

**UNIVERZITA KARLOVA  
PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA**

Studijní program: Geologie  
Studijní obor: Aplikovaná geologie



Bc. Alexandr Fedosov

**Inženýrskogeologická analýza sesuvu u Třebenic**

*Engineering geological analysis of the landslide near Třebenice*

Diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Jan Jerman, M.Sc., Ph.D.

Praha 2025

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 18.7.2025

## Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Mgr. Janu Jermanovi, Ph.D. za jeho trpělivost během konzultací, čas a cenné rady. Také bych chtěl poděkovat pracovníkům Ústavu struktury a mechaniky hornin za pomoc při terénních pracích. Na závěr bych chtěl poděkovat Markétě Umláškové za její podporu a trpělivost během psaní této práce.

## Abstrakt

Tato práce se zabývá analýzou svahové deformace u města Třebenice v Ústeckém kraji. Zájmové území patří mezi dlouhodobě známé a zkoumané, zejména díky deformacím způsobených na železniční trati a silnici druhé třídy, které sesuvným územím procházejí. Sesuvná oblast leží na březenském souvrství české křídové pánve a je ovlivněna blízkým neovulkanitem Velká kozí horka, který leží v blízkosti sesuvné oblasti. Za posledních sto let bylo dokumentována řada sesuvů, které poškodily zmíněnou železnici a silnici. Reakcí na tyto sesuvy bylo provedení několika sanací za účelem snížení hladiny podzemní vody a stabilizování sesuvu pomocí pilotových stěn. Dnes je sesuv stále aktivní s naměřenými pohyby cca 1 - 3 cm/rok. Součástí analýzy sesuvné oblasti jsou archivní rešerše sesuvu, analýza zdokumentovaných sesuvných událostí, provedení průzkumného vrtu a kopané sondy, odebrání vzorku a provedení laboratorních měření, jako je analýza konzistenčních mezí, triaxiální smyková zkouška a rotační smyková zkouška. Dále je cílem vypracování inženýrskogeologického modelu a provedení stabilitní analýzy sesuvné oblasti. Výsledkem analýzy bylo potvrzení o výskytu smykových ploch v hloubkách 10 m a aktivování reziduální pevnosti ve vrstvě zvětralých slínovců. Dále byly v sesuvné oblasti nalezeny dva typy planárně rotačních smykových ploch a to mělké pohyby deluviálních sedimentů po zvětralých slínovcích a hluboké pohyby zvětralých slínovců s aktivovanou reziduální pevností podél navětralých slínovců.

## Abstract

This thesis deals with the analysis of slope deformation near the town of Třebenice in the Ústí nad Labem region. The area of interest is one of the long known and studied ones, especially due to the deformations caused by the railway line and the second class road, which pass through the landslide area. The landslide area is located on the Marche Formation of the Bohemian Cretaceous Basin and is influenced by the nearby Velká kozí horka neovolcanite, which lies close to the landslide area. A number of landslides have been documented over the last hundred years, damaging the aforementioned railway and road. In response to these landslides, several remediations have been undertaken to lower the water table and stabilize the landslide with pile walls. Today, the landslide is still active with measured movements of approximately 1-3 cm/year. The analysis of the landslide area includes an archival search of the landslide, analysis of documented landslide events, drilling of an exploratory borehole and trench probe, sampling, and performance of laboratory measurements such as consistency limit analysis, triaxial shear test, and rotational shear test. In addition, the objective is to develop an engineering geological model and perform a stability analysis of the landslide area. As a result of the analysis, shear areas at 10 m depths were confirmed and residual strength was activated in the weathered claystone layer. In addition, two types of planar rotational shear surfaces were found in the landslide area, namely shallow movements of the deluvial sediments along the weathered claystones and deep movements of the weathered claystones with activated residual strength along the weathered claystones.

# Obsah

## Obsah

1. Úvod.....	1
2. Širší popis zájmové oblasti .....	2
2.1 Geomorfologické a klimatické poměry.....	2
2.2 Geologické poměry .....	4
2.2.1 Česká křídlová pánev .....	4
2.2.2 České středohoří .....	6
2.3 Hydrogeologické a hydrologické poměry.....	7
2.4 Geodynamické poměry .....	9
3. Analýza sesuvného území Třebenice .....	12
3.1 Archivní rešerše .....	12
3.2 Historie sesuvu .....	18
3.2.1 Sesuv 1970 .....	18
3.2.2 Sesuv 1981 .....	19
3.3 Měření na sesuvu v současnosti .....	22
4. Metodologie provedených prací.....	25
4.1 Vrtné práce pro získání vzorku zeminy .....	25
4.2 Příprava rekonstituovaného vzorku .....	28
4.3 Stanovení vlhkosti.....	29
4.4 Atterbergovy meze.....	29
4.5 Triaxiální smyková zkouška .....	30
4.6 Rotačně smyková zkouška .....	34
5. Vyhodnocení laboratorních zkoušek.....	37
5.1 Atterbergovy meze.....	37
5.2 Triaxiální zkouška .....	37
5.3 Rotační smyková zkouška .....	39
5.3.1 Zkouška č. 1 .....	39
5.3.2 Zkouška č. 2 .....	40
5.4 Shrnutí naměřených výsledků .....	42
6. IG zhodnocení sesuvu Třebenice .....	42
6.1 Výsledky inženýrskogeologického průzkumu .....	42
6.2 Vymezení geotypů v sesuvném území.....	43
6.2 Geologické řezy .....	47

6.3 Porovnání výsledků s rešerší .....	49
7. Výpočet stability svahu Třebenice .....	50
7.1 Stabilitní analýza řez A.....	51
7.2 Stabilitní analýza řez B.....	53
7.3 Shrnutí stabilitní analýzy .....	55
8. Závěr .....	56
9. Citace .....	58
10. Přílohy .....	61

# 1. Úvod

Svahové pohyby mohou mít za následek ničivé škody v podstatě na jakékoliv stavbě. Sesuvná oblast u Třebenic je předmětem této diplomové práce právě z tohoto důvodu, jelikož dlouhodobě deformuje železniční trať Čížkovice - Obrnice a silnici druhé třídy propojující obec Dlažkovice a město Třebenice. Tato oblast leží na březenském souvrství české křídové pánve a je ovlivněna blízkým neovulkanitem Velká kozí horka, který leží severně necelých sto metrů od sesuvné oblasti. Březenské souvrství bývá často náchylné na sesouvání, dokumentovány jsou případy na několika lokalitách, jako např. sesuvná území, Dubičná, Březno a Prackovice. Součástí této práce bude porovnání s naměřenými hodnotami v těchto zmíněných lokalitách.

První zmínky o sesuvu u Třebenic jsou v mapách od autora I. E. Hubsche roku 1916/1917, kde pravděpodobně jako první označil oblast za sesuvnou. V období 1938 - 1939 jsou dokumentovány výpovědi trať mistrů o vlnění koleje. Následně v roce 1970 a 1981 jsou zaznamenány větší sesuvy, které vyřadily provoz trati na několik týdnů. Reakcí na tyto sesuvy bylo vybudování sanačních opatření v podobě stabilizačních pilotových stěn, trvalé snižování hladiny podzemní vody a odtěžení části horní partie svahu, která byla následně deponována v patní části svahu. I přes tuto značnou a dlouhodobou aktivitu nebyl pro oblast vytvořen detailní inženýrskogeologický řez. Taky nebyly provedeny laboratorní zkoušky pevnostních charakteristik v triaxiálním a rotačním smykovém přístroji.

Dnes je sesuv nadále předmětem studií a analýz. I po řadě sanací je na sesuvu naměřen pohyb v rámci 1-3 cm/rok a i dnes lze pozorovat deformace zejména na silnici druhé třídy. Studie provedené na lokalitě v rámci měření Ústavu struktury a mechaniky hornin (ÚSMH) predikují smykové plochy mělké (1-3 m) a hlubší (10-12 m). Tyto hodnoty byly naměřené elektrickou odporovou tomografií (ERT) a inklinometrickým měřením ve vrtu. Všechna zmíněná měření na sesuvné oblasti jsou v této práci detailně popsána.

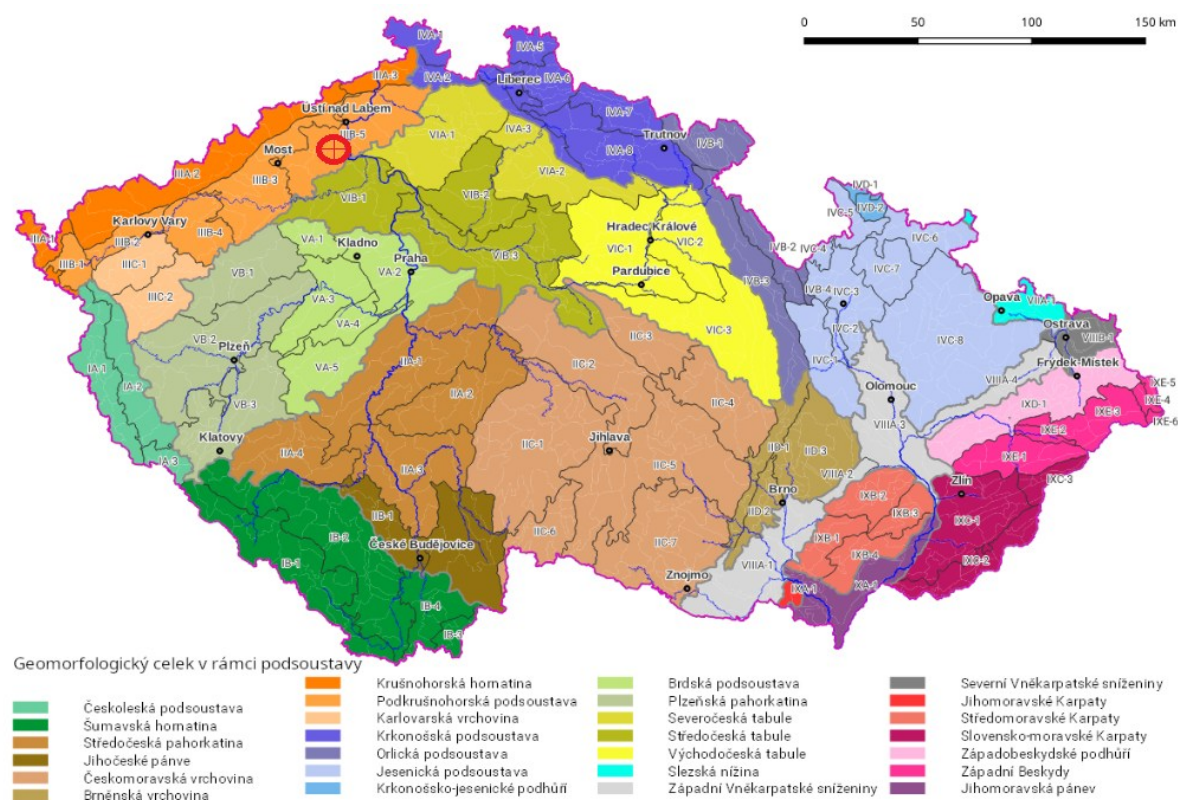
Cílem této práce je tedy provést inženýrskogeologický průzkum, do kterého spadá rešerše sesuvné oblasti z archivních zpráv, analýza zdokumentovaných sesuvných událostí a popis provedených sanačních opatření na lokalitě. Dále se v práci řeší provedení vrtného průzkumu, popis vrtu a popis kopané sondy v místě sesouvání. Dále se řeší odběr vzorku a následné provedení laboratorních zkoušek, jako je analýza konzistenčních mezí, triaxiální smyková zkouška a rotační smyková zkouška. Dále je cílem práce vytvořit inženýrskogeologický model v podobě IG řezů reprezentující současnou geometrii svahu, a na závěr provést stabilitní zhodnocení těchto vytvořených řezů.

## 2. Širší popis zájmové oblasti

V této kapitole se věnuji rešerši zájmové oblasti v rámci širšího hlediska. Popisuje zde základní geologické, geomorfologické, klimatické a hydrogeologické poměry zájmové oblasti. Zájmová oblast leží zhruba 1 kilometr jihozápadně od města Třebenice v Ústeckém kraji. Zhruba 800 metrů jihozápadně od zájmové oblasti se také nachází obec Dlažkovice, ve které se nachází srážkoměrná stanice ČHMÚ.

### 2.1 Geomorfologické a klimatické poměry

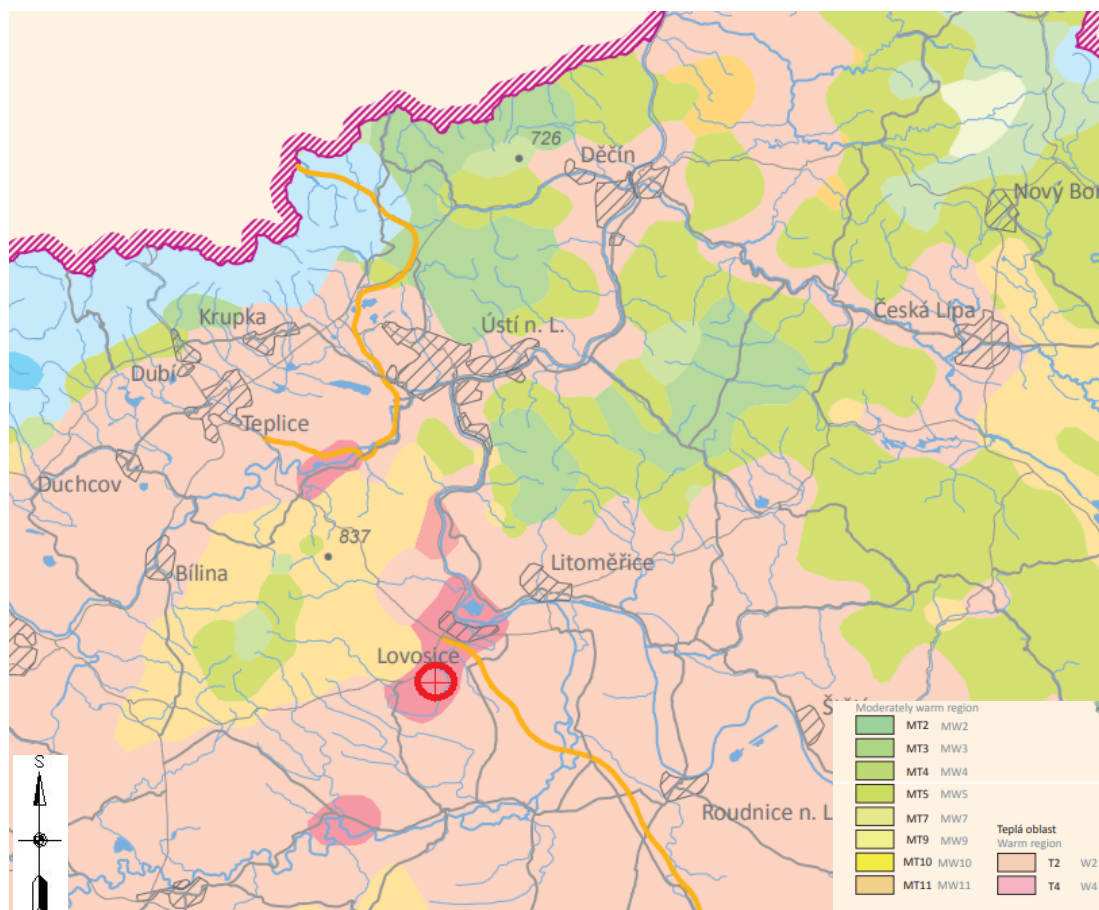
Zájmová oblast Třebenice spadá podle J. Demka (1965) do Krušnohorské provincie (III), konkrétně do Podkrušnohorské podsoustavy (IIIB) Českého středohoří (IIIB - 5) znázorněné na obr. 1. V této oblasti jsou typické tektonicky nadzdvižené ostré povrchové útvary mezi relativně pokleslým okolím. Útvary Českého středohoří vznikly díky selektivnímu odnosu, jež vypreparoval části sopečných těles z jejich sedimentárních povrchů. Třebenice se nacházejí v západní části Českého středohoří v tzv. Milešovském středohoří. Zde jsou typické četné čedičové vrchy a široké údolní deprese. Pro vývoj těchto povrchových útvarů se zde uplatnilo pleistocenní mrazové zvětrávání. Kombinace členitého reliéfu a geologické povahy oblasti (jílovité a slínovité horniny křídové pánve) způsobuje četné sesuvy suťových hmot a pleistocenních soliflukčních proudů. Nejvyšší bod v oblasti se nachází v místě Kozích hor severozápadně od sesuvné oblasti. Patří tam dvojice Velká kozí horka (330 m. n. m.) a Malá kozí horka (329 m. n. m.).



Obr. 1 - Geomorfologické členění ČR - geomorfologický celek v rámci podsoustavy. Červeně označena oblast Třebenice. Demek, J. - Zeměpisný lexikon ČR 2006.

Dle Quitta (1971) spadá zájmová oblast do teplé klimatické oblasti T4 (W4), viz. obr. 2. Průměrné klimatické charakteristiky této oblasti jsou:

Počet letních dní	60 – 70
Počet dní s průměr. teplotou 10°C a více	> 180
Počet dní s mrazem	90 – 100
Počet ledových dní	< 30
Průměrná lednová teplota (°C)	-1 – -2
Průměrná červencová teplota (°C)	19 – 20
Průměrná dubnová teplota (°C)	9 – 10
Průměrná říjnová teplota (°C)	9 – 10
Průměr. počet dní se srážkami 1 mm a více	80 – 90
Suma srážek ve vegetačním období	300 – 350
Suma srážek v zimním období	200 – 300
Počet dní se sněhovou pokrývkou	< 40
Počty zatažených dní	< 110
Počty jasných dní	50 – 60



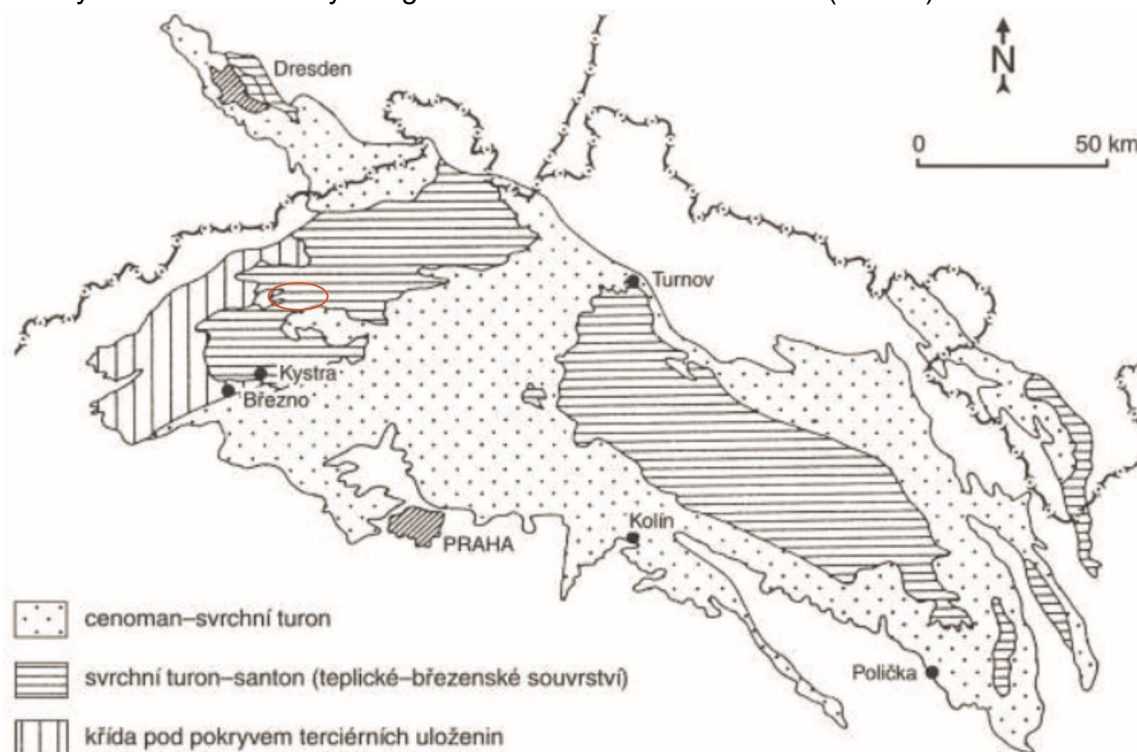
Obr. 2 - Výřez z klimatické mapy 1: 500 000 - klimatické oblasti České republiky; klasifikace podle Quitta za období 1961–2000. Univerzita Palackého v Olomouci 2011.

## 2.2 Geologické poměry

Zájmové území podle Chlupáče (2011) spadá do Českého masívu, konkrétně do české křídové pánve. Česká křídová pánev vznikla v období spodní křídý, tedy zhruba před 100 - 65 miliony let, kdy došlo k zaplavení mořem v severní části Českého masívu z důvodu klimatických změn a horotvorných procesů alpinského vrásnění.

### 2.2.1 Česká křídová pánev

Česká křídová pánev patří k nejvíce rozšířenému geologickému útvaru v České republice, schématická mapa lze vidět na obr. 3. Podle Čecha (2011) vznikala pánev pravděpodobně během středokřídové reaktivace hlavních zlomových zón variského podloží Českého masívu v kombinaci cenomanské transgrese, kdy docházelo k průniku moře, které se postupně v rámci cca 10 miliony let neustále rozšiřovalo. Významnou roli v sedimentačním vývoji České křídové pánve hrála labská zlomová zóna a konjugované zlomy jizerského systému. Sedimentární vývoj lze rozdělit do tří fází (Uličný et al. 2009). V období cenomanu to jsou fluvialní, estuárové a mělké pobřežní facie vzniklé dlouhodobým zvyšováním mořské hladiny (fáze I). Dále během pozdního cenomanu a turonu vyplnění hrubých klastických sedimentů (fáze II). Poté výrazné změny geomorfologie pánve, ukládání mocných klastických klínů s rozsáhlými bazálními bahny a regrese moře v coniacu a santonu (fáze III).



Obr. 3 - Schématická mapa české křídové pánve, červeně označena zájmová oblast - Chlupáč et al. 2011.

Na bázi křídové pánve lze pozorovat sladkovodní sedimenty, které nasedají na permokarbonskou pánev. Tyto sladkovodní sedimenty jsou však často promíchány s marinní sedimentací. Vlivem této geneze je výplň primárně z klastických uloženin různých zrnitostí, kde velmi často probíhala tzv. karbonátová sedimentace. V období cenomanu postupovalo moře v několika fázích, a tak je geologické složení v těchto místech značně různorodé. Konkrétně se jedná o střídání uloženin říčních, jezerních a mořských. Ve spodním turonu lze

pozorovat podle Chlupáče (2011) dvě základní facie, které primárně vznikaly díky přínosu materiálu z pevniny, a to facii kvádrových pískovců a facii vápničných jílovců a slínovců.

Facie pískovců vznikaly z přínosu pevninského písčitého materiálu a tvoří polohy mocné desítky až stovky metrů. Tato pískovcová facie s blokovitou odlučností je náchylná na erozi, což vedlo ke vzniku tzv. skalních měst, která jsou typická pro oblast české křídové pánve. Facie vápničných jílovců a slínovců představuje flyšovité střídání těchto poloh. Jsou to místa vzdálenější od pobřeží, a tedy pevninského přínosu, proto bývají obecně hlubší (Matula a Pašek, 1986).

V rámci stratigrafického popisu české křídové pánve, jak je zobrazeno v obr. 4, lze popsat jako nejstarší část české křídové pánve perucké vrstvy perucko-korycanského souvrství. Geneze této vrstvy je sedimentace sladkovodní, tedy říční a jezerní. Uložení a rozmístění je dáno nepravidelně podle místních poměrů, jejich mocnosti jsou silně proměnlivé. Často se na bázi vyskytují křemenité slepence až pískovce, které pak přecházejí na prachovce až slínovce. Korycanské souvrství reprezentuje mořskou sedimentaci, která sedimentuje na vrstvách peruckých. Někde lze pozorovat obě tyto vrstvy laterálně, to z důvodu nepravidelné mořské transgrese. Pro korycanské vrstvy jsou nejtýpější glaukonitické pískovce, místy s příměsí slepenců a prachovců (Chlupáč, 2011).

V období spodního turonu docházelo k prohloubení a následného rozšíření areálu, kde docházelo k mořské sedimentaci. V těchto procesech vznikalo souvrství bělohorské. Pro toto souvrství je typická jílovcová báze, často vápničná a glaukonitická o mocnostech v řádech centimetrů až metrů. V nadložní části souvrství jsou horniny, kterým se obecně říká "opuka". Jsou to šedé až žlutavé písčité jílovce, často i s prachovou příměsí. Opuky vznikaly primárně v místech vzdálených od pobřeží, a tedy od přínosu materiálu z pevniny. V místech blízkých pobřeží či pánvi byl při sedimentaci značný přínos písčitého materiálu z pevnin, tedy v těchto oblastech jsou dominantní křemenné kvádrové pískovce (Kovanda, 2001).

