomorfologické jednotky Lomnická vrchovina. Demek a Mackovič (2006) definují Lomnickou vrchovinu jako členitou vrchovinu situovanou v podhorské tektonické sníženině, tvořenou výhradně svrchnopaleozoickými prachovci, jílovci, pískovci, slepenci a bazaltandezity podkrkonošské permokarbonské pánve. Vrchovina se vyznačuje silně denudačním reliéfem a výjimkou nejsou ani hluboce zaklesnutá údolí způsobená erozí silou vodních toků (obr. 13). Nezřídka bývají údolí asymetrická, vedle strmých strání se zde nachází i mírně ukloněné svahy se sklonem jen několik stupňů. V případě, že horninovým podkladem těchto svahů jsou jílovité sedimenty, dochází na nich často k recentním procesům, jako jsou půdní eroze či svahové pohyby (Demek a Mackovič, 2006). Geomorfologický vývoj oblasti je převážně určen geologickými poměry, které jsou podrobněji rozvedeny v následující podkapitole.

Nejvyššími body v oblasti jsou vrcholy Strážník (610,4 m.n.m., Benešov 568,0 m.n.m. a Kozinec 561,1 m.n.m. (Demek a Mackovič, 2006). Nejnižším místem je řeka Jizera (cca 320 m.n.m.), která protéká Lomnickou vrchovinou od východu k západu. Výškový rozdíl tedy činí přibližně 300 m. Směrem od jihu se v Semilech do Jizery vlévá řeka Oleška. Dalším z přítoků Jizery je například i Jílovecký potok, který do Jizery přitéká směrem ze SV a vlévá se do ní v Semilech.



Obr. 13: Reliéf krajiny v okolí Semil s vyznačením zájmové lokality (červeně). (Geoportál Libereckého kraje, online)



Obr. 14: Výřez mapy 1:200 000 Klimatické regiony ČR dle Quitta 1971. (Geoportál Libereckého kraje, online)

3.2.3. Klimatické poměry

Oblast Lomnické vrchoviny leží podle Quittova (1971) klimatického členění ČR v mírně teplém regionu MT2, který je na obrázku (obr. 14) vyznačen žlutě. Tento region se vyznačuje mírně teplým a mírně vlhkým klimatem. Léto zde bývá krátké, mírné až mírně

chladné, přechodné období je krátké s mírným jarem a podzimem a zima je zde normálně dlouhá s mírnými teplotami, suchá s normálně dlouhým trváním sněhové pokrývky (Quitt, 1971). Průměrná roční teplota zde činí 7-8 °C, průměrný roční úhrn srážek je uváděn mezi 550-600 (až 800) mm za rok a počet mrazových dnů se pohybuje mezi 110 a 130 (Quitt, 1971).

3.2.4. Geologické poměry

Z regionálně geologického hlediska se tato diplomová práce řídí podle Chlupáče et al. (2011). Český masív je podle něj rozdělen do šesti hlavních skupin - I. Krystalinikum a prevariské paleozoikum, II. Svrchní karbon a perm, III. Jura Českého masívu, IV. Křída, V. Terciér a VI. Kvartér. Právě skupina „II. Svrchní karbon a perm“ zahrnuje oblasti limnických permokarbonských pánví (obr. 15), kde v sudetském (lugickém) svrchním paleozoiku vznikla i pánve podkrkonošská, do níž spadá i Semilsko, které se nachází při SZ okraji pánve.



Sudetská oblast: 1a - česko-kamenická pánve, 1b - mnichovohradištská pánve, 1c - podkrkonošská pánve (s relikty permokarbonské na Zvičině - 1c1) a na Hořickém hřbetu - 1c2, 1d - vnitrosudetská pánve (česká část), 1e - výskyt permu v Orlických horách, 1f - orlická pánve.
Středočeská a západočeská oblast: 2a - plzeňská pánve, 2b - manětínská pánve, 2c radnická pánve, 2d - žihelská pánve, 2e - kladensko-rakovnická pánve, 2f - mšensko-roudnická pánve. 2g - výskyt u Kravař,
Krušnohorská oblast: 3a - relikty u Brandova, 3b - relikty mezi Moldavou a Teplicemi.
Svrchnopaleozoické brázdy: 4a - blanická brázda - severní část: 4a1 - českobrodská dílčí pánve, 4a2 - centrální část - relikty v okolí Vlašimi a Tábora, 4a3 - relikty v okolí Českých Budějovic, 4b - boskovická brázda - 4b1 relikty u Miroslavi, 4c - jihlavská brázda, 4c1 - relikty u Kraskova v Železných horách, 4c2 - relikty u Hradce Králové.

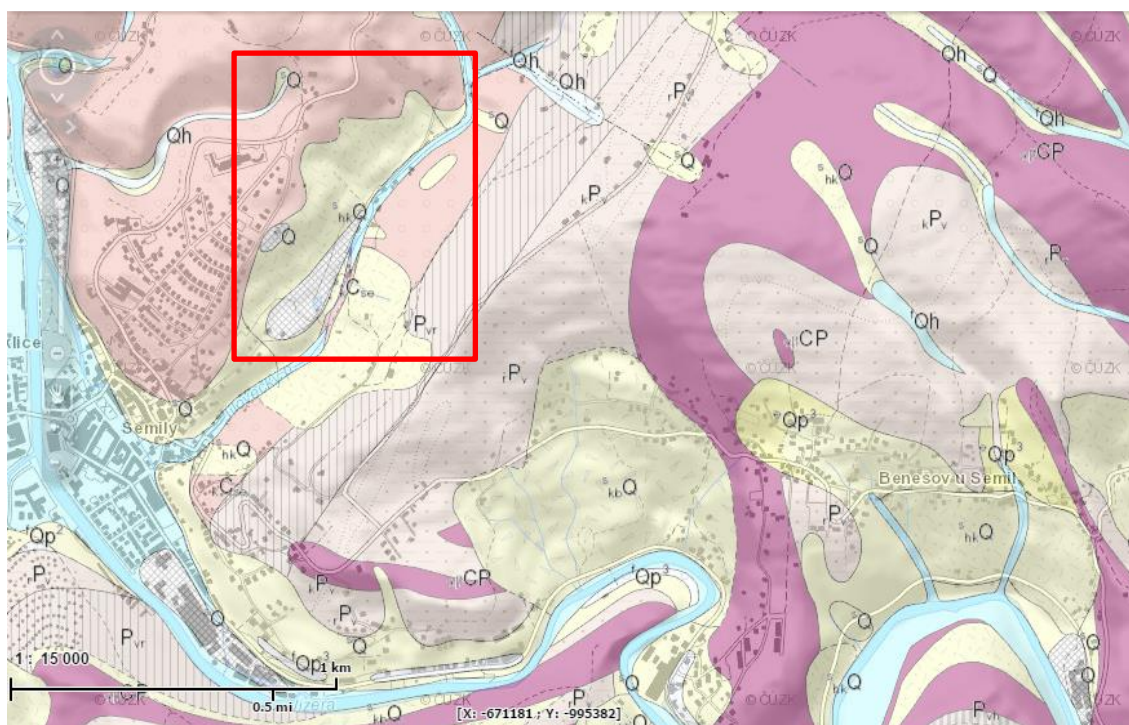
Obr. 15: Rozšíření limnických permokarbonských pánví v Českém masívu (Chlupáč et al., 2011)

Limnické permokarbonské pánve jsou rozděleny pro přehlednost podle oblastí na pánve středočeské a západočeské, krušnohorské, sudetské (lužické) a výplně příkopových propadlin - "brázd" (obr. 15). Vzhledem k tomu, že během svrchního karbonu a permu v pánvích pokračovala kontinentální sedimentace, tak hranice mezi těmito útvary není přesně stanovitelná (Chlupáč et al., 2011). Komplex permokarbonských pánví v Českém masívu vznikl od konce karbonu prakticky až v některých případech do počátku triasu. Tento paleogenetický vývoj probíhal souběžně s dozníváním variské orogeneze, po které se již Český masív nikdy geotektonicky zásadně neměnil a dále již byl jen denudován a zakrýván kvartérními útvary (Mísař et al., 1983).



Obr. 16: Výřez z geologické mapy ČR 1:200 000 – Podkrkonošská pánev. Zájmové území vymezeno červeně. (ČGS: Geologická mapa – mapová aplikace, online)

Podkrkonošská pánev (PKP) patří mezi nejrozsáhlejší svrchnopaleozoické pánve na našem území, jejichž horniny jsou v přímém kontaktu s povrchem. Většina ostatních permokarbonských pánví je zakryta sedimenty z mladších geologických období, zejména křídou. Podkrkonošská pánev vyplňuje území o ploše více než 1100 km², část této plochy je však zakryta mladšími křídovými sedimenty. Maximální mocnost její výplně činí téměř 1800 m (Holub, 2001). Jak je patrné z výřezu geologické mapy 1:200000 (obr. 16), PKP leží při úpatí krkonosko-jizerského krystalinika, kterým je ohraničena ze severu. Východní hranici tvoří hronovsko-poříčské poruchové pásmo, které podkrkonošskou pánev dělí od sousední pánve vnitrosudetské. Západní oblast pánve je omezena lužickou poruchou a rovenským zlomem. Jižní hranice probíhá mezi Hořicemi směrem k Jaroměři a Náchodu, kde je pánev zakryta křídou (Chlupáč a Štorch, 1992). Podle Holuba (2001) se vznik pánve řadí do období westphalu D, kdy se začala vyplňovat sedimenty. Ráz sedimentace se měnil podle klimatu. Suchým, aridním obdobím odpovídá sedimentace červenohnědě až rudě zbarvených souvrství (pestré souvrství), ve vlhčím klimatu se ukládaly převážně šedě zbarvená souvrství s uhelnými slojemi (Matula a Pašek, 1986).



Legenda k mapě geologických poměrů:

Permokarbonské sedimenty

- C_{se} nevytříděné petromiktní slepence a brekcie
- P_v slepence, většinou vytříděné
- P_{vr} bituminózní jílovce, vápnité jílovce, prachovce a vápence
- P_v červenohnědé a šedohnědé prachovce, jílovce, pískovce, zídka s polohami slepenců
- P_{vh} tmavošedé jílovce, prachovce, uhelná slojka

Permokarbonské vulkanity

- abCP olivínický bazalt až bazaltický andezit (melafyr)

Kvartérní sedimenty

- $^{\circ}\text{Q}$ svahové hlinité, písčité a jílovité sedimenty
- $^{\text{sh}}\text{Q}$ svahové kamenitohlinité až hlinitokamenité sedimenty
- $^{\text{op}^3}$ spraše a sprašové hlíny
- $^{\text{f}}\text{Qh}$ fluvialní sedimenty: hlíny, jíly, písky a štěrky
- Qh splachové sedimenty: hlíny, jíly, písky, ojediněle se štěrky
- $^{\text{f}}\text{Qp}^3$ fluvialní písky až štěrky nerozlišené
- $^{\text{a}}\text{Q}$ antropogenní uložení nerozlišené

Tektonické zlomy

- zlom předpokládaný
- zlom zakrytý

Obr. 17: Výřez geologické mapy 1:25 000. Zájmové území vyznačeno červeně. (ČGS: Geologická mapa – mapová aplikace, online)

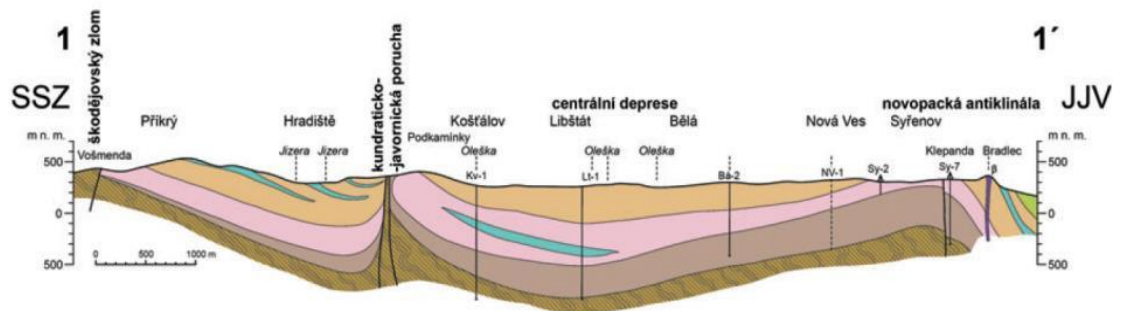
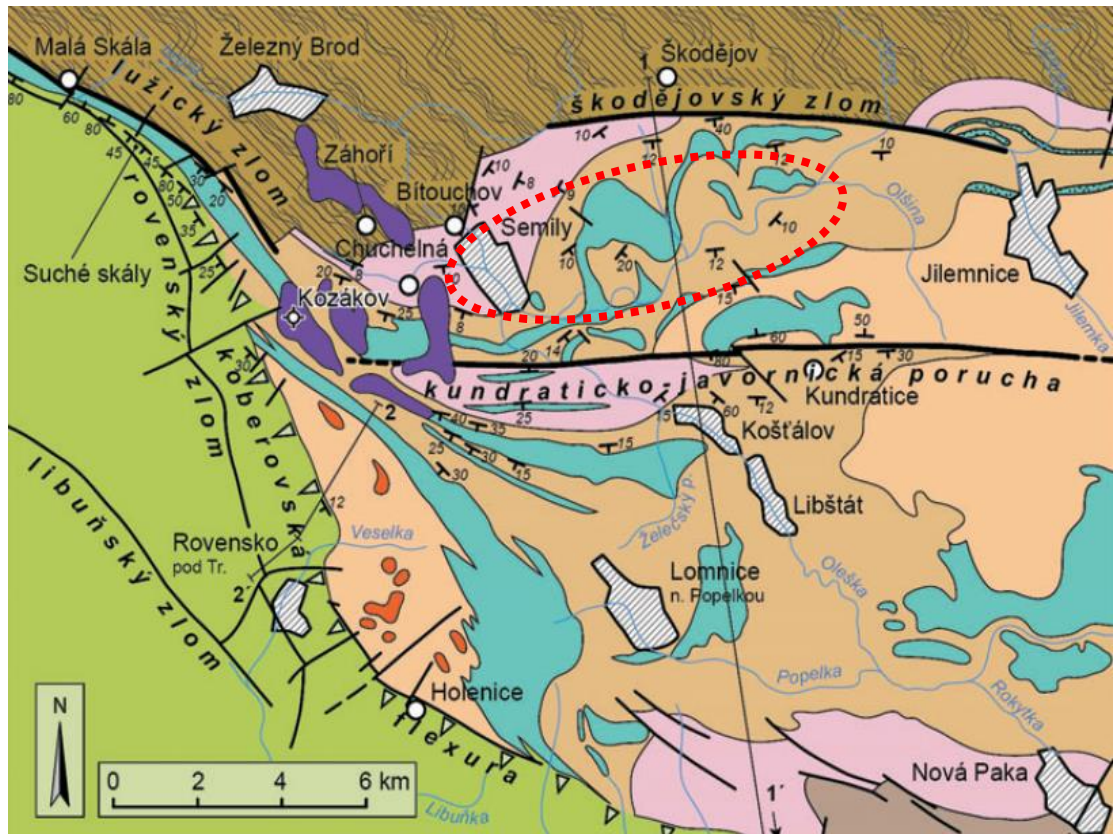
V blízkém okolí Semil, kde se nachází zájmová lokalita, tvoří horninový podklad především tzv. semilské a vrchlabské souvrství. Kromě charakteristických sledů souvrství cyklicky ukládaných sedimentů, nejčastěji slepenců, arkóz, prachovců, jílovců, pískovců či uhlí, se v širší oblasti Semilsko vyskytují občasné výstupy bazických vyvřelin (Holub, 2001). Ty do pánve intenzivně pronikaly zejména v období permu. Podkrkonošské permokarbonské vulkanity byly dříve označovány jako melafyry, dnes je však řadíme k bazaltandezitům až trachyandezitům s přechodem k bazaltům až trachybazaltům a souborně je označujeme jako andezitoidy (Holub, 2001). Kvartérní pokryv tvoří většinou deluviální kamenitohlinité a hlinitokamenité sedimenty, dále pak fluvialní písčité a písčitojílovité hlíny či spraše (Holub,

2001). Eluviálně-deluviální uloženiny odpovídají povaze matečné horniny. Jílovitopísčité hlíny, 1-3m mocné, přecházejí v okolí skalních hornin do hlinitokamenitých sutí. Fluviální sedimenty, zejména holocénní hlinito-písčité náplavy mívají červené zbarvení, podobně i sprašové hlíny (Matula a Pašek, 1986). Geologie okolí zájmové oblasti je zobrazena ve výřezu geologické mapy 1:25000 (obr. 17).

3.2.5. Tektonika

Podle Holuba (2001) je dnešní poměrně složitá stavba celé podkrkonošské pánve dána především působením tektonických pohybů. Některé tektonické linie, které v pánvi nalezneme, zřejmě odráží tektonický a morfologický obraz krystalinického podloží, nicméně mnoho zlomů vzniklo až během samotného vývoje pánve (Holub, 2001). Tektonická aktivita měla značný vliv nejen na pozdější vývoj, ale i na samotný vznik permokarbonských pánví. Po odeznění variských horotvorných procesů, které probíhaly ve spodním karbonu, se Český masív ocitl v extenzním režimu, během kterého docházelo k výrazným výzdvihům a poklesům částí zemské kůry, díky čemuž nastaly pro tvorbu sedimentárních pánví příhodné podmínky (Chlupáč et al., 2011).

Holub (2001) tvrdí, že vznik PKP pravděpodobně souvisel s leonskou fází variské tektogeneze, která se výrazně uplatnila i při utváření sousední pánve vnitrosudetské. Tektonické poruchy z velké části vymezují i samotné hranice dnešní PKP vůči okolním geologickým jednotkám a do jisté míry tak určují její charakteristický kosodélníkový tvar (obr. 16). Hlavní tektonické směry v PKP jsou především východo-západní (V-Z) a SZ-JV (sudetské). Právě V-Z směr je pro PKP příznačný, nenajdeme jej totiž v žádné jiné limnické pánvi Českého masívu. Podle Holuba (2001) došlo ke zvýšení aktivity V-Z poruchového pásma v další fázi variské tektogeneze tzv. intrastephanské. Tektonické linie tohoto směru jsou omezeny především na střední a západní část podkrkonošské pánve, k nejvýznamnějším z nich patří kundraticko-javornická porucha, označována též jako východo-západní poruchová zóna, a škodějovský přesmyk, který na severu odděluje PKP od krystalinika (Holub, 2001). Oblastí mezi těmito poruchami dnes protéká řeka Jizera a zároveň se zde nachází oblast s četným výskytem svahových pohybů, kterou se tato diplomová práce zabývá (obr. 18). Další významné tektonické události, které následně změnily celkový charakter pánve, se odehrály ve svrchním autunu při sálské fázi variské tektogeneze, kdy například vznikla trutnovsko-náchodská deprese s osou SZ-JV směru (Holub, 2001). SZ-JV směrem se ubírá i lužický zlom, který zasahuje do SZ okraje pánve v oblasti mezi Malou Skálou a Záhořím západně od Semil (Holub, 2001). Výraznější tektonická aktivita dále nastala v neogénu, kdy došlo k celkovému zdvihnutí krkonošské kry, což mělo za následek zvýraznění škodějovského přesmyku při severním okraji PKP (Holub, 2001).

