



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

SESUVY V MĚLKÝCH NEOGENNÍCH PÁNVÍCH PŘI JIHOZÁPADNÍM OKRAJI KARPATSKÉ PŘEDHLUBNĚ NA MORAVĚ

LANDSLIDES IN SHALLOW NEOGENE BASINS ALONG THE SOUTHWESTERN
MARGIN OF THE CARPATHIAN FOREDEEP IN MORAVIA

DIZERTAČNÍ PRÁCE
DOCTOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ING. HELENA BRDEČKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JIŘÍ BOŠTÍK, Ph.D.

BRNO 2018

KLÍČOVÁ SLOVA

Karpatská předhlubeň, sesuv, stabilita svahu, hydrogeologický režim, spouštěcí mechanismus, smyková pevnost.

KEYWORDS

Carpathian foredeep, landslide, slope stability, hydrogeological regime, trigger mechanism, shear strength.

Místo uložení rukopisu

Ústav geotechniky, Fakulta stavební, VUT v Brně

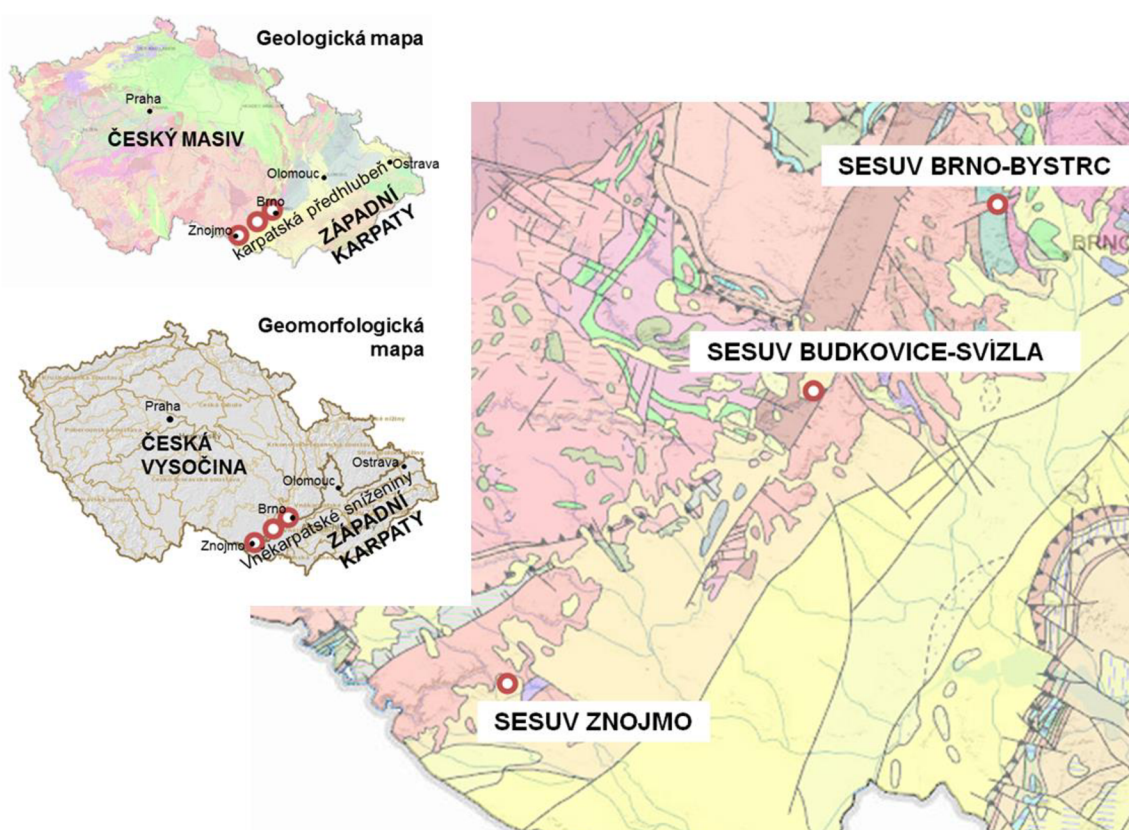
Obsah

1	Úvod	4
2	Cíle práce	5
3	Charakteristika zájmové oblasti	5
3.1	Geomorfologické, geologické a hydrogeologické poměry zájmové oblasti	5
3.2	Fyzikálně-indexové vlastnosti a smyková pevnost jílovitých zemin sesuvů	7
4	Případové studie	10
4.1	Sesuvné území Budkovice-Svízla	10
4.1.1	Hydrogeologický režim lokality	13
4.1.2	Matematické modelování stability sesuvu Budkovice-Svízla	15
4.2	Fosilní sesuv v zářezu pro obchvat kolem Znojma	19
4.3	Sesuvy Brno-Bystrc	20
5	Závěry a doporučení pro inženýrsko-geologický průzkum a stavební činnost v sesuvných lokalitách v zájmové oblasti	21
	Použitá literatura	25
	Curriculum vitae	28
	Abstrakt	30

1 Úvod

Karpatská předhlubeň na Moravě je výsledkem neogenní převážně mořské sedimentace, která probíhala v předpolí Karpat v různých etapách alpsko-karpatské orogeneze. Pod tíhou nasunujících se karpatských příkrovů se sedimentační prostor předhlubně postupně překládal dále na severozápad směrem do Českého masivu a následně po ústupu moře v pliocénu a v kvartéru byla sedimentární výplň pánve postižena rozsáhlou erozí. V současnosti spojitá hranice předhlubně leží daleko východněji, než tomu bylo v geologické minulosti a za touto hranicí jsou jen na některých místech zachovány denudační zbytky těchto sedimentů (Krásný et al., 2012, Chlupáč, 2002, Hruban, 2013, Nehyba et al., 2016).