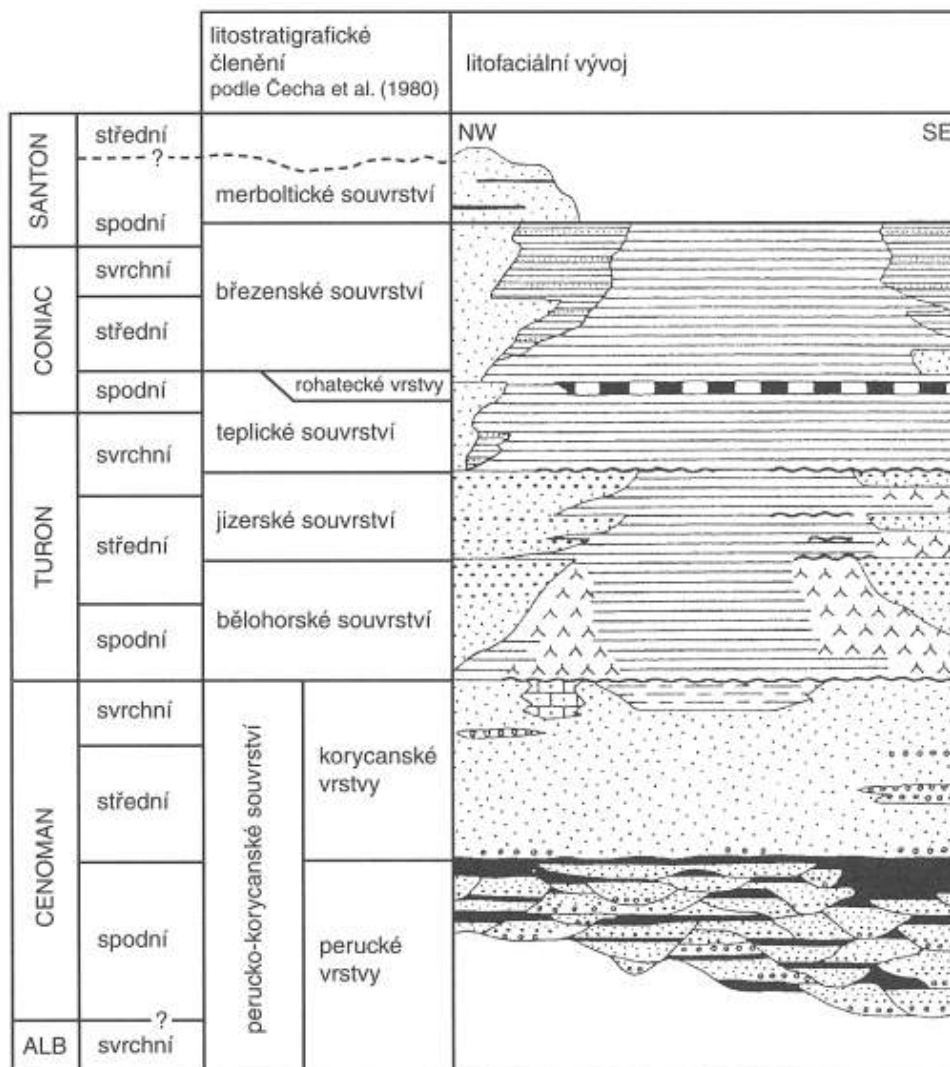
Během období středního a svrchního turonu následně vznikalo souvrství jizerské. Mořská transgrese v tomto období dále pokračovala a zaplnila i ty nejvyšší elevace. Během tohoto období v místech vzdálených od pobřeží dále vznikaly opuky a slínovce. V místech blízko pobřeží se akumulovaly a sedimentovaly mocné vrstvy kvádrových pískovců. Jejich mocnosti jsou místy i přes 400 m (Matula a Pašek, 1986).

Další jednotkou s transgresním charakterem je souvrství teplické. Pro toto souvrství je typické ostré litologické ohraničení od ostatních vrstev a skládá se z jílovitých vápenců s glaukonitem. V období vzniku tohoto souvrství byl rozsah křídové pánve pravděpodobně největší. Dochází primárně k sedimentaci slínovců, místy vápenců.

Důležitou jednotkou hlavně pro tuto práci je souvrství březenské, které je pojmenované podle lokality Březno u Loun. Březenské souvrství je často na nejvyšší pozici vzhledem ke své stratigrafii, obvykle je velmi zredukováno erozí a dnes je zachované pouze v místech Českého středohoří, kde je zachováno díky pokryvu neovulkanitů. Březenské souvrství vznikalo v období coniacu při reorganizaci pánve a zrychlenou subsidencí, často se sedimentovalo při velkých mořských bouřích, tedy tempestity. Díky tomu má souvrství flyšový charakter, kde dochází ke střídání vápničných jílovců a prachovců s častými vložkami pískovců. V centru pánve, kde bylo prostředí klidnější, vznikaly sedimentací vápničné jílovce a slínovce. V tomto období podle Krásného et. al. (2012) byla ukončena karbonátová

sedimentace a docházelo k dlouhotrvající mořské regresi. Studovaná oblast tedy vznikla v klidném prostředí daleko od břehů při dlouhodobé mořské regresi.

Zachovalé pouze jako denudační vrstvy v Českém středohoří jsou dnes souvrství merboltické. Jedná se o nejmladší složku České křídové pánve. Typicky se jedná o jemnozrné zpevněné pískovce bílé barvy, často s jílovitou složkou. Považují se za regresivní vrstvy, nicméně dodnes není jisté, jestli se opravdu jednalo o ukončení křídové sedimentace.



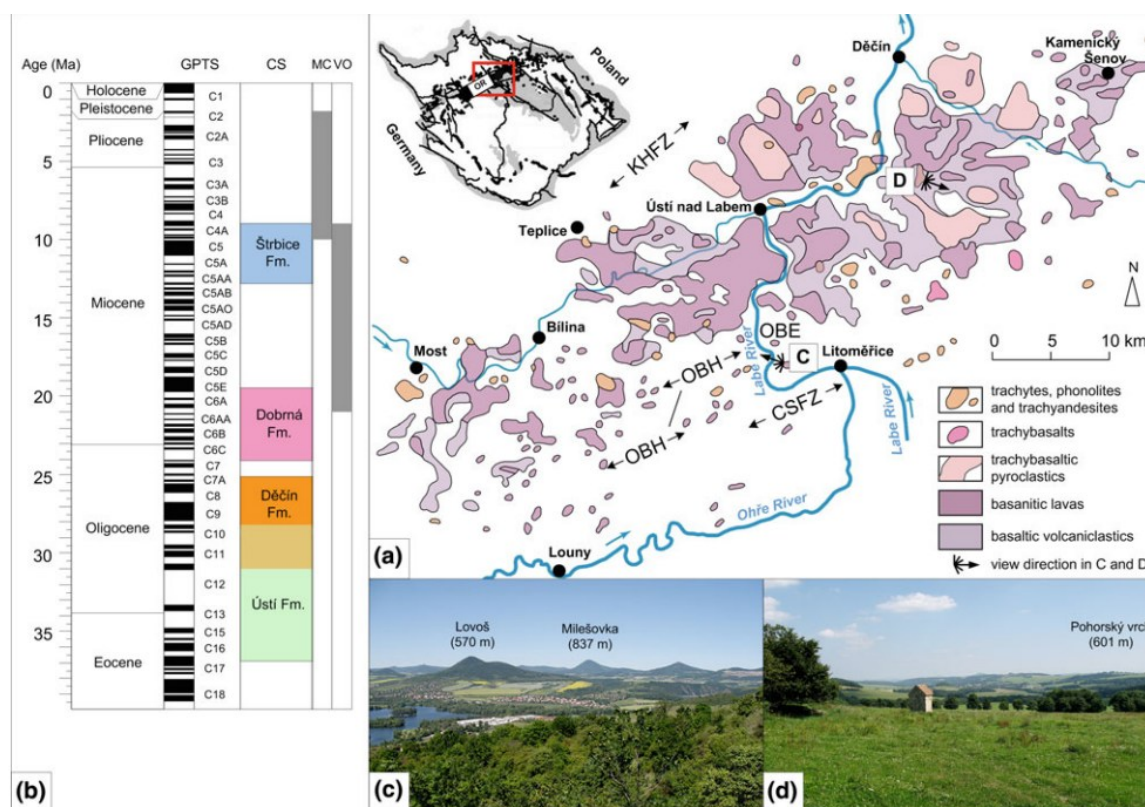
Obr. 4 - stratigrafické schéma české křídové pánve - Chlupáč et al. (2011).

## 2.2.2 České středohoří

Ve studované oblasti se podle Chlupáče (2011) kromě české křídové pánve také objevuje mladší složka z období terciéru. Jedná se o neovulkanický komplex Českého středohoří, který vznikl seskupením vulkanických těles na pomezí litoměřického zlomu a krušnohorského zlomu (Cajz et al. 2004). I přesto, že se jedná o největší vulkanické uskupení v Čechách, lze dnes pozorovat pouze silně zvětralá podpovrchová tělesa těchto

vulkanitů, jejichž původní tvar byl tedy mnohem rozsáhlejší. Jako první vznikaly silně explozivní vulkány podél litoměřického zlomu, poté začaly výlevy bazanitů, trachybazaltických vulkanitů, intruze bazaltických hornin, intermediálních a kyselých subvulkanitů. V centrální části Českého středohoří lze pozorovat kyselější intruze - lakolity (Chlupáč 2011).

České středohoří je jedno z nejvíce náchylných oblastí, kde dochází k různým typům sesuvů. Podle Rašky et al. (2016) se zde nejčastěji projevují predispozice k sesuvům a skalním řícení v údolí Labe a jeho přítoků. Litologická povaha těchto svahů se střídajícími se tělesy čedičových hornin, vulkanických brekcií a vulkanoklastického materiálu, navíc i pod nimi ležících křídových sedimentů, viz. obr. 5, má za následek značnou nehomogenitu v pevnosti a stabilitě. V místech, kde si řeky a malé potoky prorážejí cestu pevnými horninami vulkanického podloží, dochází ke skalním řícení. Zatímco sesuvy jsou často vyvolávány nadprůměrnými srážkami, které mají za následek zvýšení hladiny podzemní vody v podloží, což vede podle Atkinsona (2007) ke zvýšení pórových tlaků a snížení celkové stability. V těchto případech se sesuvná plocha obvykle nachází na hranici mezi vulkanickými horninami a křídovými sedimenty (Rybář et al. 2000), ale zdokumentováno bylo i sesouvání uvnitř vulkanického komplexu a také v křídových sedimentech.



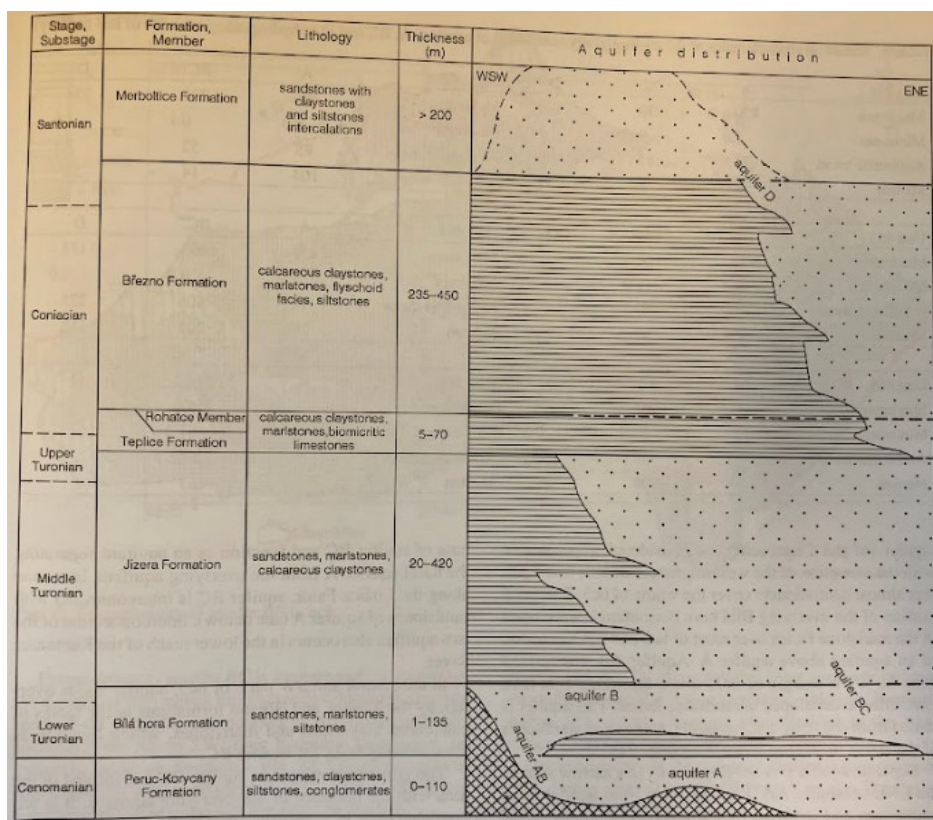
Obr. 5 - Lokace a zjednodušená geologická situace, (b) stratigrafie Českého středohoří. Raška et al. (2016).

## 2.3 Hydrogeologické a hydrologické poměry

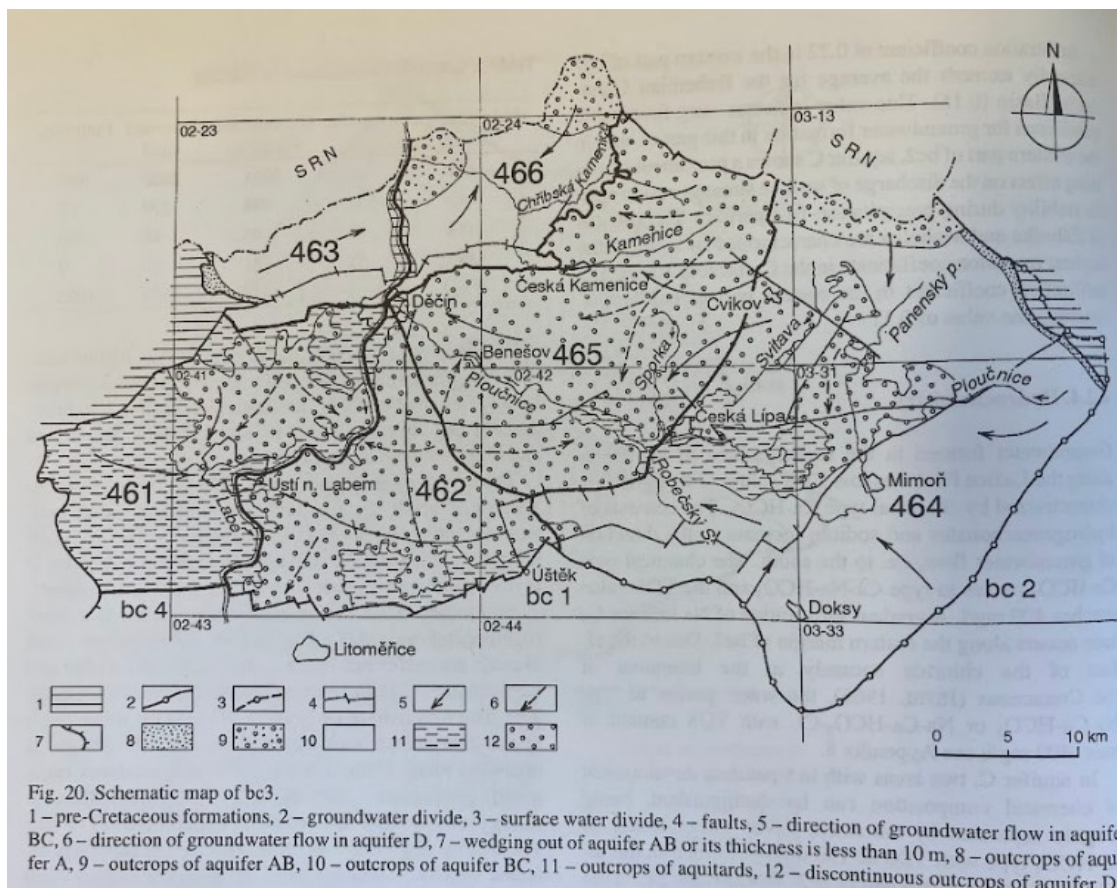
Česká křídová pánev je největší rezervoár podzemní vody v celém Českém masívu. Podle Herčíka (1999) lze kolektory v české křídové pánvi v rámci polohy obecně rozdělit do tří skupin: západní, centrální a východní. Tyto skupiny jsou odlišné svou geologií, litologií, mocností izolátorů, rozdílnou infiltrační hodnotou a rozdílným prouděním podzemní vody.

Studovaná oblast Třebenic spadá do západní skupiny. Dalším a detailnějším rozdělením zvodněných kolektorů lze podle své geneze rozdělit na: A - bazální kolektor, který je vázán na perucko-korycanské vrstvy a částečně na bělohorské vrstvy, B - kolektor bělohorského souvrství, C - kolektor jizerského souvrství a D - kolektor v teplickém, březenském a merbolickém souvrství. Ve studované lokalitě se nachází všechny tyto zmíněné kolektory, které jsou znázorněny na obr. 6, ale pro sesuvnou analýzu je nejdůležitější kolektor D, jelikož ostatní vrstvy jsou příliš hluboko a nebyly zastíženy žádným průzkumem. Největší zásobování vodou pro lidské užití nese kolektor C (52%), méně pak už kolektor A (20%) a kolektory B, D každý 14%.

Hydrogeologické podmínky zájmového území jsou tedy popsány podle obr. 7. V podloží se nachází perucko-korycanské vrstvy bazálního kolektoru A. Nad ním kolektor BC, tedy přechod bělohorských a jizerských vrstev. Nejbližše k povrchu se rozkládá kolektor D v březenských a merbolických vrstvách. Významným vlivem umístění těchto vrstev hraje role elevace Českého středohoří. Průměrná transmisivita v této oblasti je cca  $128 \text{ m}^2/\text{den}$ . Proudění v kolektoru D je uzavřené a často kopíruje proudění řek. Dle hydrogeologického regionálního členění patří zájmové území do rajonu 4540 – Povodí Ohře - Ohářecká křída - rozloha 476,227 km<sup>2</sup>.



Obr. 6 - Distribuce kolektorů v zájmové oblasti - Herčík 1999 - ČGS.



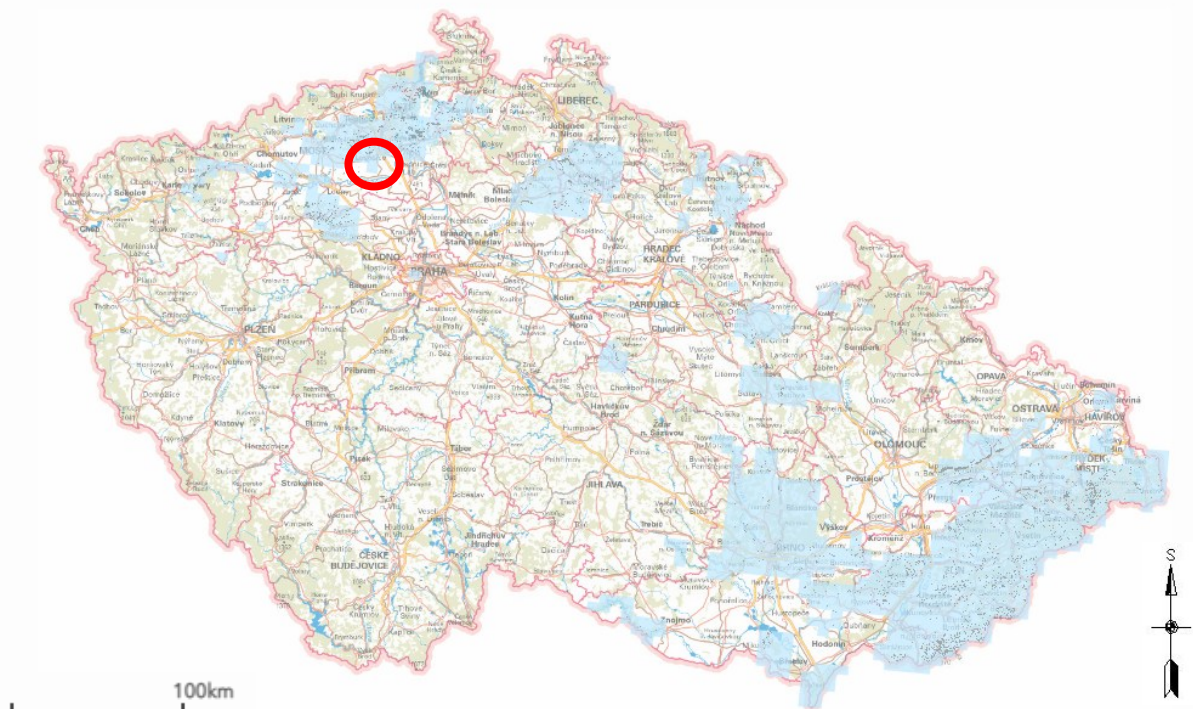
Obr. 7 - Schéma hydrogeologické mapy zájmové oblasti - Herčík 1999 - ČGS.

## 2.4 Geodynamické poměry

Studovaný sesuv u Třebenic se nachází ve významné sesuvné oblasti znázorněné na obr. 8, která náleží na České křídové pánvi a terciérních vulkanitech. Třebenice spadají do nejnižší části v této oblasti častých svahových deformací (ČGS - vrtná prozkoumanost, 2025). Všechny sesuvy v této oblasti mají společný charakter, a to dvojí složení svahů - vulkanické složky vyběhající nad březenské souvrství. Z mapy registru svahových deformací lze vyčíst rozsáhlost těchto sesuvů, viz. obr. 8. Během IG průzkumu vymezil Rybář (1983) celkem tři sesuvné oblasti A, B, C na lokalitě u Třebenic zobrazené na obr. 9. Sesuvné oblasti B a C jsou dnes považované za částečně stabilizované díky sanacím provedených na lokalitách (snížení HPV). Sesuv A, který je vymezen na obr. 10, je stále považován za aktivní a je předmětem této diplomové práce. Z obr. 10 je taky zřejmé, že sesuvná oblast prochází železniční tratí, která se začala stavět roku 1896 a silnicí druhé třídy, jejíž stavba proběhla v druhé polovině 20. st. Na železnici a silnici byly v rámci let naměřeny deformace, které jsou popsány v kapitole 3.2 [Historie sesuvu](#). Nejběžnější pohyby jsou zde podle Rybáře (2000) sesuvy mělké (planárně rotační) a hluboké (blokové pohyby).

Mělké planárně rotační pohyby jsou v březenském souvrství velmi četné, smyková plocha bývá na hranici deluviálních sedimentů a zvětralého podloží. Někdy může být smyková plocha i na hranicích různých fází zvětrání v podloží. Mezi typické mělké planárně rotační sesuvy patří například sesuv Dobkovičky (Roháč et al., 2020) nebo Dubičná (Pospíchal, 2024). Hluboké sesuvy jsou v oblasti v podobě tzv. blokových pohybů, které lze charakterizovat jako velmi pomalé až extrémně pomalé rozpínání skalních bloků a ploužení

zemín. Bloky jsou nejčastěji tvořeny bazaltickými horninami. Tento typ sesouvání lze pozorovat např. na lokalitě Prackovice (Jerman, 2022).

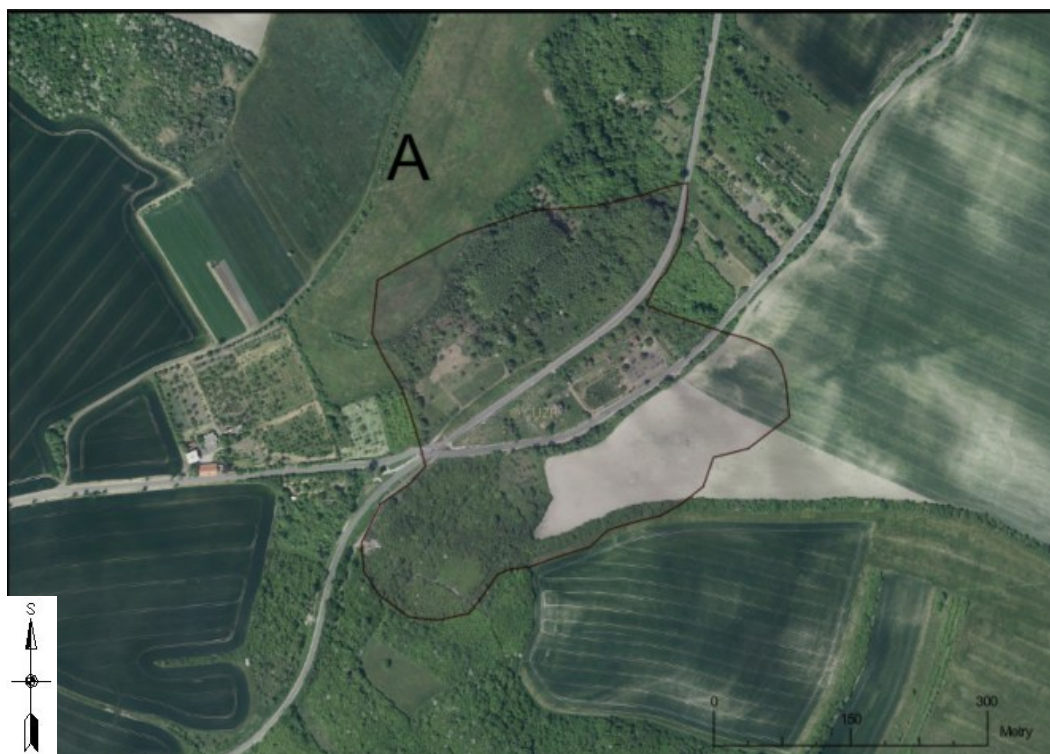


Obr. 8 - Mapa svahových deformací (ČGS) - červeně je označený sesuv u Třebenic.

Konkrétně v Dobkovičkách, kde se stal rozsáhlý sesuv na dálnici D8, bylo podle Klimeše (2018) geologické podloží velmi podobné s lokalitou u Třebenic. Na místě se nacházely v horní části svahu kompaktní vulkanické horniny (olivinické bazalty, leucity a nefelinity) a v jejich podloží svrchně křídové vápnité jílovce, slínovce a prachovce březenského souvrství. V rámci analýzy byla příčina vzniku sesuvu v Dobkovičkách (Stemberk et al., 2016) určena jako kombinace přetížení horní části svahu deponií štěrkodrtě z lomu Dobkovičky, odlehčení dolní části sesuvu způsobené zářezem dálnice a zvýšení hladiny podzemní vody způsobené kombinací nadměrných srážek a změn v hydrologickém a hydrogeologickém režimu, které byly způsobené rozšiřováním lomové těžby a zasakováním vody za náspem tratě.



Obr. 9 - Mapa sesuvů A, B a C na zájmové lokalitě u Třebenice: A je aktivní sesuv řešený v rámci této diplomové práce. Sesuvy B a C byly částečně stabilizovány v rámci sanací. Vymezení sesuvu bylo vytvořeno kombinací geometrie vytvořené Rybářem (1983) a Markem a Balkem (2014).



Obr. 10 - Vymezení řešené sesuvné oblasti. Vymezení sesuvu bylo vytvořeno kombinací geometrie vytvořené Rybářem (1983) a Markem a Balkem (2014).

### 3. Analýza sesuvného území Třebenice

V této kapitole se zaměřuji na archivní rešerši samotného sesuvu u Třebenic. Jedná se o rešerši geologie a hydrogeologie oblasti, historie sesuvu a provedená měření na lokalitě. Podklady pro tuto kapitolu jsou primárně inženýrskogeologické zprávy vytvořené pro přípravu sanačních opatření po destruktivních sesuvech v oblasti a vědecké články hodnotící pohyby a stabilitu sesuvu.