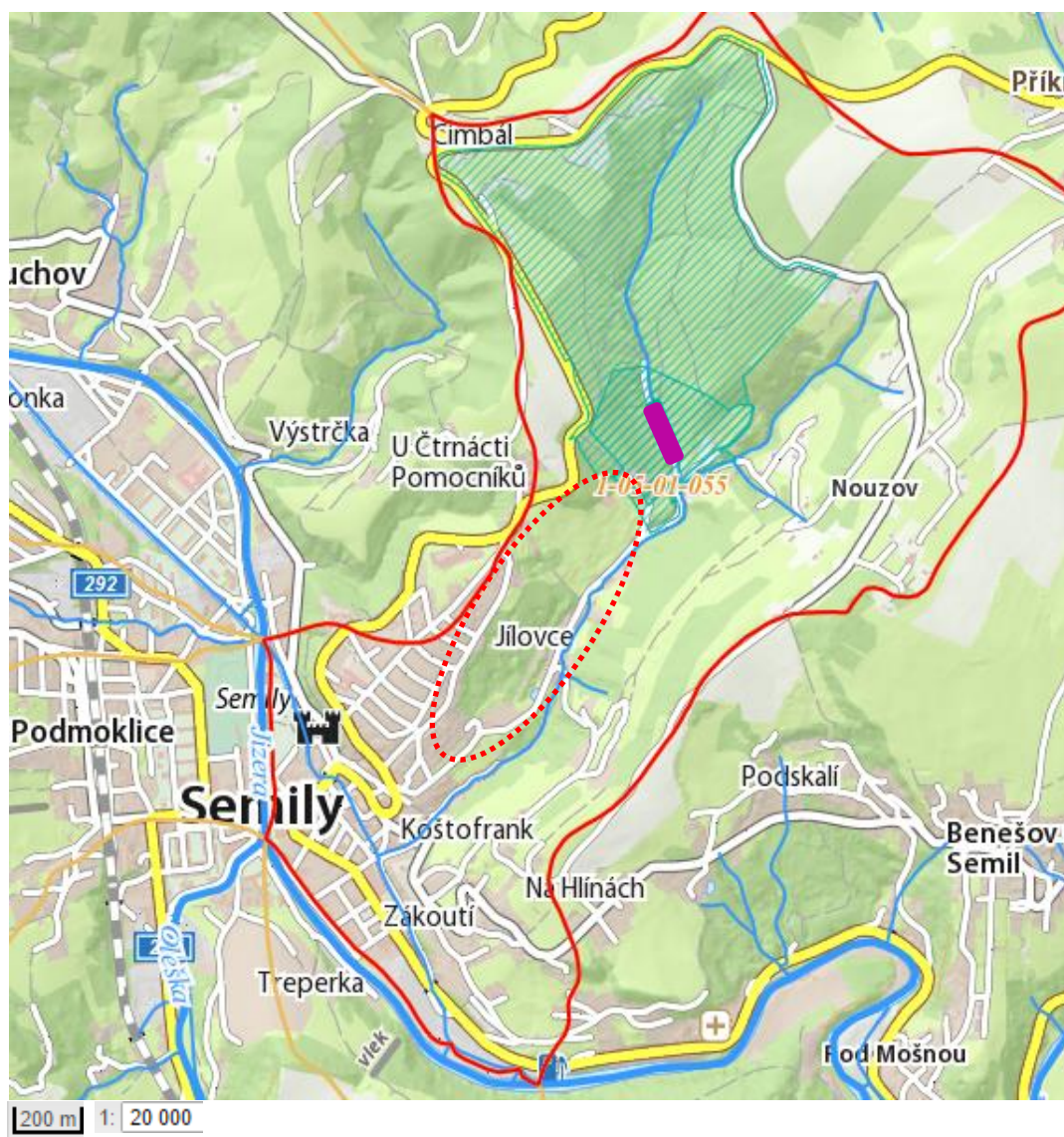


Obr. 18: Zjednodušená geologická mapa okolí Semily s vyznačenými tektonickými poruchami (červeně vyznačena oblast četných výskytů sesuvů) - nahoře. Geologický řez (1-1') podkrkonošskou pánví mezi Semily a Lomnicí nad Popelkou - uprostřed. Legenda ke geologické mapě a řezu - dole. (Prouza et al., 2013)

3.2.6. Hydrogeologické a hydrologické poměry

Hydrologické poměry

Podle hydrologického členění ČR náleží území lokality do povodí Labe (oblast povodí Horního a středního Labe). Hlavní erozní bázi v oblasti tvoří řeka Jizera (č.h.p. 1-05-01-001), jejíž povodí tvoří víceméně pravoúhlu síť přítoků (HEIS VÚV, online). Mezi největší přítoky patří řeka Oleška, která se od jihu vlévá do Jizery v Semilech. Na výřezu mapy o měřítku 1:20000 (obr. 19) je červeně vyznačeno povodí Jíloveckého potoka (č.h.p. 1-05-01-055), kde leží sesuvné území „U Čtrnácti pomocníků“ (červeně tečkovaně), které je předmětem zájmu této práce. Severní část tohoto povodí leží v Ochranném pásmu vodních zdrojů II. stupně s názvem Jílovce (modře šrafovaně). Fialově je vyznačeno Ochranné pásmo vodních zdrojů I. stupně.



Obr. 19: Výřez mapy o měřítku 1:20000 – Hranice povodí Jíloveckého potoka (červeně), zájmové území (červeně tečkovaně), Ochranná pásma vodních zdrojů (modře šrafovaně a fialově). (Geoportál Libereckého kraje, online)

Hydrogeologické poměry

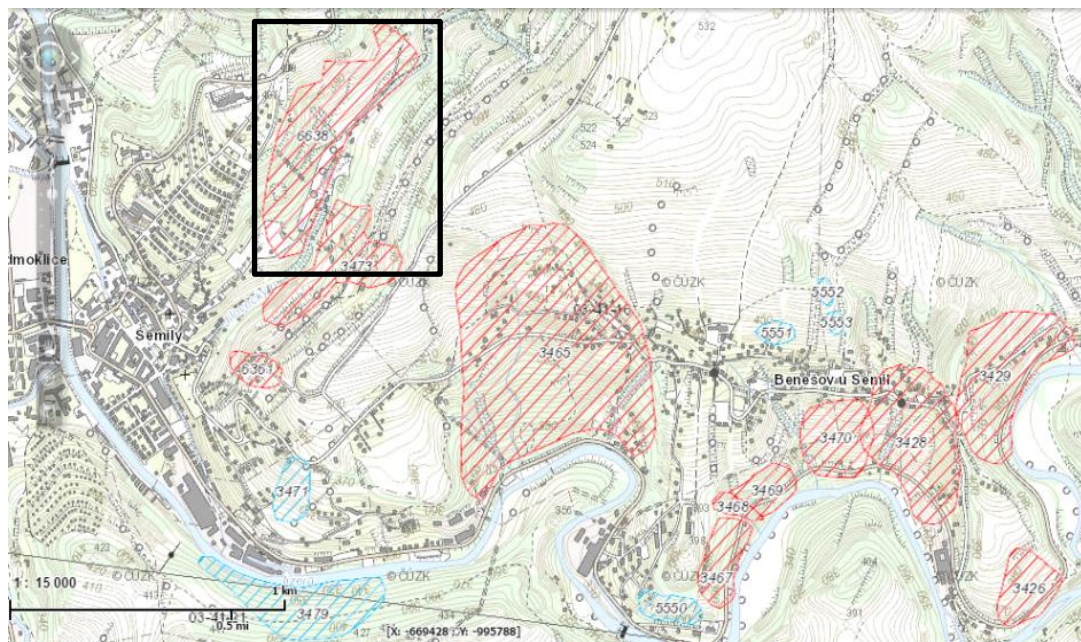
Dle hydrogeologického rajónování oblast Semilska patří do rajonu s označením 5151 - Podkrkonošský permokarbon (ČGS: Hydrogeologická rajonizace, online). Pro tento rajon obecně platí, že na jeho území nejsou známy příliš významné zásoby podzemní vody (Matula a Pašek, 1986). Oblast Semilska má sice dobré předpoklady pro tvorbu podzemních vod, protože leží v oblasti s dostatečným úhrnem srážek (průměrný roční úhrn 766 mm), ale koeficient infiltrace, který závisí na mnoha faktorech, jako je typ hornin a zemin, typ vegetačního pokryvu, svazitost terénu atd., se odhaduje pouze na 0,09 až 0,29 (Fiedler, 2003). Rajon je totiž tvořen permokarbonskými horninami s poměrně pestrým faciálním charakterem. Zastoupeny jsou zde zejména permokarbonské sedimenty zejména pískovce, arkózy, slepence, prachovce a šedé či černé jílovce se slojkami uhlí a v menší míře vyvřeliny (Čejka a Peko, 2012). V pískovcích a arkózách může zčásti kolovat puklinová voda, zato jílovce, slepence a prachovce díky velmi nízké propustnosti působí jako izolátory (Matula a Pašek, 1986). V permokarbonských vyvřelinách obíhají puklinové vody, ale vzhledem k malým rozlohám povodí a malým mocnostem nejde o významné kolektory (Matula a Pašek, 1986). Z hydrogeologického hlediska se tak rajon díky častému střídání propustnějších a méně propustných vrstev vyznačuje výskytem nepravidelných a často izolovaných obzorů puklinových a průlinových podzemních vod s převážně napjatou hladinou (Vybíral, 2000). S ohledem na všeobecné rychlé snížení propustnosti pánevních sedimentů s hloubkou probíhá proudění podzemních vod intenzivněji v přípovrchovém kolektoru zóny zvětralin a rozpojení puklin (Holub, 2001). Směrem do hloubky rozpukání ubývá a za současného poklesu propustnosti dochází ke zpomalenému proudění podzemních vod ve větších hloubkách (Holub, 2001). Podzemní vody svrchní části podkrkonošské pánevní výplně náleží z hlediska chemismu převážně typu Ca a celková mineralizace kolísá mezi 0,2 - 0,6 g.l⁻¹ (Vybíral, 2000). Současné využití podzemních vod v Podkrkonošské pánvi je orientováno především na vrty k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou. Infiltrační povodí je v důsledku častého střídání nepropustných a propustných hornin poměrně malé a významnější odběry podzemních vod jsou tak dosud prováděny zejména z nejvyšších kolektorů, jejichž vydatnost se však většinou pohybuje pouze v desetinách l.s⁻¹ až jednotkách l.s⁻¹ (Fiedler, 2003).

3.2.7. Těžba nerostných surovin

V blízkém okolí Semil dnes neprobíhá žádná těžba nerostných surovin. Dle Surovinového informačního systému SurIS (ČGS: Surovinový informační systém - mapová aplikace, online) se nejbližší lokalitě nachází lom Smrčí přibližně 3 km Z od Semil, kde se těží stavební kámen. V zájmové lokalitě svahu „U Čtrnácti pomocníků“ však ještě před několika desítkami let probíhala těžba cihlářských hlín, a to v dnes zalesněné JZ části svahu. Těžily se zde jílovité a sprašové hlíny. Těžba byla ukončena v 60. letech 20. století, kdy bylo ložisko vytěženo. Byl zde následně proveden průzkum pro rozšíření těžební oblasti, další těžba však nebyla doporučena z důvodu nízké stability svahu (Ocman et al., 1958). Ve zprávě o bývalém hliništi se dále uvádí, že ke svahovým pohybům docházelo i během těžby: *„Celé území je pro malou soudružnost hornin a poměrně příkrý sklon svahu postiženo četnými plošnými a kernými sesuvy, které vznikají zvláště nad příkrou těžební stěnou, jelikož je těžbou odstraňována pata svahu a tím je sesouvání značně usnadňováno.“* (Ocman et al., 1958).

3.2.8. Svahové pohyby

Mírně zvlněná pahorkatina charakteristická pro dnešní podobu permokarbonu na území ČR obecně neposkytuje příliš příznivé podmínky pro svahové pohyby (Matula a Pašek, 1986). Výjimku v tomto případě tvoří východní okolí Semil, kde je výskyt svahových pohybů naopak poměrně četný. Dle Registru svahových nestabilit (ČGS, online) jsou v této oblasti zaznamenány dokonce desítky dílčích sesuvných lokalit, které jsou uváděny buď jako aktivní či dočasně uklidněné (obr. 20). Podle Matuly a Paška (1986) se většinou jedná o mělké planární sesuvy, které vznikají v pokryvných útvarech na permokarbonských pánevních sedimentech. Jsou tak určovány predispozicí geologického podloží a jejich mocnost tak nedosahuje více než jednotek metrů. Tvarově jsou to nejčastěji sesuvy plošné a frontální, přičemž se tvar odvíjí spíše od lokální morfologie terénu. Zmiňovaná sesuvná území zasahují v mnohých případech do zastavěných oblastí a působí škody na místních komunikacích a domech (Matula a Pašek, 1986). Není neobvyklé, že sesuvy menších rozměrů jsou způsobovány neopatrným antropogenním zásahem do svahu. Konkrétní významné sesuvné lokality z této oblasti byly popsány v rámci bakalářské práce autora. V této diplomové práci je řešeno vymezené území sesuvného svahu „U Čtrnácti pomocníků“, který se nachází v SV části města Semily.



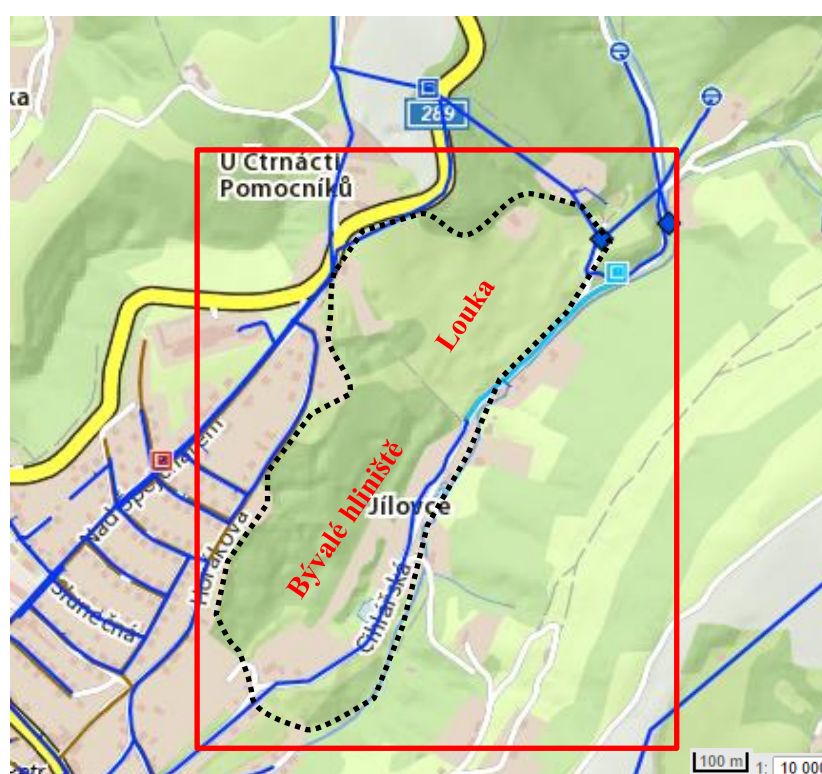
Obr. 20: Výřez z mapové aplikace Svahové nestability. Část sesuvných lokalit v okolí Semil – vyznačena šrafovaně (červená – aktivní sesuvy, modrá – dočasně uklidněné sesuvy). Černý obdélník vymezuje zájmovou oblast. (ČGS Svahové nestability, online)

4. Analýza sesuvného území

4.1. Údaje o sesuvném území „U Čtrnácti pomocníků“

4.1.1. Lokalizace zájmového území

Zájmové sesuvné území, kterým se tato diplomová práce zabývá, se nachází v SV okraji města Semily v údolí Jíloveckého potoka, který lokalitou protéká od SV k JZ. Potok v těchto místech vytvořil asymetrické údolí, kde pravý svah je relativně mírný, zatímco levý je mnohem strmější. Svah, známý jako „U Čtrnácti pomocníků“, je součástí pravého mírněji ukloněného břehu potoka a uklání se směrem k JV (obr. 21).



Obr. 21: Výřez mapy 1:10 000 s vyznačeným mapovaným územím (červeně) a sesuvným územím „U Čtrnácti pomocníků“ (černě tečkovaně). (Geoportál Libereckého kraje, online)

Ve stejném směru jako protékající potok vedou svahem dvě asfaltové komunikace. Jedna z nich - ulice Horákova vede v horní partii svahu směrem od Semil k SV, kde končí na křižovatce s ulicí Vysokou (silnice II. třídy), která dále pokračuje k SV. Horákova ulice prakticky tvoří hranici mezi sesuvným územím a zastavěnou vilovou oblastí na západě. Nezřídka se tato vozovka nachází jen ve velmi těsné blízkosti odlučné hrany sesuvného území. Při patě svahu podél Jíloveckého potoka vede ulice Cihlářská, která dle zpráv z Geofondu ČR (Kysel a Valigurský, 2001) ale také dle tvrzení starousedlíků, bývá často svahovými pohyby porušována. Zastavěnost území rodinnými domky se koncentruje právě do blízkého okolí těchto komunikací. Jedinou výjimkou je dům pana Adamce s adresou Chocholka 401, který se nachází

přímo v SV části sesuvného území. V těchto místech také zájmová lokalita zasahuje do ochranného pásma vodních zdrojů. Sesuvným územím jsou také vedeny vodovody, které jsou znázorněny tmavě modře na obrázku 21.

4.1.2. Archivní zprávy z geologických průzkumů

Dle archivu Geofondu ČR bylo v minulosti v zájmovém území provedeno několik geologických průzkumů, z jejichž závěrečných zpráv a vrtné dokumentace byly čerpány informace pro tuto diplomovou práci. Geologický průzkum v zájmovém území provedl Trenda (1989), který se zabýval stabilitními poměry SV části svahu „U Čtrnácti pomocníků“, dále (Ocman et al., 1958) zde provedl ložiskový průzkum cihlářských surovin a ostatní autoři (Tomský, 1962; Vybíral, 1996 a 2000) zde řešili spíše lokální geologické průzkumy pro stavbu budov. Pro oblast Semil byla dle zprávy Svobody (1973) vypracována také inženýrskogeologická mapa 1:5000, nicméně ta ve svazku chyběla a dochovala se tak jen textová část zprávy. Sesuvné území „U Čtrnácti pomocníků“ bylo zaznamenáno do Registru sesuvů ČGS v rámci akce Svahové deformace v ČR Kyclem a Valigurským (2001).

4.1.3. Popis sesuvného území

Na svahu „U Čtrnácti pomocníků“ se nachází rozsáhlé sesuvné území rozkládající se v šíři přibližně 850m a délce až 290 m (Kycl a Valigurský, 2001). Výškový rozdíl od paty svahu po hřbet činí přibližně 60 m (350 – 410 m.n.m.). Svah se na první pohled vyznačuje například nepravidelně vlněným reliéfem, ale i dalšími charakteristickými znaky pro sesuvná území. Dle průzkumu Kycla a Valigurského (2001) se jedná o rotačně planární sesuv frontálního tvaru s mocností sesouvaného materiálu maximálně 5-10 m. Trenda (1989) však ve svém průzkumu tvrdí, že se jedná spíše o plošný povrchový sesuv o mocnosti prvních jednotek metrů. Pro lepší pochopení situace je podle Kycla s Valigurským (2001) při popisu tohoto sesuvného území vhodné rozdělit ho na dvě části, které se vyznačují odlišnými znaky.