Práce studuje specifické rysy sesuvů v reliktech vymezené části karpatské předhlubně a zabývá se jejich stabilitou. Zájmová oblast okraje předhlubně je omezena na jihozápadě česko-rakouskou hranicí a na severovýchodě osou nesvačilské deprese, která prochází pod středem brněnské aglomerace. Dizertace se opírá o studium geomorfologické, regionálně geologické a hydrogeologické odborné literatury, o publikovaná data o vlastnostech jílovitých zemin a o tři případové studie sesuvných území Budkovice-Svížla, Znojmo a Brno-Bystrc (Obr. 1).



Obr. 1 Geologická a geomorfologická mapa zájmového území¹

¹ zpracováno z map Národního geoportálu INSPIRE (<https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>)

2 Cíle práce

Byly vytyčeny tyto cíle práce:

Pro celou zájmovou oblast:

- vymezit její typické geomorfologické a geologické rysy;
- vymezit typický hydrogeologický režim sesuvných území v těchto mělkých hydrogeologických pánvích;
- zhodnotit dosavadní poznatky o fyzikálně-indexových a mechanických vlastnostech miocenních zemin v oblasti;

Na lokalitě Budkovice-Svížla provést:

- rozbor hydrogeologického režimu území;
- vyhodnocení spouštěcího mechanismu sesuvu;
- ohodnocení snížení stability území
 - vlivem přítomnosti starých smykových ploch;
 - vlivem změn morfologie terénu v průběhu sesouvání;
 - vlivem změn v hydrogeologickém režimu;
 - vlivem snížení smykové pevnosti kvartérních jílu;
- studii vlivu provedených sanačních opatření na stabilitu svahu a jejich kvantifikaci.

Závěrem formulovat doporučení pro inženýrsko-geologický průzkum a stavební činnost v sesuvných lokalitách v zájmové oblasti.

3 Charakteristika zájmové oblasti

Vlastnosti sesuvného území, které ovlivňují jeho stabilitu, se odvíjejí od geologických poměrů lokality, především od mechanických vlastností zemin a hornin budujících svah. Z hydrogeologického režimu lokality vyplývá míra napjatosti hladin podzemní vody a úroveň pórových tlaků v jednotlivých místech horninového prostředí. Pórovým tlakem je snižována efektivní smyková pevnost zemin. Maximální historická úroveň mořské hladiny a mocnosti původních sedimentů v daném místě přímo souvisí s mírou překonsolidace horninového prostředí a s deformačním chováním zemin. Stabilitní poměry lokality jsou ovlivněny také místními morfologickými poměry svahu, jako je celkový sklon svahu a jeho rovinnost. V dalším textu jsou shrnuty podstatné rysy zájmové oblasti a vlastnosti zemin významně ovlivňující stabilitu svahů v reliktech předhlubně.