#### 3.1 Archivní rešerše

Pro detailní pochopení a historickou analýzu sesuvu byla provedena archivní rešerše v geologickém archivu geofond, kde se mi podařilo dohledat celkem pět inženýrskogeologických zpráv:

- 1) Zpráva o podrobném geologickém průzkumu sesuvu u Třebenic, J. Pašek, 1964
- 2) Závěrečná zpráva inženýrsko-geologického průzkumu, Třebenice, sanace žel. tělesa, Z. Ladman, 1970.
- 3) Geologické práce pro výstavbu rodinných domků v Třebenicích, J. Krušina, 1974
- 4) Závěrečná zpráva inženýrsko-geologického průzkumu, Čížkovice - Obrnice, P. Zuzánek - 1982
- 5) Zpráva o monitorovacím vrtu, ÚSMH, Třebenice, J. Beneda, 2018

Tyto zprávy obsahují situaci vrtů, jejich popisy a geologické řezy spolu s výsledky laboratorních zkoušek. Většina těchto zpráv byla vypracována z důvodu sesuvu a plánování budoucích sanací. Následně jsem navštívil archiv Ústavu struktury a mechaniky hornin, kde jsem získal přístup k cenným dokumentům:

- I. Zpráva o inženýrskogeologickém výzkumu sesuvů u Třebenic na žel. trati, J. Rybář, 1983
- II. Zprávy o sledování sesuvu u Třebenic v období 1984 - 1985, J. Rybář, 1986

V rámci rešerše bylo vyčleněno několik archivních vrtů z IG zpráv, které slouží jako podklad pro vypracování geologických řezů, viz. kapitola [6.2 Geologické řezy](#). Všechny využití vrty jsou popsány v tabulce 2 a jejich situace je na obr. 11.

Pašek (1962) provedl celkem tři vrty (V1, V2, V3), jenž měly za úkol určit hloubku smykové plochy. Ta byla určena v hloubkách 9 m a 12 m pod povrchem. V roce 1970 po rozsáhlém sesuvu provedl Ladman celkem 7 vrtů (V1 - V7), ze kterých se odebraly porušené a neporušené vzorky pro laboratorní měření. V roce 1974 provedl Krušina v rámci průzkumu pro rodinné domy 7 vrtů, nicméně se tyto vrty nacházejí mimo sesuvnou oblast cca 100 západně. V roce 1982 po druhém rozsáhlém sesuvu provedl Rybář 17 vrtů (JT1 - JT17), pouze jeden vrt byl využit v rámci řezů (JT1), ostatní vrty byly podél železnice směrem mimo zájmovou sesuvnou oblast. V roce 2018 byl proveden jeden vrt v rámci instalace senzoru, nicméně ten nebyl detailně geologicky popsán.

Výsledky laboratorních prací jsem shrnul v následující tabulce 1. Jedná se o rozptyl hodnot kritických a reziduálních úhlů vnitřního třetí. Nutné je dodat, že provedená laboratorní měření nebyla jednotná, čímž si Rybář (1984) vysvětluje velikost odchylek těchto hodnot. Dalším výsledkům rešerše se věnuji přímo v kapitole [3.2 Historie sesuvu](#), kde se věnují měřením a sanacím po sesuvech.

Autor	Počet zkoušek	Kritický úhel vnitřního třetí	Reziduální úhel vnitřního třetí
Z. Ladman 1970	14	25 - 29°	1,4 - 12,6°
P. Zuzánek 1982	6	21 - 31°	14 - 24°
J. Rybář 1983	18	17 - 20° (nad s.m.) 12 - 15° (ve s. m.) 17 - 24°(pod s.m.)	12 - 16°

*Tabulka 1 - Shrnutí hodnot kritických a reziduálních úhlů z IG zpráv.*

označení sondy	JTSK, Bpv.			hloubka	HPV
	X	Y	Z	[m]	[m]
V 1	996450	768260	-	20,15	-
V 2	996580	768130	-	20,00	-
V 3	996680	768110	-	15,00	-
J-1	996683	768250	-	16,00	13.00
V-2	996648,7	768247,7	258,33	12,50	-
V-3	996627,7	768249	263,75	15,40	-
V-5	996601,2	768260,3	267,15	13,6+	-
V-6	996606,4	768270,5	267,85	10,00	-
V-7	996336,4	768290,2	281,07	10,00	-
JT1	996620	768300	266,68	12,00	2,34

*Tabulka 2 - Seznam použitých archivních sond v rámci průzkumu.*



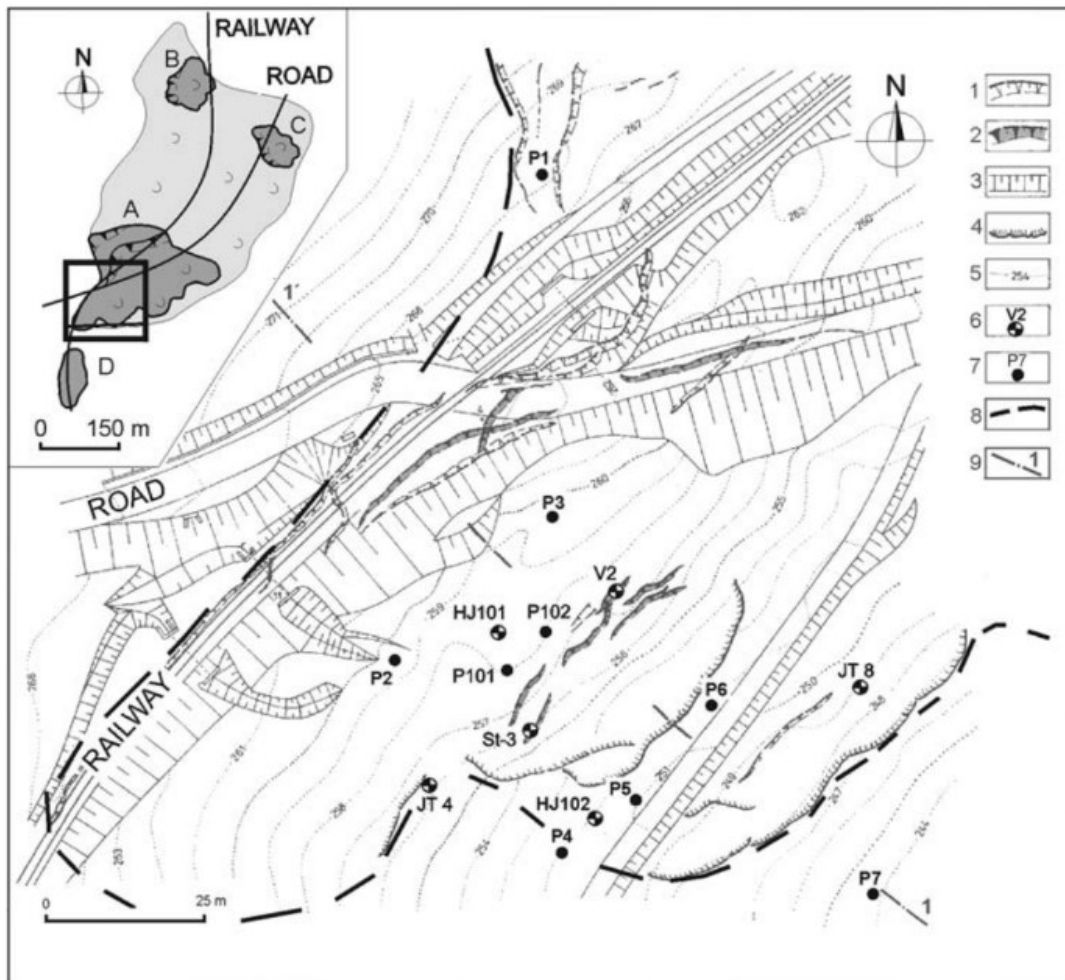
Obr. 11 - Situační mapa s archivními vrty ve vymezeném sesuvném území.

Z geologického hlediska se řešený sesuv nachází v březenském souvrství české křídové pánve. Březenské souvrství sedimentovalo podle Malkovského et. al. (1974) v období spodního coniaku až spodního santonu. Pro toto souvrství jsou typické facie kvádrových pískovců, vápnitých jílovců a slínovců, viz jeho detailní popis v kapitole [2.2.1 Česká křídová pánev](#). V místě sesuvu se nachází primárně navětralé slínovce, které jsou postiženy sesouváním. Zhruba 600 metrů severozápadně od řešeného sesuvu se nachází vulkanická intruze alkalického bazaltu Velká kozí horka s vrcholem o výšce 330 m. n. m. Tato intruze spadá podle IG regionů do neovulkanitů a vznikla v miocénu, je tedy nejmladší geologickou složkou v okolí. V řešeném sesuvu se nejvíce projevuje v podobě deluviálních sutí balvanů až kamenů. JV od sesuvu se nachází nejstarší geologické souvrství, a to teplické souvrství české křídové pánve, na které slínovce březenského souvrství nasedají a překrývají je sutě (složené ze zvětralých slínovců a produktů zvětrávání bazaltů) při probíhajících svahových pohybech. Teplické souvrství je stáří spodního coniaku a vyskytují se v něm hlavně vápence, jílovce a slínovce. V širším okolí se dále vyskytují holocénní náplavy a další fluviální sedimenty podél řeky Modla, jež prochází městem Třebenice. V blízkosti se také nachází předpokládaný zlom určující koryto potoka na bázi sesuvu zobrazený na obr. 12.

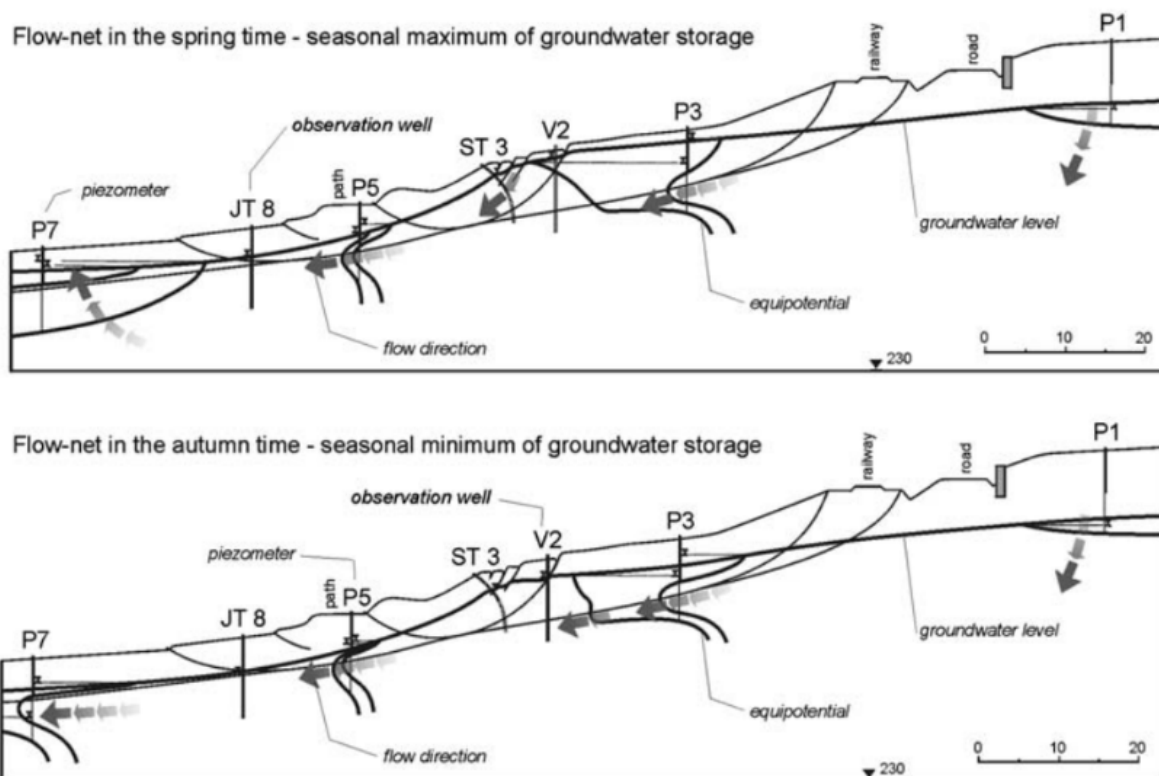


Obr. 12 - Geovědní mapy 1:50 000 - ČGS a ortofotomapa zájmové oblasti. Žlutě - březenské souvrství, fialově - neovulkanit, světle modře - teplické souvrství, bílé - holocenní náplavy, červeně - aktivní sesuvná oblast A, čárkovaně sesuvné území u Třebenic.

Během let 1994 a 2007 prováděl Novotný (2007) pozorování podzemní vody na sesuvu u Třebenic. Konkrétně bylo měření situováno pár desítek metrů jihovýchodně od křižovatky silnice a železnice, viz obr. 13. Během tohoto pozorování vypracoval síť proudění podzemní vody na jaře a na podzim znázorněné na obr. 14. Tehdy došel k závěru, že bylo zjištěno proudění podzemní vody v sesuvu v litologicky homogenních slínovců a jílovců v hloubce 8 až 10 m pod terénem. Hladina podzemní vody během roku v sesuvu kolísala v době pozorování mezi 6 - 10 m pod povrchem. Dále konstatuje, že svrchní zóna svahu o mocnosti cca 6 metrů, která má vyšší propustnost a je rovnoběžná se sklonem svahu, ovlivňuje vznik smykových ploch v hloubkách 5 - 6 m pod povrchem. Dále tvrdí, že vzestupné proudění, které se vyskytuje v dolní části svahu negativně ovlivňuje celkovou stabilitu svahu vlivem odstranění napětí v podloží sesuvu. Při dlouhotrvajícím nadprůměrném zadržování vody (extrémní srážky), se bazální části svahu stávají lokální drenážní oblastí, která se vyznačuje vzestupným směrem proudění podzemní vody, efektivně tedy snižující stabilitu svahu. V momentě, kdy dojde k sesouvání, se podzemní voda dokáže prosáknout do smykových ploch v odvodňované oblasti. Tyto průsaky umožňují spojení vodního horizontu s vzestupnou tendencí s povrchem terénu, což umožňuje odtok podzemní vody až na povrch terénu (Novotný, 2002).



Obr. 13 - Situace monitoringu sesuvu u Třebenic, sondy označené P jsou piezometry (Novotný, 2007).



Obr. 14 - Síť proudění podzemní vody na jaře (horní) a na podzim (spodní). Měřeno na sesuvu u Třebenic, viz. pozice piezometrů na Obr. 13 (Novotný, 2007).

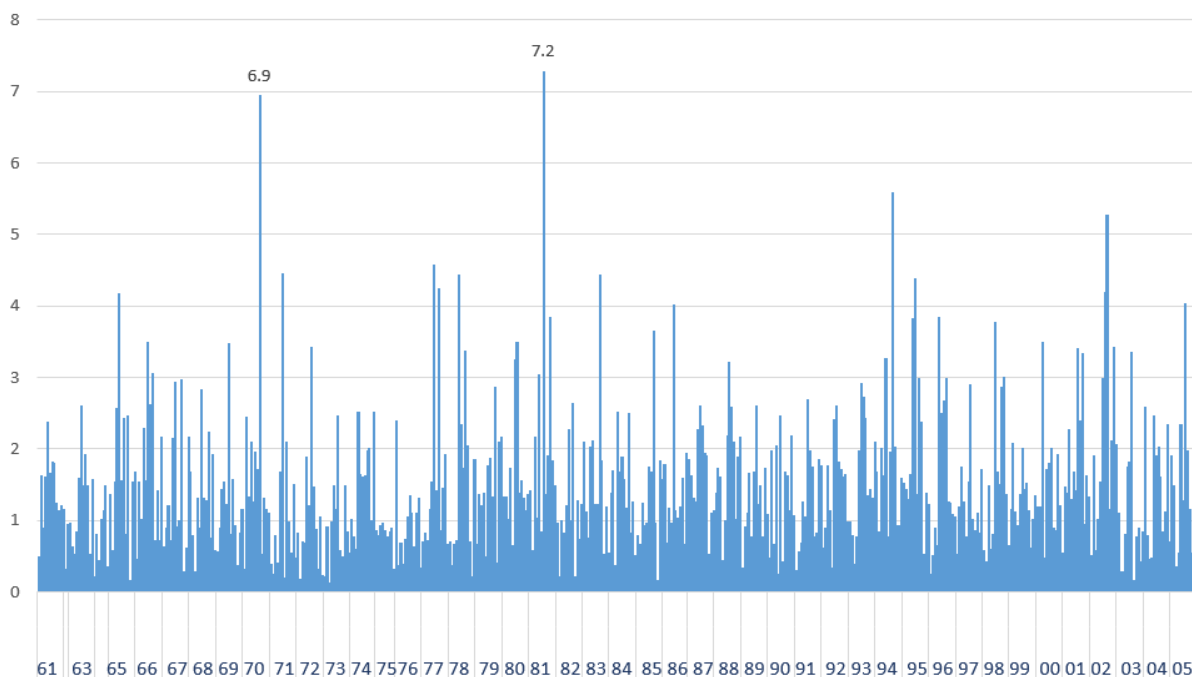
## 3.2 Historie sesuvu

Nejstarší zmínka o sesuvné oblasti se vyskytuje ve zprávě od J. Paška (1964) o podrobném geologickém průzkumu sesuvu u Třebenic. Zde Pašek tvrdí, že v mapách od autora I. E. Hubsche roku 1916/1917 je místo popsáno jako sesuvné. První zmínka o samotném sesouvání popisuje také Pašek od zповědi traťmistra, kdy první sesouvání datuje do roku 1938. Okresový traťmistr dále sdělil, že sesouvání probíhalo nejvíce v roce 1939 od km 6,7 až 7,1 km trati, tedy v místě křižovatky silnice a železnice směrem dále na východ. Uvádí, že bylo nutné přisypávat škváru pro zajištění stabilizace. Tento úsek leží i v současnosti na aktivním sesuvu, jehož analýza je předmětem této práce.

### 3.2.1 Sesuv 1970

V srpnu roku 1970 byl úhrn srážek extrémní, měsíční průměr za srpen činil 6,9 mm srážek. Toto je jasně patrné na obr. 15, kde jsou znázorněny měsíční průměry srážek od roku 1961. 2. srpna dle měřicí stanice v Dlažkovicích byl denní úhrn až 97,6 mm. Srážky pokračovaly až do 7. srpna. Kombinací extrémních a dlouhodobých srážek, danou geometrií a geologií sesuvu a zásahu železniční a silniční sítě se stal mimořádný sesuv, první dokumentovaný této velikosti na studované lokalitě. Dle závěrečné zprávy IG průzkumu Z. Ladmana (1970) byl sesuv primárně zapříčiněn nepřiměřeným zatížením násypu navážky, přisypaným nad železnici a silnicí z důvodu malých porušení z pomalých sesuvů z minulosti. Nepřiměřeným zatížením vznikly příčné trhliny, do kterých při extrémních srážkách vniklo velké množství

vody. Společně se zvýšením hladiny podzemní vody došlo ke zvýšení pórových tlaků, a tedy snížení efektivního napětí, což vedlo ke snížení stability svahu. Železniční trať a silnice poklesla na šířku 30 - 40 metrů místy až o jeden metr v místě a okolí křížení silnice a železnice, trať byla vyloučena z provozu na dobu 14 dní. Na tuto událost se ihned reagovalo zavedením sanací o dvou etapách. V první etapě byly vybudovány celkem tři odvodňovací studny, které snížily hladinu podzemní vody pod úroveň smykové plochy sesuvu (6-10 m pod terénem). Dále došlo k odtěžení přisypané navážky nad železniční tratí, který sesuv primárně způsobila. V druhé etapě sanace se vybuďovalo samotné odvodnění v podobě příkopů pro odvedení povrchové vody, svody a propustky pro vody podzemní a zatěžovací lavice pod sesuvem z vytěženého násypu, který byl nad železniční tratí.

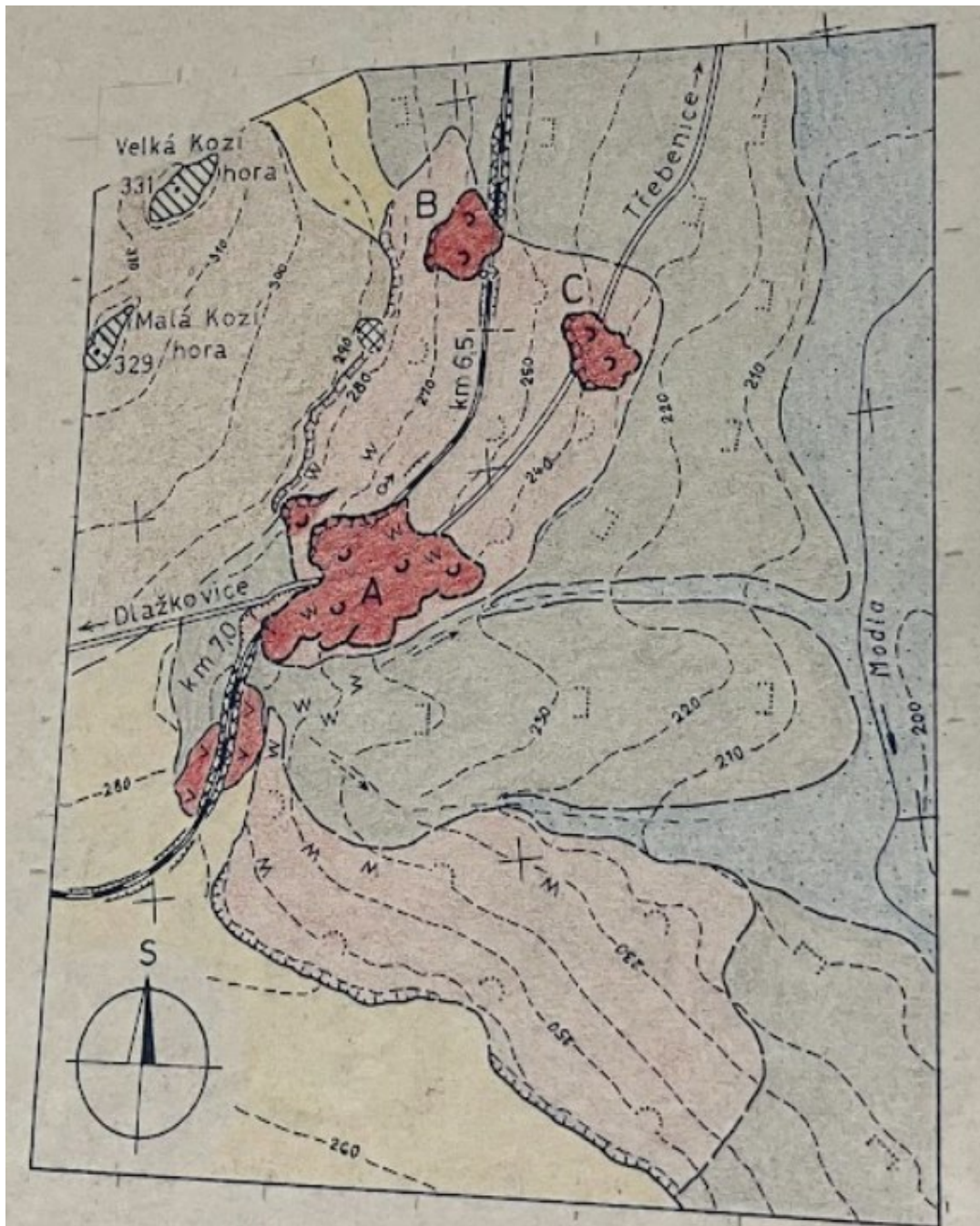


Obr. 15 - Měsíční průměr srážek - stanice Dlačkovice (1961 - 2005).

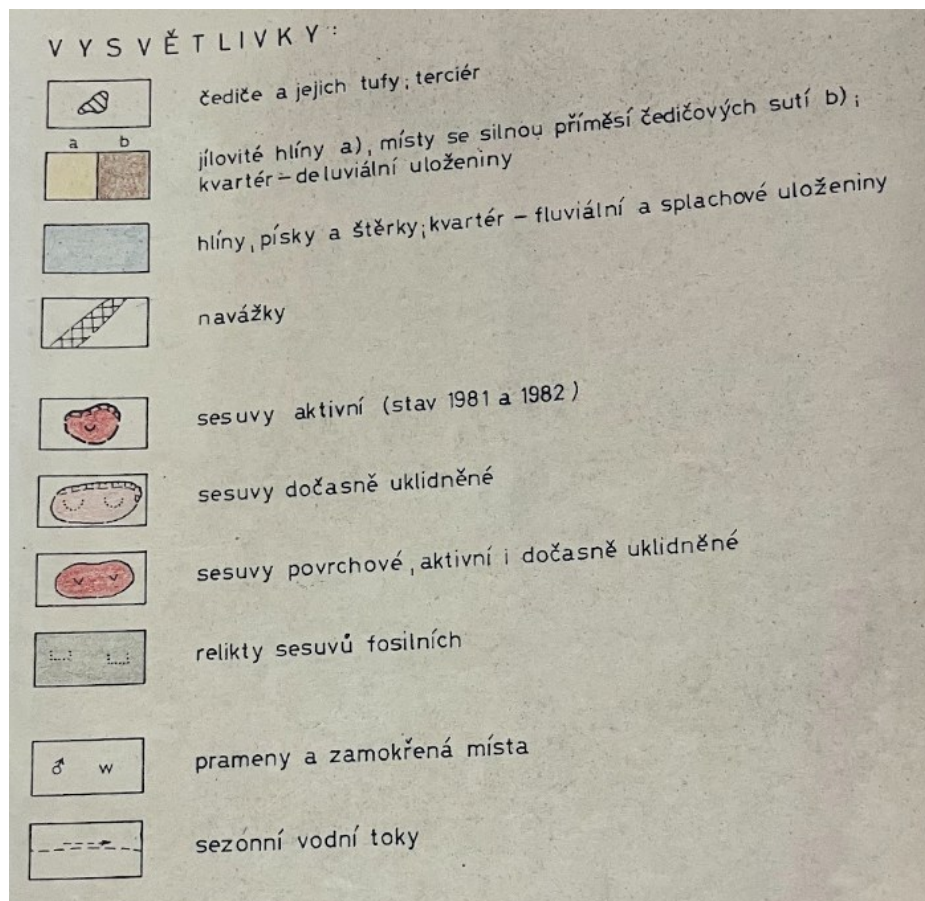
### 3.2.2 Sesuv 1981

Srpen roku 1981 přinesl ještě vydatnější srážky než roku 1970. Došlo k maximálnímu úhrnu srážek za posledních 60 let měření. I přes sanační práce, které byly provedeny po sesuvu v roce 1970, zde opět došlo k výraznému pohybu a deformaci kolejiště na šířku cca 150 metrů, které lze vidět na obr. 18, které vedlo v dočasném vyloučení provozu. Sesuv byl opět na úseku 6,9 až 7,1 km, tedy v místě a okolí křížení silnice a železnice. Reakcí na tento sesuv bylo vybudování dalších sanačních opatření v mnohem větším měřítku než roku 1970. Byly vybudovány dvě stabilizační pilotové stěny, jedna podél železniční trati a druhá cca 80 m severozápadně od trati. Hloubka stabilizačních pilot se pohybuje v 10-12 m a byla dimenzována na možné pohyby podél smykových ploch ležících v hloubce 5-6 m (Zuzánek, 1982). Také se provedly studny v odlučných oblastech za účelem vsakování vody a celkem 11 inklinometrů pro monitoring sesuvu.