Jižní část svahu, přibližně 400 m široká a 250 m dlouhá, se vyznačuje terénem s výraznými morfologickými prvky, které byly způsobeny v první polovině minulého století zejména těžbou cihlářských surovin nebo jejími sekundárními následky (Kycl a Valigurský, 2001). V dnešní době je tato část svahu převážně hustě zalesněná, v některých oblastech až téměř neprostupná, výjimkou zde není ani tzv. „opilý les“. Oblast hlinišť byla upravena ve tři aplanované protáhlé plochy, čímž byl původní ráz terénu nad Cihlářskou ulicí velmi pozměněn. Na některých místech svahu bylo obnaženo předkvartérní podloží, na jiných místech byl nahnat různorodý materiál (Tomský, 1962). Tento způsob těžby, kdy byla systematicky odtěžována pata svahu, měl za následek sesouvání hmot z horních partií svahu, díky čemuž vznikla pod Horákovou ulicí místa až 4 m vysoká a přes 100 m dlouhá odlučná hrana (Kycl a Valigurský, 2001). V době těžby však byla oproti dnešní situaci zastavěnost území nad svahem

minimální, takže komplikace, které sesouvání hmot způsobovalo, mělo vliv prakticky jen na průběh těžby. V současné době se uskutečňuje zástavba rodinnými domy nad odlučnou stěnou a podle Kycla s Valigurským (2001) zde hrozí, že sesuvná aktivita by mohla pokračovat výše do svahu, a tím způsobit ohrožení těchto domů. U některých z domů bylo při terénní obchůzce zjištěno i nesprávné odvádění srážkové vody vedoucí do oblasti odlučné stěny. V oblasti nad bývalou těžební oblastí jsou také pozorovatelné i dílčí terénní hrany či zastřené odlučné stěny, zamokřená území a malá jezírka. Místy je zde možné narazit i na skalní výchozy nebo shluky balvanů, které byly patrně obnaženy při těžbě. Ve střední části svahu se vyskytuje starý drátěný plot, který byl svahovými pohyby zahýbán, a tím prakticky zničen. Dle zprávy Kycla a Valigurského (2001) bylo v roce 2001 zaznamenáno poškození vozovky v Cihlářské ulici ve formě přibližně 40 m dlouhé trhliny, díky které poklesla část vozovky až o 40 cm. Tato porucha vozovky byla v dalších letech opravena.

Druhá část svahu, která se nachází na severovýchodě zájmové lokality, je tvořena loukou, na níž je možné zřetelně pozorovat morfologické projevy starých svahových pohybů ve formě nepravidelně zvlňeného terénu (obr. 22) a trhlin ve svahu. Z poznatků z archivní geologické dokumentace vyplývá, že se v této části svahu projevuje sesouvání pokryvných útvarů tvořených především jílovitými hlínami a jíly, které vznikly zvětráním podložních hornin (Trenda, 1989). Odlučná oblast je v horní části sesuvu omezena příčnými trhlinami



Obr. 22: Nepravidelně zvlňený terén v SV části svah „U Čtrnácti pomocníků“ (vlastní dokumentace)

projevujícími se přibližně půlmetrovým poklesem terénu (obr. 23). Tato trhlinka vede téměř po celé šířce louky a zabíhá až k blízkosti domu v ulici Chocholka 401, na kterém jsou patrné známky porušení způsobené svahovými pohyby (obr. 24). V těsné blízkosti nad tímto domem se vyskytuje poměrně velký skalní výchoz vysoký několik metrů. V horní části louky v blízkosti komunikace Vysocká 289/II jsem v roce 2014 zaznamenal navezení stavebních sutí do svahu. Ve střední části sesuvu se nachází charakteristické mělké deprese, které v období jarního tání bývají zcela zvodnělé. Boční omezení sesuvu není zcela patrné, je proto v IG mapě geomorfologických tvarů vyznačeno jen přerušovanou čarou. Akumulační oblast sesuvu je v těsné blízkosti stávající komunikace Cihlářská, kde se svahový pohyb projevuje nakláněním telefonních sloupů vedoucích podél vozovky, deformací komunikace a zavalováním komunikace materiálem (Trenda, 1989 a ústní sdělení starousedlíků). Patrně na základě geologického průzkumu Trendy (1989) byla provedena sanace pro dílčí část sesuvného území, ale zřejmě bez uvědomění si celkového rozsahu sesuvu (Kycl a Valigurský, 2001). Zajištění bylo provedeno betonovými deskami při patách telefonních sloupů při břehu Cihlářské ulice a také bylo vybudováno potrubí, do kterého byl v této části údolí Jílovecký potok sveden, aby byla omezena erozní činnost potoka. Dle zpráv z Geofondu ČR (Trenda, 1989) se zde sesuvná aktivita začala projevovat ve druhé polovině 20. století, kdy došlo k transformaci původní louky na hospodářsky obdělávané pole. Trenda (1989) ve zprávě o geologickém průzkumu tvrdí: *„Hlavním důvodem vzniku sesouvání zeminy byly patrně změny v infiltrační oblasti podzemních vod, tj. přeměna louky na obdělávané pole. To vedlo ke zvýšení infiltrace a úrovně HPV ve svahu. Za další příčiny sesuvu lze označit postupné změny geometrie svahu, dané erozí potoka a úpravami zářezu cesty.“* (Trenda, 1989).



Obr. 23: Trhlina vedoucí svahem v SV části svahu „U Čtrnácti pomocníků“ (vlastní dokumentace)



Obr. 24: Praskliny ve zdech domu v ulici Chochołka 401 (vlastní dokumentace)

4.1.4. Geologie zájmového území

Horninový podklad zájmového území je tvořen sedimenty semilského souvrství stáří karbonu-stephan C. Dle geologické mapy se jedná především o nevytříděné polymiktní slepence a brekcie - *sCse*, a jílovce, prachovce, drobovité pískovce – *Cse* (Prouza et al., 2009). Sled cyklicky opakujících se vrstev písčitých a jílovitých sedimentů je proměnlivý a často bývá proložen vložkami nevytříděných slepenců (Ocman et al., 1958). Jílovce bývají deskovitě odlučné a obsahují většinou písčitou příměs a slídu. Barvu mají červenohnědou stejně jako jíly, ve které při povrchu snadno zvětrávají. Ty kromě písčité příměsi a slídy často obsahují ještě úlomky pískovců a fylitů (Ocman et al., 1958). Rovněž pískovce a slepence bývají červenohnědé, často o různé zrnitosti. Obsahují slídu, vložky jílu nebo jílovce a opracované valouny křemene. Většinou jsou pevné a jen vzácně se rozpadají na písek (Ocman et al., 1958).

Zmíněné horniny jsou však až na několik skalních výchozů většinou zakryty zvětralínovým eluvio-deluviálním pokryvem s občasným výskytem sprašových hlín při úpatí svahu (Kycl a Valigurský, 2001). Zvětrání skalního podloží závisí do značné míry na jeho petrografickém složení (Tomský, 1962). V geologické mapě jsou tyto kvartérní sedimenty vyznačeny jako svahové kamenito-hlinité až hlinito-kamenité sedimenty – *shkQ* nebo svahové hlinité, písčité a jílovité sedimenty – *sQ* (Prouza et al., 2009). Barvu mají také červenohnědou, jsou často jílovité s písčitou příměsí a valounky křemene. Ve větších mocnostech se vyskytují především ve spodních partiích údolí Jíloveckého potoka. Hlinitý pokryv je většinou jen slabě vyvinut. Vzhledem k tomu, že se svah částečně nachází v zastavěném území, jsou zde zaznamenány i antropogenní sedimenty ve formě navážek – *aQ*.

4.1.5. Hydrogeologie zájmového území

Celá zájmová lokalita je odvodňována Jíloveckým potokem, který protéká územím od SV k JZ a tvoří tak místní erozní bázi. Dle Ocmana et al. (1958) se však hranice rozvodí nekryje se hřbetem svahu, ale nachází se západněji za svahem „U Čtrnácti pomocníků“ kvůli vrstevnímu sledu hornin. Jak bylo zmíněno v geologických poměrech, zkoumané území je tvořeno vrstvami relativně propustných a téměř nepropustných hornin. Za relativně propustné jsou považovány deluviální hlíny a pískovce, za nepropustné pak především jíly, jílovce a slepence. Podle Ocmana et al. (1958) je srážková voda, která je infiltrována relativně propustnými pískovci a hlínami, sváděna nepropustnými polohami jílu a jílovců do údolí Jíloveckého potoka. Při geologickém průzkumu Ocmana et al. (1958) sice nebyla souvislá hladina podzemní vody zjištěna, ale bylo zpozorováno několik stálých vývěrů v jižní části sesuvného území. Při průzkumu Vybírala (2000) bylo také zjištěno, že obvykle nedochází k významnému doplňování podzemní vody hlubších pater infiltrovanou srážkovou vodou. Při trvalejší dotaci vodou však roste podíl vody kapilárně vázané, což se projevuje zvýšenou vlhkostí a dalšími změnami

geomechanických parametrů kvartérních sedimentů (Vybíral, 2000). Pouze sedimenty nejnižší údolní terasy jsou v těsné hydraulické spojitosti s poříční vodou Jíloveckého potoka (Vybíral, 2000). Během geologického průzkumu, který v SV oblasti sesuvného území provedl Trenda (1989), byly po dobu průzkumu vystrojeny dva hydrogeologické pozorovací vrty označené v Příloze 2 jako AV4 a AV9. V těchto vrtech, ač jsou od sebe vzdáleny maximálně několik desítek metrů, byly naměřeny odlišné úrovně HPV. Ve vrtu AV9 byla naměřena HPV v hloubce jen 0,83 m a ve vrtu AV4 až 6,14 m pod povrchem. Úroveň HPV v nich byla během Trendova průzkumu periodicky měřena, ale k výrazným změnám hladiny v závislosti na úhrnu srážek nedocházelo. Podle Trendy (1989) byly tyto výrazné rozdíly v úrovních HPV způsobeny změnami reliéfu svahu způsobené sesouváním, které mají vliv jak na poměry povrchových, tak podzemních vod.

4.2. Technické terénní práce provedené v rámci diplomové práce

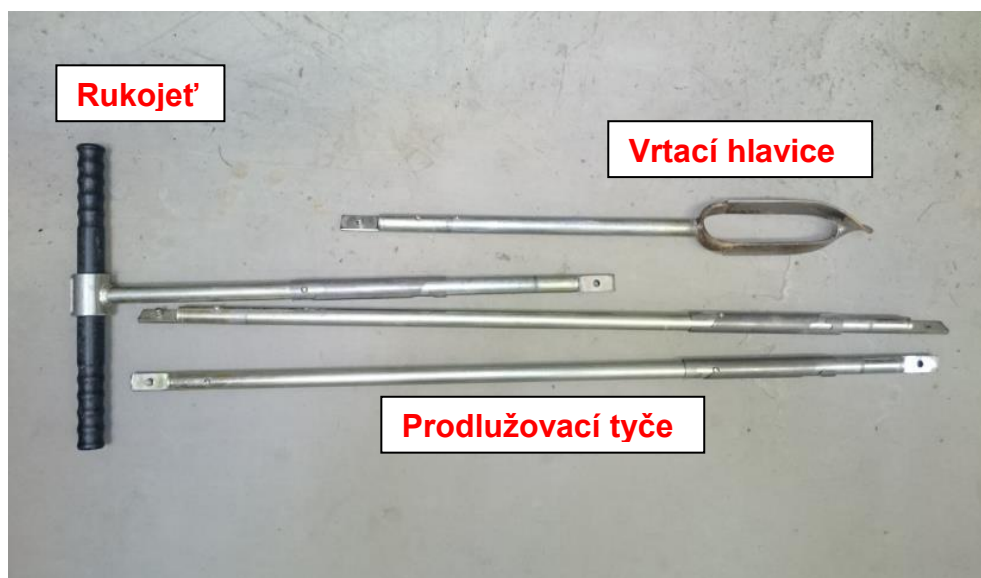
4.2.1. Ručně vrtané sondy a odběr vzorků zeminy

Vzhledem k tomu, že kvartérní pokryv v zájmové lokalitě tvoří převážně jílovité hlíny, jíly či sprašové hlíny, bylo možné provést vrtné práce ručním způsobem. Pro ruční vrtné práce byl vybrán ruční vrták Edelman od značky Eijkelkamp, který umožňuje vrtání v jemnozrnných zeminách (obr. 25). Vrták byl zapůjčen od Mgr. Jiřího Routa ze společnosti ARCADIS CZ a. s. Ruční vrták Edelman je tvořen vrtací hlavicí se zostřenými řeznými plochami, prodlužovacími tyčemi a rukojeťmi. Při otáčení vrtákem ve směru hodinových ručiček za působení tlaku se přístroj zavrtává do země a řezné plochy hlavice rozrušují zeminu a vzorek zadržují v tělese vzorkovače (MŽP, 2006). Díky specifickému tvaru Edelmanova vrtáku vzniká během vrtání jen minimální tření, což znamená, že práce s tímto vrtákem je fyzicky málo náročná. Maximální hloubkový dosah vrtáku je výrobcem udáván mezi 8-10 m, to však platí jen za ideálních podmínek. V praxi je spíše známo, že v hlínách a jílech lze vrtat do hloubek okolo tří metrů.

V zájmové lokalitě byly autorem diplomové práce vyhloubeny čtyři ruční sondy. Místa hloubení sond byla předem určena tak, aby informace mohly být použity pro sestavení řezů svahem. Záměrně byly sondy situovány do míst, kde nebyly k dispozici vrtné profily z archivní vrtné dokumentace. Přibližná poloha sond byla předem vyznačena do mapy, podle které bylo postupováno v terénu. Sondy jsou vyznačeny v mapě dokumentačních bodů (Příloha 8) s označením S1, S2, S3 a S4 žlutou barvou. Práce probíhaly postupným zavrtáváním vrtáku vždy o 10 cm hlouběji, než bylo aktuální dno vrtu. Vrtací hlavice tak byla zcela naplněna zeminou, ale zároveň nedocházelo k vytlačování materiálu do okolí hlavice. Po vytažení vrtáku z vrtu byl vrták položen na zem tak, aby bylo možné vyjmout vrtné jádro. Vrtná jádra byla řazena vedle sebe takovým způsobem, aby nedošlo k promísení materiálů, a bylo zřejmé, z jaké hloubky bylo

dané jádro vyňato (obr. 26). Po ukončení vrtání byla provedena primární dokumentace vrtného profilu, která je zaznamenána v Příloze 3.

Po ukončení vrtných prací byly z vrtných jader lopatkou odebrány reprezentativní vzorky zemin potřebné pro provedení laboratorních zkoušek. Vzorky byly odebrány ze všech čtyř sond. Ze třech profilů (S1, S3 a S4) byl proveden odběr dvou vzorků vždy z různých hloubek – S1b, S1d, S3b, S3c, S4b, S4c. Pouze u sondy S2 byl odebrán jen jeden vzorek s označením S2c, a to především kvůli celkové homogenitě materiálu v daném profilu. Informace, z jakých hloubek byly jednotlivé vzorky odebírány, jsou uvedeny v Příloze 3. Vzorky nebyly odebírány ze svrchní humosní vrstvy. Materiál byl zakonzervován do speciálních vzduchotěsných plastových pytlů pro zachování přirozené vlhkosti, které byly následně patřičně označeny. Vzhledem k poměrně malému množství materiálu, který dokáže ruční vrták ze země vyjmout, bylo odebráno od každého vzorku vždy maximálně tři kilogramy zeminy. Po ukončení veškerých vrtných prací v lokalitě byly vzorky převezeny do laboratoře mechaniky zemin PřF UK v Praze, kde byly podrobeny laboratorním zkouškám.



Obr. 25: Ruční vrták Edelman značky Eijkelkamp s vrtací hlavicí vhodnou pro použití v jemnozrnných zeminách (vlastní dokumentace)

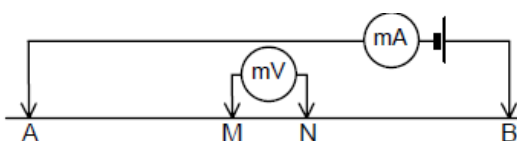


Obr. 26: Průběh vrtných prací ručním vrtákem Edelman (vlastní dokumentace)

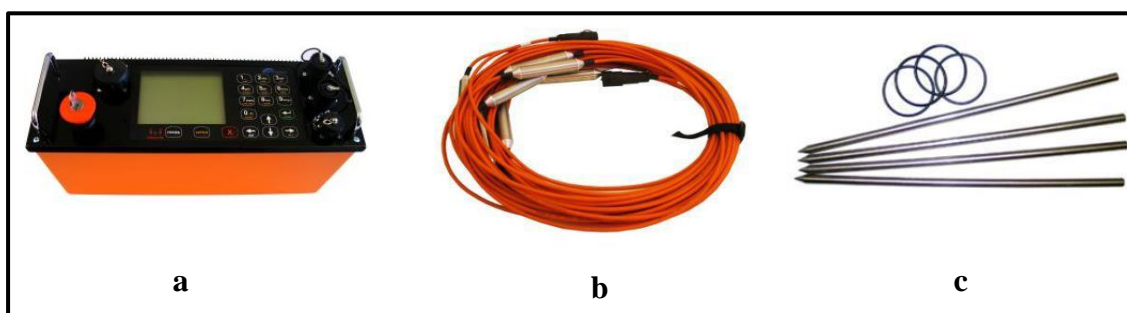
4.2.2. Geofyzikální měření

Geofyzikální měření bylo autorem diplomové práce provedeno pro zpřesnění znalosti geologické situace zájmové lokality. Primárně šlo o získání kontinuální informace o průběhu a hloubce horninového podloží v oblasti sesuvu „U Čtrnácti pomocníků“. Zjištěné údaje byly využity pro sestavení geofyzikálního podélného řezu svahem označeným jako A-A' (Příloha 11). Volba geofyzikální metody, příprava, průběh i vyhodnocení geofyzikálního měření byly provedeny s pomocí doktorandů Mgr. Jaroslavem Jirků a RNDr. Petrem Táboříkem, Ph.D. (oba Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky, PřF UK v Praze).

Pro geofyzikální měření byla zvolena metoda ERT (elektrická odporová tomografie), která se používá pro mělký podpovrchový průzkum. Pomocí této metody je měřen zdánlivý odpor horninového prostředí pomocí měřicího přístroje a soustavy elektrod, které musí být v neustálém styku s horninovým prostředím. Elektrody, kterých může být pro jedno měření použito až 250, musí být rozmístěny v konstantní vzdálenosti do jedné řady. Průběh měření je pak řízen měřicím přístrojem, který pro každé jednotlivé měření zapojí vždy dvě potenční a dvě proudové elektrody. Potenční elektrody (M, N) měří elektrický potenciál, který je vyvolán puštěním stejnosměrného elektrického proudu do horninového prostředí z proudových elektrod (A, B). Elektrody byly zapojeny dle Wenner-Schlumbergerova uspořádání (Mareš et al., 1983):



Měření bylo aplikováno pomocí aparatury ARES II (Automatic resistivity system) od firmy GF Instruments (obr. 27a). K měření dále bylo zapotřebí několik sekcí multi-elektrodového kabelu (obr. 27b) a několik desítek kovových elektrod (obr. 27c), kdy jednu sekci kabelu bylo možné připevnit k 8 elektrodám. Délka měřeného profilu (obr. 28) byla určena na 287 m a rozstup elektrod byl zvolen po 1 m. Takto malý rozstup elektrod byl navržen z toho důvodu, aby se docílilo přesnějšího měření v přípovrchových vrstvách. Kvůli tomu bylo měření značně podrobné a tedy i časově náročné. Vzhledem k délce profilu a zvolenému rozestupu elektrod nebylo možné kvůli omezené kapacitě přístroje provést celé měření najednou a kabel tak musel být několikrát přepojován, díky čemuž měření trvalo přibližně 10 hodin. Zpracování měřených dat bylo provedeno pomocí počítačového programu RES2DINV od firmy Geotomo Software (GF Instruments, online). V programu RES2DINV byl sestaven z dat terénního měření výsledný rezistivní profil, který bylo možné následně interpretovat (Příloha 11).