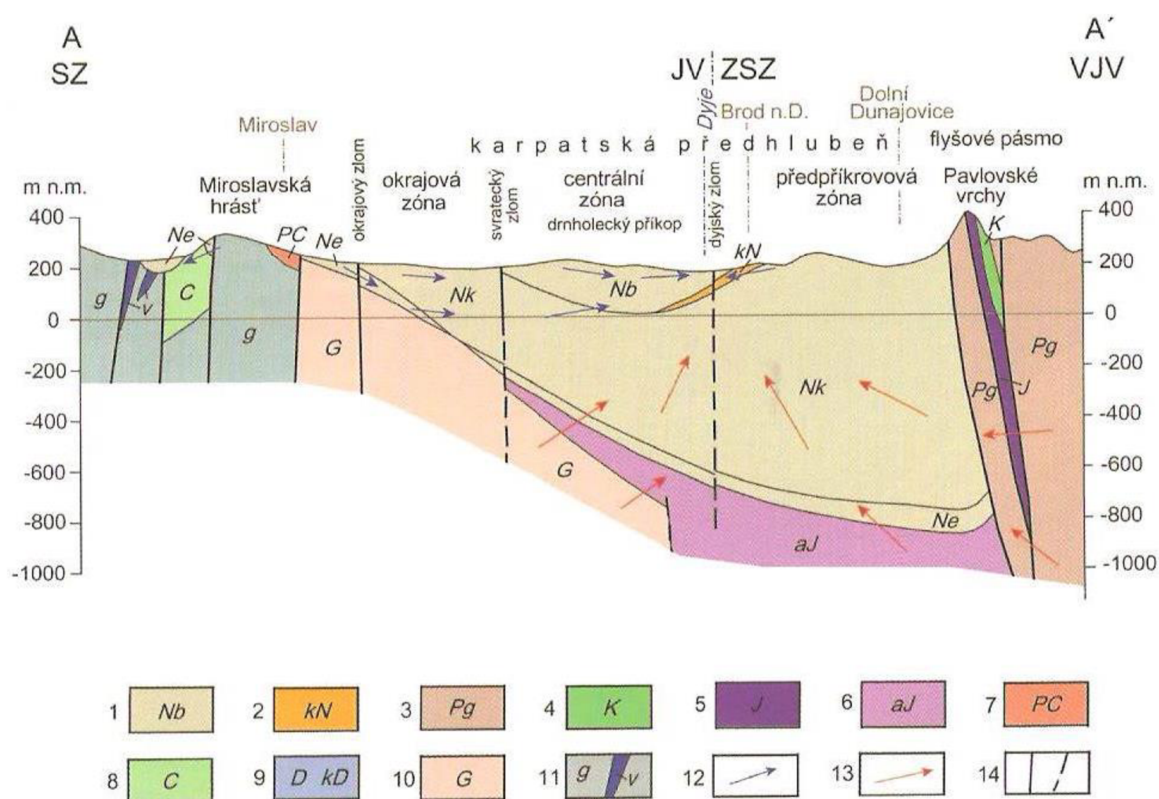
3.1 Geomorfologické, geologické a hydrogeologické poměry zájmové oblasti

Z geomorfologického hlediska převážná část karpatské předhlubně na jižní Moravě spadá do geomorfologické oblasti Západních vněkarpatských sníženin do celku Dyjsko-svratecký úval. Všechny tři studované sesuvy však leží za hranicí Západních Karpat už v geomorfologické provincii Česká vysočina, v subprovincii

Česko-moravská soustava, v oblastech Brněnská vrchovina nebo Českomoravská vrchovina. V Brněnské vrchovině lze předpokládat výskyt reliktní předhlubně, skrytých pod několik metrů mocným kvartérním pokryvem, především v celcích Bobravská vrchovina, Řečkovicko-kuřimský prolom a Boskovická brázda, v Českomoravské vrchovině v celku Jevišovická pahorkatina.

V zájmové oblasti okrajové zóny karpatské předhlubně na Moravě leží zeminy předhlubně na proterozoickém nebo paleozoickém podkladu, který tvoří skalní horniny a jejich eluvia. Horniny okraje Českého masivu se zanořují jihovýchodním směrem pod sedimenty karpatské předhlubně. Směrem do centra předhlubně se mocnost sedimentů výrazně zvyšuje (Obr. 2).