V rámci inženýrskogeologického průzkumu vypracoval Rybář mapu sesuvné oblasti, viz. obr. 16 a 17, kde označil celkem tři sesuvné oblasti A, B, C. Tato práce se zaměřuje na sesuvnou oblast A (Rybář, 1983).



Obr. 16 - Mapa svahových deformací u Třebenic. (Rybář, 1983).



Obr. 17 - Legenda k mapě svahových deformací u Třebenic. (Rybář, 1983).

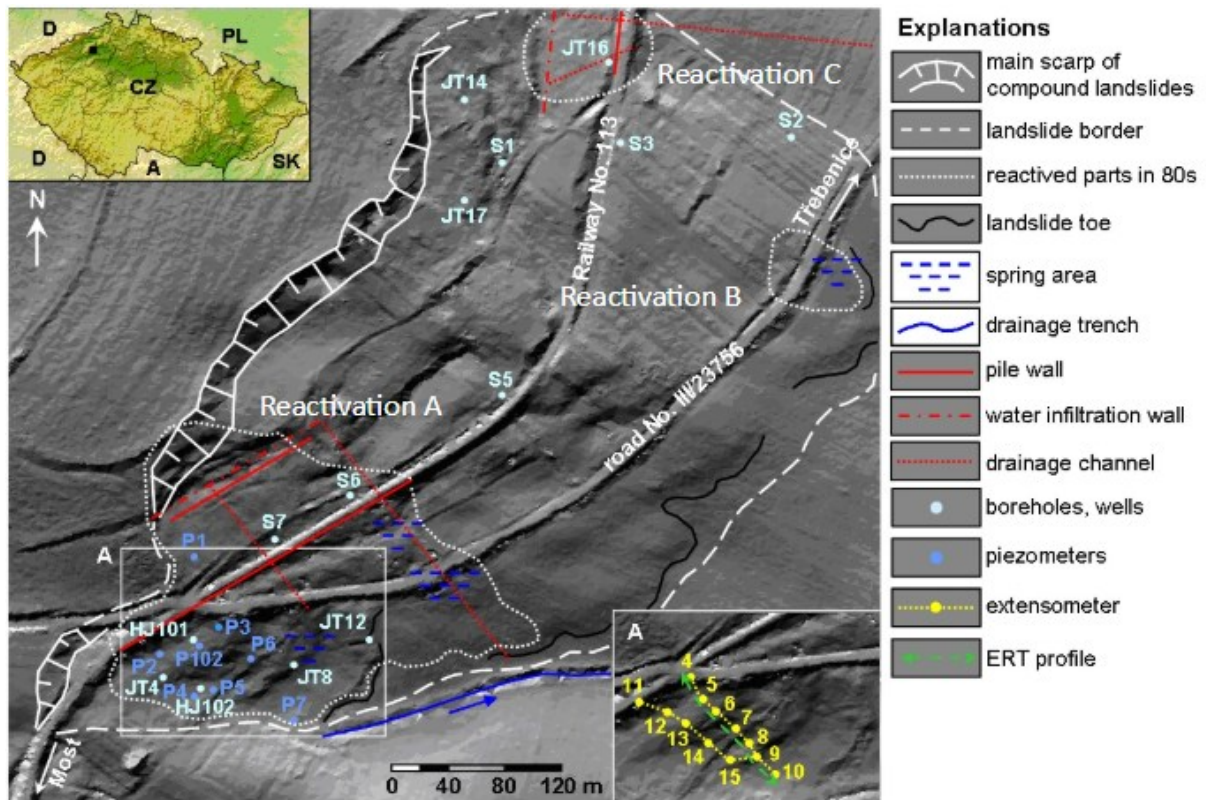


Obr. 18 - Deformace železnice při sesuvu v r. 1981 - (Rybář, 1983).

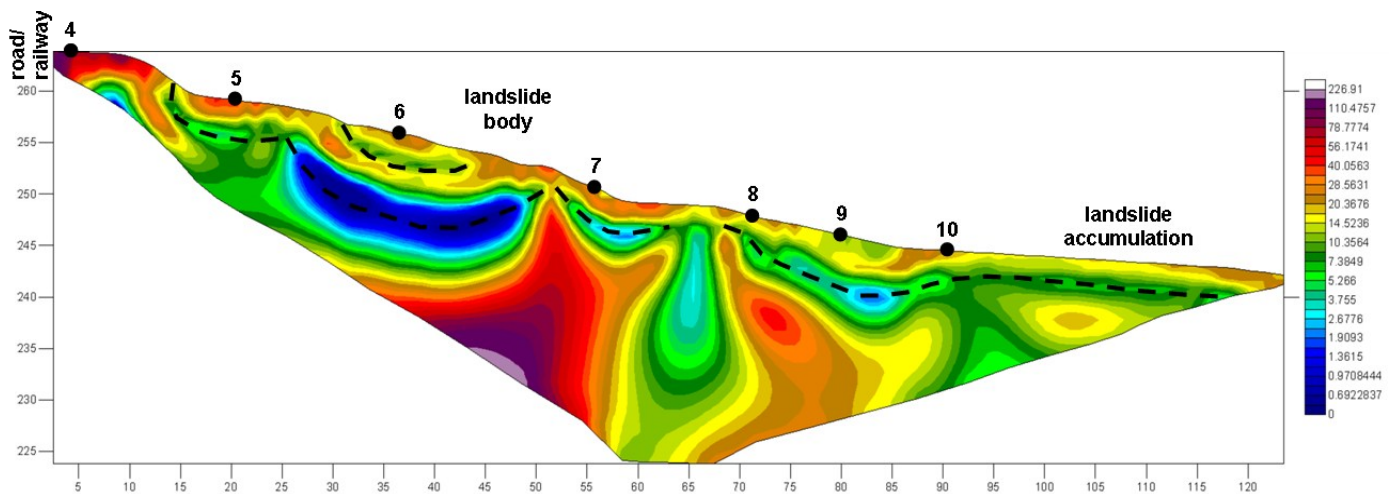
### 3.3 Měření na sesuvu v současnosti

I přesto že se od roku 1981 nedošlo k žádnému významnějšímu pohybu (v řádu 10 cm za rok a více), malé pohyby jsou stále v oblasti zaznamenány, a proto se lokalita neustále studuje a monitoruje. Novotný (2002, 2005) zde měřil pomocí piezometrů hydrogeologický režim a pohyby pomocí inklinometrů a extenzometrů, které jsou na lokalitě od roku 1994. Novotný (2007) zde měřil a vypracoval systémy proudění podzemních vod v sesuvu, jak bylo popsáno v kapitole [3.1 Archivní rešerše](#). Z výsledků extenzometrických měření provedených podle Marka a Balka (2014), kteří navazovali na měření od Rybáře v místě křížení silnice a železnice zobrazeném na obr. 19, vyšlo najevo, že je sesuv stále aktivní a nestabilní, pohybující se 1 - 3 cm za rok. V letech 2013 až 2016 bylo provedeno trigonometrické měření pracovníky Ústavu mechaniky hornin a závěrem byla hodnota horizontálního posunu 3 cm/rok a vertikálního posunu 2 cm/rok. Během těchto měření byl proveden i ERT profil zobrazený na obr. 20, který byl situován od místa křížení silnice a železnice směrem na jih, tedy ve směru sesuvu. Výsledkem ERT měření byla interpretace několika planárních smykových ploch, které zasahují do hloubek 5 - 6 m pod povrchem, místy ale lze pozorovat i smykové plochy 10 m hluboké. V období 2017 až 2019 se měřily posuny v inklinometru zobrazeném na obr. 21, který se také provedl v rámci měření ÚSMH. Měření zde ukázalo mělké pohyby do hloubek 3-4 m, kde zjištěné pohyby nebyly podél smykové plochy. Hlubší smykové zóny jsou z měření nejasné či aktuálně neaktivní.

Závěrem výzkumu bylo, že dochází k posunům a deformacím silnice ve stejných místech jako v roce 1981. Narozdíl od železnice nebyla silnice nijak mechanicky stabilizována. (Marek a Balek, 2014). V rámci své diplomové práce prováděla Léharová (2018) geodetické měření na sesuvu v Třebenicích. Během roku a dvou měsíců bylo na 13 bodech naměřeno pomocí totální stanice a GNSS observace posun 1 - 3 cm za rok, viz. obr. 22. Během let se také provedlo několik inklinometrických měření. V čase psaní této práce se začala měřit inklinometrie v místě sesuvu v rámci ÚSMH, aktuálně však není k dispozici dostatek měření pro relevantní interpretaci.



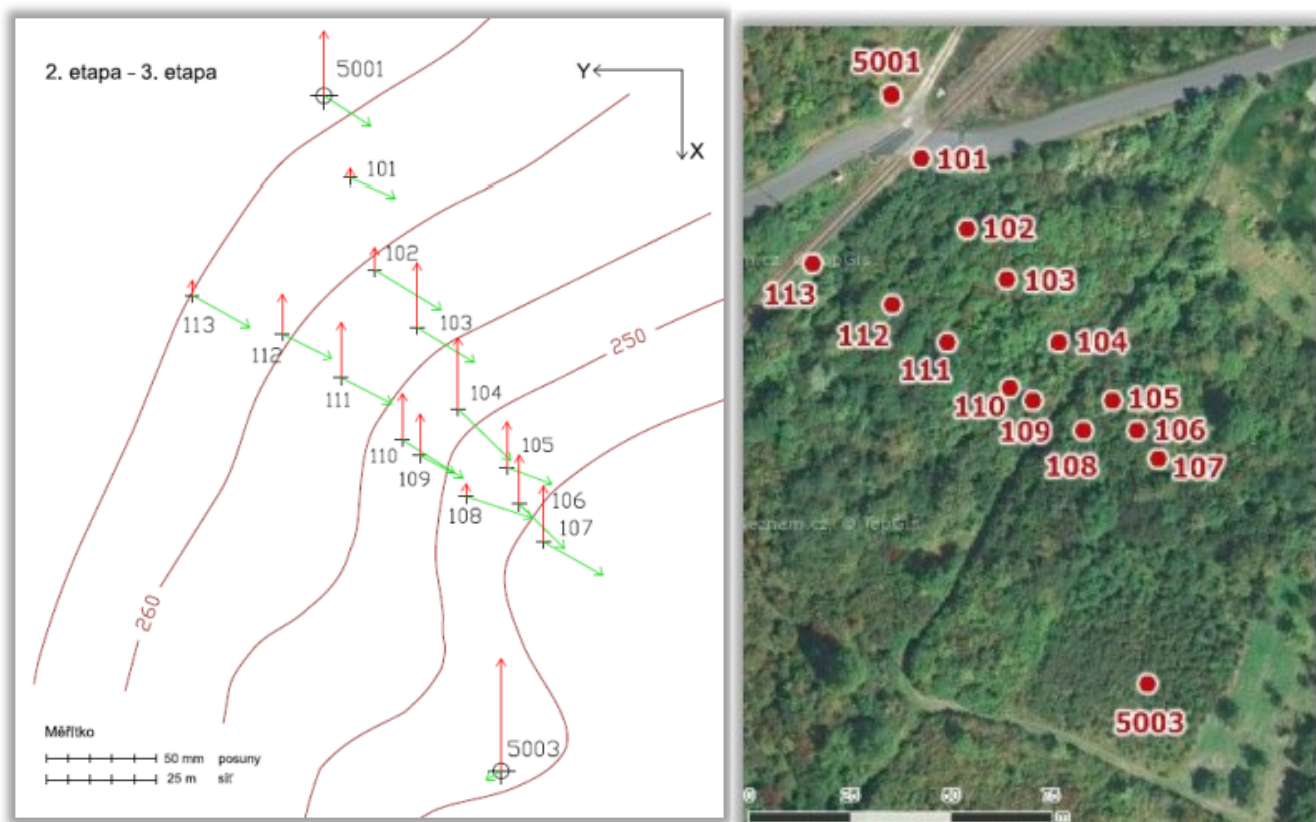
Obr. 19 - Situace sesuvu se současným měřením probíhajícím v ÚSMH a sanacemi. Profil ERT vyznačen v levém dolním rohu (Marek a Balek, 2014).



Obr. 20 - Geofyzikální řez sesuvu v Třebenicích, měřeno metodou ERT, předáno z ÚSMH.



Obr. 21 - Inklinometrické měření z roku 2017 - 2019 se situační mapou. Nepublikované měření J. Balka.



Obr. 22 - Výškový a polohový posun v období listopad 2017 - duben 2018 a situační mapa. (Léharová, 2018).

## 4. Metodologie provedených prací

V této kapitole se věnuji metodologii odběru neporušeného vzorku a přípravě rekonstituovaného vzorku. Následně popisují zkoušky provedené na vzorku zeminy pro získání pevnostních charakteristik zemin a konzistenčních mezí. Provedené zkoušky zahrnovaly triaxiální neodvodněnou zkoušku, rotační smykovou zkoušku a atterbergovy meze.

### 4.1 Vrtné práce pro získání vzorku zeminy

Dne 9. května byl proveden vrt na lokalitě u Třebenic mezi kolejíštěm a silnicí druhé třídy, viz. obr. 23. Vzdálenost vrtu od silnice a železnice byla 10 m. Inženýrskogeologický průzkum proběhl v rámci projektu GAČR “Sesuvy v měnícím se klimatu: vliv teploty na náchylnost a nebezpečí v mírném klimatu”. Jednalo se o příklepné vrtání s jednoduchou jádrovkou bez výplachu, které bohatě stačilo pro získání požadovaného vzorku vzhledem k hloubce a geologii oblasti. Vrtná souprava je zobrazena na Obr. 24, vrtání se ještě zúčastnili pracovníci Ústavu Mechaniky hornin. Cílem vrtu bylo jeho osazení teplotními čidly, proto také nedosahuje větších hloubek, jejichž dosažení by bylo z pohledu IG průzkumu a této práce přínosné.



Obr. 23 - Situační mapa. V1 - inženýrskogeologický vrt, KS - kopaná sonda



*Obr. 24 - Vrtací souprava na lokalitě, příklepové vrtání s roubíkovou korunkou bez výplachu, průměr 195 mm.*

Provedený vrt s názvem V1 je hluboký 6 metrů a je popsán v kapitole [5. IG zhodnocení](#). Odebral se celkem jeden porušený vzorek délky 1,5 m (zemina byla odebrána z hloubky 4,5 - 6,0 m, viz. obr. 25). Vytěžené jádro bylo zabaleno a uchováno pro budoucí laboratorní měření. V rámci průzkumných prací byla dále provedena kopaná sonda o šířce cca 1 m a délce 3 m viz. obr. 26. Hloubka sondy byla 1,5 metru. Kopaná sonda byla provedena bagrem, který objednali pracovníci USMH. Kopací lžíce měla průměr cca 1 m. Kopaná sonda je popsána v kapitole [6.1 Výsledky inženýrskogeologického průzkumu](#).



*Obr. 25 - Jádno slínovce v hl. 5 - 6 m, vzorek použit pro laboratorní měření.*



*Obr. 26 - Kopaná sonda provedena na lokalitě.*

## 4.2 Příprava rekonstituovaného vzorku

Vzorek zeminy z vrtu se upravil do tzv. rekonstituovaném stavu. Jedná se o stav, kdy dochází k porušení přírodních cementačních vazeb zeminy. Tím lze zjistit parametry zeminy, tedy vlastnosti, které jsou pro danou zeminu neměnné. Příprava nejdříve spočívala ve vyčištění a nakrájení vyvrtaného jádra. Dalším krokem bylo nastrouhání vyčištěného jádra klasickým struhadlem do již připravené a zvážené misky, jak lze vidět na obr. 27. Nastrouhaná zemina se poté zalila destilovanou vodou až po okraj misky a tím začala fáze míchání. Cílem tohoto kroku je naprosté porušení všech přírodních vazeb a cementace. Tento proces míchání byl nejprve manuální a po 24 hodin odležení a opětovného promíchání se pokračovalo prosíváním. Pro odstranění hrubozrnných složek bylo aplikováno síto o průměru děr 2 mm. Zemina bylo přesita celkem dvakrát. Přesitá zemina byla ještě promíchána mechanickým hnětačem po dobu cca 6 hodin. Tím byl rekonstituovaný vzorek hotov, jediné, co zbývalo bylo vzorek vysušit pro dosažení požadované vlhkosti pro danou zkoušku.



Obr. 27 - Strouhání jádra v rámci přípravy rekonstituovaného vzorku.

### 4.3 Stanovení vlhkosti

Stanovení vlhkosti je důležité například pro pochopení aktuálních vlastností ve vzorku, ale v tomto případě bylo stanovení zaměřeno na získání požadované vlhkosti pro následující zkoušky. Stanovení vlhkosti probíhalo podle normy ČSN EN ISO 17892-1 - Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 1: Stanovení vlhkosti. Prvním krokem byl odběr nasyceného vzorku o hmotnosti cca 30 gramů. Nasycená zemina byla umístěna do předem zvážené misky. Následně se se nasycený vzorek umístil do pece o teplotě cca 110 °C po dobu 24 hodin. Poté se zvážil vysušený vzorek a pomocí vzorce:

$$w = M_W/M_d$$

,kde  $w$  je vlhkost

$M_W$  je hmotnost vody odstraněné ze zeminy

$M_d$  je hmotnost vysušené zeminy

se počítala aktuálních vlhkost pro zeminy. Pro každou zkoušku byla požadovaná vlhkost jiná. V některých zkouškách bylo stanovení vlhkosti finálním krokem jako například u zkoušky Atterbergovy mezích.

### 4.4 Atterbergovy meze

Konzistenční meze jsou klíčové k pochopení chování zeminy při různé vlhkosti. V rámci sesuvu lze index plasticity využít jako prediktor k předběžné analýze náchylnosti k sesouvání, pevnost (kritická, reziduální) zemin jsou na Atterbergových mezích závislé (Roháč et. al. 2020). Zkoušky pro stanovení konzistenčních mezí jsem prováděl podle normy ČSN EN ISO 17892-12 (721007) Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 12: Stanovení meze tekutosti a meze plasticity. Nejprve jsem prováděl zkoušku na mezi plasticity. Odebral jsem malý vzorek rekonstituované zeminy, cca 2 g, s vlhkostí mírně vyšší než očekávaná vlhkost na mezi plasticity. Poté jsem rukama začal dělat válečky na dřevěné desce. Cílem bylo dosáhnout válečku tenkého zhruba 3 mm a drobení, kdy jeden kus má maximálně 10 mm, viz. obr. 28. Takto jsem provedl zkoušku celkem třikrát a poté dal vzorky do pece pro zjištění jejich vlhkosti na mezi plasticity. Výsledky jsou popsány v kapitole [5. Vyhodnocení laboratorních zkoušek](#).

Mez tekutosti, jež dává informaci o hraniční hodnotě vlhkosti v zemině, kdy se zemina začíná chovat tekutě, jsem také naměřil podle normy ČSN EN ISO 17892-12. Zkouška spočívá ve využití normovaného kuželu (hmotnost kuželu 80 g, úhel kuželu 30°, délka kuželu 35 mm). Nejprve jsem do rekonstituovaného vzorku nalil destilovanou vodu pro dosažení vlhkosti blízké vlhkosti na mezi tekutosti. Vzorek jsem poté dal do standardizované nádoby o velikosti 55 mm (šířka), 40 mm (výška). Dále byl spuštěn kužel a na povrch vzorku v nádobě, kde jsem měřil hloubku průniku v milimetrech. Zkoušku jsem opakoval pro různé typy vlhkostí a po dosažení penetrace cca 20 mm jsem naměřil vlhkosti. Index plasticity jsem počítal podle rovnice:

$$I_p = w_l - w_p$$

,kde  $I_p$  je index plasticity

$w_l$  je vlhkost na mezi tekutosti (%)

$w_p$  je vlhkost na mezi plasticity (%)



Obr. 28 - Válečková zkouška pro výpočet vlhkosti na mezi plasticity.

## 4.5 Triaxiální smyková zkouška

Účelem triaxiální smykové zkoušky je získání informací o kritické pevnosti zeminy a deformačních charakteristikách, jako je např. Youngův modul pružnosti. Hodnota kritické pevnosti je klíčová k predikci chování sesuvu a pochopení celkového systému sesouvání, hlavní cílem těchto laboratorních zkoušek bylo tedy určení úhlu vnitřního tření v kritickém stavu. Pro tento konkrétní případ byl použit typ zkoušky izotropicky konsolidované nedrénované triaxiální smykové zkoušky (CIUP). Během smykání se měřil pórový tlak a z toho se poté vypočítalo efektivní napětí, a tedy i efektivní hodnoty kritického úhlu. Zkoušku jsem dělal podle normy ČSN EN ISO 17892-9 (721007) Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 9: Konsolidovaná triaxiální zkouška v tlaku vodou nasycených zemin.

Prvním krokem této zkoušky bylo řádné připravení rekonstituovaného vzorku. Po dosažení vhodné vlhkosti se zemina připravila na proces konsolidace. Rekonstituovaný vzorek se dal do válečkových plastových forem, na spodní a horní okraj zeminy se přidaly filtrační papírky a každý konec válečku byl ucpán plastovým špuntem zobrazeným na obr. 29. I přesto, že na

triaxiální zkoušku stačí tři vzorky, jsem v rámci bezpečnosti dal konsolidovat celkem pět vzorků.



*Obr. 29 - Příprava vzorku pro konsolidaci.*

Následně byla provedena samotná konsolidace. Pro dosažení správné tuhosti zeminy (aby se zemina při manipulaci a vkládání do triaxiální komory nerozpadla) se aplikovalo 10 kg zatížení po dobu 14 dní na každý vzorek, tedy 87,5 kPa, proces zatěžování vzorku je zobrazen na obr 30. Toto zatížení se aplikovalo postupně v denních krocích po 2 kg, aby nedocházelo k vytlačování zeminy, a byl dostatek času na konsolidaci. Během procesu konsolidace se kontrolovala stabilita vzorku a pravidelně se zalévala destilovanou vodou, aby nedošlo k vyschnutí zeminy.



Obr. 30 - Konsolidování vzorků pro triaxiální zkoušku, první zatížení - sklad IG/HG.