Obr. 27: Technická zařízení pro měření metodou ERT. a – ARES II, b – multi-elektrodový kabel, c – elektrody (GF instruments, online)



Obr. 28: Průběh geofyzikálního měření metodou ERT v SV části sesuvného svahu „U Čtrnácti pomocníků (vlastní dokumentace)

4.3. Laboratorní práce

Další částí této diplomové práce bylo provedení laboratorních zkoušek na vzorcích zemin odebraných z ručních sond. Veškeré laboratorní práce byly prováděny v laboratořích mechaniky zemin na Přírodovědecké fakultě UK. Při laboratorních pracích bylo postupováno podle technických norem ČSN EN ISO, jež byly autorovi práce zapůjčeny k nahlédnutí od společnosti ARCADIS CZ a. s. V rámci laboratorních prací byly provedeny zkoušky potřebné pro stanovení základních mechanických vlastností zemin. V první fázi laboratorních prací se jednalo o laboratorní stanovení přirozené vlhkosti, zrnitosti a konzistenčních mezí, díky kterým bylo možné stanovit křivku zrnitosti a zeminy zatřídit a pojmenovat. Tyto zkoušky byly provedeny na všech sedmi vzorcích, které byly v lokalitě odebrány. Druhá fáze laboratorních prací byla zaměřena na stanovení pevnostních parametrů zeminy. Potřebné zkoušky byly provedeny na translačním a rotačním smykovém přístroji, na kterých bylo možné určit kritickou a reziduální smykovou pevnost testované zeminy.

4.3.1. Stanovení přirozené vlhkosti

Dle doporučení normy ČSN CEN ISO/TS 17892-1 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 1: Stanovení vlhkosti zemin* je stanovení přirozené vlhkosti zemin nutné provést v co nejkratší době po odebrání vzorků v terénu, aby zjištěná vlhkost odpovídala co nejvíce vlhkosti zeminy *in-situ*. Z toho důvodu byly vzorky ihned po jejich odběru zakonzervovány do vzduchotěsných plastových pytlů. Vzorky byly následně převezeny do laboratoře a samotná zkouška byla provedena o několik hodin později. Vzhledem k tomu, že zemina obsahovala na první pohled vysoké množství jemnozrnných částic, byla stanovena přirozená vlhkost na vzorcích o hmotnosti přibližně třiceti gramů. Reprezentativní vzorek byl vždy vyjmut z pytle a vložen do vysoušecí nádoby. Nádoba se vzorkem byla zvážena a poté vložena do sušičky. Při teplotě cca 110°C se vzorky vysoušely po dobu 24 hodin. Po vyjmutí ze sušičky a následném vychladnutí na pokojovou teplotu byly opět zváženy. Pro získání hodnoty přirozené vlhkosti byly naměřené hodnoty zadány do rovnice:

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_n} \times 100 = \frac{m_w}{m_d} \times 100$$

kde w je přirozená vlhkost zeminy (%); m_1 je hmotnost vysoušecí nádoby a vlhkého vzorku (g); m_2 je hmotnost vysoušecí nádoby a suchého vzorku (g); m_n je hmotnost vysoušecí nádoby; m_w je hmotnost vody odstraněné vysoušením (g); m_d je hmotnost vysušeného zkušební vzorku (g). Výsledky jsou uvedeny v Tabulce 1, ostatní údaje jsou obsaženy v Příloze 5.

vzorek	S1b	S1d	S2c	S3b	S3c	S4b	S4c
přirozená vlhkost w [%]	22.9	23.3	16.8	19.4	18.4	21.9	18.4

Tabulka 1: Hodnoty přirozené vlhkosti vzorků zeminy (vlastní zpracování)

4.3.2. Stanovení zrnitosti

Při stanovení zrnitosti zkoumaných zemin bylo postupováno podle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-4 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 4: Stanovení zrnitosti zemi*. Účelem této zkoušky je stanovení tzv. zrnitostní křivky, na základě které je možné zeminu klasifikovat. Dle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-4 musí být zrnitostní rozbor proveden kombinací prosévání a sedimentací, jestliže je více než 10 % zrn zeminy menšího průměru než 0,063 mm. Dle normy je pro provedení zrnitostní zkoušky u jemnozrných zemin zapotřebí pracovat s reprezentativním vzorkem zeminy o hmotnosti přibližně třiceti gramů. Stejně jako u stanovení přirozené vlhkosti byla zrnitostní zkouška provedena u všech sedmi odebraných vzorků.

Příprava vzorku pro stanovení zrnitosti

Příprava vzorku probíhala nejprve rozdužením vzorku v misce a následným zalitím rozduženého vzorku destilovanou vodou. Poté bylo přidáno dispergenční činidlo v podobě vodního skla, aby nedošlo ke koagulaci jemnozrných částic. Vzorek byl rozpouštěn po dobu 24 hodin a znovu rozmíchán. Takto rozpouštěný vzorek byl promyt přes dvě síta o průměru ok 2 a 0,063 mm a rozdělen na dvě části. První část vzorku, která se zachytila na sítu o průměru ok 0,063 mm, byla ponechána k vyschnutí v sušárně a poté s ní byla provedena prosévací zkouška. Druhou část vzorku s částicemi menšími než 0,063 mm, která byla v podobě suspenze, byla slita do odměrného válce a byla na ní provedena zkouška sedimentační.

Prosévací zkouška

Tato zkouška analyzuje oblast zrnitostní křivky nad 0,063 mm. Je prováděna tzv. síťovým rozbořem, kdy je materiál prosíván přes sadu normovaných sít. Aby byl získán plynulý záznam zrnitostní křivky, byla připravena sada sít o velikosti ok 2; 1; 0,63; 0,5; 0,315; 0,2; 0,125 a 0,063 mm (obr. 29a). Pod nejjemnější sítu byla zároveň přidána zachytná míška. Materiál byl následně nasypán na nejhrubší sítu a krouživými vodorovnými pohyby proset. Zachycené frakce byly postupně váženy a hodnoty zaznamenávány do tabulek (Příloha 5).

Hustoměrná zkouška

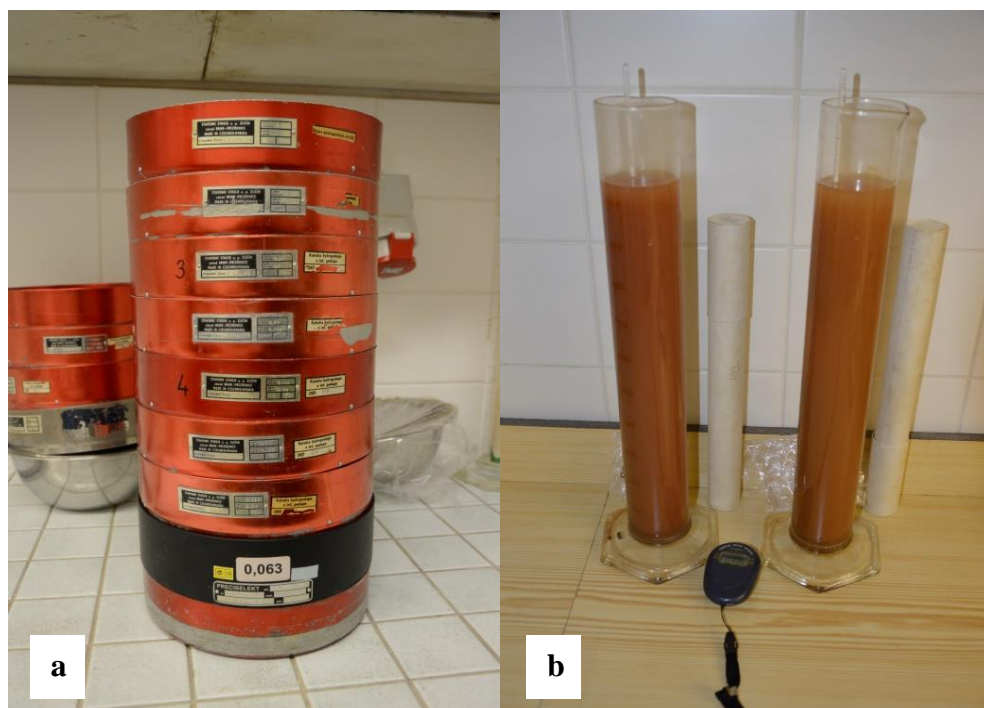
Pomocí hustoměrné zkoušky byla získána data potřebné k vykreslení zrnitostní křivky pod hranicí 0,063 mm. Při této zkoušce se pozoruje změna hustoty suspenze v čase. Princip

metody je založen na rozdílné rychlosti usazování pevných částic v suspenzi podle Stokesova zákona. Hodnoty hustoty se v určitých časových intervalech odečítají na speciálním hustoměru, který je vložen do suspenze v kalibrovaném odměrném válci (obr. 29b). Požadovaná velikost a množství částic jsou získány přepočtením získaných hodnot pomocí Casagrandeho nomogramů.

Materiál, který protekl sítím 0,063 mm, byl nalit do kalibrovaného odměrného válce o objemu 1000 ml. Do suspenze byl přidán i materiál, který propadl skrze všechna síta při prosévací zkoušce. Suspenze byla dolita destilovanou vodou, aby měla objem 1000 ml. Samotnou hustoměrná zkouška byla provedena tak, že byla suspenze nejprve řádně promíchána, aby se všechna zrna dostala do vzosu, a vzápětí byl do válce vložen hustoměrný válec a spuštěny stopky. Hodnoty byly odečítány v časových intervalech: 90 sekund, 5 a 15 minut, 1, 2, 4 a 24 hodin. Teplota suspenze během zkoušky byla udržována konstantní a to na hodnotě 20°C, takže při vyhodnocování nebylo nutné provádět teplotní opravu. Ze vstupních hodnot z hustoměru byly následně pomocí Casagrandeho nomogramu získány hodnoty průměrů částic, ke kterým byly vypočítány procentuální zastoupení propadů pomocí vzorce:

$$X = \left(\frac{100}{m_d} \right) \times \left(\frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} \right) \times R$$

kde je m_d celková suchá hmotnost, ρ_s hustota pevných částic, ρ_w hustota vody a R čtení hustoměru.



Obr. 29: Průběh zrnitostní zkoušky: **a** - sada sít použitých při prosévací zkoušce; **b** - probíhající hustoměrná zkouška (vlastní dokumentace)

Stanovení křivky zrnitosti

Veškerá vstupní a výsledná data z prosévací i hustoměrné zkoušky jsou pro každý vzorek zaznamenány v Příloze 5. Z těchto dat byla v programu Grapher vykreslena pro každý vzorek křivka zrnitosti v semilogaritmickém zobrazení. Výsledné zrnitostní křivky všech vzorků jsou také uvedeny v Příloze 5.

4.3.3. Stanovení konzistenčních mezí

Dalším krokem při laboratorních pracích bylo stanovení konzistenčních neboli Attenbergových mezí, které je zapotřebí určovat u soudružných zemin. Tyto meze představují přechod buď mezi tekutým a plastickým stavem, nebo plastickým a pevným stavem zeminy. Meze se stanovují, protože do značné míry určují chování jemnozrnných zemin. Pro určení konzistenčních mezí zkoumaných zemin jsem postupoval podle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-4 Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 12: Stanovení konzistenčních mezí. Při stanovování konzistenčních mezí byly určovány tyto vlastnosti zeminy:

- mez tekutosti (w_L)
 - empiricky stanovená vlhkost, při které zemina přechází ze stavu tekutého do stavu plastického
- mez plasticity (w_P)
 - empiricky stanovená vlhkost, při které zemina ztrácí svou plasticitu
- index plasticity (I_P)
 - početní rozdíl meze tekutosti a meze plasticity zeminy:

$$I_P = w_L - w_P$$

- na základě indexu plasticity se určí, zdali je zemina neplastická nebo má nízkou, střední nebo vysokou plasticitu
- stupeň tekutosti (I_L)
 - početní rozdíl přirozené vlhkosti a meze plasticity zeminy v poměru k indexu plasticity zeminy:

$$I_L = \frac{w - w_P}{w_L - w_P}$$

- stupeň konzistence (I_C)
 - početní rozdíl meze tekutosti a přirozené vlhkosti v poměru k indexu plasticity:

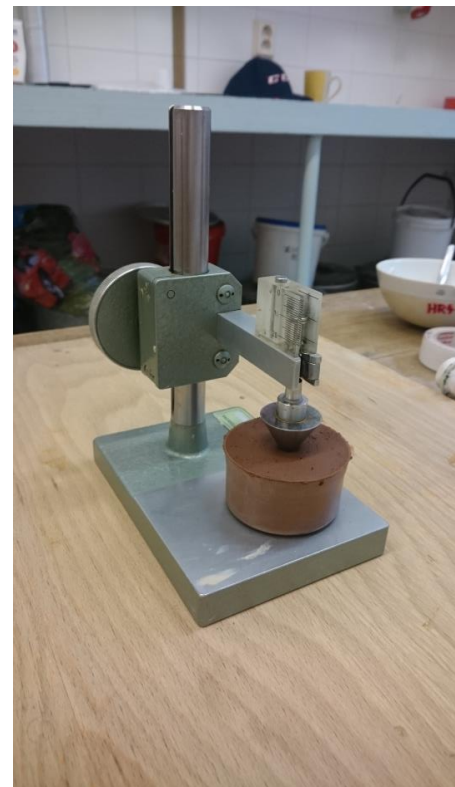
$$I_C = \frac{w_L - w}{w_L - w_P}$$

- na základě vyhodnocení stupně konzistence se určuje konzistence zemin:
 - velmi pevné (Ic > 1,00)
 - pevné (Ic = 0,75 - 1,00)
 - tuhé (Ic = 0,50 – 0,75)
 - měkké (Ic = 0,25 – 0,50)
 - velmi měkké (Ic < 0,25)
- index aktivity jílu (I_a)
 - poměr indexu plasticity k podílu jílovité frakce zeminy.

Stanovení vlhkosti na mezi tekutosti

Pro stanovení meze tekutosti bylo nutné nejprve připravit vzorek dle návodu v normě ČSN CEN ISO/TS 17892-12. Pro zkoušku bylo z každého vzorku odebráno přibližně 300 g zeminy, která byla následně za použití destilované vody proseta přes síto o velikosti ok 0,5 mm. Po řádném promíchání byla získána homogenní pasta. Pasta se nechala vyschnout při pokojové teplotě, aby nebyla příliš tekutá.

Stanovení meze tekutosti bylo provedeno pomocí kuželové zkoušky dle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-12. Zkouška byla prováděna kalibrovaným penetračním kuželem o parametrech 60g / 60°. Kuželem byla penetrována homogenní pasta a po uplynutí 5ti vteřin byla zaznamenávána hloubka penetrace, jejíž hodnota se musela pohybovat v rozmezí 7-15 mm. Ideální hodnota hloubky penetrace, kdy se zemina nachází na mezi tekutosti, je 10 mm. U každého vzorku bylo provedeno pět měření, při kterých bylo vždy odebráno určité množství zeminy a stanovena jejich vlhkost. Zjištěné hodnoty vlhkostí a hloubek penetrace byly vyneseny do semilogaritmického grafu a jimi byla proložena lineární spojnice trendu, díky které byla určena hodnota vlhkosti při penetraci 10 mm. Veškerá zjištěná data a výsledky této zkoušky jsou uvedené v Příloze 5.



Obr. 30: Průběh zkoušky - stanovení vlhkosti na mezi tekutosti – kuželová zkouška (vlastní dokumentace)

Stanovení vlhkosti na mezi plasticity

Při stanovování vlhkosti na mezi plasticity bylo pracováno se stejnou homogenní pastou, která byla od každého vzorku vytvořena pro stanovení meze tekutosti. Při zkoušce bylo postupováno podle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-12. Homogenní pastu bylo nutné nechat při pokojové teplotě dostatečně vyschnout, abych z ní bylo možné odebrat přibližně 20 g materiálu a vytvořit kuličku. Ta byla následně rozdělena na dvě části a rozválena do válečků o průměru přibližně 5 mm. Poté byly tyto válečky váleny mezi prsty a skleněnou deskou při konstantním tlaku a rychlosti válení až do doby, kdy dosáhly průměru 3 mm. Ve chvíli, kdy na těchto válečcích začaly vznikat trhliny v přibližné vzdálenosti 1 cm od sebe, byly vloženy do uzavíratelných váženek. Ty byly vzápětí zváženy a co nejrychleji vloženy do sušárny. Pro každý vzorek byly provedeny tři měření, ze kterých byla vždy vybrána dvě, jejichž hodnoty se od sebe nejméně lišily. Tyto hodnoty byly zprůměrovány a byla tak získána hodnota vlhkosti na mezi plasticity. Výsledky měření jsou uvedeny v Příloze 5.



Obr. 31: Průběh zkoušky - stanovení vlhkosti na mezi plasticity (vlastní dokumentace)

Výsledky stanovení konzistenčních mezí

Na základě stanovených konzistenčních mezí byl vypočítán index plasticity, stupeň konzistence, stupeň tekutosti a index aktivity jílu (tab. 2). Veškerá data a výsledky ze stanovení konzistenčních mezí jsou zároveň uvedena v Příloze 5.

Vzorek	Přirozená vlhkost W [%]	Vlhkost na mezi plasticity W_p [%]	Vlhkost na mezi tekutosti W_L [%]	Index plasticity I_p [%]	Stupeň konzistence I_c	Stupeň tekutosti I_L	Jílová aktivita I_a
S1b	22.9	20.0	37.6	17.6	0.84	0.16	0.9
S1d	23.3	21.8	36.9	15.1	0.90	0.10	0.7
S2c	16.8	21.7	29.8	8.1	1.60	-0.60	0.4
S3b	19.4	25.5	42.90	17.4	1.35	-0.3	1.0
S3c	18.4	22.6	38.38	15.8	1.27	-0.3	0.6
S4b	21.9	21.5	35.2	13.6	0.98	0.02	0.7
S4c	18.4	23	35.3	12.6	1.35	-0.35	0.5

Tabulka 2: Výsledné hodnoty konzistenčních mezí jednotlivých vzorků (vlastní zpracování)

4.3.4. Zatřídění a pojmenování zemin

Zatřídění a pojmenování zemin bylo provedeno jak podle nových norem ČSN EN ISO 14688-1 Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 1: Pojmenování a popis a ČSN EN ISO 14688-2 Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 2: Zásady pro zařizování, tak podle normy ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací. Údaje potřebné pro zařizování a pojmenování zemin byly získány z výsledků předchozích zkoušek. Zatřídění a pojmenování jednotlivých vzorků je uvedeno v Příloze 5.

4.3.5. Stanovení smykové pevnosti

Smyková pevnost zemin

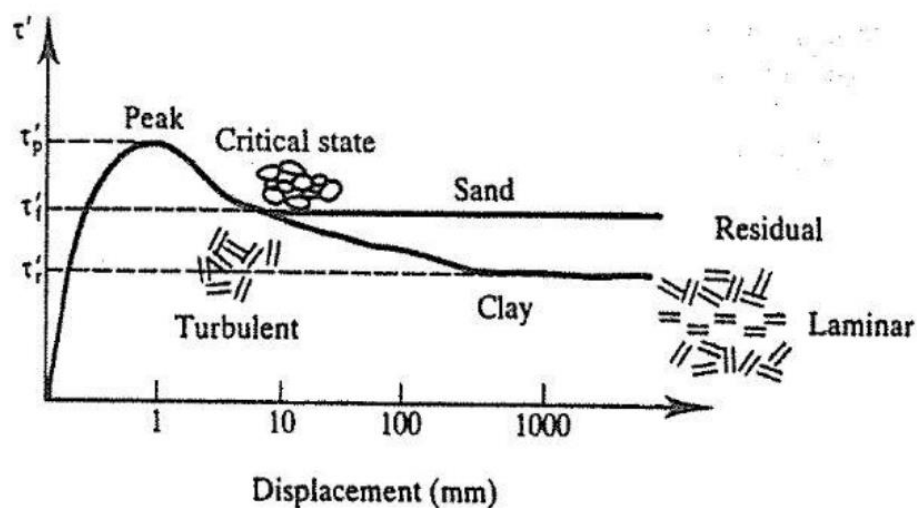
Pevnost zeminy je dle Atkinsona (1993) rovna maximálnímu smykovému napětí, které je zemina ještě schopna snést, než se poruší. Jde tedy o mezní stav napětí, po jehož překročení dochází k porušení materiálu. Tento mezní stav napětí je nazýván smykovou pevností materiálu. Smyková pevnost se nejčastěji hodnotí dle Mohr-Colombova kritéria, dle kterého platí, že k porušení zeminy nastane ve chvíli, kdy Mohrova kružnice dosáhne tzv. obálky pevnosti, jež je definovaná rovnicí:

$$\tau' = c' + \sigma' \tan \varphi$$

kde τ' je efektivní smykové napětí, σ' je efektivní normálové napětí, c' je soudržnost a φ je úhel vnitřního tření, přičemž dle Atkinsona (1993) pro většinu zemin platí $c' = 0$. Z této definice také vyplývá, že se smyková pevnost zeminy zvyšuje lineárně s nárůstem efektivního napětí. Je nutné zmínit, že Mohr-Colombovo kritérium se uvažuje při působení odvođeného zatížení.