Výplň okrajové zóny předhlubně tvoří vrstvy klastických sedimentů hrubozrnných i jemnozrnných. V okrajové zóně vystupují k povrchu miocenní sedimenty eggenburgu a ottangu (viz Tab. 1) s vyšším podílem hrubozrnných zemin. V reliktech předhlubně v zájmovém území ve spodních částech miocenních souvrství



Legenda: Řez z moldanubického krystalinika sz. od Miroslavi přes karpatskou předhlubeň k Dolním Dunajovicím a do fylšového pásma v Pavlovských vrších. Řezy jsou desetkrát převýšeny.

1 - neogenní karpatská předhlubně a její výběžky do Českého masivu – převážně střídající se písčité a jílovité polohy (Np – pliocén, Ne - eggenburg-ottang, Nk - karpat, Nb – baden); 3-5 – flyšové pásmo: 6 – jurský autochtonní pokryv Českého masivu v podloží karpatské předhlubně; 7 – permokarbon boskovického příkopu a výskytu u Miroslavi; 8 – spodní karbon v kulmském vývoji; 10 - brněnský a dyjský masiv; 11 – krystalinikum s převahou metamorfitů, místy s polohami krystalických vápenců (v); 12 – hlavní směry lokálního proudění podzemních vod; 13 – předpokládané směry hlubokého (zpomaleného) proudění podzemních vod; 14 - významné zlomy.

Obr. 2 Schematické geologicko-hydrogeologické řezy napříč jižní částí karpatské předhlubně na Moravě (Krásný et al., 2012, s. 772)

Tab. 1 Stratigrafické zařazení miocenní sedimentární výplně jihomoravské části karpatské předhlubně

Éra	Útvar	Oddělení	Stupeň dle českého členění
Kenozoikum Třetihory	Neogén	Miocén	Baden
			Karpat
			Otttang
			Eggenburg
			Eger

těž zpravidla převažují hrubozrnná klastika (štěrky, písky), směrem vzhůru se souvrství zjemňují a postupně převažují jílovité zeminy.

Z geologického uspořádání okraje předhlubně vyplývají hydrogeologické poměry území. Po ukloněném skalním podkladu stéká do předhlubně podzemní voda generelně od severozápadu k jihovýchodu. Sběrná oblast podzemní vody stékající do sesuvných území může být prostorově rozsáhlá a hladiny podzemní vody mohou být vysoce napjaté a kolísající, v závislosti na storativitě prostředí a na velikosti přítoků ovlivněných především intenzitou srážkové činnosti v daném období a táním sněhové pokrývky (viz lokality Budkovice-Svížla a Brno-Bystrc). Zvýšení piezometrických výtlačných výšek (i několikametrové) při měření těchto hladin ve vrtech může probíhat až s určitým zpožděním po období tání sněhu, po intenzivních lijácích nebo při dlouhodobých deštích, z důvodu pomalejšího prostupu vody horninovým prostředím sběrné oblasti (Krásný et al., 2012, Vassalo et al., 2014).

Hrubozrnná eluvia předneogenního podkladu a případně navazující spodní hrubozrnné části neogenních souvrství se stávají nejspodnějšími kolektory podzemní vody, na které je vázaná nejhlubší zvodeň ovlivňující stabilitu území (viz také případové studie Bystrc 1 a Budkovice-Svížla).

Z hydrogeologického pohledu jsou mělké reliktky karpatské předhlubně složitými hydrogeologickými pánvemi se složitě komunikujícími zvodněmi vázanými na písčité a prachovité vrstevové kolektory, které prostupují jílovitá souvrství (Krásný et al., 2012, Chlupáč, 2002, Krejčí et al., 2011, Hruban, 2013, Nehyba et al., 2016). V souvrstvích, kde se střídají tyto kolektory a izolátory, může docházet ke značným vztlakovým změnám především v místech, kde se při zvýšení HPV vlivem dotace vodou změni zvodeň s původně volnou hladinou na zvodeň s napjatou hladinou (Budkovice-Svížla, Brno-Bystrc). Lze předpokládat, že jílovité izolátory ve svrchních částech neogenních souvrství mohou způsobovat značné snížení storativity prostředí a tedy vysokou citlivost na dotaci vodou.