Po dosažení 14ti denní lhůty konsolidace byly vzorky připraveny pro osazení do triaxiálního přístroje. Vzorky ve válcovém tvaru o známé výšce a průměru se obalily latexovou membránou a na horní a spodní části se umístily filtrační papírky (5 na spodní část, 2 na horní) a následně porézní destičky. Poté se každý vzorek (celkem tři) osadil do triaxiální komory a do komor byla napuštěna voda. Během fáze nasycení se aplikoval tzv. back pressure, tedy řízený pórový tlak aplikovaný na vzorek. Tento tlak pomáhá rozpouštět vzduchové bubliny zachycené v pórech vzorku, čímž vede k vyššímu stupni nasycení, což je klíčové pro simulaci realistického chování zeminy při různých napěťových podmínkách a pro určení hodnoty efektivních napětí. Před začátkem zkoušky byl potřeba provést tzv. B-check, nebo také kontrola B. Ta spočívá v ověření, zda je zemina v komoře plně nasycená vodou, tedy veškeré póry jsou vyplněny vodou a nikde není vzduch. V případě, že by v zemině bylo značné procento vzduchu by měření bylo zkreslené, protože vzduch by tlumily pórové tlaky a vztahy efektivního napětí by neplatily. B-check se provádí v triaxiální komoře, kde se měří pórový tlak. Na vzorek se aplikuje malé množství celkového napětí, např. 50 kPa, a současně se sleduje změna pórového tlaku (zemina není umožněno odvodnění). Poté se vypočítá koeficient B podle rovnice:

$$B = \frac{\Delta u}{\Delta \sigma}$$

,kde  $\Delta u$  je změna pórového tlaku (kPa)

$\Delta \sigma$  je změna celkového napětí (kPa)

Pokud je hodnota B menší než 0,90, vzorek je nedostatečně nasycený a výsledky budou skreslené (Head, 2011). Pro mé tři vzorky vyšly hodnoty B celkem: 0,94, 0,96 a 0,97. Tyto hodnoty jsem považoval za důkaz vhodnosti požadovaného nasycení. Dalším krokem bylo vypočítat rychlost smyku, která bude aplikována na vzorek. K výpočtu rychlosti smyku jsem

použil manuál pro testování zemin Heada K.H. (1998), ve kterém využívá k výpočtu Taylorovu metodu. Podle Taylorovy metody lze vypočítat rychlost smyku (shear rate) podle následující rovnice:

$$\varepsilon = \frac{k * h^2}{c_v}$$

,kde  $\varepsilon$  je rychlost smyku ( $s^{-1}$ )

$h$  je půlka výšky vzorku ( $m$ )

$c_v$  je součinitel konsolidace ( $m^2/s$ )

Součinitel konsolidace byl určen z konsolidace při zvyšování efektivního izotropního napětí ve vzorku, podle naměřených dat se pomocí Taylorovy metody T90 (čas potřebný pro dosažení 90% primární konsolidace), která je vhodná pro jemnozrnné zeminy, provedl výpočet podle:

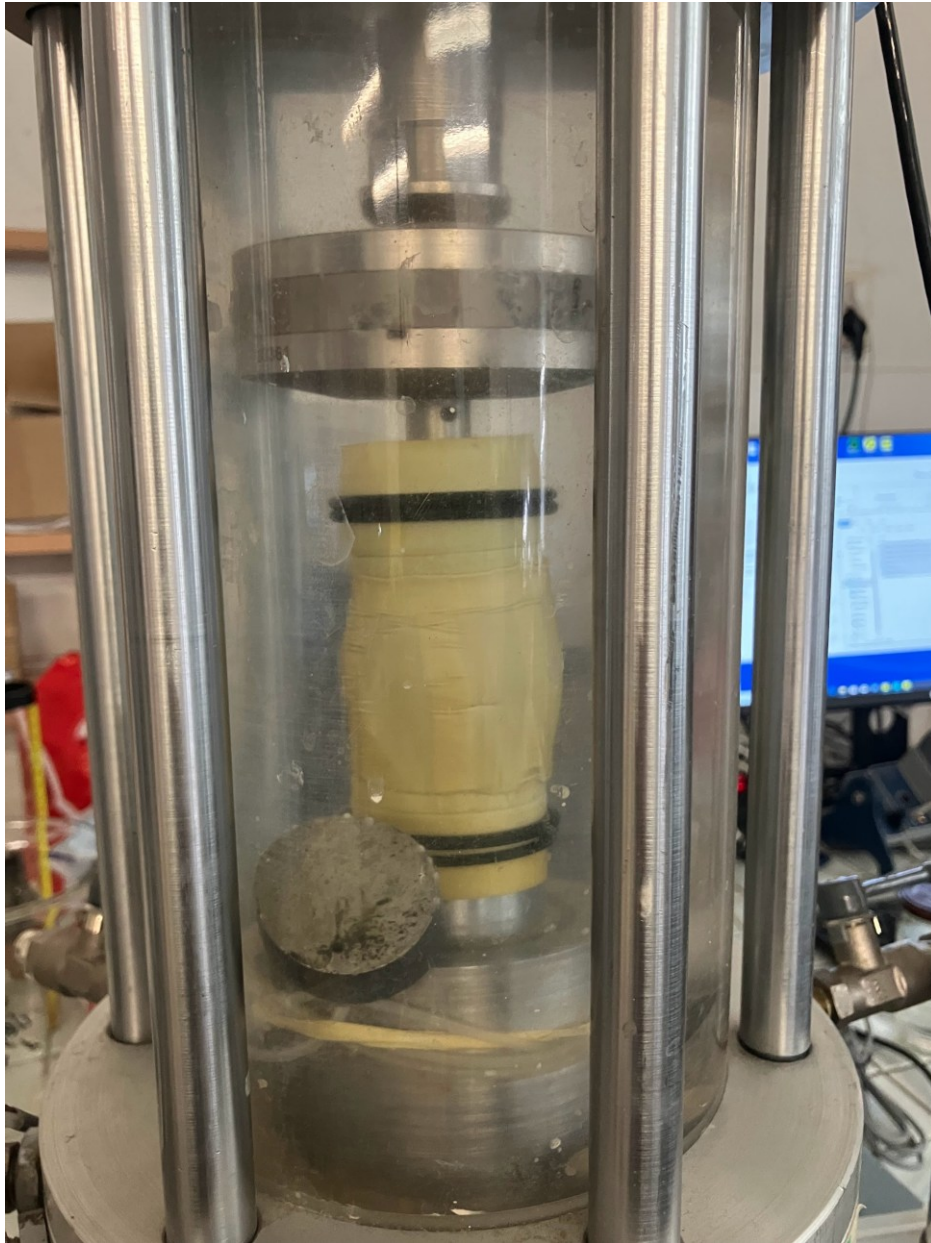
$$c_v = \frac{T_{90} * h^2}{t_{90}}$$

,kde  $T_{90}$  je bezrozměrná konstanta 0,848

$h$  je drénovaná výška vzorku ( $m$ )

$t_{90}$  je čas dosažený při 90% primární konsolidace ( $s$ )

Rychlost smyku byla vypočtena na 0,005376 mm/min, vzhledem k celkové délce smyku 20 mm tedy smyková část zkoušky trvala tři dny. Po aplikování této rychlosti tedy začalo smykání, viz. obr. 31. Zkoušky byly provedeny celkem tři, v každé se lišil aplikovaný komorový tlak. Rozdělení tlaků bylo 150 - 300 - 450 kPa. Zkouška byla manuálně ukončena po dosažení celkového smyku 20 mm, všechny vzorky se zvážily a změřila se vlhkost zeminy po ukončení zkoušky. Výsledky popisují [v kapitole 4\) vyhodnocení laboratorních zkoušek](#).



*Obr. 31 - Testovaný vzorek během smýkání.*

## 4.6 Rotačně smyková zkouška

Rotační smyková zkouška slouží k získání tzv. reziduální pevnosti. K té dochází pouze u jemnozrnných zemin při dlouhodobém smýkání a jedná se o hodnoty menší než u kritické pevnosti (Atkinson, 2007). V praxi je tato hodnota dosažena u dlouhodobých sesuvů, kde se v místě smykové plochy zemina dlouhodobě deformuje. Tedy pro analýzu sesuvu Třeбенice nacházejícího se v jílovitých zeminách a s prokazatelně dlouhou dobou pohybů (které navíc dosahovaly až jednoho metru při jednotlivých reaktivacích) je znalost hodnoty reziduální pevnosti zeminy obzvláště důležitá. Jelikož neexistuje česká ani evropská norma, která by popisovala metodiku rotačně smykové zkoušky, rozhodl jsem se dělat zkoušku podle interního předpisu laboratoře mechaniky zemin UK.

Rekonstituovaný vzorek se nejprve nechal lehce vysušit pro dosažení adekvátní vlhkosti cca 30 - 40%. Následně se vzorek "namazal" do smykové komory zobrazené na obr. 32. Bylo důležité dbát na úplné vyplnění komory, nesměly nikde být nehomogenity, bubliny apod. Poté se komora osadila do přístroje a začal proces konsolidace.



*Obr. 32 - Zemina aplikována do rotační komory.*

Podobně jako u konsolidace triaxiální zkoušky se musela zemina nejprve zatížit. V rámci konsolidace se přitěžovalo nejprve po 100g každých 30 minut. Po dosažení celkového zatížení 300g se přitěžovalo po 200g každých 30 minut. Po dosažení 1100g se aplikovalo 400g a následně 500g po 30 minutách. Celkové přitěžování takto probíhalo až do dosažení 12 kg neboli 50 kPa vertikálního napětí působícího na vzorek. Po dokončení konsolidace se poté nastavila ramena působící smykové napětí, měřící hodinky a rychlost smyku. Rychlost smyku byla stanovena stejná jako při triaxiální zkoušce, tedy 0,005376 mm/min. První smyková zkouška byla měřena v intervalu zatížení 50 - 100 - 150 - 200 kPa. Výsledky této zkoušky byly nekvalitní a docházelo k výraznému kolísání smykového napětí, výsledky jsou pravděpodobně lehce zkreslené, neboť pro tato data bylo náročné určit hodnoty smykového napětí odpovídající reziduální pevnosti, viz. kapitola vyhodnocení laboratorních zkoušek.

Tento výsledek byl pravděpodobně dán kombinací špatného vložení zeminy do smykové koruny a intervalu zatížení. Místy se pravděpodobně vyskytovaly sušší části zeminy, a to vedlo k nerovnoměrnému smýkání v zemině. Vzhledem k tomu že se zatěžovalo od nejnižší hodnoty po tu největší, tak lze očekávat že první kroky měření byly nejvíce náchylné na zkreslení výsledku. Rozhodl jsem se proto udělat druhou zkoušku s intervalem zatížení 150 - 200 - 50 - 100 kPa podle osobního doporučení od Mgr. Jakuba Roháče, Ph.D. Po ukončení zkoušky, viz. obr. 33, bylo jasné, že výsledky této zkoušky jsou mnohem lepší a jejich vyhodnocení je popsáno v [kapitole 4](#).



*Obr. 33 - Zemina v rotační komoře po ukončení zkoušky.*

## 5. Vyhodnocení laboratorních zkoušek

V této kapitole jsou vyhodnoceny všechny laboratorní zkoušky provedeny z porušeného vzorku vrty V1. Každé vyhodnocení bylo provedeno v rámci normovaných postupů podle každého typu zkoušky. Výsledné hodnoty jsou označeny tučným písmem.

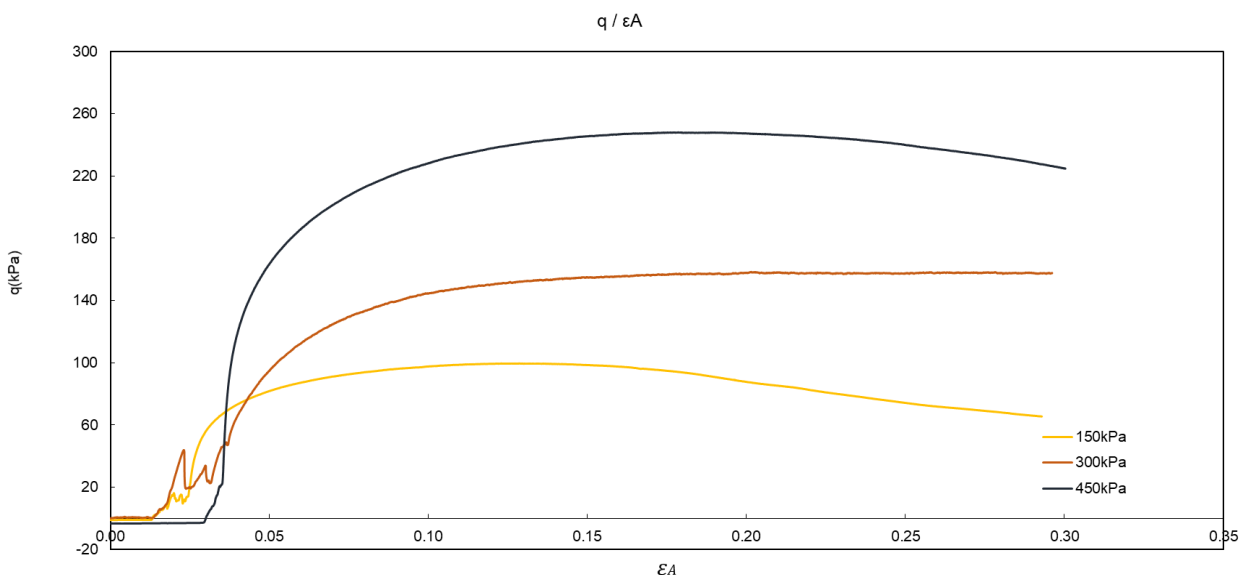
### 5.1 Atterbergovy meze

Ze tří zkoušek válečkové metody mi vyšly hodnoty vlhkosti: 25%, 24,2%, 23,4%. Z aritmetického průměru tří vlhkostí mi vyšel **finální výsledek 24,2% vlhkosti na mezi plasticity**. Po analýze dat a interpolaci výsledků z kuželové zkoušky mi pro hloubku 20 mm **vyšla vlhkost  $w_l = 62\%$** . Index plasticity tedy vyšel  **$I_p = 37,8\%$** .

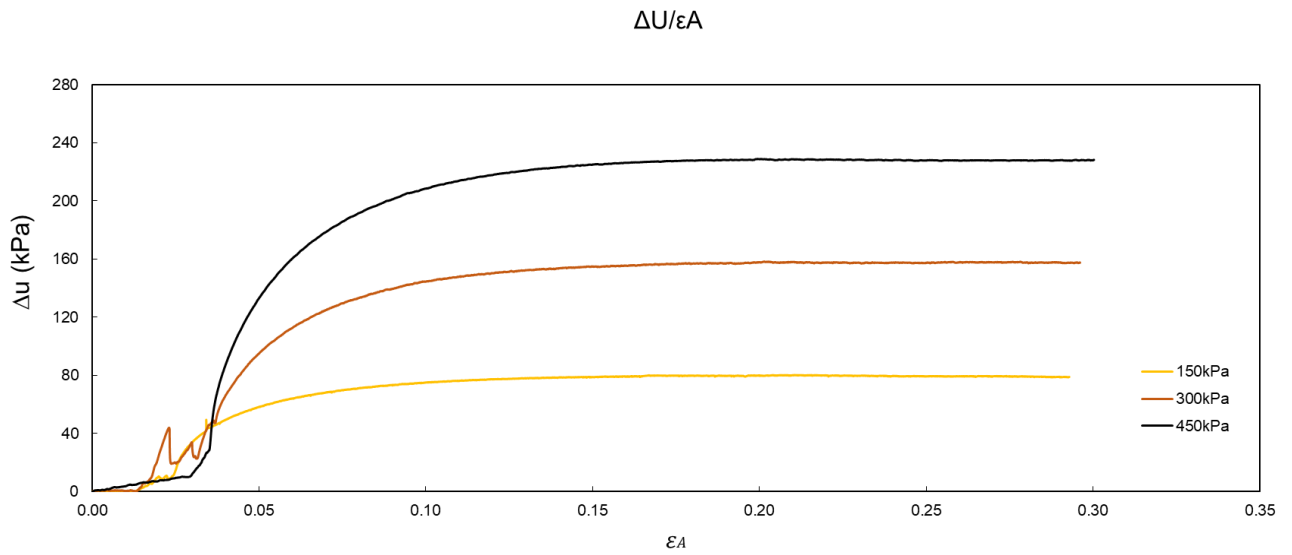
Podle normy ČSN EN ISO 14688-2 (721003) - Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařizování zemin - Část 2: Zásady pro zařizování zemina spadá podle své vlhkosti na mezi tekutosti a indexu plasticity do třídy **jílu s vysokou plasticitou F8 (CH)**.

### 5.2 Triaxiální zkouška

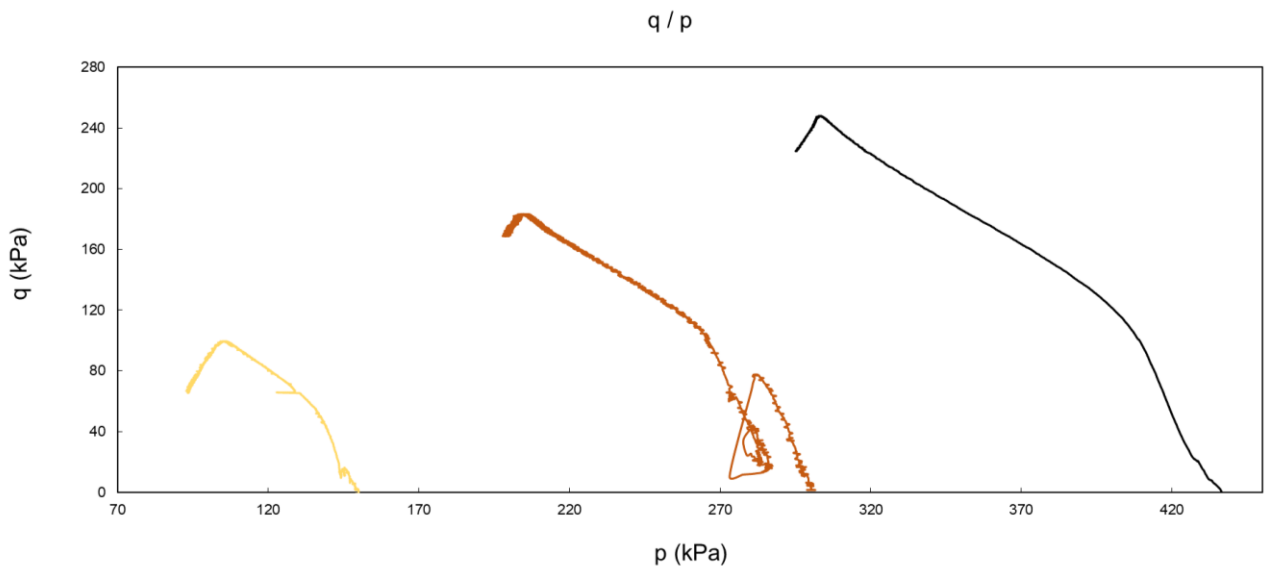
Triaxiální zkoušky byly vyhodnoceny podle manuálu Heada (2011). Během vyhodnocení šlo primárně o přepočítání na deviátorové (označeno  $q$ ) a střední napětí z naměřených hodnot. Jejich poměr v každé zkoušce lze pozorovat na obr. 36. Z toho se vypočítal tzv. mobilizovaný úhel vnitřního tření. Díky historii zatěžování a námi aplikovanému napětí víme, že zemina je normálně konsolidovaná. Z tohoto důvodu jsou zde nejvyšší hodnoty (vrcholy smykového přetvoření), viz. obr. 37 hodnoty kritické pevnosti. Ta se určila u každé zkoušky a na závěr se provedlo závěrečné vyhodnocení všech maximální hodnot smykového napětí. Poměr pórových tlaků a přetvoření lze vidět na obr. 35. Během zkoušky 300 kPa na začátku smýkání došlo mírnému dosedání přístroje na vzorku, nerovnoměrnosti jsou zjevné na obr. 36. Nicméně se všechny tři zkoušky dají označit za zdařené. Výsledný **kritický úhel vnitřního tření je  $21,9^\circ$** .



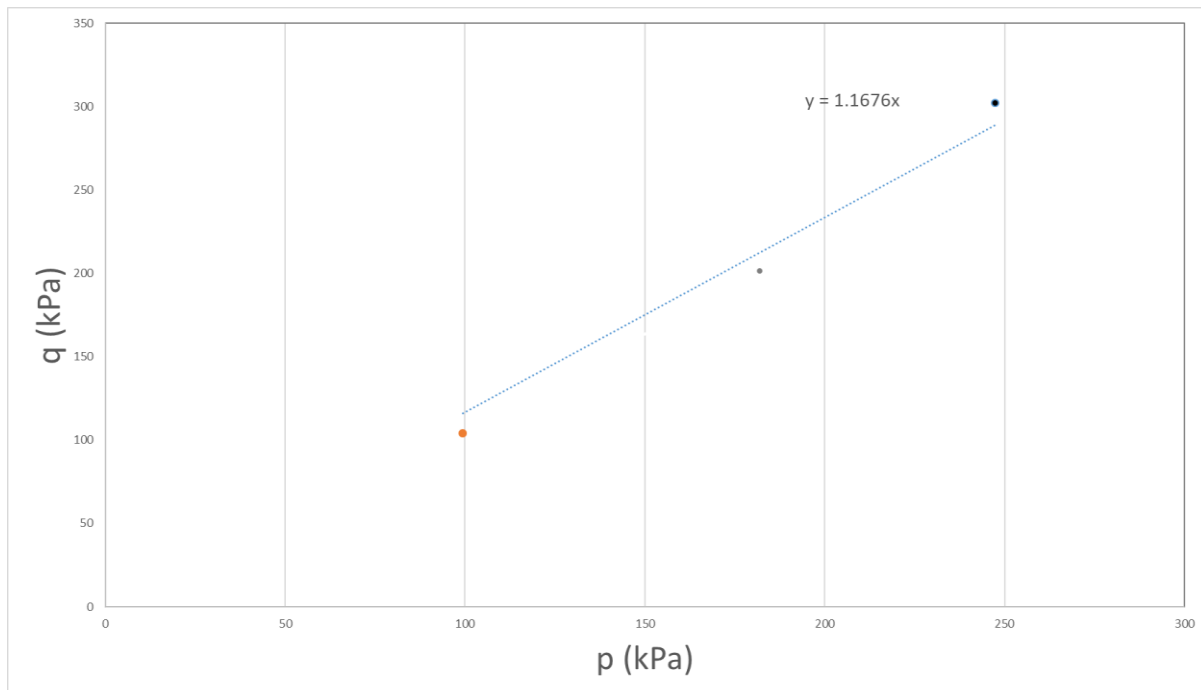
Obr. 34 - Deviatorové napětí na na přetvoření - 150 - 300 - 450 kPa.



Obr. 35 - Poměr pórového tlaku a přetvoření - 150 - 300 - 450 kPa.



Obr. 36 - Poměr deviátorového napětí a středního napětí ve všech zkouškách.

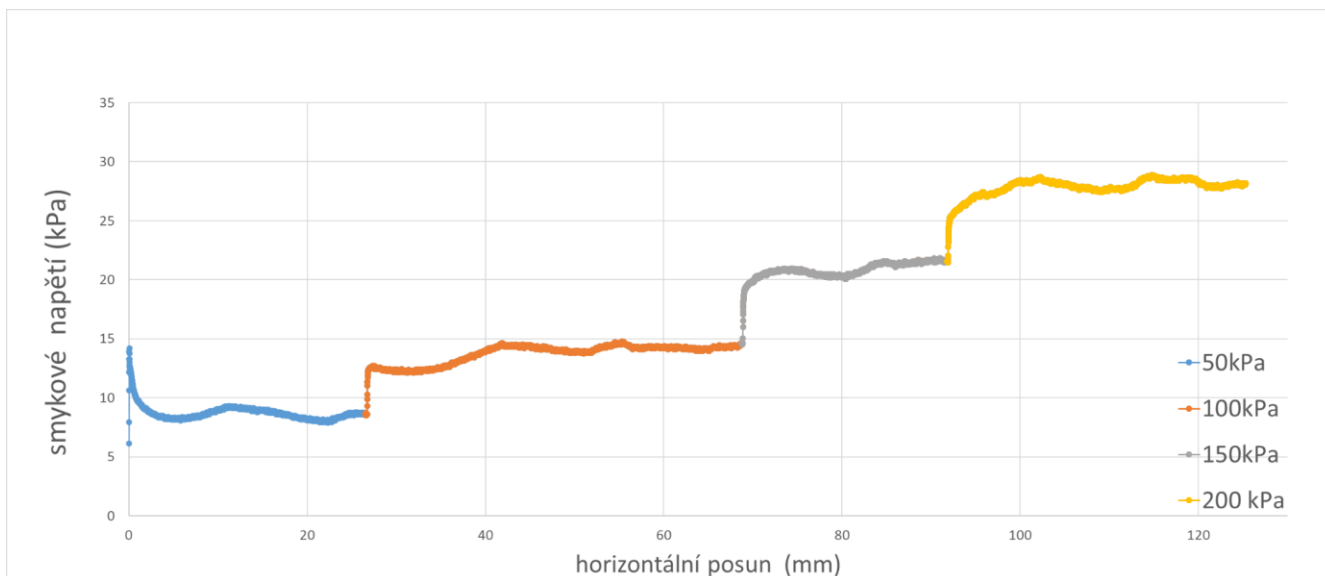


Obr. 37 - Body reprezentující jednotlivé kritické stavy.

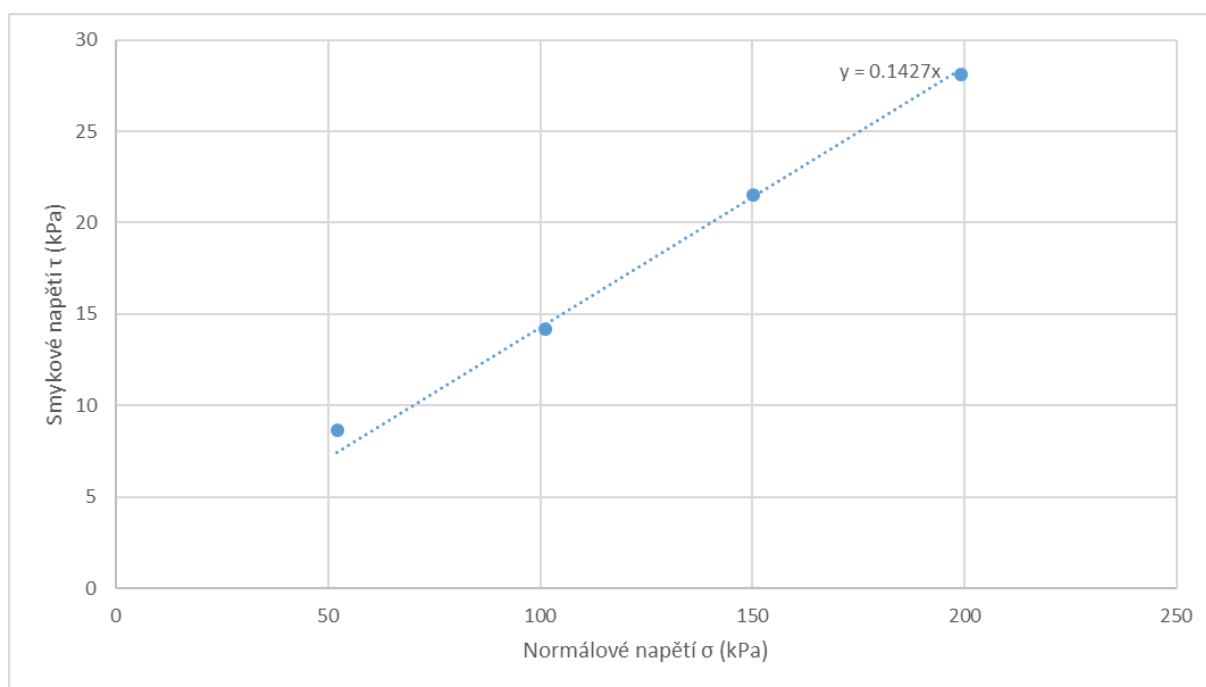
## 5.3 Rotační smyková zkouška

### 5.3.1 Zkouška č. 1

První zkouška byla již při provádění smýkání považována za nepovedenou kvůli vysokým odchylkám měření dvou ramen. Měření síly obou ramen bylo značně nelineární a tím se zkresloval výsledek, viz. obr. 38. Vysvětlení příčiny nepovedené zkoušky obsahuje nejspíše více faktorů. Hlavním je pravděpodobně špatné vložení zeminy do rotační korunky, konkrétně došlo k nedostatečnému prohnětení zeminy před vložení zeminy do smykové komory. Je možné, že zemina nebyla dokonale homogenizována a místy byly sušší části zeminy, které kvůli cementaci nebo sání, měly jiné vlastnosti a tím znehodnocovaly měření. Dále se také začínalo smýkat na poměrně nízkém napětí, a to 50 kPa, vzhledem k nízkému zatížení jsou odchylky o to více častější oproti vyšším hodnotám zatížení jako např. při 150 kPa. I přes nejednoznačnost nepovedené zkoušky jsem výsledky vyhodnotil pro porovnání s kvalitnější zkouškou č. 2. Pro vyhodnocení jsem bral průměry intervalů, které jsem považoval za alespoň částečně ustálené (hodnoty kde byly změny poměrně pravidelné). Výsledné proložení smykových a normálových napětí je zobrazeno v obr. 39. Finální výsledek této zkoušky byla hodnota **reziduálního úhlu 8.12°**.