Dle Atkinsona (1993) existují tři typy smykových pevností zemín, a to pevnost vrcholová (peak), kritická (critical state) a reziduální (residual) (obr. 32). Vrcholová pevnost je závislá na původní struktuře zeminy a lze tak určit jen na neporušených vzorcích. Důležitější pro hodnocení pevnostních parametrů zeminy je určení jejího kritického stavu, kterého za působení smyku dosáhne každá zemina bez ohledu na původní strukturu zeminy. Zemina se v oblasti smykové plochy dostane do tzv. turbulentního stavu. Stanovení kritické pevnosti tak je vhodné provádět i na rekonstituovaných vzorcích. Třetí typ smykové pevnosti se projevuje jen u jemnozrnných zemín s obsahem jílových minerálů, jejichž plochá zrna za působení velkých přetvoření přechází z turbulentního stavu do stavu laminárního uspořádání. Díky tomu mohou vznikat smykové plochy například při sesuvech, kdy k velkým přetvořením dochází. Při analýze sesuvných území je tak zapotřebí určovat především kritickou a reziduální pevnost zeminy, jejíž vzorky by měly být odebírány právě z oblasti smykové plochy.

Laboratorní stanovení kritické a reziduální pevnosti je možné provést dvěma typy zkoušek tzv. „direct shear“ nebo „undirect shear“. Pro tuto diplomovou práci byl zvolen typ zkoušek „direct shear“, během kterých je měřena velikost smykového napětí. Tento typ zkoušek bývá nejčastěji prováděn na translačních či rotačních krabicových přístrojích, kde je smyková plocha předurčena přístrojem.



Obr. 32: Závislost smykového napětí na posunu s vyznačenými typy smykové pevnosti (Atkinson, 1993).

Rekonstituovaný vzorek

Pro oba typy zkoušek bylo zapotřebí vytvořit rekonstituovaný vzorek zeminy. Rekonstituovaný materiál je pro smykové zkoušky vhodný proto, že je s ním možné rovnoměrně vyplnit zkušební nádobu tak, aby nedocházelo ke vzniku dutin či bublin. Podle Najsera a Boháče (2005) má testování na rekonstituovaném materiálu také výhodu v tom, že u zkoušek v rotačním krabicovém přístroji představuje maximální smykové napětí kritickou

pevnost materiálu. Rekonstituovaný vzorek byl připraven dle návodu Najsera a Boháče (2005). Zemina byla nejprve mechanicky rozdužena, poté zalita přiměřeným množstvím destilované vody a ponechána ležet na několik hodin, aby se voda dostala do celého vzorku a šlo jej snáze rozmíchat. Následně byla mícháním vytvořena kaše, kterou bylo zapotřebí prosít přes síto o velikosti ok 0,5 mm a zbavit tak vzorek hrubozrnného materiálu, který by mohl negativně ovlivnit průběh zkoušek. Prosetím přes síto a následným dalším mícháním byla ze vzorku vytvořena homogenní pasta. Takto připravený rekonstituovaný vzorek bylo nutné nechat částečně vyschnout při pokojové teplotě, aby vlhkost vzorku byla přibližně na mezi tekutosti. Pro vytvoření rekonstituovaného vzorku byl použit vzorek s označením S4c. Smykové zkoušky byly provedeny pouze na tomto vzorku, a to jak z časových tak i praktických důvodů. Jedna smyková zkouška může díky době potřebné pro konsolidaci a následnému smykání trvat několik dní až týdnů. Na základě výsledků předchozích laboratorních prací je odebraná zemina tvořena obdobným homogenním materiálem a dá se tak říct, že je tvořena jedním IG typem svahových sedimentů. Vzorek S4c byl vybrán zejména kvůli jeho poloze ve svahu a hloubce, ze které byl odebrán. Tento vzorek byl odebrán ze střední části sesuvu „U Čtrnácti pomocníků“, kde jsou patrné aktivní známky svahových pohybů, z hloubky 1,5 až 2 m.

Kalibrace dynamometrů

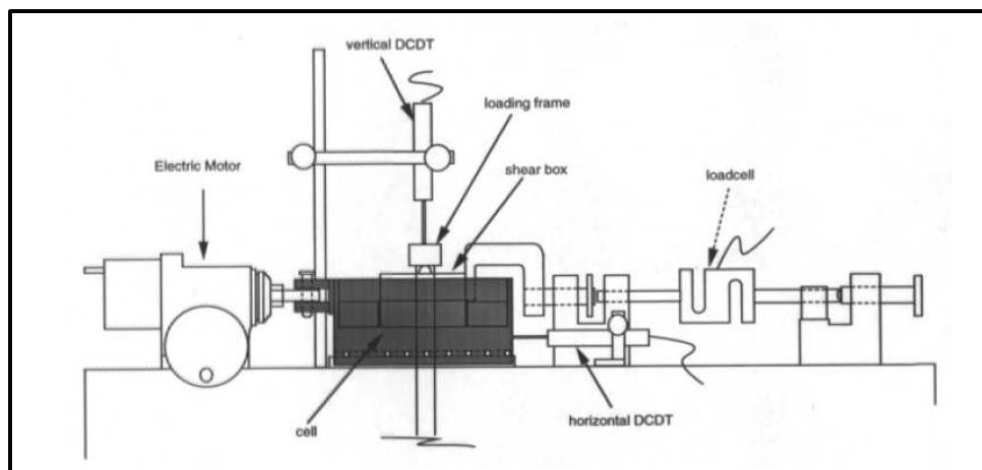
Pro vyhodnocení zkoušek uskutečněných na translačním i rotačním krabicovém přístroji je zapotřebí vždy před nebo po zkoušce provést kalibraci tzv. dynamometrů. Způsob provedení kalibrace platí pro oba krabicové přístroje stejný, rozdíl je pouze v tom, že pro rotační krabicový přístroj je zapotřebí kalibrovat dynamometry dva. Dynamometr je vždy zapotřebí vyjmout ze smykového přístroje, umístit jej na vodorovnou desku a připevnit k němu digitální úchylkoměr, který měří hodnoty deformace. Následně se dynamometr zatěžuje předem stanovenými závažími a průběžně se zaznamenávají hodnoty deformace, ze kterých se vykreslí tzv. kalibrační křivka. Tato křivka je určena rovnicí, pomocí které se přepočítávají hodnoty deformace na hodnoty smykové síly, které jsou dále dosazovány do výpočtů. Kalibrační křivky všech dynamometrů jsou uvedeny v Příloze 5 společně s výsledky ze smykových zkoušek.

4.3.6. Zkouška v translačním smykovém přístroji

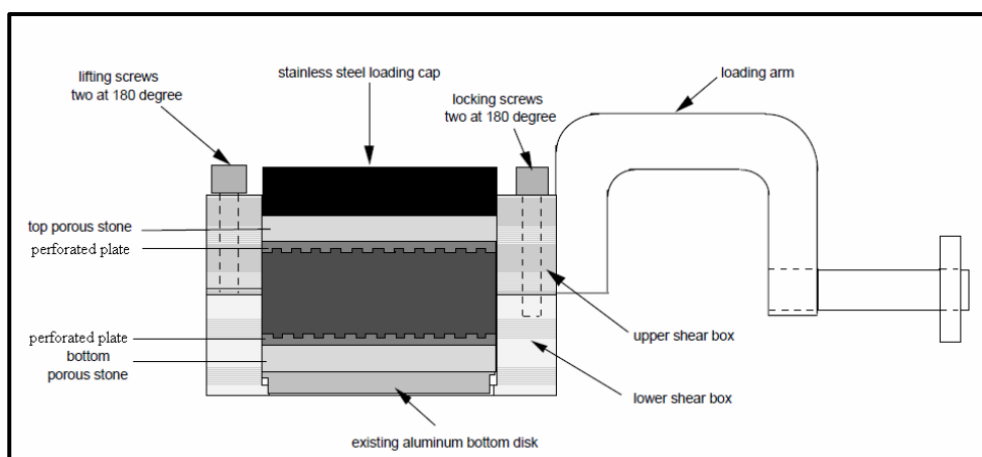
Pro tuto zkoušku byl použit translační krabicový přístroj typu ShearPLEX vyrobený firmou VJ Tech Ltd. pro zjištění kritické pevnosti zkoumané zeminy (obr. 35). Při práci bylo postupováno podle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-10: Krabicová smyková zkouška a dle návodu k přístroji „ShearPLEX user manual“.

Popis translačního smykového přístroje

Translační smykový přístroj ShearPLEX se skládá ze vzorkové krabice, kovové nádoby, pákového systému, počítačem řízeného elektromotoru, dynamometru a třech digitálních úchylkoměrů, pomocí kterých je měřena vertikální deformace, posun a síla (obr.33).



Obr. 33: Schéma translačního přístroje ShearPLEX (ShearPLEX user manual, 2004)



Obr. 34: Schéma uspořádání smykové krabice translačního přístroje ShearPLEX (ShearPLEX user manual, 2004)

Zemina se vkládá do vzorkové krabice tvořené spodní a horní čelistí. Horní čelist je pomocí ramena propojena s dynamometrem, kde je digitálním úchylkoměrem měřena smyková síla. Spodní čelist je naopak dvěma šrouby upevněna v kovové nádobě, která se při zkoušce konstantní rychlostí posouvá působením vestavěného elektromotoru. Posun této části je měřen dalším digitálním úchylkoměrem. Kovová nádoba musí být po celou dobu zkoušky naplněna vodou, aby nedocházelo k vysychání vzorku. Prostor ve smykové krabici určený pro vzorek má tvar válce o výšce 50mm a průměru 60mm. Dle schématu smykové krabice (obr. 34) je nutné do tohoto prostoru osadit také drenážní kovové a porézní destičky, které zajišťují odvodnění během

zkoušky. Mezi kovovou a porézni destičku by měl být vložen filtrační papír, aby se porézni destička zbytečně nezanášela zeminou. Vertikální normálové napětí je zajišťováno pákovým systémem, který pracuje v poměru 1:10. To znamená, že každý kilogram, který je na závěsnou tyč na konci páky přiložen, vyvozuje na vzorek o ploše 28,27 cm² vertikální normálové zatížení o hodnotě 35 kPa. Tím je vzorek vertikálně deformován, což je měřeno třetím úchylkoměrem.

Postup zkoušky v translačním smykovém přístroji

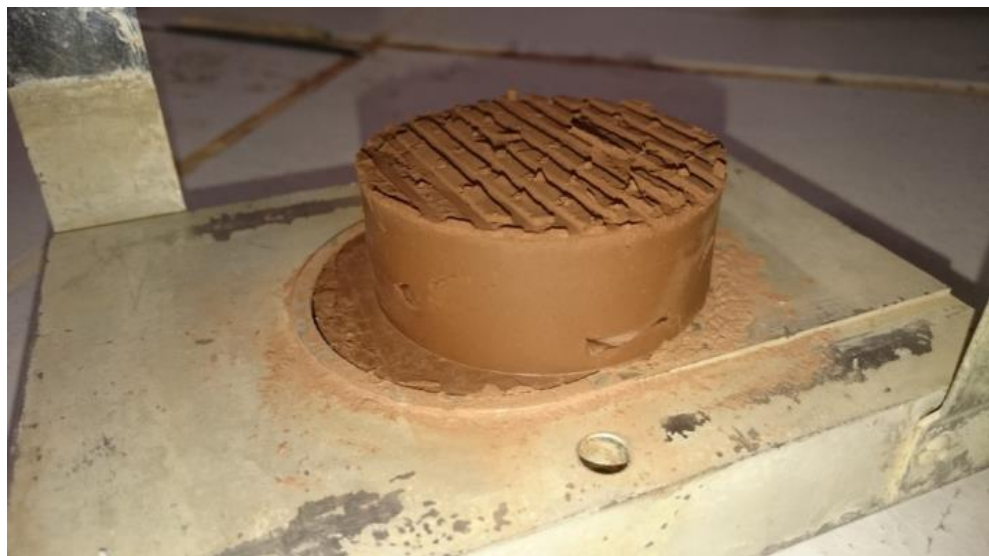
Zkouška v translačním smykovém přístroji probíhá vždy ve dvou fázích, nejdřív je nutné nechat vzorek zkonsolidovat a následně se provede samotná smyková zkouška za působení předem určeného konstantního normálového napětí. V první fázi zkoušky byla spojena spodní a horní část krabice dvěma spojovacími šrouby a obě tyto části byly vloženy do kovové nádoby, kde byla spodní část krabice upevněna dvěma fixačními šrouby. Rameno horní části krabice bylo připevněno k dynamometru. Do prostoru určeného pro vzorek byly vloženy drenážní destičky s filtračním papírem a následně i rekonstituovaný vzorek tak, jak je to zdokumentováno v obrázku 36. Na horní porézni destičku byl přiložen kovový kotouč, do kterého byl následně zapřen pákový mechanismus. Kovová nádoba byla následně zalita vodou, její hladinu bylo zapotřebí udržovat po celý průběh zkoušky. Po přiložení prvního závaží na závěsnou tyč byla zahájena konsolidační fáze. Další zatěžovací kroky byly provedeny vždy po ustálení hodnoty vertikální deformace, aby byla umožněna úplná konsolidace vzorku. Vzhledem k tomu, že se jedná o jemnozrnnou zeminu, závaží byla přikládána v malých krocích, aby nedošlo tak k vytečení materiálu mimo určený prostor. Po posledním zatěžovacím kroku, kdy bylo dosaženo požadovaného normálového napětí, bylo pro úplnou konsolidaci vzorku nutné počkat do ustálení vertikální deformace na konstantní hodnotě. Konsolidační fáze trvala přibližně 3-5 dní, doba se odvíjela od hodnoty požadovaného normálového napětí. Před zahájením druhé fáze zkoušky, tedy samotného smykání, byly nejprve odejmuty oba spojovací šrouby, aby byl umožněn pohyb mezi oběma částmi krabice. Dále byla pomocí čtyř rohových šroubů nastavena výška smykové plochy na cca 0,5 mm. V této chvíli bylo možné spustit smykání konstantní rychlostí 0,002 mm/min. Smykání bylo ukončeno ve chvíli, kdy se hodnota posunu blížila k 10 mm. Fáze smykání tak vždy trvala přibližně 3,5 dne. Na obrázku 37 je zachycen vzorek po usmyknutí a částečném vysušení.



Obr. 36: Translační smykový přístroj ShearPLEX (vlastní dokumentace)



Obr. 35: Smyková krabice před spuštěním konsolidační fáze (vlastní dokumentace)



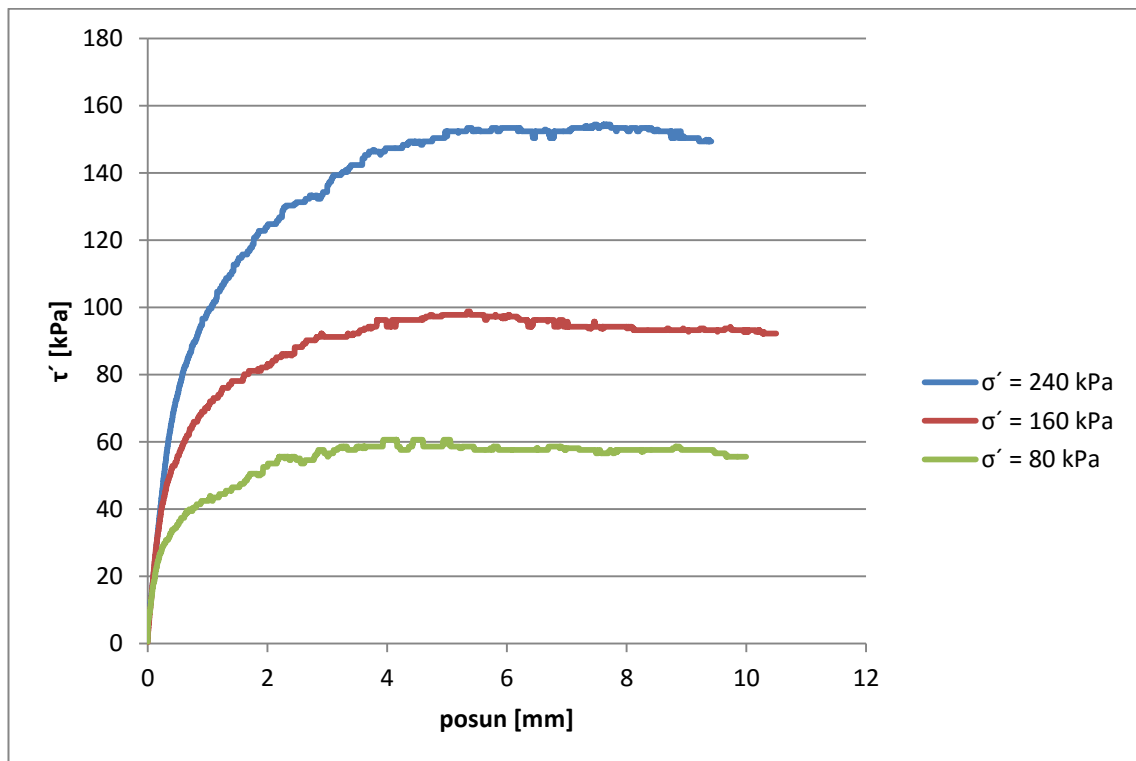
Obr. 37: Vzorek zeminy po smykové zkoušce v translačním smykovém přístroji (vlastní dokumentace)

Vyhodnocení dat ze zkoušky v translačním smykovém přístroji

V translačním smykovém přístroji byly provedeny tři zkoušky na rekonstituovaném vzorku S4c při normálových napětích o hodnotách přibližně 80 a 160 a 240 kPa. Při zkoušce byly zaznamenávány hodnoty ze tří digitálních úchylkoměrů, které měřily posunutí krabice, změnu výšky vzorku a deformaci dynamometru. Dále byl zapisován časový údaj každého odečtu, jehož interval byl nastaven na 60 vteřin. Data byla ukládána ve formátu *txt a následně importována do programu Microsoft Excel, kde probíhalo vyhodnocení zkoušek. Hodnoty deformace dynamometru byly dosazeny do rovnice kalibrační křivky a tím byly získány hodnoty smykové síly (F). V dalším kroku bylo vypočítáno smykové a normálové napětí dle vzorců:

$$\tau = \left(\frac{F}{\pi R^2} \right) \qquad \sigma' = \left(\frac{P}{\pi R^2} \right)$$

kde τ je smykové napětí, σ' je normálové napětí, F je smyková síla vypočítaná pomocí kalibračních křivek, L je vzdálenost mezi rameny, R je poloměr vzorkového prostoru a P je síla působící na plochu mezikruží. Hodnoty vypočítaného smykového napětí a posunu byly ze všech tří měření vyneseny do pracovního diagramu (Graf 1), ze kterého bylo možné určit hodnoty kritických smykových napětí.