Obr. 38 - Průběh nepovedené rotační zkoušky - značné kolísání měření smykového napětí.



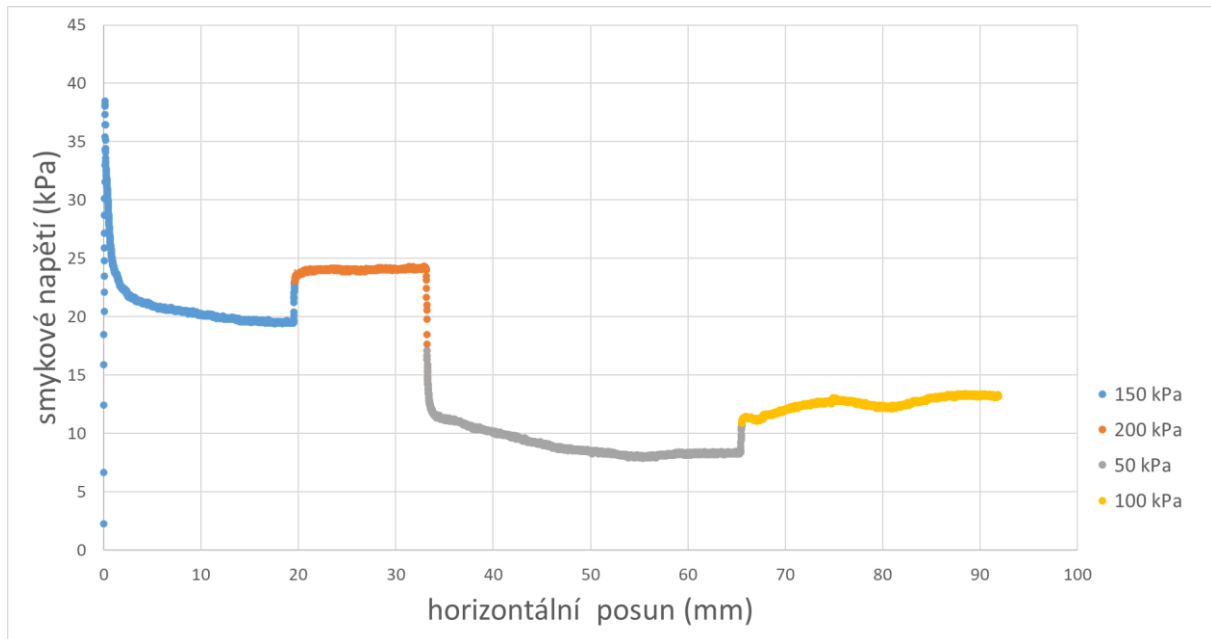
Obr. 39 - Vyhodnocení rotační zkoušky č. 1

### 5.2.2 Zkouška č. 2

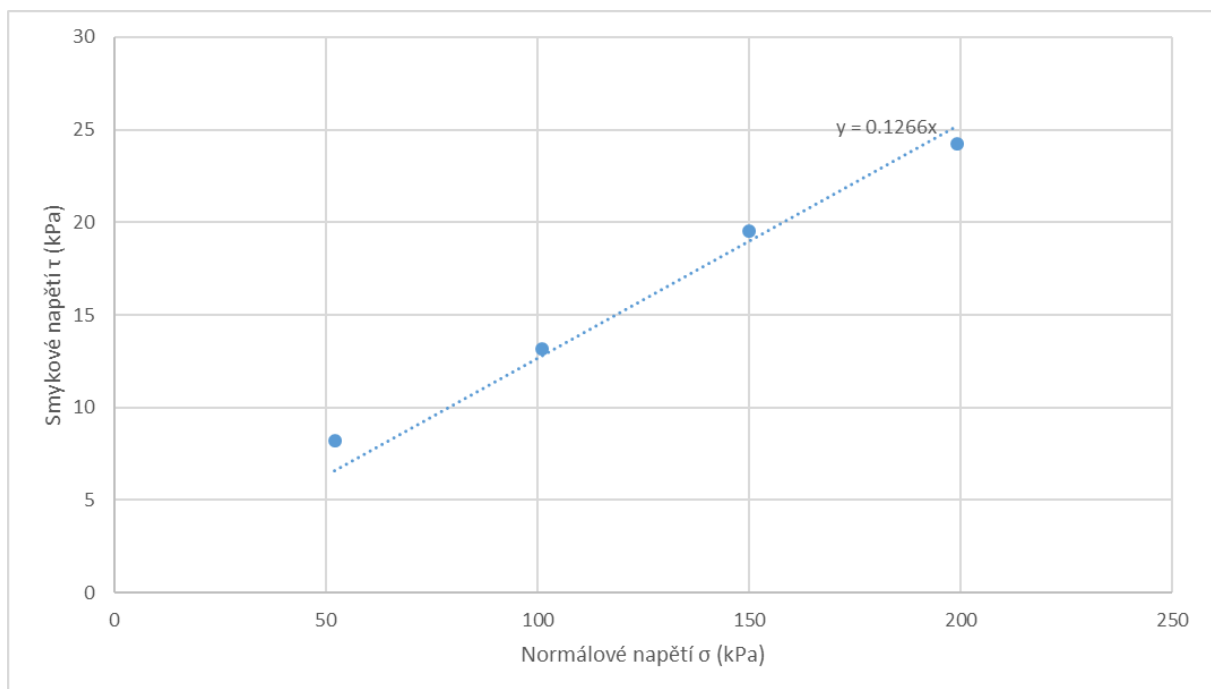
Druhá rotační smyková zkouška se projevila jako více úspěšná. V rámci přípravy byl dán důraz na správné promíchání vzorku a řádné vložení zeminy do rotační korunky. Odchytky v měření ramen nebyly v takové míře jako v prvním měření, jak lze pozorovat na obr. 40, a tak bylo možné dobře označit hranice ustálení hodnot při smýkání. Zatěžování bylo měněno následujícím způsobem: 150 - 200 - 50 - 100 kPa. Z výsledků je vidět, že větší zatěžování na začátku zkoušky prospělo k vytvoření jasnější smykové plochy, a tedy lepším výsledkům a menšímu kolísání smykového napětí. Výsledné proložení smykových a normálových napětí

je zobrazeno v obr. 41. Vyhodnocení této zkoušky vyšla hodnota **reziduálního úhlu 7.22 stupňů**.

Jako finální hodnotu reziduálního úhlu jsem se rozhodl použít průměr ze dvou provedených rotačních smykových zkoušek, tedy **7.67 stupňů**. Tuto hodnotu využívám ve stabilitní analýze v kapitole [7. Výpočet stability svahu Třeбенice](#).



Obr. 40 - Průběh druhé rotační zkoušky - v úseku 50 - 100 kPa menší nelinearita měření.



Obr. 41 - Vyhodnocení druhé rotační smykové zkoušky.

## 5.4 Shrnutí naměřených výsledků

Výsledky naměřené na zvětralém slínovci ze sesuvné oblasti u Třebenic jsou zde popsány a porovnány s naměřenými hodnotami na sesuvných územích Prackovice, Dubičná a Březno, zobrazeny v tab. 3, kde se také prováděly zkoušky na zvětralých slínovcích březenského souvrství. Vlhkost na mezi plasticity z průměru tří zkoušek vyšla 24,2%. Vlhkost na mezi tekutosti provedené z jedné kuželové zkoušky vyšla 62%. Index plasticity tedy odpovídá hodnotě 37,8% a spadá podle normy ČSN EN ISO 14688-2 (721003) - Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zatřídování zemin - Část 2: Zásady pro zatřídování do jílu s vysokou plasticitou F8 (CH). Triaxiální zkouška dala hodnotu kritického úhlu vn. tření 21,9°. Z průměru dvou měření rotační smykové zkoušky vyšla hodnota reziduálního úhlu vn. tření 7,67°. V následující tabulce je popis a porovnání hodnot. Je zřejmé, že hodnoty z různých lokalit březenského souvrství jsou až na pár výjimek velmi podobné. Mírná odlišnost měření může být způsobena mikrostrukturní rozdíly, jako je variabilita v rozložení velikosti a tvaru zrn.

Lokalita	Index plasticity Ip (%)	Kritický úhel vn. tření (°)	Reziduální úhel vn. tření (°)	Autor
Třebenice	37,8	21,9	7,67	Fedosov (2025)
Prackovice	35,1	22,6	15,7	Kareš (2024)
Dubičná	34	21,34	8,87	Pospíchal (2024)
Březno	30,2	27,6	7,34	Boltnar (2025), Severini (2025)

*Tabulka 3 - Porovnání naměřených hodnot ze sesuvu Třebenic s výsledky z dalších sesuvů nacházejících se také ve slínovcích březenského souvrství.*

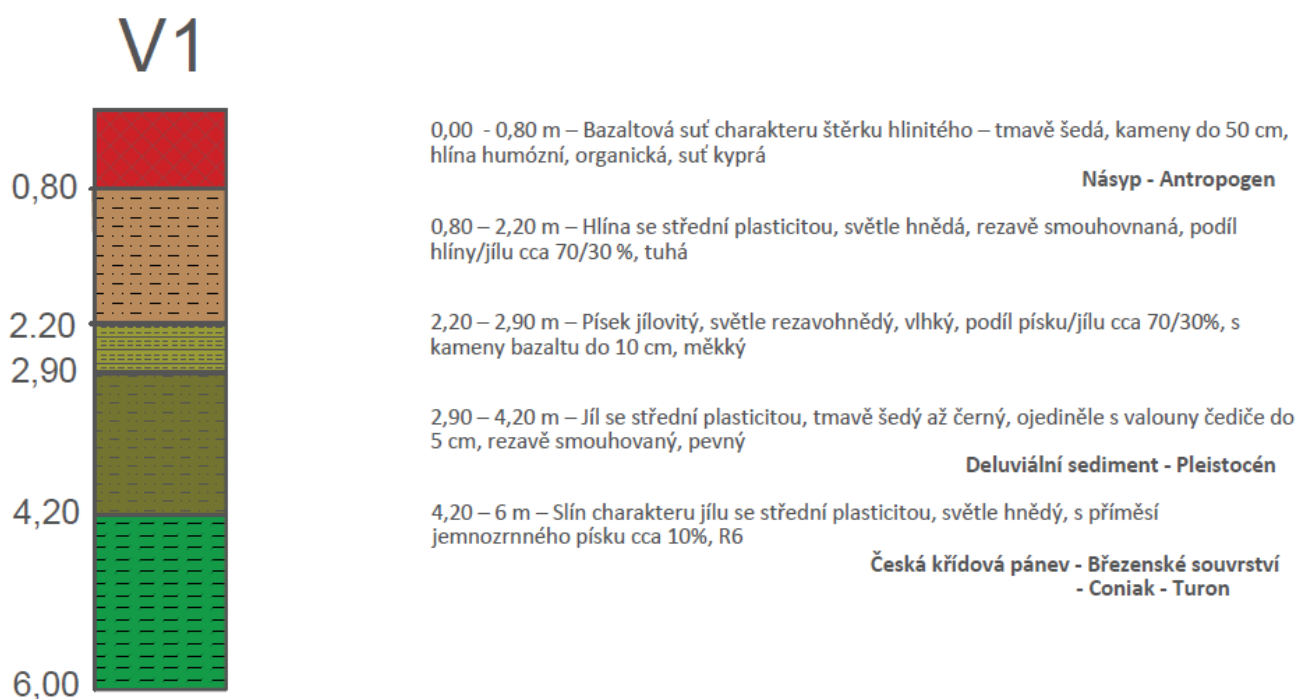
## 6. IG zhodnocení sesuvu Třebenic

### 6.1 Výsledky inženýrskogeologického průzkumu

Vrt byl popsán podle klasifikace zemin vycházející z normy ČSN P 73 1005 - Inženýrskogeologický průzkum a jeho inženýrskogeologický popis je zobrazen na obr. 42. Vrt nejprve procházel do hloubky 0,80 m navážkami, které charakterově odpovídají štěrku hlinitému (GM - G4). S největší pravděpodobností se jedná o násyp, který byl na místě vytvořen během výstavby silnice. Dále vrt pokračoval do hloubky 2,20 m hlínou se střední plasticitou (F6 CL) s četnými úlomky kamenů bazaltu o velikostech do 10 cm. Úlomky jsou těžko rozbitelné kladivem (2 údery a více), odhadovaná pevnost je R3. Jedná se o deluviální sediment kvartérního stáří. Vrt poté prošel do hloubky 2,90 m pískem jílovitým (S5 SC), který byl konzistencí značně odlišný od ostatních vrstev, byl měkký až kašovitý. Pravděpodobně se jedná o hloubku, kde v minulosti oscillovala hladina podzemní vody před sanacemi. Místy zemina obsahovala úlomky bazaltoidů velikostech 5 - 7 cm. Vrt dále do hloubky 4,20 m obsahoval jíl se střední plasticitou (F6 CL) menším množstvím úlomků bazaltů. Tato vrstva

byla původně zvětralé eluvium podložních slínů, nicméně vlivem pohybu svahu jsem tuto vrstvu označil stále za deluviální sediment. Vrt se pak od hloubky 4,20 do 6 m pohyboval v podloží slínu zcela zvětralého. Jíl v této vrstvě jsem na místě klasifikoval jako jíl se střední plasticitou, nicméně během laboratorního měření, viz. kapitola [4.4 Atterbergovy meze](#), jsem zeminu vyhodnotil jako jíl s vysokou plasticitou. Odebrán byl tedy 1x porušený vzorek v hloubce 4,5 - 6 m.

V kopané sondě byla dokumentována kamenitohlinitá suť, primárně šlo o navážky a deluviální sedimenty. Kameny bazaltů o velikostech do 15 cm byly velmi četné, cca 40-50%. Do těchto míst se pravděpodobně dostaly gravitačním transportem z blízkých Kozích vrchů nebo jsou zde deponované během konstrukce silnice.



Obr. 42 - Popis vrtu V1 podle normy ČSN P 73 1005.

## 6.2 Vymezení geotypů v sesuvném území

V rámci vypracování geologických řezů bylo pro zjednodušení popisu situace vymezeno celkem pět geotypů. Geotypy byly určeny podle stejných či podobných geologických či inženýrskogeologických vlastností. Všechny vyznačené geotypy jsou zde popsány následovně:

### GT1 Antropogenní sediment - navážky

Navážky se v zájmové oblasti vyskytují pouze částečně, a to v okolí míst železnice a silnice. Jedná se pravděpodobně o deponované zeminy, které zde byly vytěženy a rovnou využity pro násyp během výstavby silnice a železnice. Jedná se o písčité hlíny s občasným výskytem úlomků a kamenů hornin, případně s polohami stavební sutě. v zájmové oblasti mají mocnost 1-2 m. Podle normy ČSN P 73 1005 jsou zaříděny jako F1 MG, F3 MS.

### GT2 Deluviální sedimenty - hlinitokamenité sutě a písčito-jílovité hlíny

Deluviální sedimenty GT2 se v zájmové oblasti vyskytují v celém profilu. Ve svahu mají celkem dvě podoby, ale pro zjednodušení je obě zařídí do jednoho geotypu. První poloha jsou kamenitohlinité sutě, které se nacházejí v hloubkách cca 1-2 m. Jedná se o navětralé bazaltové úlomky gravitačně transportované z Kozího vrchu, který se nachází nad sesuvem. Jejich četnost podle kopané sondy provedené, viz. kapitola [4.1 Vrtné práce pro získání vzorku zeminy](#) je 40 - 50%. Druhá poloha deluvií v zájmové oblasti jsou písčito-jílovité hlíny tuhé až pevné konzistence s příměsí bazaltových štěrků. Jedná se o gravitačně transportované zcela zvětralé slínovce a zcela zvětralé až navětralé bazaltoidy z období pleistocénu. Obě polohy jsou zobrazeny na obr. 43. V zájmové oblasti zasahují do hloubek do 3 m. Podle normy ČSN P 73 1005 jsou deluvia zaříděny jako F1MG, F3MS.



Obr. 43 - Poloha deluviální sedimentů v podobě kamenitohlinité sutě a hlíny - GT2. Hloubka 1 - 2 metry.

### GT3 - Deluviální sediment - Zcela zvětralý slínovec

Zcela zvětralý slínovec světle hnědé barvy má charakter jílu se střední až vysokou plasticitou a v oblasti se vyskytuje v celém profilu. Z tohoto geotypu byly provedeny laboratorní zkoušky, viz. kapitola [4. Metodologie provedených prací](#). Tento geotyp je silně postižen sesouváním, a proto byl popsán jako deluviální sediment, i přesto že jeho transport byl v geologickém čase "nedávný". Hloubky této vrstvy dosahují do 5 - 12 m v zájmové oblasti. Dle archivních vrtů podle Paška (1962) byla smyková plocha ve vrtu V2 v hloubce 12,20 m, ve vrtu V3 byla smyková plocha zastižena v hloubce 9,70 m. Tento geotyp v podstatě končí na smykové ploše a podle těchto dvou vrtů jsem byl schopen určit hloubku GT3 v geologickém řezu. Geotyp je zobrazen na obr. 44. Podle normy ČSN P 73 1005 jsou deluvia zaříděny jako F6CL, F8CH.



Obr. 44 - Zcela zvětralý slínovec jevící známky původní horninové stavby - GT3. Valdštejsko 2025.

#### GT4 - Eluviální sediment - Velmi zvětralý slínovec

Velmi zvětralý slínovec hnědé až šedé barvy má kusovitě rozpadavý horninový charakter, jedná se o silně vápnité polohy s častým obsahem limonitu. Horninu lze lámat v ruce. V těchto místech dochází k přechodu do pevnějších horninových vrstev. Tato poloha již není postižena sesouváním. Hloubky tohoto geotypu jsou v zájmové oblasti 10 - 15 m. V archivních vrtech je tento geotyp podle Paška (1962) popsán jako šedý až tmavozelený slín slabě vrstevnatý a pevný. Podle Ladmana (1970) je tento geotyp popsán jako slín zelenošedý, tuhý až pevný. Geotyp je zobrazen na obr. 45. Pevnost geotypu je charakterizována jako R5 (1,5 - 15 MPa)



*Obr. 45 - Slínovec velmi zvětralý - přechod z hnědé barvy do šedé, vysoký obsah limonitu - GT4. Valdštejsko, 2025.*

#### GT5 - Eluviální sediment - Slabě zvětralý slínovec

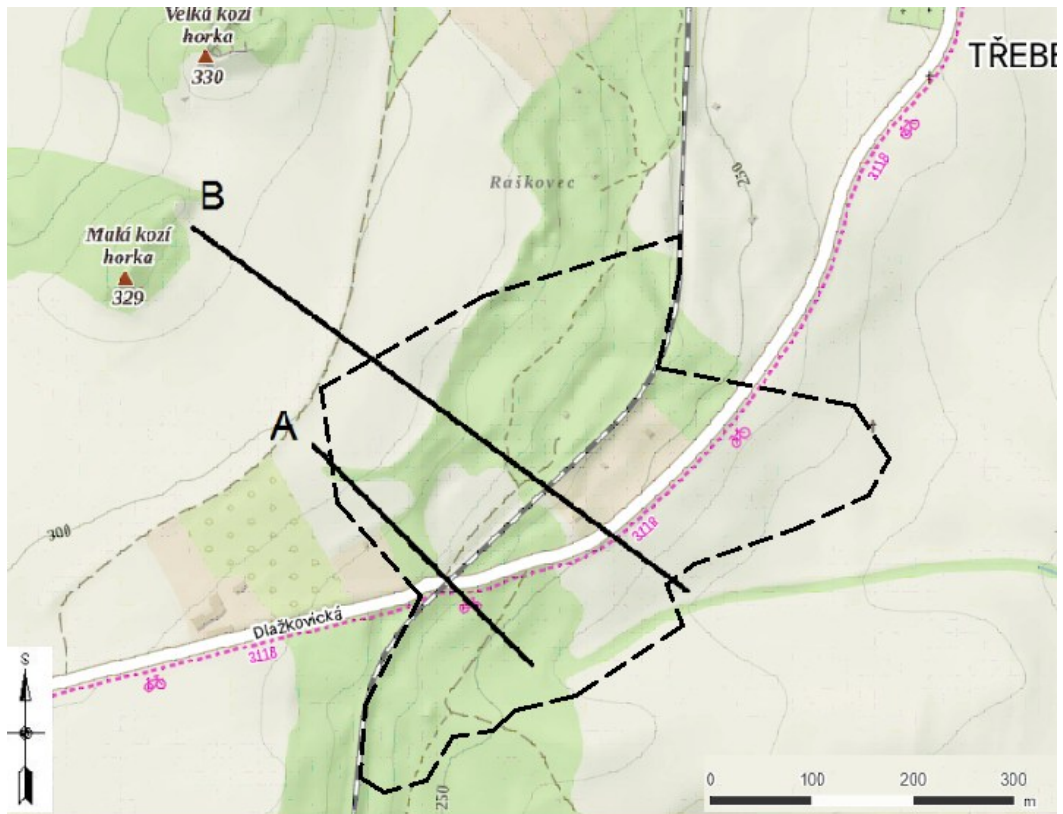
Slabě zvětralý slínovec šedé barvy má kusovitě rozpadavý horninový charakter. Obsah limonitu je zde minimální, úlomky nelze lámat v rukou. Jsou rozbitelné kladivem jedním úderem. Jedná se poslední geotyp kam zasahují archivní vrty. Pašek (1962) tento geotyp ve vrtu V1 popisuje jako šedý, slabě namodralý slínovec s náznaky horizontálního zvrstvení, pevný. Ladman (1970) ho popisuje ve vrtu V - 3 jako slín tmavošedý, velmi slabě písčité, pevný. Hloubky GT5 jsou pravděpodobně kolem 25 m. Geotyp je zobrazen na obr. 46. Pevnost horniny je zatříděna jako R4 (5 - 15 MPa).



Obr. 46 - Slabě zvětralý slínovec šedé barvy - GT5. Valdštejnsko, 2025.

## 6.2 Geologické řezy

V rámci praktické části a pro správnou interpretaci sesuvu jsem vytvořil celkem dva inženýrskogeologické řezy A a B. Jsou situovány v obr. 47. První řez A byl zvolen z důvodu většího počtu mělčích vrtů, jedná se tedy o nejvíce detailní řez. Také je v místě, kde se železnice a silnice protíná, tzn. v místě železničního přejezdu, a v zásadě uprostřed studovaného aktivního sesuvu A (viz obr. 47). Celkový sklon řezu A je 17,2%. Řez B představuje největší oblast aktivního sesuvu a v těchto místech se plánuje v blízké budoucnosti v ÚSMH instalovat nový inklinometr. Celkový sklon řezu B je 12,5%. Všechny archivní vrty použité pro vytvoření řezů jsou v tabulce 2, viz. [3.1 Archivní rešerše](#) Jejich zaměření ve zprávách často chybí, tak jsem popsal aspoň ty, u kterých byla informace spolehlivá. Tyto řezy jsem dále využil pro tvorbu stabilitního modelu sesuvu v kapitole [7. Výpočet stability svahu Třebenice](#).



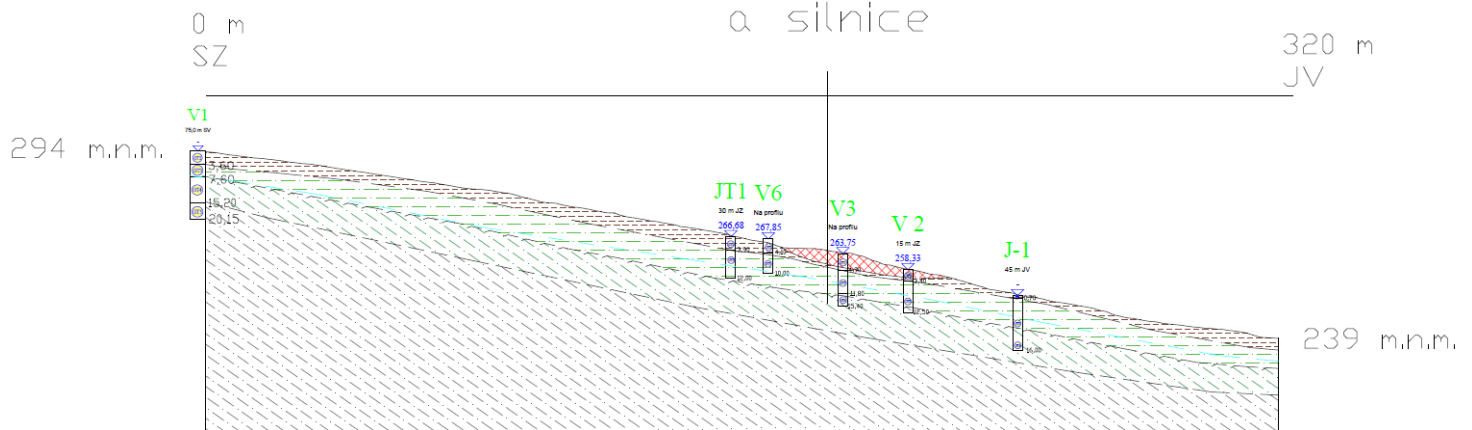
Obr. 47 - Situační mapa pro geologické řezy A, B. Čárkovaně aktivní sesuvná oblast.

### Geologický řez A

1: 1000

Sklon svahu 1:5,8 (17,2%)

Křížení železnice  
a silnice

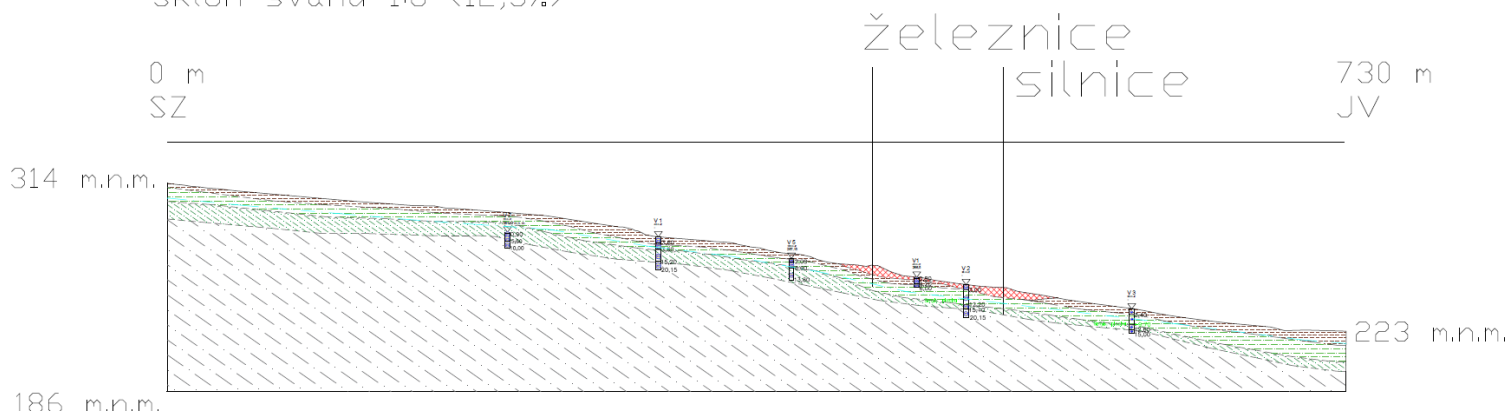


Obr. 48 - Geologický řez A.

# Geologický řez B

1: 1000

Sklon svahu 1:8 (12,5%)



Obr. 49 - Geologický řez B.

## Legenda

GT1		Navážka – recent		předpokládané hranice vrstev v kvartéru
GT2		Kamenitohlinité sutě a písčité hlíny deluviální sediment – pleistocén		předpokládaná úroveň povrchu předkvartémního podloží
GT3		Slínovec zcela zvětralý – zelenošedý, R6 – Svrchní turon – coniak		předpokládané hranice míry zvětrání podloží
GT4		Slínovec velmi zvětralý – zelenošedý, R5 – Svrchní turon – coniak		hladina podzemní vody (hgv)
GT5		Slínovec slabě zvětralý – zelenošedý, R4 – Svrchní turon – coniak		

Obr. 50 - Legenda pro geologické řezy.

## 6.3 Porovnání výsledků s rešerší

V rámci provádění vrtných prací a popsání vlastního vrtu V1 lze říct, že geologie zcela odpovídá popisům vrtů od Paška (1963), Ladmana (1970) či Rybáře (1983). Úplně všude se nacházela vrstva navážek v okolí křížení železnice a silnice v podobě reponovaných sedimentů. Také v každém archivním metru bylo pozorována vrstva deluvií, která se však rozdělovala na deluvia pleistocenního stáří a deluvia nedávná v podobě zcela zvětralého slínovce. Deluvia pleistocenního stáří se místy lišila popisem, vždy však šlo o hlinité jíly, či jíly slabě písčité. Vrtý V-1, V-2 od Paška (1961), které jsou situovány desítky metrů jihovýchodně od V1 popisují smykové plochy v hloubce 9 a 12 metrů. To se vysvětluje větším počtem smykových ploch v sesuvu a proměnlivou hloubkou smykových ploch. To samé

ukazuje i měření ERT a inklinometrické měření popsané v kapitole [3.3 Měření na sesuvu v současnosti](#).

V rámci měření konzistenčních mezí jsou výsledky také shodné s archivním měřením zobrazené v tab. 1. Index plasticity vycházel např. u Ladmana (1970) v mezích 34 až 43, což se shoduje s hodnotou 37,8% naměřenou v rámci této práce. Laboratorní měření, které bylo provedeno v rámci této práce, dalo za výsledek kritický úhel vnitřního tření 21,9°. Tato hodnota odpovídá rozptylu pouze u měření provedených v průzkumu podle Zuzánka (1982), který provedl celkem 6 zkoušek a měl rozptyl kritických hodnot 21 - 31°. U Rybáře (1983) se tato hodnota projevila na rozptylu hodnot naměřených pod smykovou plochou a to rozptyl 17 - 24°. Minimální hodnota kritického úhlu naměřených Ladmanem (1970) byla hodnota 25°. Celkově lze říct že odchylka kritického úhlu není příliš vysoká a naměřená hodnota z vrtu V1 částečně odpovídá archivním hodnotám, které byly naměřeny na smykových krabicích. Hodnota reziduálního úhlu z vrtu V1 vyšla 7.22°. Tato hodnota odpovídá pouze rozptylu naměřených u Ladmana (1970) 1,4 - 12,6°. Vzhledem k tak vysoké odchylce a k tomu že reziduální úhel 1,4° není pro zeminu příliš reálná hodnota, nelze říct, že se naměřená hodnota shoduje s archivním měřením. Zuzánek a Rybář měli minimální hodnoty reziduálních úhlů 14°, respektive 12°. Důvodem těchto různých odchylek může být podhodnocení úhlu vnitřního tření ze zkoušek z vrtu V1 nebo také nadhodnocení zkoušek z archivních měření, které byly provedeny v krabicové smykové zkoušce.

Autor	Počet zkoušek	Kritický úhel vnitřního tření	Reziduální úhel vnitřního tření
Z. Ladman 1970	14	25 - 29°	1,4 - 12,6°
P. Zuzánek 1982	6	21 - 31°	14 - 24°
J. Rybář 1983	18	17 - 20° (nad s.m.) 12 - 15° (ve s. m.) 17 - 24° (pod s.m.)	12 - 16°

Tabulka 1 - Shrnutí hodnot kritických a reziduálních úhlů z IG zpráv.

## 7. Výpočet stability svahu Třebenice

Na závěr praktické části této diplomové práce byla vytvořena stabilitní analýza sesuvu u Třebenic. Použily se celkem dva modely vytvořené z geologických řezů vytvořených v kapitole [6.2 Geologické řezy](#) - tedy řezy A a B. Účel této stabilitní analýzy je porovnání současné stability svahu sesuvné oblasti (hladina podzemní vody v rozmezí 6 - 8 m pod povrchem, aktivní sanační opatření v podobě snížení hladiny podzemní vody a pilotové stěny u náspu železnice) a stavu v roce 1970 (hladina podzemní vody v rozmezí 2 - 4 m pod povrchem), kdy došlo k prvním výrazným dobře dokumentovaným pohybům, přestože byla zaznamenána aktivita již dříve, viz kapitola [3.2 Historie sesuvu](#). Stabilitní analýza se provedla

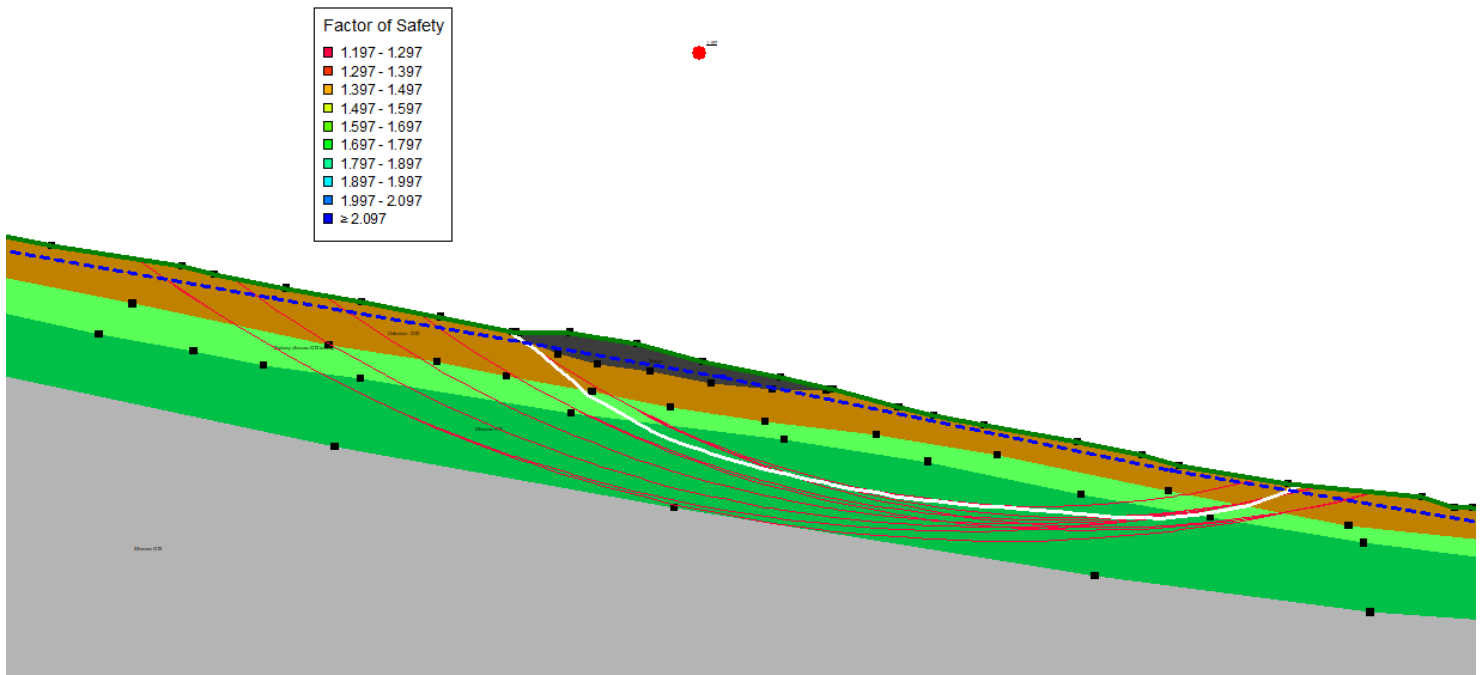
v softwaru Geostudio verze 21. Výpočet stability byl proveden metodou limitní rovnováhy, konkrétně pomocí metody Morgenstern-Price. Hranice geologických vrstev byla rozdělena podle geotypů určených v kapitole [6.2 Vymezení geotypů v sesuvném území](#).

Prvním předmětem výpočtu je analýza stabilitních poměrů, výšky hladiny podzemní vody a stavu sesuvu při jeho pravděpodobně první výrazné aktivaci (1970). V rámci těchto analýz je tedy vysoká hladina podzemní vody (2-4 m pod povrchem) a kritická pevnost (21,9°) ve všech slínovcích. Druhým případem je studium aktuálních stabilitních poměrů. Díky tomu, že víme, že několikrát došlo k výrazným pohybům (1970, 1981) lze předpokládat, že na určitých úsecích smykové plochy byla již plně aktivována reziduální pevnost (7,67°). Nyní se díky sanačním opatřením hladina podzemní vody nachází výrazně hlouběji (8-10 m) a byla postaveny i pilotové stěny (10-12 m hluboko) v oblasti železnice. Nicméně byly i tak změřené pohyby do 5 m pod povrchem viz. kapitola [3.3 Měření na sesuvu v současnosti](#), kde jsou důkazy o pohybu měřeny z povrchu a inklinometru. Je tedy jasné, že by se stupeň stability FS měl blížit hodnotě 1,0, i když tohle nemusí platit pro původní hluboké smykové plochy.

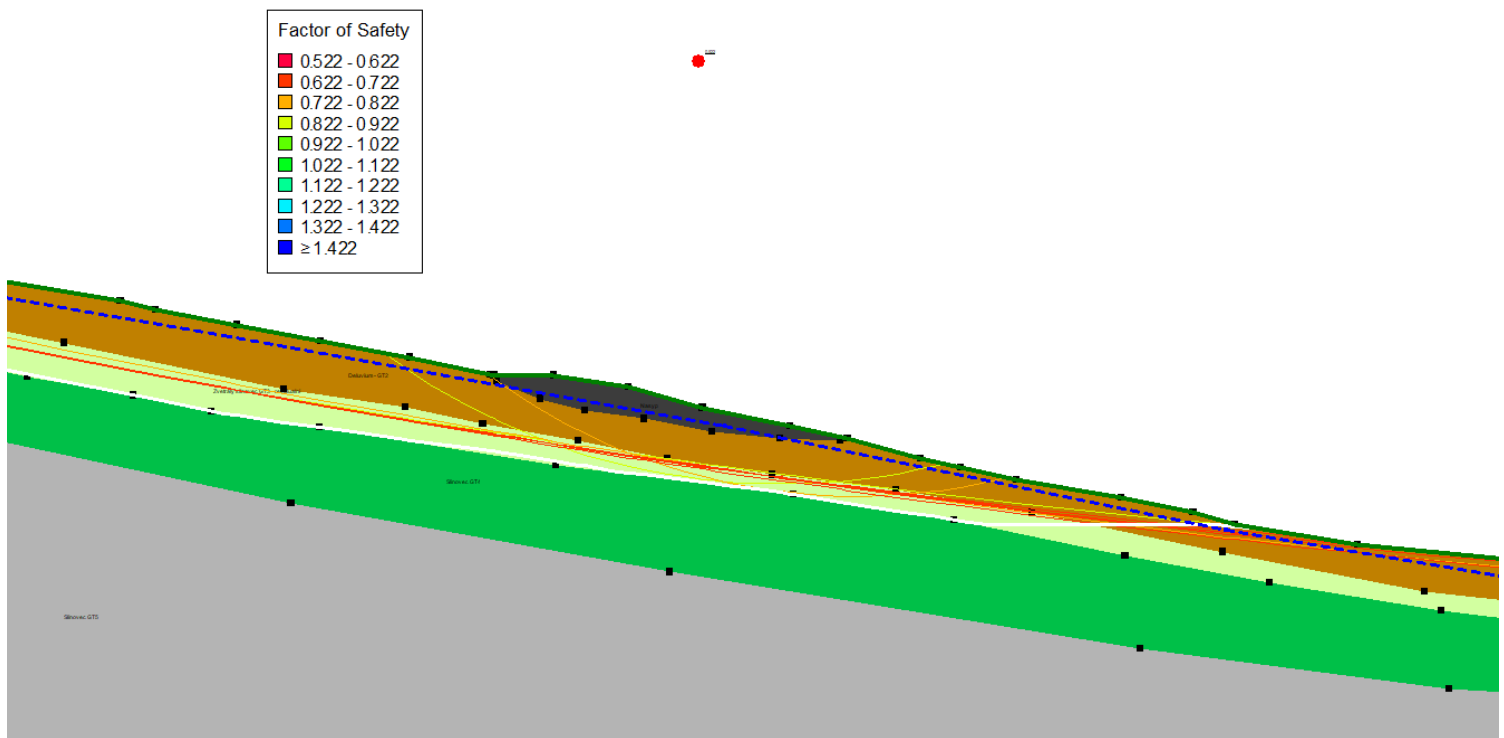
## 7.1 Stabilitní analýza řez A

První analýzou v rámci tohoto řezu bylo studium podmínek v roce 1970. V této stabilitní analýze jsem zadal kritickou hodnotu do všech geotypů s HPV 1 m pod terénem. Cílem této analýzy je ukázat, zda se při dnešní geometrii svahu a použití kritické pevnosti podaří prokázat možné sesouvání, což by znamenalo, že sesuv je poměrně recentní a prvotní výrazná aktivace byla ve svahu velmi podobným tomu dnešnímu, a to díky nedávným antropogenním zásahům. Všechny výpočty s tímto nastavením se nicméně přibližují hodnotám FS kolem 1.2, jak je zobrazeno na obr. 51, tedy příliš vysoké pro aktivaci sesuvu. Tohle s největší pravděpodobností znamená, že se od první sesuvné události musela změnit geometrie svahu (muselo tedy dojít ke snížení sklonu svahu postupnými dlouhodobými svahovými pohyby). Dále je také nutné brát v potaz, že při dlouhotrvajícím nadprůměrném zadržení vody (extrémní srážky), kdy se bazální části svahu stávaly lokální drenážní oblastí, která se vyznačuje vzestupným směrem proudění podzemní vody, se stabilita svahu efektivně snižuje (Novotný, 2002), viz. kapitola [3.1 Archivní rešerše](#). V tomto případě by mohlo dojít ke snížení FS pod hodnotu 1 a vznikl by sesuv jako v roce 1970. Tato varianta však nebyla prokázána výpočty. V rámci této analýzy se určily smykové plochy hluboké 10-12 m pod povrchem, což by odpovídalo průzkumu ve vrtech podle Paška (1963) a měření ERT (ÚSMH).

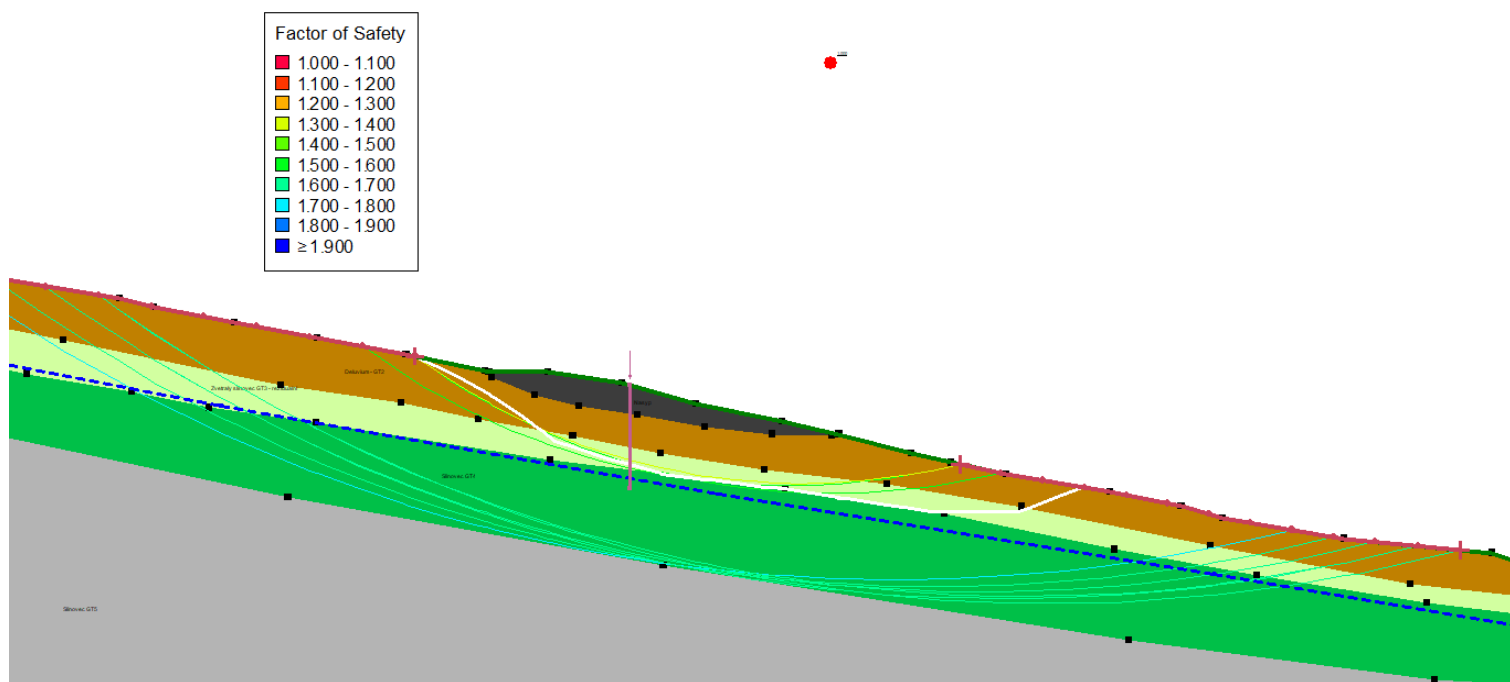
Při použití reziduální pevnosti pro GT3 (zvětralé slínovce) při stejném nastavení se hodnoty FS razantně snížily na hodnoty kolem 0,5, jak je zobrazeno na obr. 52. Tyto hodnoty jsou příliš nízké a lze pravděpodobně říct, že se reziduální pevnost aktivovala až po sesuvech v roce 1970. Na závěr analýzy se vytvořil model odpovídající současnému stavu sesuvu, tedy HPV v 8-10 m pod terénem a aplikování pilotové stěny pod železnicí. Nejnížší naměřená hodnota FS je 1,00, tedy přesně hodnota na pomezí sesouvání se smykovou plochou v hloubce 10 m. Vzhledem k tomu, že je na sesuvu v současnosti zdokumentován pohyb je tato hodnota pravděpodobně blízká skutečnosti. Dále potvrzuje aktivaci reziduální pevnosti ve vrstvách zcela zvětralých slínovců.



Obr. 51 - Stabilitní model A - HPV 1 m pod terénem - kritická pevnost - FS 1.19



Obr. 52 - Stabilitní model A - HPV 1 m pod terénem - reziduální pevnost - FS 0.52

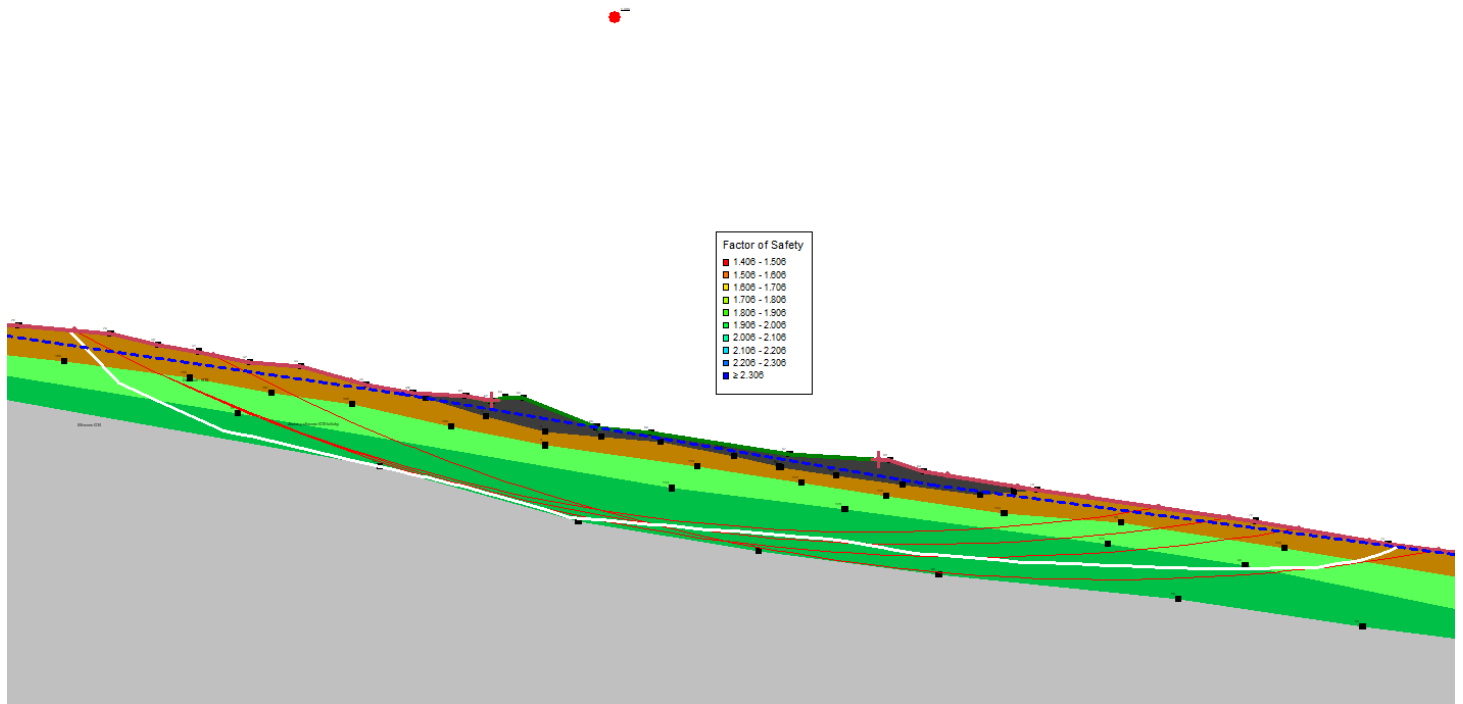


Obr. 53 - Stabilitní model A - HPV 10 m pod terénem, pilotová stěna - reziduální pevnost - FS 1.00

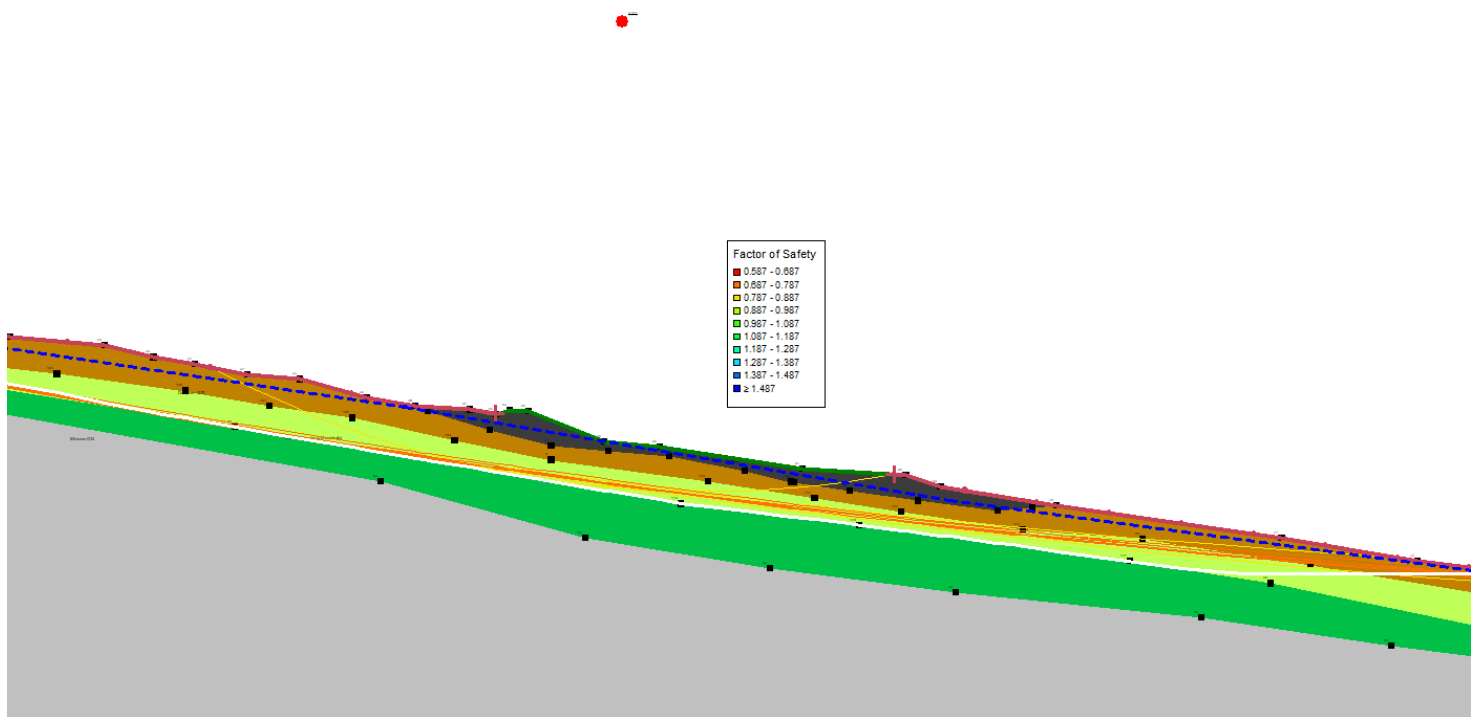
## 7.2 Stabilitní analýza řez B

Podobně jako ve stabilitní analýze A jsem pro řez B zadal kritickou hodnotu do všech geotypů s HPV 1 m pod terénem. Všechny výpočty se zde také přibližují vysokým hodnotám FS, konkrétně kolem 1,4, jak je zobrazeno na obr. 54. V tomto případě jsou nejpravděpodobnějším vlivem pro vyšší hodnotu FS změny v geometrii svahu, které jsou dány vlivem sesuvů v minulosti a sanacemi (odtěžení násypu).