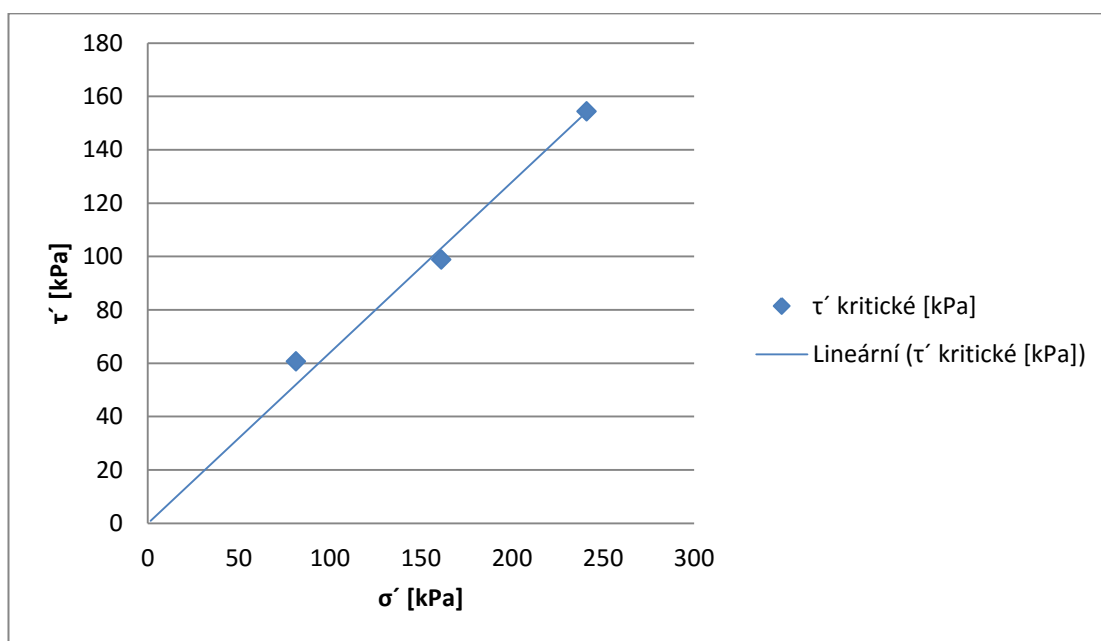


Graf 1: Výsledný graf závislosti smykového napětí τ' na posunutí ze zkoušek v translačním přístroji (vlastní zpracování)

Pro výpočet úhlu vnitřního tření (φ) byl použit vztah:

$$\sin\varphi' = \left(\frac{\tau}{\sigma'}\right)$$

kde τ je smykové napětí, σ je normálové napětí a φ je úhel vnitřního tření. Pro vytvoření grafu 2 závislosti smykového napětí τ na normálovém napětí σ byly použity výsledné hodnoty kritických smykových napětí. Obálka pevnosti byla získána proložením lineární přímky těmito hodnotami a nulou. Výsledky zjištěné zkouškou v rotačním smykovém přístroji jsou uvedeny v Tabulce 3. Průměrná hodnota kritického úhlu vnitřního tření vyšla $33,6^\circ$.



Graf 2: Graf obálky kritické smykové pevnosti ze zkoušek v translačním přístroji (vlastní zpracování)

označení měření	smyk80	smyk160	smyk240
normálové napětí [kPa]	81.54	161.34	241.14
τ' kritické [kPa]	60.63	98.77	154.36
φ' kritický [°]	36.6	31.5	32.6

Tabulka 3: Výsledky ze zkoušky v translačním krabicovém přístroji (vlastní zpracování)

4.3.7. Zkouška v rotačním smykovém přístroji

Druhý typ smykových zkoušek byl proveden na rotačním smykovém přístroji typu Bromhead od firmy Wykeham Farrance Ltd., který se také nachází v laboratoři mechaniky zemin na PřF UK. Při zkoušce jsem postupoval podle normy ČSN CEN ISO/TS 17892-10: Krabicová smyková zkouška a podle návodu, který vytvořil Najser (2004). Rotační smykový přístroj je vhodný pro zjišťování kritické, ale také reziduální pevnosti zemin. Vzhledem k tomu, že vzorek je smýkán v kruhovém pohybu, může docházet oproti translačnímu přístroji k libovolně velkým posunům.

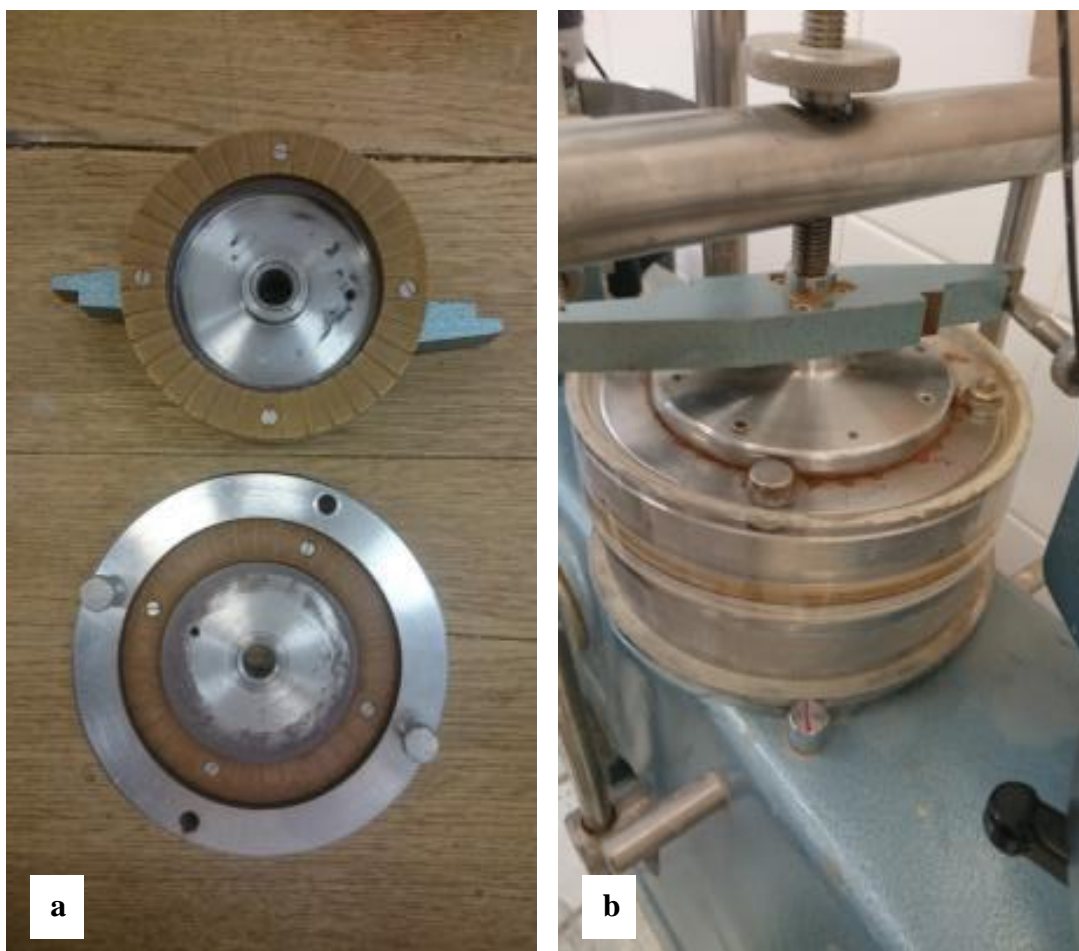


Obr. 38: Rotační smykový přístroj Bromhead (vlastní dokumentace)

Popis rotačního smykového přístroje

Rotační smykový přístroj Bromhead se skládá ze vzorkové krabice, pákového systému, elektromotoru, dvou dynamometrů a třech měřících úchylkoměrů (obr. 38). Vzorková krabice je tvořena dvěma částmi – spodní a vrchní. Ve spodní části se nachází prostor ve tvaru mezikruží, kam se umísťuje vzorek. Vrchní část krabice se tento prostor po nanesení vzorku přiklopí (obr. 39). Mezikruží má vnitřní průměr 70 mm, vnější průměr 100 mm a hloubku 5 mm. Vzorková krabice se vloží do plexisklové nádoby a připevní se zde pomocí dvou zajišťovacích šroubů k rotující desce. Dvě bronzové destičky kruhového tvaru zajišťují odvodnění vzorku během zkoušky. Tyto destičky, jejichž povrch je tvořen radiálními rýhami, jsou v přímém kontaktu se vzorkem. Pákový systém, který vyvíjí na vzorek vertikální normálové napětí, pracuje v poměru 1:10. Vzhledem k ploše vzorku 40 cm² tak 1 kilogram závaží na závěsné tyči způsobí normálové napětí o hodnotě přibližně 25 kPa. Toto napětí způsobuje konsolidaci, během které dochází k vertikální změně objemu vzorku. Tato deformace je měřena jedním z digitálních úchylkoměrů. Pohyb, tedy rotace spodní části vzorkové krabice, je řízena elektromotorem.

Oproti tomu ramena, která jsou zapřena o vrchní část krabice, rotaci zabraňují a vyvolávají tak torzní moment na dynamometry, které se kvůli tomu cíleně deformují. Tato deformace je odečítána z digitálních úchylkoměrů, které jsou k dynamometrům připojeny.



Obr. 39: Vzorová krabice rotačního smykového přístroje: spodní a vrchní část krabice před (a) a při smykové zkoušce (b) (vlastní dokumentace)

Postup zkoušky v rotačním smykovém přístroji

Průběh zkoušky v rotačním smykovém přístroji byl principiálně podobný jako u zkoušky v translačním přístroji. Měření zde je také rozděleno na konsolidační fázi a na fázi smykání. Nejprve byly nasyceny vodou porézní destičky. Dále byl nanesen rekonstituovaný vzorek do spodní části vzorkové krabice, na níž byla vzápětí přiložena vrchní část krabice. Celá soustava pak byla vložena a přišroubována do plexi nádoby na rotačním přístroji. Na smykovou krabici byl instalován pákový mechanismus a zapojen měřící úchylkoměr. Plexi nádoba byla poté zalita vodou, aby nedocházelo k vysychání vzorku. Konsolidační fázi byla prováděna po malých zatěžovacích krocích, aby nedošlo k vytečení materiálu ze vzorkového prostoru. Vzorek byl konsolidován dostatečně dlouho, aby dosáhl úplné konsolidace. Po konsolidaci byly ke vzorkové krabici zapojeny dynamometry podle obrázku 38. Následně bylo spuštěno smykání,

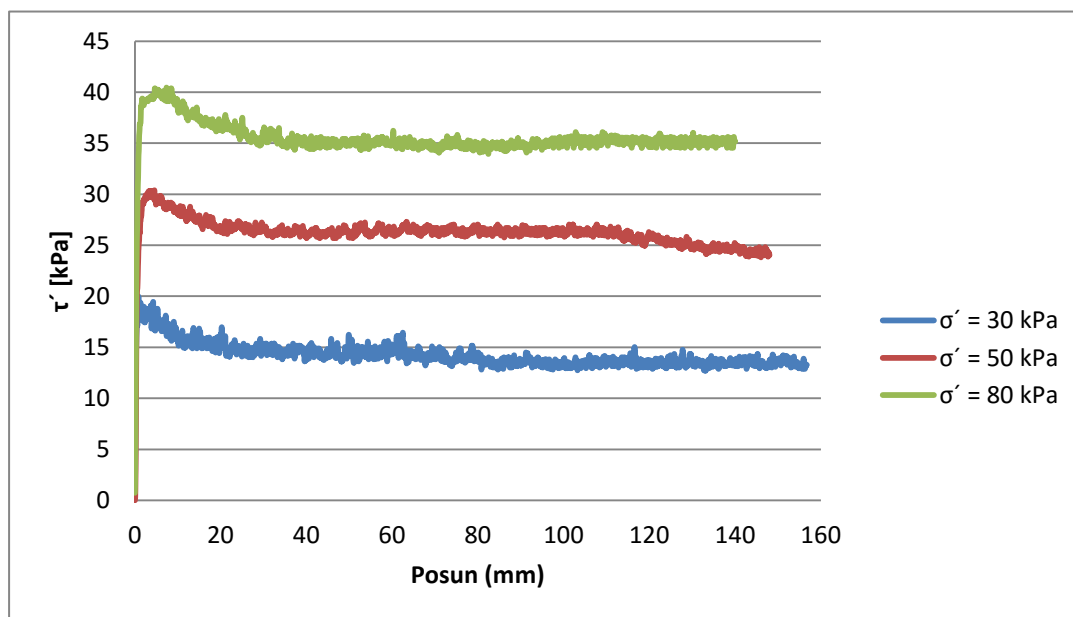
jehož rychlost byla nastavena na hodnotu přibližně 0,036 mm/min, což by měla být dostatečně nízká rychlost na to, aby ve vzorku nedocházelo ke vzniku pórových tlaků. Smykání bylo ukončeno poté, co se smykový odpor ustálil na konstantní hodnotě. Doba jednoho měření trvala včetně konsolidační fáze 3 – 5 dní.

Vyhodnocení dat ze zkoušky v rotačním smykovém přístroji

Na rotačním smykovém přístroji byly provedeny tři měření při normálových napětích o hodnotách přibližně 30, 50 a 80 kPa na jednom vzorku S4c. Při zkoušce byly zaznamenávány hodnoty ze tří digitálních úchytkoměrů, které měřily změnu výšky vzorku a deformaci dvou dynamometrů. Dále byl zapisován časový údaj každého odečtu, jehož interval byl nastaven na 60 vteřin. Hodnoty, které byly naměřeny z obou dynamometrů, byly za použití kalibračních křivek přepočítány na hodnoty smykových sil F_1 a F_2 . Pro výpočet smykového napětí a normálového napětí byly použity vzorce, které uvádí Najser (2004):

$$\tau = \left(\frac{3(F_1 + F_2)L}{4\pi(R_2^3 + R_1^3)} \right) \quad \sigma = \left(\frac{P}{\pi(R_2^2 + R_1^2)} \right)$$

kde τ je smykové napětí, σ je normálové napětí, F_1 a F_2 jsou smykové síly vypočítané pomocí kalibračních křivek, L je vzdálenost mezi rameny, R_1 a R_2 je vnitřní a vnější poloměr vzorkového prostoru a P je síla působící na plochu mezikruží. Výsledná data smykového napětí všech tří měření byla vynesena do pracovních diagramů závislosti smykového napětí na posunu (Graf 3). Z tohoto grafu bylo možné odečíst hodnoty kritického a reziduálního smykového napětí. Najser a Boháč (2005) uvádí, že u zkoušek v rotačním krabicovém přístroji na rekonstituovaném materiálu představuje maximální smykové napětí kritickou pevnost a ustálená hodnota smykového napětí představuje reziduální pevnost.

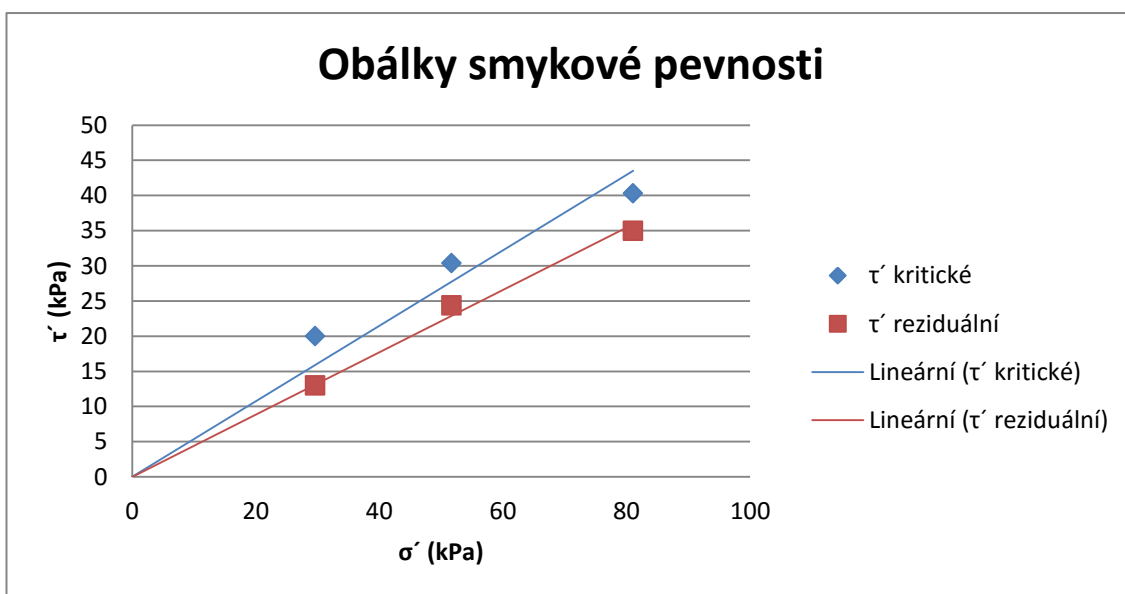


Graf 3: Výsledný graf závislosti smykového napětí na posunutí ze zkoušek v rotačním přístroji (vlastní zpracování)

Pro vyhodnocení kritické a reziduální pevnosti byl použit vzorec:

$$\sin\varphi' = \left(\frac{\tau}{\sigma}\right)$$

kde τ je smykové napětí, σ je normálové napětí a φ je úhel vnitřního tření. Pro vytvoření grafu 4 závislosti smykového napětí τ na normálovém napětí σ byly použity výsledné hodnoty kritických a reziduálních smykových napětí. Obálky pevnosti byly získány proložení lineární přímky těmito hodnotami a nulou. Výsledky zjištěné zkouškou v rotačním smykovém přístroji jsou uvedeny v Tabulce 4. Průměrná hodnota kritického úhlu vnitřního tření je $36,1^\circ$ a reziduálního $26,6^\circ$.



Graf 4: Graf obálky kritické a reziduální smykové pevnosti ze zkoušek v rotačním přístroji (vlastní zpracování)

Označení měření	smyk30	smyk50	smyk80
σ' [kPa]	29.63	51.68	81.07
τ' cr [kPa]	20.00	30.40	40.30
φ' cr [°]	42.45	36.03	29.81
τ' rez [kPa]	13.00	24.40	35.00
φ' rez [°]	26.02	28.18	25.58

Tabulka 4: Výsledky ze zkoušky v rotačním krabicovém přístroji (vlastní zpracování)

4.4. Inženýrskogeologická mapa geomorfologických tvarů

4.4.1. Vymezení mapovaného území

Z kartografického hlediska se zájmové území nachází na mapovém listu 03-41-16 o měřítku 1:10 000, a nebo na čtyřech mapových listech o měřítku 1:5 000 označených jako Vrchlabí 7-6, 7-7, 8-6 a 8-7. Podle ČUZK celá lokalita spadá do katastrálního území Semily (KÚ 747245). Mapované území má rozměry 800 x 950 m a zaujímá plochu přibližně 0,76 km². Okrajové souřadnice mapy geomorfologických tvarů sesuvného území 1:2000 (v souřadném systému S-JTSK) jsou:

$$\text{A) } X = -670550 \quad ; \quad Y = -994600$$

$$\text{B) } X = -669750 \quad ; \quad Y = -994600$$

$$\text{C) } X = -669750 \quad ; \quad Y = -993650$$

$$\text{D) } X = -670550 \quad ; \quad Y = -993650$$

4.4.2. Metodika tvorby mapy

Tvorba IG mapy geomorfologických tvarů sesuvného území jsem se řídil především články „Representation of landslides in engineering geological maps“ od Rybáře (1972) a „Využití LIDARu (DMR 5G) pro přesné vymezení svahových deformací“ od Kycla et al. (2013). Postup mapovacích prací byly převzaty ze směrnice č. 1/1989 o inženýrskogeologickém mapování (Český geologický úřad, 1989). Dle této směrnice by se k mapování mělo přistupovat etapovitě. Finálnímu sestavení mapy tak předcházely nejprve přípravné práce, terénní, technické a nakonec laboratorní práce, které jsou součástí předešlých kapitol.