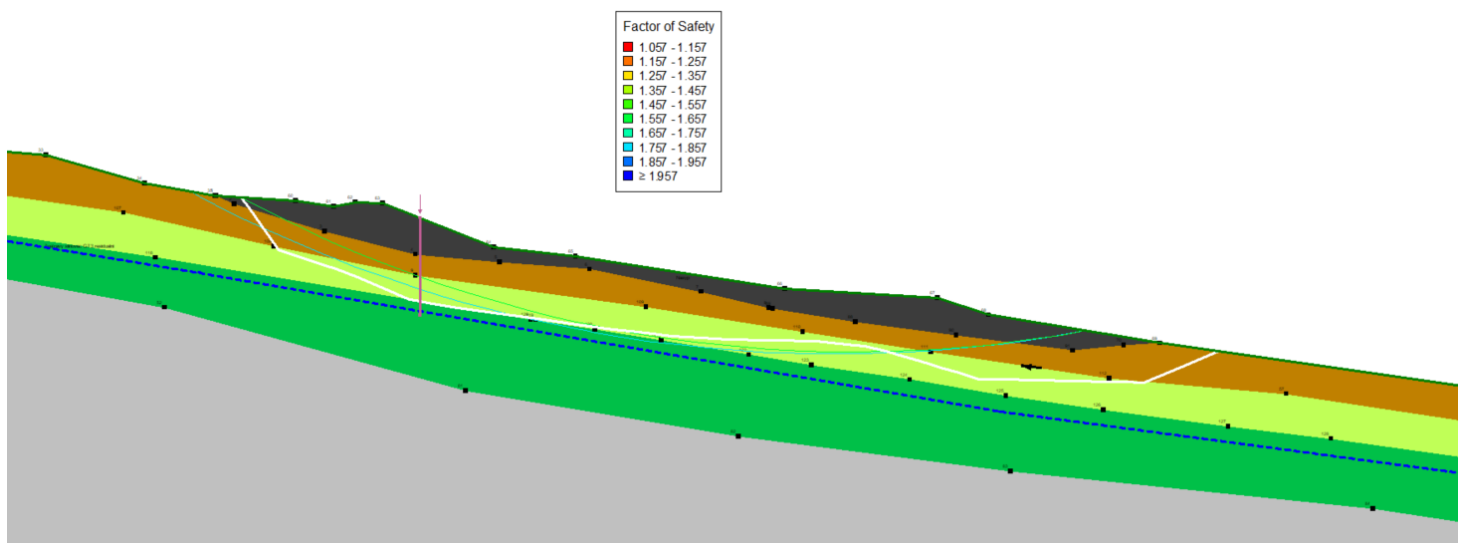
Při použití reziduální pevnosti pro GT3 (zvětralé slínovce) při stejném nastavení se hodnoty FS také razantně snížily na hodnoty kolem 0,5, jak je zobrazeno na obr. 55. Opět jsou tyto hodnoty příliš nízké a lze pravděpodobně říct, že se reziduální pevnost aktivovala až po sesuvech v roce 1970 i v tomto delším profilu B. Na závěr analýzy se vytvořil model odpovídající současnému stavu sesuvu, tedy HPV v 8-10 m pod terénem a aplikování dvou pilotových stěn, pod železnicí a 80 m západně od železnice. Byly provedeny dva výpočty, jeden s kratší smykovou plochou (mezi železnicí a silnicí) a druhý s delší smykovou plochou. Nejnižší naměřená hodnota FS v prvním měření je 1,05, kterou lze vidět na obr. 56. V tomto případě se jedná o složenou smykovou plochu zasahující do hloubek 7-10 m pod povrchem a zasahující lehce pod silnici druhé třídy. Také se jedná o hranici stability a vzhledem k naměřeným posunům na sesuvu lze říct, že je hodnota blízká reálné hodnotě. Druhé měření je zobrazeno na obr. 57 a ukazuje nejmenší naměřenou hodnotu FS 0,98. Jedná se o smykovou plochu o délce 300 metrů a zasahuje do hloubek 10 - 12 metrů. Tato hodnota sice dosahuje hodnoty pod FS=1, ale vzhledem k zjednodušení modelu a délce smykové plochy by mohlo pravděpodobně jít o hodnotu blízkou realitě.



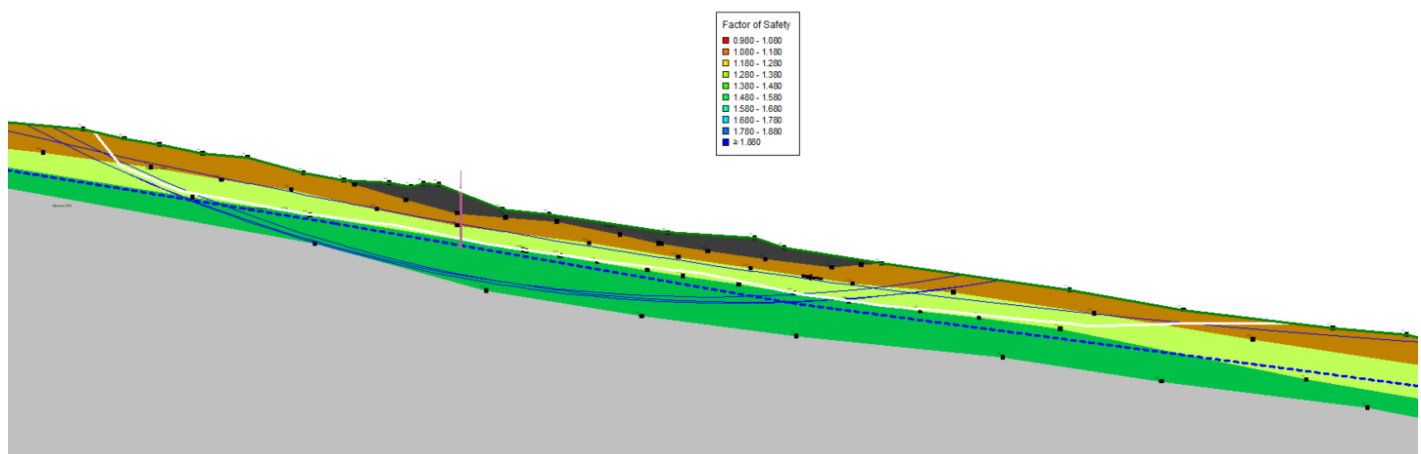
Obr. 54 - Stabilitní model B - HPV 1 m pod terénem - kritická pevnost - FS 1.4



Obr. 52 - Stabilitní model B - HPV 1 m pod terénem - reziduální pevnost - FS 0.58



Obr. 56 - Stabilitní model B - HPV 10 m pod terénem, pilotová stěna - reziduální pevnost - FS 1.05



Obr. 57- Stabilitní model B - HPV 10 m pod terénem, pilotová stěna, delší smyková plocha - reziduální pevnost - FS 0.98

### 7.3 Shrnutí stabilitní analýzy

Na stabilitních modelech bylo dokázáno, že při použití kritické pevnosti pro zvětralé slínovce společně s použitím aktuální geometrie svahu, jsou předpovídány příliš vysoké stupně stability pro vznik svahových deformací i s vysokou hladinou podzemní vody, a to přestože jsou dnes na sesuvu malé deformace zaznamenány. To lze vysvětlit tím, že se původní geometrie svahu, kde došlo k překročení kritické pevnosti, lišila od té dnešní. Pravděpodobně vlivem historických sesuvů a působením člověka (výstavba železnice a silnice, sanační práce na sesuvech) došlo ke změně terénu a ovlivnění celkové geometrie. Zároveň je možné, že se reziduální pevnost aktivovala až po sesuvu v roce 1970, ale vzhledem ke změnám

geometrie to nelze s jistotou říct. Oba modely také potvrzují aktivovanou reziduální pevnost ve zvětralých slínovcích v současnosti. Při aplikaci dnešní geometrie, stabilizačních pilot a reziduální pevnosti v modelu se hodnoty FS pohybují kolem 1,00. Smykové plochy byly v modelu určeny v hloubce 10 - 12 m pod povrchem. Stejně hloubky smykových ploch interpretuje na sesuvu i Pašek (1963) a měření ERT v rámci ÚSMH. Sesuvné území se podle stabilitních modelů dá označit za aktivní, a i nadále náchylné k sesouvání. Největším rizikem pro sesuv by bylo rapidní či dlouhodobé zvýšení hladiny podzemní vody. To se díky sanacím na lokalitě v nejbližší době pravděpodobně nestane.

## 8. Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo provést detailní inženýrskogeologickou analýzu sesuvné oblasti u Třebenic, zaměřenou především na dnes aktivní část sesuvu popsanou jako reaktivace A. Inženýrskogeologická analýza v sobě zahrnuje archivní rešerši, vrtný průzkum a kopanou sondu, laboratorní zkoušky, IG řezy a stabilitní analýzu.

V rámci průzkumu byla provedena archivní rešerše, která popisovala historii sesuvné oblasti. Z starých IG zpráv je zřejmé, že je sesuv u Třebenic dlouhodobý a dochází zde k planárně rotačním sesuvům mělkých (v rámci deluviálních sedimentů) a hlubších (v rámci zvětralých slínovců v podloží). Sesouvání je pravděpodobně dáno nízkým úhlem vnitřního tření slínovců, přitížení vrstev kamenitého deluvia na zvětralé slínovce a kolísáním hladiny podzemní vody v období extrémních srážek. K aktivitě sesuvu s největší pravděpodobností negativně přispěla i výstavba železniční trati v roce 1896 a následně i výstavba silnice druhé třídy spojující obce Třebenice a Dlažkovice.

V roce 1970 a 1981 proběhly na lokalitě dva významné sesuvy, jež měly za následek deformace a odstavení železniční trati na několik týdnů. V rámci sanačních opatření se na lokalitě vybudovalo několik studní pro trvalé snížení a monitorování hladiny podzemní vody. Dále proběhla stavba stabilizační pilotové stěny od křížení železnice a silnice směrem na západ, což vedlo k úplné stabilizaci sesuvu v západní části oblasti od křižovatky. Došlo také k odtěžení zemin v místech nad železniční tratí a následnému násypu pod železnici. Tyto sanační opatření vedly k mírné stabilizaci sesuvu. Dnes už nejsou pozorovány výraznější deformace na železniční trati, nicméně na silnici je stále pozorovat lze. V rámci několika inklinometrických a geodetických měření vyšlo najevo, že se sesuvná oblast pohybuje v rámci 1 - 3 cm/rok.

Dále se v rámci IG průzkumu provedl vrt a kopaná sonda na sesuvném území, které potvrdili výskyt bazaltových kamenů transportovaných z nedalekého vrchu Malá kozí horka v hloubkách do 3 - 4 metrů, které indikují mocnosti deluvií v sesuvné oblasti. Vrt pokračoval do hloubky 6 metrů, kde se od 4,20 metrů vyskytují polohy zvětralého slínovce, ze kterého se odebral vzorek pro laboratorní měření. Během provedení inženýrskogeologického modelu byla zřejmá proměnlivost geologických vrstev napříč sesuvem, kde lze pravděpodobně vyčíst dvě smykové plochy, a to mezi deluviálními sedimenty a zvětralými slínovci. Kombinace mělkých a hlubších smykových ploch potvrzují i naměřený ERT profil a inklinometrické měření provedené v rámci ÚSMH.

Výsledky laboratorního měření ukázaly, že se jedná o slínovce charakteru jílu s vysokou plasticitou, které jsou typické pro březenské souvrství a často jsou predisponovány k sesouvání, jak už bylo dokázáno na jiných lokalitách v Českém středohoří. Naměřené hodnoty odpovídaly archivním měření a také měření na lokalitách Dubičná a částečně na lokalitách Březno a Prackovice s obdobnou skladbou svahu a IG podmínkami. Jednalo se o první měření na lokalitě s použitím triaxiální a rotační smykové zkoušky.

Stabilitní analýza potvrdila předpoklad a měření, že v sesuvném území vyskytují smykové plochy v hloubkách 10 m pod povrchem. Ukázala také, že je v současnosti na sesuvu aktivována reziduální pevnost ve zvětralých slínovcích. Řešená oblast se podle stabilitních modelů dá označit za náchylnou ke sesouvání.

V sesuvné oblasti se tedy vyskytují celkem dvě planárně rotační smykové plochy. První jsou mělké pohyby deluviálních sedimentů po zvětralých slínovcích, kde smykové plochy mohou dosahovat hloubek cca 2-5 m. Druhé jsou hluboké pohyby zvětralých slínovců s aktivovanou reziduální pevností podél navětralých slínovců, kde smykové plochy mohou být 6-12 m hluboké. Je pravděpodobné, že se sesuvná oblast bude pohybovat 1-3 cm/rok i nadále. Největším rizikem pro reaktivaci sesuvu by bylo rapidní či dlouhodobé zvýšení hladiny podzemní vody způsobené extrémními srážkami. To se ale vlivem sanací na lokalitě v blízké době pravděpodobně nestane, budou-li inženýrskogeologické podmínky sesuvu stejné a nedojde k zásahu člověkem.

## 9. Citace

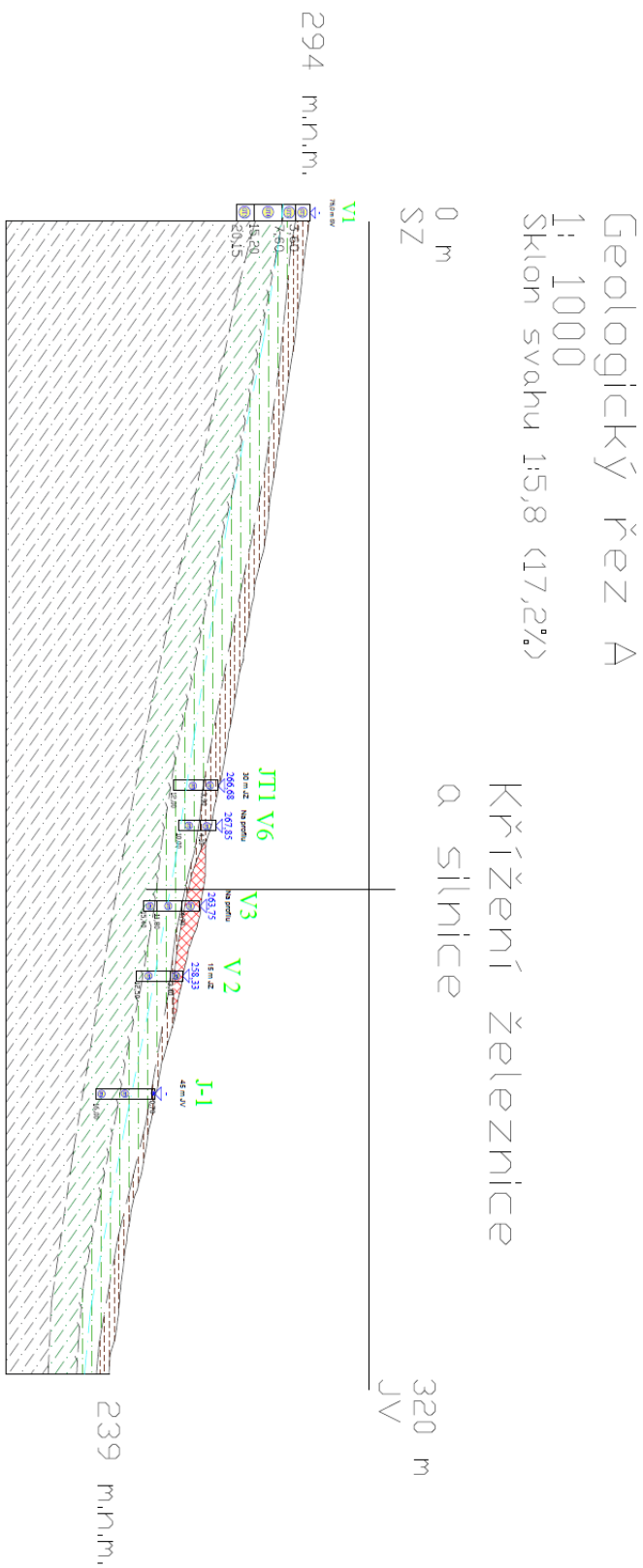
- [1] Atkinson, J.H., 2007. *The mechanics of soils and foundations*. 2nd ed., London: Taylor & Francis.
- [2] Balek, J., Klimeš, J., Blahůt, J., Štroner, M., Urban, R., Hartvich, F., 2019. *Shallow movements in clay rich rocks detected during subnormal precipitation period*. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*, 409–417.
- [3] Cajz, V., Adamovič, J., Rapprich, V., Valigurský, L., 2004. *Newly identified faults inside the volcanic complex of the České středohoří mts. Ohře/Eger graben, north Bohemia*. *Acta Geodyn. Geomater.*, 1(2), 213–222.
- [4] Česká geologická služba. *Registr svahových deformací*. Online. Dostupné z: [https://mapy.geology.cz/svahove\\_deformace/](https://mapy.geology.cz/svahove_deformace/).
- [5] Český hydrometeorologický ústav. *Denní úhrn srážek v ústeckém kraji*. Online. 2025. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/Denni-data-dle-z.-123-1998-Sb#>.
- [6] Čech, S., 2011. *Palaeogeography and Stratigraphy of the Bohemian Cretaceous Basin (Czech Republic) – An Overview*. Brno: Czech Geological Survey, pp. 18–21.
- [7] Chlupáč, I., 2011. *Geologická minulost České republiky*. 2. opr. vyd., Praha: Academia.
- [8] ČSN EN ISO 14688-2 (721003) – *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřídování zemín – Část 2: Zásady pro zatřídování*.
- [9] ČSN EN ISO 17892-1 (721007) – *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemín – Část 1: Stanovení vlhkosti*.
- [10] ČSN EN ISO 17892-9 (721007) – *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemín – Část 9: Konsolidovaná triaxiální zkouška v tlaku vodou nasycených zemín*.
- [11] ČSN EN ISO 17892-12 (721007) – *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemín – Část 12: Stanovení meze tekutosti a meze plasticity*.
- [12] ČSN P 73 1005 (731005) – *Inženýrskogeologický průzkum*.
- [13] Demek, J. et al., 1965. *Geomorfologie českých zemí*. Praha: Nakl. ČSAV.
- [14] Demek, J. & Mackovčín, P., 2014. *Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny*. 3. přeprac. vyd., Brno: Mendelova univerzita v Brně.
- [15] Head, K. H., 2011. *Manual of Soil Laboratory Testing. Volume 1, Soil Classification and Compaction Tests*. 3rd ed. Dunbeath: Whittles Publishing.

- [16] Head, K. H. & EPPS, R., 2011. *Manual of Soil Laboratory Testing. Vol. 2, Permeability, Shear Strength and Compressibility Tests. 3rd ed. Dunbeath: Whittles Publishing.*
- [17] Head, K. H. & EPPS, R. J., 2014. *Manual of Soil Laboratory Testing. Volume 3, Effective Stress Tests. 3rd ed. Caithness: Whittles Publishing.*
- [18] Herčík, F., Valečka, J. & Herrmann, Z., 1999. *Hydrogeologie české křídové pánve. Praha: Český geologický ústav.*
- [19] Jerman, J., 2022. *Development and validation of a hypoplastic model for soft clays incorporating rate effects and strength anisotropy. Dizertační práce, Praha: Univerzita Karlova, PŘF UK.*
- [20] Kovanda, J. et al., 2001. *Neživá příroda Prahy a jejího okolí. Praha: Academia.*
- [21] Krušina, J., 1974. *Geologické práce pro výstavbu rodinných domků v Třebenicích. Ústí nad Labem.*
- [22] Ladman, Z. & Zuzánek, B., 1970. *Závěrečná zpráva inženýrsko-geologického průzkumu: Třebenice – sanace železničního tělesa v km 6,9–7,0. Dubí u Teplic: Geoindustria n.p.*
- [23] Léharová, A., 2018. *Monitoring u sesuvu v Třebenicích. Diplomová práce, ČVUT.*
- [24] Malkovský, M., 1974. *Geologie české křídové pánve a jejího podloží. Praha: Academia.*
- [25] Marek, T. & Balek, J., 2014. *The evolution of the Malá koží horka landslide area near Třebenice (České středohoří Mts.) in 2013. Zprávy o geologických výzkumech v roce 2013. Praha: Česká geologická služba.*
- [26] Matula, M. & Pašek, J., 1986. *Regionálna inžinierska geológia ČSSR. Bratislava: Alfa.*
- [27] Novotný, J., 2002. *Analysis of water effect on slope stability in clayey rocks. Acta Montana IRSM AS CR, 10(127), 7–47.*
- [28] Novotný, J., 2002. *Recent monitoring of Třebenice Village landslide in the Czech Republic related to earlier activations. In: Landslides, Swets & Zeitlinger, Lisse, pp. 667–672.*
- [29] Novotný, J. & Kobr, M., 2009. *Hydrogeological pattern of groundwater flow of landslides in Cretaceous claystones based on long-term groundwater monitoring and hydrologging measurement. Environmental Earth Sciences, 58(1), 25–32.*
- [30] Pašek, J., 1964. *Zpráva o podrobném geologickém průzkumu sesuvu u Třebenic. Praha: Geologický ústav ČSAV.*

- [31] Pospíchal, V., 2024. *Analýza svahového pohybu Dubičná - mechanické vlastnosti slínovců a stabilitní poměry*. Diplomová práce, vedoucí Jerman, Jan. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky.
- [32] Quitt, E., 1971. *Klimatické oblasti Československa*. Brno: Geografický ústav ČSAV.
- [33] Raška, P. et al., 2016. *Neovolcanic Terrain of the České Středohoří Mountains*. In: *Landscapes and Landforms of the Czech Republic*. Switzerland: Springer, pp. 139–152.
- [34] Roháč, J., Scaringi, G., Boháč, J., Kycl, P., & Najser, J., 2020. *Revisiting strength concepts and correlations with soil index properties: insights from the Dobkovičky landslide in Czech Republic*. *Landslides*, 17(3), 597–614.
- [35] Rybář, J., 1983. *Zpráva o inženýrskogeologickém výzkumu sesuvu u Třebenic na železniční trati Čížkovice–Obrnice*. Praha: Ústav geologie a geotechniky ČSAV.
- [36] Rybář, J., 1983. *Zpráva o inženýrskogeologickém výzkumu sesuvů u Třebenic na žel. trati*. Praha.
- [37] Rybář, J., Vilímek, V. & Cílek, V., 2000. *Process analysis of deep slope failures in České středohoří neovolcanites*. *Acta Montana Ser AB*, 8(115), 39–46.
- [38] Stemberk, J. & Mašín, D., 2016. *Analýza příčin vzniku sesuvu na dálnici D8 u Dobkoviček*. Praha: ÚSMH AV ČR, v.v.i.
- [39] Uličný, D., Laurin, J. & Čech, S., 2009. *Controls on clastic sequence geometries in a shallow-marine, transtensional basin: the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic*. *Sedimentology*, 56(4), 1077–1114.
- [40] Zuzánek, P., 1982. *Závěrečná zpráva inženýrskogeologického průzkumu, Čížkovice – Obrnice*. Dubí u Teplic.
- [42] Kareš, A., 2024. *Inženýrskogeologická prozkoumanost sesuvného území Prackovice*. Bakalářská práce, vedoucí Jerman, Jan. Praha: Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky.
- [43] Boltnar, *bakalářská práce*. *Sesuv Březno - inženýrskogeologický popis a indexové vlastnosti*.
- [43] Severini, B., *diplomová práce*. *Přesnost laboratorních zkoušek mechaniky zemin*.

# 10. Přílohy

IG řez A



IG řez B

# Geologický řez B

1: 1000

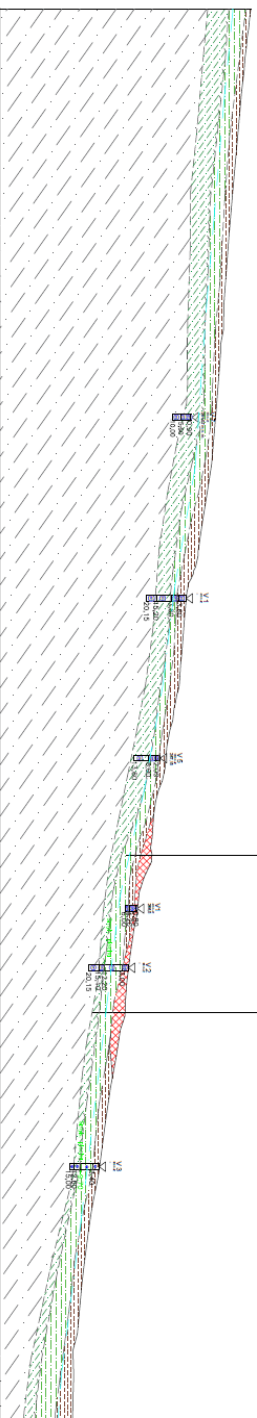
Sklon svahu 1:8 (12,5%)

0 m  
SZ

železnice  
silnice

730 m  
JV

314 m.n.m.



186 m.n.m.

223 m.n.m.