Pro přesnější zachycení morfologických tvarů terénu byla použita jedna z moderních metod mapování svahových deformací. Jedná se o metodu, při které se využívají výškopisná data z digitálního modelu reliéfu (DMR 5G) k vykreslení svahových deformací ještě před terénním průzkumem. Tato metoda umožňuje komplexní pohled jak na samotná tělesa svahových deformací, tak na jejich přesné začlenění do reliéfu svahu jako celku a celého sesuvného území (Kycl et al., 2013). Dle Kycla et al. (2013) použití této metody při mapování sesuvných lokalit výrazně zjednodušuje práci a zpřesňuje výsledné zákresy. Při mapování svahových deformací se s podkladem DMR 5G, který je sestavený z dat leteckého laserového skenování metodou LiDAR (Light Detection And Ranging), pracuje ve všech fázích mapování, od přípravy přes terénní rekonoskaci až po zpětnou analýzu všech poznatků (Kycl et al., 2013). Interpretace svahových deformací probíhá kamerálním zpracováním dostupných základních údajů o území, jako jsou základní topografická mapa ZM 1 : 10 000 a letecké snímky.

Porovnáním těchto tří vrstev jsou zobrazena tělesa svahových deformací, které jsou následně ověřovány v terénu. Z technického hlediska DMR 5G představuje zobrazení výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti. Pro polohové souřadnice je použit souřadnicový systém S-JTSK / Krovak EN a nadmořské výšky jsou vyjádřeny referenčním systémem Balt po vyrovnání – Bpv (Kycl et al., 2013). Podle Brázdila et al. (2012) má úplná střední chyba výšky v odkrytém terénu hodnotu 0,18 m a v zalesněném 0,3 m. Výraznější odchylky se však mohou vyskytovat v místech, kde byly body uměle vytvořeny interpolací, zejména v lokalitách porostlých hustou souvislou vegetací či v zastavěných oblastech (Brázdil et al. 2012).

4.4.3. Přípravné práce

Mapové podklady, které byly zapotřebí pro vytvoření IG mapy geomorfologických tvarů sesuvného území, byly pro účely zpracování této diplomové práce bezúplatně poskytnuty Českým úřadem zeměměřičským a katastrálním (ČUZK). Podklady byly autorovi zaslány v digitální podobě jak ve formě rastrových tak vektorových map SM5 v měřítku 1:5000. Součástí podkladů byly i datové soubory obsahující výškopisná data DMR 5G ve formátu *.XYZ. Mapové soubory byly zpracovávány v programu Surfer 11, kam byla importována topografická mapa, která byla oříznuta na předem určenou velikost mapovaného území. Takto jsou zpracovány i fotografické mapové podklady tzv. ortofoto mapy. Z těch byly použity aktuální mapy se snímky z roku 2015 od ČUZK, ale i snímky historické z 50. let 20. století z webového portálu CENIA (2012) viz Příloha 10.

Pro vytvoření 3D modelu reliéfu byl v programu Surfer vytvořen nejprve tzv. grid z datového souboru s výškopisnými informacemi DMR 5G. Použita byla jen ta data, která tvoří oblast mapovaného území. Z „gridu“ byla následně vytvořena vrstva s 3D modelem reliéfu, u kterého byl nastaven „spacing“ o hodnotě 0,3, aby byl model dostatečně podrobný. Výpočet 3D modelu vzhledem k požadované podrobnosti trval poměrně dlouho. Do vytvořeného 3D modelu byly pomocí funkce „contour map“ vykresleny vrstevnice. Vzhledem k tomu, že se v programu Surfer pracuje s mapami jako s jednotlivými na sobě nezávislými vrstvami, je možné mapy mezi sebou podle potřeby prokládat. Důležité je také mapy správně rektifikovat. Vytvořený 3D model reliéfu byl proložen topografickou mapou a ortofoto mapou tak, že po jejich částečném zprůhlednění byly zřetelně vidět informace ze všech tří map. Takto zkombinovaná mapa byla exportována a vytištěna jako podkladová pracovní mapa sloužící pro zaznamenávání informací z terénního průzkumu.

Dalším přípravným krokem bylo shromáždění informací o dané lokalitě z dostupných zpráv z Geofondu. Archivní vrty provedené v zájmové lokalitě byly vyhledány pomocí webové mapové aplikace *Vrtná prozkoumanost* a databáze *ASGI* (ČGS, online). Podle uvedené signatury u každého vrtu byly dohledány zprávy o průzkumech provedených v zájmové lokalitě.

Z archivních zpráv případně z databáze ASGI byly zjištěny GPS souřadnice jednotlivých vrtů a vytvořen jejich seznam (Příloha 1). Souřadnice archivních vrtů byly importovány do programu Surfer a pomocí funkce „post map“ byla vytvořena nová vrstva s polohovými údaji archivních dokumentačních bodů. Do této vrstvy byla později zanesena i polohová data vlastních dokumentačních bodů a ručních sond viz Příloha 8.

4.4.4. Terénní mapování

Do předem připravené pracovní mapy byly z terénního průzkumu zaznamenávány veškeré zjištěné údaje, jejichž interpretace se řídí podle Rybáře (1972). Při práci v terénu byla zároveň vedena dokumentace vlastních dokumentačních bodů. Záznam každého vlastního dokumentačního bodu obsahuje vždy označení dokumentačního bodu, souřadnice v S-JTSK a popis daného bodu včetně fotodokumentace. Tato dokumentace je součástí Přílohy 4. Mapování bylo kvůli přístupnosti a zřetelnosti morfologických znaků prováděno v zimním a jarním období, kdy ještě nebyl terén zarostlý vegetací. Během detailního terénního mapování sesuvné lokality byl kladen důraz na dokumentaci morfologických znaků svahových deformací, jako jsou trhliny, poklesy terénu, deprese, nepravidelně zvlněný terén, odlučné stěny či akumulační oblasti. Tyto jevy byly do značné míry zachyceny již v podkladu pracovní mapy díky informacím z DMR. Nicméně v zalesněné části svahu byly zaznamenány morfologické jevy menších rozměrů, které v podkladové mapě nebyly na první pohled patrné. Tato nepřesnost mohla vzniknout právě kvůli výskytu husté vegetace v této oblasti. Dalšími zaznamenávanými údaji byly informace o geologickém prostředí získané z přirozených odkryvů hornin, jako jsou skalní výchozy. Do mapy byly dále zaneseny kromě údajů o povrchové vodě i další projevy výskytu vody na území, jako například prameniště, zamokřená území či jezírka. Pozornost byla věnována i vegetačnímu pokryvu, na kterém bylo možné pozorovat působení svahových pohybů. Dokumentovány byly i porušení budov, které vznikly patrně kvůli interakci s geologickým prostředím. Nové technické práce nebyly při mapování z ekonomických důvodů prováděny.

4.4.5. Zpracování mapy

Posledním krokem při tvorbě IG mapy geomorfologických tvarů sesuvného území bylo grafické zpracování autorského rukopisu mapy a převedení zjištěných údajů z terénu do digitální podoby. Pracovní mapa, do které byly zaznamenávány informace z terénu, byla nejprve ručně překreslena do čisté topografické mapy a následně naskenována, a jako rastrový obrázek importována, do programu BricsCAD. V tomto programu pak byly všechny jevy převedeny do digitální podoby a vytvořena finální podoba inženýrskogeologické mapy geomorfologických tvarů, pro kterou byla vytvořena legenda Příloha 7.

4.5. Inženýrskogeologický model sesuvného svahu

Pro představu o geologické situaci v zájmovém sesuvném území byl autorem této diplomové práce vypracován inženýrskogeologický model sesuvného svahu (Příloha 12). Profil řezu s označením AA' byl určen v SV části svahu u „U Čtrnácti pomocníků“ v oblasti louky. Profil o délce přibližně 390 m byl veden po spádnici směrem od hřebene k úpatí svahu při převýšení přibližně 50 m. Při rozhodování o umístění řezu v zájmovém území bylo bráno v potaz, aby byly zachyceny výskyty aktivních znaků sesouvání, terén byl prostupný a nacházely se v jeho trase archivní vrty.

IG model sesuvného svahu byl zpracován v programu BricsCAD. Data potřebná pro vykreslení geometrie svahu byly získány z výškopisných dat DMR 5G poskytnutého ČUZK. Přesná geometrie podélného řezu byla získána v programu Surfer z mapové vrstvy 3D modelu reliéfu pomocí funkce „Add Profile“. Data s geometrií řezu byla exportována do programu BricsCAD, kde byl IG model zpracováván. Následně byly do řezu vykresleny profily archivních a vlastních sond, které se v blízkosti dráhy profilu AA' nacházely, čímž byla získána bodová informace o skalním podloží. Použity byly údaje z archivní vrtné dokumentace a vlastních ručních sond. Pozice vrtů v profilu byly zjištěny z GPS souřadnic z mapy dokumentačních bodů viz Příloha 8. Do zákresu řezu svahem byl dále importován rastrový podklad s údaji z geofyzikálního odporového měření ERT, díky kterému byla zjištěna kontinuální informace o skalním podloží (Příloha 11). Kombinací těchto dvou zdrojů informací tak bylo možné určit přibližný průběh a hloubku skalního podkladu, protože modelované hodnoty z geofyzikálního měření poměrně dobře korespondovaly s informacemi získanými z vrtů. Tímto krokem bylo potvrzeno, že mocnost kvartérního pokryvu je poměrně malá, a to v řádech jednotek metrů, že narůstá směrem k úpatí svahu a hranice horninového podloží víceméně kopíruje povrch terénu. Informace o hladině podzemní vody ve svahu se mi v oblasti profilu nepodařilo určit ani dohledat. Do IG modelu také byly zaneseny odhady tvarů smykových ploch, které byly vyznačeny červenou přerušovanou čarou.

4.6. Stabilitní výpočty

Účelem této kapitoly je určení stupně stability sesuvného svahu „U Čtrnácti pomocníků“ pomocí numerického modelování. To bylo provedeno v programu Plaxis 2D verze 2016.02, který byl pro účely zpracování této diplomové práce zpřístupněn na PřF UK. V programu Plaxis 2D byly vytvořeny tři modelové situace, které hodnotí stabilitu svahu za různých podmínek. Stabilita byla hodnocena na základě předem zjištěných údajů, jako jsou geometrie svahu, tvar hranice horninového podloží a laboratorně stanovené pevnostní parametry zeminy tvořící kvartérní pokryv svahu. V první modelové situaci A je hodnocen stupeň stability za podmínek, které patrně působí ve svahu při normálních okolnostech, tedy kdy není uvažován vliv podzemní vody. Naopak modelové situace B a C byly vytvořeny pro zjištění stupně stability za nejméně příznivého stavu, který by mohl za daných podmínek nastat. V obou těchto modelech je uvažován plně zvodnělý svah, kdy se hladina podzemní vody nachází při povrchu svahu, čímž dochází k proudění podzemní vody paralelně se svahem. V situaci B je uvažována kritická smyková pevnost zeminy a pro situaci C byla použita reziduální smyková pevnost.

4.6.1. Postup při práci v programu Plaxis

Pro vytvoření modelu bylo nejdříve zapotřebí nastavit geometrii svahu a průběh hranice horninového podloží. Tyto údaje byly převzaty z předešlé kapitoly 4., kde byly zapotřebí k vykreslení geometrie řezu svahem. Vzhledem k tomu, že tyto údaje byly k dispozici ve formátu *TXT, mohly být importovány jako souřadnice bodů x, y do programu Plaxis 2D. Předpokládané smykové plochy nebyly do modelu zanášeny vzhledem k nízké mocnosti kvartérního pokryvu. Pro lepší interpretaci výsledků z numerického modelování byla značná část povrchu terénu upravena do roviny se sklonem 10° , který ale přibližně odpovídá sklonu svahu ve skutečnosti. Tento krok byl učiněn proto, aby se zabránilo vytváření odhadovaných deformací v místech, kde byl sklon terénu jen mírně zvýšený, a nebyla tak hodnocena stabilita pouze dané části svahu se zvýšeným sklonem.

V dalším kroku byly vytvořeny dva polygony, jejichž ohraničení určovala výše zmíněná geometrie svahu a hranice horninového podkladu. První polygon reprezentuje kvartérní pokryv a druhý polygon horninové podloží. Pro oba tyto polygony byly v sekci „*Materials*“ nastaveny charakteristické vlastnosti daného prostředí tzv. geotypy. Zadané parametry pro oba geotypy jsou uvedeny v tabulkách 5 a 6. Pro kvartérní pokryv při výpočtech byl uvažován Mohr-Coulombův model a pro horninový podklad byl uvažován model lineárně elastický, protože v tomto případě byl považován za tuhý a rigidní materiál. Ze zadaných informací mohl být následně vytvořen tzv. „*mesh*“. V dalším kroku byla zadána přítomnost podzemní vody, jejíž hladina byla nastavena souběžně s povrchem terénu. Do výpočtu stupně stability pro situaci A zůstala HPV záměrně neaktivní.

Modelová situace	A	B	C
E [kN/m ²]	5.0E+04	5.0E+04	5.0E+04
v [-]	0.3	0.3	0.3
φ [°]	33	33	25
c [-]	1	1	0
ψ [°]	0	0	0
γ _{unsat} [kN/m ³]	17	17	17
γ _{sat} [kN/m ³]	19	19	19

Tabulka 5: Hodnoty zadaných parametrů pro geotyp 1 (kvartérní pokryv) do výpočtu v programu Plaxis (vlastní zpracování)

E [kN/m ²]	3.0E+07
v [-]	0.1
γ _{unsat} [kN/m ³]	20
γ _{sat} [kN/m ³]	20

Tabulka 6: Hodnoty zadaných parametrů pro geotyp 2 (horninové podloží) do výpočtu v programu Plaxis (vlastní zpracování)

Aby mohla být provedena finální kalkulace, musel být nejprve nastaven způsob výpočtu. V tomto případě, kdy je požadováno pouze stanovení stupně stability jednoho homogenního geotypu (kvartérního pokryvu), stačilo výpočet rozdělit do dvou fází. V první počáteční fázi tzv. „*Initial phase*“ bylo programem počítáno napěťové pole pro zadanou geometrii. Vzhledem k tomu, že zkoumané vrstvy nejsou v horizontální poloze, byl nastaven typ výpočtu „*Gravity loading*“. Ve druhé fázi výpočtu nazvané „*Phase I*“ byl počítán stupeň stability pro daný sklon svahu. Zde musel být nastaven typ výpočtu „*Safety*“, při kterém jsou postupně snižovány hodnoty smykových parametrů až do chvíle, kdy dojde k porušení.

4.6.2. Výsledky stabilitních výpočtů

Stanovením stupně stability v programu Plaxis 2D bylo zjištěno, že pro situaci A, kdy ve svahu není obsažena podzemní voda, se svah nachází v uklidněném tedy stabilním stavu, protože stupeň stability byl programem stanoven na hodnotu 3,783. Tento výpočet podporuje tvrzení starousedlíků, kteří tvrdí, že v suchých obdobích k žádným pohybům ve svahu nedochází. K dramatickému poklesu stupně stability došlo v modelovaných situacích B a C, kdy byl do výpočtů zahrnut vliv podzemí vody. Pro situaci B, kdy bylo počítáno s kritickými smykovými parametry, klesl stupeň stability na hodnotu 1.698. Situace C s uvažovanými reziduálními smykovými parametry vyšla jako nejméně stabilní, protože hodnota stupně stability byla určena 1.14. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 7. Grafické výstupy modelovaných situací s vyobrazením oblastí výskytu potenciálních svahových deformací jsou obsaženy v Příloze 6.

Modelová situace	A	B	C
Stupeň stability	3.783	1.698	1.14

Tabulka 7: Výsledné stupně stability získané pomocí programu Plaxis 2D (vlastní zpracování)

5. Diskuze

5.1. Diskuze výsledků laboratorních prací

Pro laboratorní účely bylo v terénu odebráno sedm vzorků zeminy, na kterých byl proveden zrnitostní rozbor, stanovení konzistenčních mezí a přirozené vlhkosti. Po srovnání laboratorních výsledků určených v této diplomové práci s archivními údaji z geologických průzkumů provedených v minulosti v oblasti zájmové lokality bylo zjištěno, že se zásadně neliší (Tabulka 8). Přirozená vlhkost byla Vybíralem (1996) a Ocmanem et al. (1958) naměřena o několik procent vyšší, což mělo následně vliv i na hodnotu stupně konzistence. Tento rozdíl mohl být způsoben tím, že odběr vzorků v rámci této diplomové práce byl proveden v roce 2015, který byl poměrně suchý. Výsledky této části laboratorních prací by tak měly být podle názoru autora diplomové práce stanoveny správně. Nicméně výsledky z druhé části laboratorních prací, která se skládala ze stanovení smykových parametrů v krabicových přístrojích, vyšly jinak, než autor očekával. Hodnoty smykové pevnosti naměřené při smykových krabicových zkouškách se zdají být vzhledem ke tvaru zrnitostní křivky a poměrně vysokému obsahu jemnozrnných částic vyšší, než tomu bývá u zemin s podobným zrnitostním složením. Bohužel nebyly dohledány výsledky z jiných zdrojů, se kterými by se autorem zjištěné parametry daly porovnat.

	w [%]	w _p [%]	w _L [%]	I _p [%]	I _c
Průměrné hodnoty (tato DP)	20,2	22,3	36,6	14,3	1,18
Vybíral (1996)	22 - 25	19 - 21	33 - 40	12 - 17	0,7 - 1
Ocman et al. (1958)	21 - 23	-	-	-	-

Tabulka 8: Srovnání výsledků z laboratorních zkoušek s archivními údaji (vlastní zpracování)

5.2. Diskuze výsledků stabilitních výpočtů

Výsledky stabilitních výpočtů se ve velké míře odvíjejí od stanovených pevnostních parametrů a hodnoty stupně bezpečnosti tak vyšly poměrně vysoké. Při výpočtech v programu Plaxis byl také uvažován poměrně nízký sklon terénu, který však nemusí platit pro celý svah. Vzhledem k tomu, že výsledky stabilitních výpočtů provedených v programu Plaxis poměrně souhlasily s výsledky stanovenými jednoduchým výpočtem stupně stability ($FS = \frac{tg\alpha}{tg\varphi}$), vypracoval autor tabulku (Tabulka 9), kde bylo počítáno i s vyššími sklony svahu. V případě splnění všech negativně působících podmínek by dle těchto výpočtů došlo k porušení stability při sklonu 13°.

	A (ϕ_{cr})	B ($\phi_{cr} \approx 1/2\phi_{cr}$)	C ($\phi_{rez} \approx 1/2\phi_{rez}$)
FS (Plaxis, $\alpha \approx 10^\circ$)	3.783	1.698	1.14
FS = $\text{tg}\alpha/\text{tg}\phi$ ($\alpha = 10^\circ$)	3.68	1.679	1.257
FS = $\text{tg}\alpha/\text{tg}\phi$ ($\alpha = 13^\circ$)	2.81	1.283	0.96
FS = $\text{tg}\alpha/\text{tg}\phi$ ($\alpha = 15^\circ$)	2.42	1.105	0.827

Tabulka 9: Srovnání stupňů stability pro různé situace (α – sklon svahu) (vlastní zpracování)

5.3. Inženýrskogeologické zhodnocení oblasti

Při hodnocení stability svahu „U Čtrnácti pomocníků“ je nutné si uvědomit, že se celý svah dlouhodobě geologicky vyvíjel a byl ovlivňován přirozenými denudačními procesy. Díky charakteru geologického prostředí a současnému působení klimatických podmínek docházelo ke zvětrávání mateřských hornin na jíly a jílovité hlíny. Kvůli vhodné geologické predispozici, mechanickým vlastnostem pokryvných sedimentů a erozní činnosti Jíloveckého potoka tak v zájmovém území docházelo ke vzniku lokálních sesuvů, které zapříčinily dnešní nepravidelně zvlněný terén. Oblast tak lze považovat za staré sesuvné území, a to z toho důvodu, že znaky sesuvných deformací jsou dnes již ve většině případů zastřeny. Nicméně je díky tomu možné zde předpokládat výskyt starých smykových ploch či zón, na kterých by za vhodných podmínek mohlo dojít k aktivaci nových svahových pohybů. Tato situace pravděpodobně nastala během 20. století ve dvou případech, kdy byla radikálně narušena stabilita svahu vlivem lidské činnosti. Jednalo se zejména o změnu geometrie svahu způsobenou rozsáhlou těžbou cihlářských surovin v JZ části svahu. Vzhledem k tomu, že těžba probíhala ve spodní části svahu, docházelo k sesouvání hmot z horních partií svahu, kde následně vznikla až několik metrů vysoká odlučná hrana. Těžba byla ukončena v 60. letech 20. století a od té doby JZ část svahu zarostla hustým lesem, takže kromě výrazné odlučné oblasti není příliš jasná geneze některých morfologických znaků. Ve druhém případě byla narušena stabilita v SV části svahu, kdy vlivem přeměny původní louky na hospodářsky využívané pole došlo ke změně hydrogeologických poměrů v oblasti, což vedlo ke vzniku aktivních projevů svahových pohybů ve formě zřetelného porušení a poklesu v terénu v horní části svahu, porušení jedné z budov a deformace břehu a vlastního tělesa komunikace vedoucí při úpatí svahu. Pro zlepšení situace byla oblast v 90. letech 20. stol. opět navrácena do původní podoby louky a bylo provedeno preventivní opatření v podobě svedení Jíloveckého potoka do uměle vytvořeného betonového koryta. Vzhledem k tomu, že zmíněné projevy svahových pohybů je možné pozorovat i dnes, bylo úkolem této diplomové práce zjistit současné stabilitní poměry této části svahu.

Na základě výsledků této diplomové práce lze konstatovat, že k přirozené sesuvné události by v této části svahu mohlo dojít pouze za extrémních podmínek, kdy by svah byl dlouhodobě plně zvodněn, čímž by byla výrazně snížena jeho stabilita. Že sesuv reaguje na zvýšení obsahu vody ve svahu, dokazuje fakt, že v jarním období, kdy je sesuv výrazně dotován vodou, dochází k porušování břehu Cihlářské ulice a nahrnování materiálu na vozovku.

K vyvolání sesuvu většího rozsahu by tak mohlo dojít teoreticky jen v období jarního tání po dlouhé a mrazivé zimě bohaté na sněhové srážky ve spojení s dlouhodobými jarními dešti. Pravděpodobně by pak došlo k lokálnímu sesuvu po některé ze starých smykových ploch, kde by se dala očekávat reziduální smyková pevnost. Zároveň by velmi záleželo na sklonu terénu v daném místě, který by musel být větší než 13° . Za současných podmínek, kdy nebyla stanovena hladina podzemní vody, lze sesuvné území s přihlédnutím na poměrně vysoké smykové parametry zeminy tvořící kvartérní pokryv hodnotit jako dočasně uklidněné.

Vzhledem k tomu, že v minulosti docházelo k podstatnému ovlivňování stabilitních poměrů zájmového území lidskou činností, je vhodné uvést i tyto faktory, které by mohly mít vliv na snižování stability tohoto sesuvného území. Při terénním mapování byly zjištěny případy nevhodného odvodňování srážkových vod z budov nad odlučnou stěnou, přitěžování horních partií svahu navážkami či odstraňování nasunutého materiálu při patě svahu. Díky těmto faktorům by pak v kombinaci s negativním vlivem klimatických podmínek mohl sesuvnou událost vyvolat například nevhodně provedený výkop nebo nadměrné zatížení v horních částech sesuvu. Jakákoliv činnost spojená s úpravami tohoto svahu by tak měla být prováděna velmi opatrně a v nejlepším případě konzultována s odborníkem. V případě, že by území mělo být zastavěno, nemělo by k tomu dojít bez podrobného IG průzkumu, který by jednoznačně určil, jaká opatření by byla pro konkrétní případ nejvhodnější.

5.4. Vyplyvající doporučení a návrhy opatření

S přihlédnutím na zjištěné výsledky z předchozích kapitol této diplomové práce budou uvedena doporučení, která by měla být při práci na tomto sesuvném území respektována. Dle názoru autora této DP by mělo v první řadě dojít k zamezení dalšího hromadění stavebních sutí v horní partii svahu, protože by tím mohlo dojít k destabilizaci svahu. Dále by bylo vhodné omezit odkopávání hromadícího se materiálu v oblasti Cihlářské ulice při patě svahu a tento problém se snažit konzultovat s odborníkem, který by pro tento konkrétní případ mohl najít dlouhodobější a účinnější řešení. Věnovat pozornost by se mělo i odvádění dešťových srážek a způsobu jejich zasakování do svahu, a to zejména u budov nacházejících se v horních partiích svahu v okolí Horákovy ulice, kde bylo zpozorováno odvádění těchto vod do odlučné oblasti sesuvného území. Srážkové vody by měly být odváděny mimo sesuvné území, nejlépe do obecní kanalizace. Louka, která tvoří SV část sesuvného území, by měla být nadále udržována způsobem, jakým je to prováděno do teď, aby nedocházelo k zarůstání svahu a případné změně v HG režimu.

Vzhledem k tomu, že za současných podmínek nedochází k dramatickým pohybům pokryvných útvarů a patrně ani nehrozí bezprostřední nebezpečí vzniku nové sesuvné události, doporučil bych zavedení IG monitoringu a sesuv nechal sledovat v dlouhodobém měřítku.

Zároveň by bylo vhodně vybudovat systém několika HG vrtů, pomocí kterých by se zjistila HPV, jejíž úroveň by se zároveň průběžně pozorovala. Účelné by také mohlo provedení inklinometrického měření. Nákladnější způsob zajištění svahu v podobě odvodnění drenážními žebry a rýhami či zavedením tuhých konstrukcí bych volil v případě, že by se měl v sesuvném území uskutečnit nějaký výraznější zásah do svahu například při nové zástavbě, a to na základě podrobného IG průzkumu zhotoveného pro konkrétní situaci.

6. Závěr

V diplomové práci byly hodnoceny stabilitní poměry svahu „U Čtrnácti pomocníků“ souborem odborných činností zaměřených na pochopení geologické situace. V první části této diplomové práce zaměřené na teorii jsem provedl rešerši odborné literatury zabývající se problematikou svahových pohybů. V rámci této kapitoly byla zpracována i rešerše publikací a archivních zpráv týkajících se přírodních poměrů v oblasti Semilská.

V praktické části jsem se zabýval analýzou stabilitních poměrů zmíněného svahu. Tato část se opírala o obecné postupy při řešení stabilizace sesuvných svahů, které se užívají v rámci inženýrskogeologického průzkumu. V první řadě jsem vymezil zájmovou lokalitu a dohledal veškeré dostupné archivní údaje o zájmovém území v Geofondu ČR. Dále jsem provedl inženýrskogeologické mapování, jehož výstupem je Inženýrskogeologická mapa geomorfologických tvarů v měřítku 1:2000. V rámci mapování jsem využil i nové metody, při kterých jsou do podkladových map zanesena výškopisná data z digitálního modelu reliéfu 5. generace, která mi poskytl Český úřad zeměměřičský a katastrální pro účely vypracování této práce. Během mapování jsem vedl záznam vlastních dokumentačních bodů včetně fotodokumentace. Z technických prací jsem provedl čtyři ruční vrtané sondy, během kterých jsem odebral potřebné vzorky pro laboratorní stanovování mechanických vlastností daných zemín. Z terénních prací jsem provedl i geofyzikální měření, díky kterému jsem vytvořil geofyzikální řez, abych zjistil kontinuální informaci o geologickém podloží zájmové lokality. Na základě těchto poznatků jsem stanovil Inženýrskogeologický model sesuvného svahu v měřítku 1:1200. V rámci provedených laboratorních prací jsem stanovil na sedmi vzorcích zemín přirozenou vlhkost, zrnitost a konzistenční meze, na základě kterých jsem je dle platných geotechnických norem pojmenoval a zařídil. Na jednom vybraném vzorku jsem provedl zkoušky v translačním a rotačním krabicovém přístroji pro stanovení smykových parametrů zeminy. Ty jsem následně použil do stabilitních výpočtů v programu Plaxis.

V poslední části diplomové práce jsem provedl diskuzi zjištěných výsledků a z inženýrskogeologického hlediska jsem zhodnotil stabilitní poměry daného území. Uvedl jsem zde také doporučení dalšího postupu pro řešení této sesuvné lokality. Cíl práce jsem tak vzhledem ke zjištěným výsledkům splnil.

7. Seznam použité literatury

Prameny

Český geologický úřad, 1989. Směrnice č. 1/1989 o inženýrskogeologickém mapování, Praha.

Monografie

ATKINSON, J. H., 1993. *Introduction to the Mechanics of Soils and Foundations*. Maidenhead: McGraw-Hill Book Company Europe, 256-274 s. ISBN 0-07-707713-x.

DEMEK, J., MACKOVIČ, P., 2006. *Zeměpisný lexikon ČSR - Hory a nížiny*, AOPK ČR, Brno, 580 s.

GLADE, T., ANDERSON, M. a CROZIER, M. J., 2005. *Landslide Hazard and Risk*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 801 s. ISBN 0-471-48663-9.

HOLUB, V., 2001. *Geologie a ložiska svrchnopaleozoických limnických páneví České republiky*. Vyd. 1., Praha, Český geologický ústav, 243 s., ISBN 8070754702.

CHLUPÁČ, I., BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA, J. et. al. 2011. *Geologická minulost České republiky*. Vyd. 2., opr. Praha, Academia, 436 s., ISBN 9788020019615.

MATULA, M., PAŠEK, J., 1986. *Regionálna inžinierska geológia ČSSR: celoštátna vysokoškolská učebnica pre prírodovedcké fakulty vysokých škôl*. Bratislava: Alfa, 296 s.

MÍSAŘ, Z., DUDEK, A., HAVLENA, V. et. al. 1983. *Geologie ČSSR I: Český masív*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 333 s.

ONDRÁŠIK, R. a RYBÁŘ, J., 1991. *Dynamická inžinierska geológia: Vysokoškolská učebnica pre Prírodovedckú fakultu Univerzity Komenského*. 1. vyd. Bratislava: Slov. pedagog. nakl., 267 s. ISBN 80-080-0366-9.

TURČEK, P., 2005. *Zakládání staveb*. Bratislava: Jaga. ISBN 80-8076-023-3.

PAŠEK, J. a MATULA, M., 1995. *Inženýrská geologie: Česká matice technická*. Praha. 610 s.

Periodika

CHLUPÁČ, I., ŠTORCH, P., 1992. „Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky“. *Časopis Mineral. Geol.* roč. 37, č. 4, 258-275 s.

KREJČÍ, O., KREJČÍ V., KYNCL, P. a ŠIKULA, J., 2014. „Svahové nestability a jejich dopady na krajinu a společnost“. In: *Vesmír 93*, září 2014. 510 s., Dostupé z: <http://www.vesmir.cz>

RYBÁŘ, J., 2004. „Sesuvy a jiné nebezpečné svahové pohyby na území České republiky“. *Československý časopis pro fyziku*, roč. 54, -, 254-257 s. ISSN 0009-0700.

RYBÁŘ J., NOVOTNÝ, J., 2005. „Vliv klimatogenních faktorů na stabilitu přirozených a antropogenních svahů“. *Zpravodaj Hnědé uhlí*, č. 3, 13-28 s. ISSN 1211-0655.

QUITT, E., 1971. „Klimatické oblasti Československa“. Academia: *Studia Geographica* 16, GÚ ČSAV v Brně, 73 s.

Ostatní

BRÁZDIL, BELKA K., DUŠÁNEK L. et al. 2012. *Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G)* [online] [cit. 2015-07-10]. Pardubice: Zeměměřičský úřad, Vojenský geografický a Hydrometeorologický úřad. Dostupné z: http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf

- ČEJKA, J., PEKO, M., 2012. *II/289 Semily, sesuv silničního tělesa*. Inženýrskogeologický průzkum, závěrečná zpráva. SUDOP Pardubice, s.r.o., Praha: MS Geofond (P 135508).
- FIEDLER, J., 2003. *Využitelná vydatnost vrtu na parcele RD v Benešovské ul., Semily, hydrogeologický posudek*. AQUATEST - Stavební geologie a.s., Praha: MS Geofond (P 106281).
- HIGHLAND, L. a BOBROWSKY, P., 2008. *The landslide handbook: A guide to understanding landslides* [online][cit. 2012-08-14]. Reston: U.S. Geological Survey, 129 s. Dostupné z: http://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf
- HUDEC, L., KNAPOVÁ A., 1984. *Sanace a rekonstrukce silnice II/292, stavba C.III za nemocnicí*. Podrobný inženýrskogeologický průzkum, Rudný projekt Košice, Praha: MS Geofond (P 051432).
- KYCL, P. a L. VALIGURSKÝ, 2001. *Svahové deformace v České republice: Přehled svahových deformací vzniklých a dokumentovaných v letech 1997-2001 na okresech Liberec, Jablonec nad Nisou, Semily, Trutnov, Náchod, Rychnov nad Kněžnou, Ústí nad Orlicí*. Praha: MS Geofond (P 104804/1), 80 s.
- KYCL, P., MALÍK J. a KREJČÍ O., 2013. *Využití LIDARu (DMR 5G) pro přesné vymezení svahových deformací*. ČGS.
- NAJSER J., 2004. *Použití rotačního smykového přístroje a reziduální pevnost zemin*. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 69 s.
- NAJSER J. a BOHÁČ J., 2005. „Pevnost zemin v kritickém stavu v torzním krabicovém přístroji“. In: *Sborník příspěvků 33. Konference Zakládání staveb Brno*, 37-42 s.
- NEMČOK, A., PAŠEK, J. a RYBÁŘ, J., 1974. „Dělení svahových pohybů“. In: *Sborník geologických věd: Hydrogeologie*. Praha, 77-97 s.
- OCMAN, P., PUCHTA, J., STÁHALÍK, J., TYLOVÁ, V., 1958. *Průzkum cihlářských surovin 1958 – Semily*. Geologický průzkum Praha, Kutná Hora: MS Geofond (FZ 002793).
- PROUZA V., COUBAL M. a ADAMOVIČ J., 2013. „Problematika jihovýchodního pokračování lužického zlomu v západním Podkrkonoší“. In: *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2013: Geoscience research reports for 2013*. Praha: Nakladatelství Československé akademie věd, 59-62 s. ISBN 978-80-7075-843-4.
- PROUZA, V., 2009. Geologická mapa 1 : 25 000, list 03-413, Semily. Praha. ČGS.
- RYBÁŘ J., 1972. *Representation of landslides in engineering geological maps*, Československá akademie věd, 15-21 s.
- RYBÁŘ, J., PAŠEK, J., 1975. *Sesuv železničního násypu v Košťálově*. Zpráva o inženýrskogeologickém výzkumu, Geologický ústav Československé akademie věd, Praha: MS Geofond (P 024720).
- RYBÁŘ, J., 2007. „Vliv klimatu na vývoj různých typů svahových pohybů“. In: *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2006*. Praha: Česká geologická služba, 90-92 s. ISBN 978-80-7075-689-0.
- ShearPLEX User Manual, 2004. ShearPLEX User Manual. VJT 2700. VJ Tech Ltd, 17. s
- SVOBODA, 1973. *Inženýrskogeologická mapa města Semily a blízkého okolí - geologická zpráva*. Stavoprojekt. Praha: MS Geofond (P 023961).
- SÝKORA, L. 1961. *Fytoindikace sesuvných území v ČSSR*. Praha: Nakladatelství ČSAV. Rozpravy Československé akademie věd, roč. 71, sešit 10, 61 s.
- TOMSKÝ J., 1962. *Semily - sklad Tofy*. Posouzení stavebně-geologických poměrů, Stavoprojekt, Hradec Králové, Praha: MS Geofond (V 048556).

TRENDA, P., 1989. *Závěrečná zpráva inženýrskogeologického průzkumu: Semily - Na Hlinách*. Praha: MS Geofond (P096729), 10 s., 10 příl.

VYBÍRAL, R., 1996. *Semily, Cihlářská ulice*. Inženýrskogeologický průzkum. GIS Liberec, Praha: MS Geofond (P 088542), 13 s.

VYBÍRAL, R., 2000. *Semily, pozemky nad Cihlářskou ulicí*. Inženýrskogeologický průzkum. GIS Liberec, Praha: MS Geofond (P 098681).

ZÁRUBA, Q., MENCL, V., 1987. *Sesuvy a zabezpečování svahů. 2. přepracované a doplněné vydání*. Praha, Academia: Československá akademie věd.

Webové stránky

CENIA. Česká informační agentura životního prostředí. <http://kontaminace.cenia.cz/>

ČGS: Geologická mapa 1:25000 – mapová aplikace. http://mapy.geology.cz/geocr_25/

ČGS: Geologický mapový server.

http://www.geofond.cz/mapsphere/MapWin.aspx?M_WizID=24&M_Site=geofond&M_Lang=cs

ČGS: Hydrogeologická rajonizace – mapová aplikace. http://mapy.geology.cz/hydro_rajony/

ČGS: Surovinový informační systém – mapová

aplikace. <http://mapy.geology.cz/GISViewer/?mapProjectId=5>

ČGS: Svahové nestability – mapová aplikace. http://mapy.geology.cz/svahove_nestability/

Databáze svahových nestabilit České geologické služby. <http://www.geology.cz/>

Geologické a geovědní mapy – mapová aplikace. <http://www.geologicke-mapy.cz>

Geoportál Libereckého kraje. <http://geoportal.kraj-lbc.cz/mapovy-prohlizec>

GF Instruments: Geophysical Equipment and Service. <http://www.gfinstruments.cz/>

HEIS VÚV. Výzkumný ústav vodohodpodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce. <http://www.heisvuv.cz>

Ministerstvo životního prostředí, 2006. Vzorkovací práce v sanační geologii. Metodický pokyn MŽP. Dostupné z:

[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/Vzorkov%C3%A1n%C3%AD%20v%20san.geol.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/Vzorkov%C3%A1n%C3%AD%20v%20san.geol.pdf)

SurIS (ČGS). Surovinový informační systém.

<http://mapy.geology.cz/GISViewer/?mapProjectId=5>

Wikipedia. <https://www.wikipedia.org/>

Normy

ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací, Český normalizační úřad, 2010

ČSN CEN ISO/TS 17892 – 10 (72 1007): *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 10: Krabicová smyková zkouška*, Český normalizační úřad, 2005.

ČSN CEN ISO/TS 17892 – 6 (72 1007): *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 6: Kuželová zkouška*, Český normalizační úřad 2005.

ČSN CEN ISO/TS 17892-1 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 1: Stanovení vlhkosti zemin*, Český normalizační úřad, 2005

ČSN CEN ISO/TS 17892-4 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 4: Stanovení zrnitosti zemin*, Český normalizační úřad, 2005

ČSN CEN ISO/TS 17892-4 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 12: Stanovení konzistenčních mezí*, Český normalizační úřad, 2005

ČSN EN ISO 14688-1 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídování zemin – Část 1: pojmenování a popis*, Český normalizační úřad, 2003

ČSN EN ISO 14688-2 *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařídování zemin – Část 2: Zásady pro zařídování*, Český normalizační úřad, 2005