Nejvyšší HPV bývá vázaná na zvodeň v kvartérním pokryvu.

3.2 Fyzikálně-indexové vlastnosti a smyková pevnost jílovitých zemin sesuvů

V sesuvných lokalitách v Budkovicích-Svížle, v Brně-Bystrci i ve Znojmě bylo inženýrskogeologickým průzkumem zjištěno, že smykové plochy starých sesuvů jsou vytvořeny v neogenních jílovitých zeminách. Proto je v dalším textu zpracován

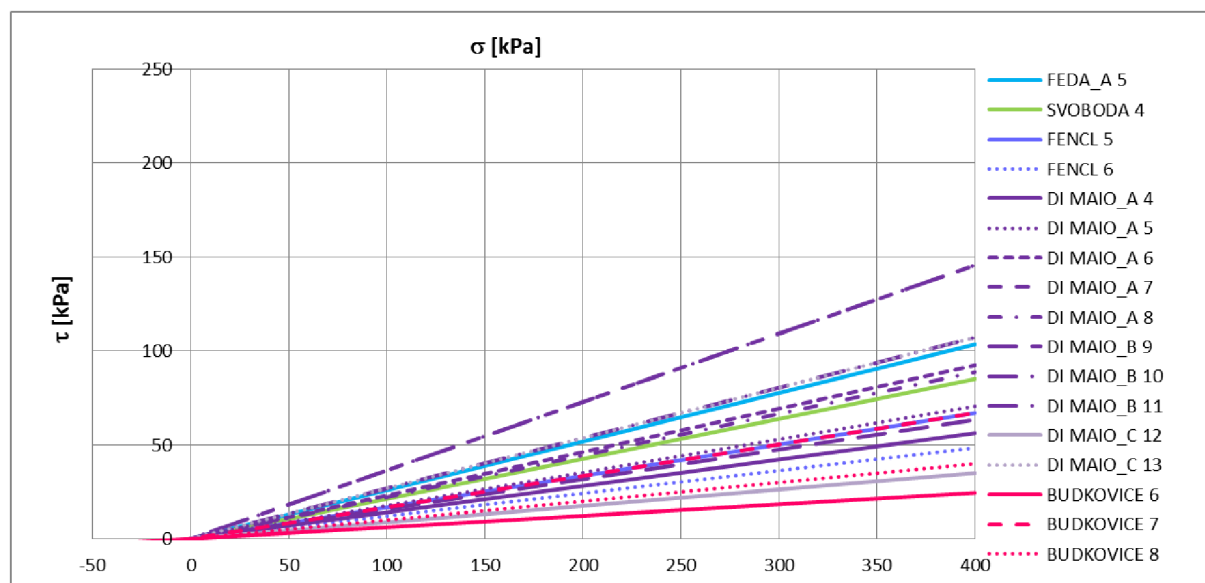
Tab. 2 Označení zdrojů

	Označení	Charakteristika dat
zdroje z jižní Moravy	FEDA_A	převzato z článku (Feda, 1995); výsledky měření na 3 typech vzorků brněnského téglu z lokality Bobycentrum v Brně z hloubek 4,5-24 m pod terénem
	FEDA_B	převzato z článku (Feda, 1995); doporučení pro použití kritické pevnosti normálně konsolidovaných jílu
	SVOBODA	převzato z doktorské práce (Svoboda, 2010a); výsledky měření na brněnském jílu z lokality tunel VMO Dobrovského
	FŮRYCHOVÁ	převzato z článku (Fůrychová, 2014); rešerše fyzikálně-indexových a mechanických vlastností neogenních jílu z podloží brněnské aglomerace z 81 průzkumných zpráv
	FENCL	převzato z diplomové práce (Fencl, 2012); měření kritické smykové pevnosti brněnského jílu z lokality tunel VMO Dobrovského v Brně zjišťované různými laboratorními zkouškami
	HORÁK_A	převzato z diplomové práce (Uhrin, 2004); průměrné hodnoty z měření fyzikálně-indexových a mechanických vlastností na neogenních brněnských téglech; jsou uvedeny výsledky laboratorních zkoušek
	HORÁK_B	převzato z diplomové práce (Uhrin, 2004); průměrné hodnoty z měření fyzikálně-indexových a mechanických vlastností na neogenních brněnských téglech; jsou uvedeny výsledky polních zkoušek
	UHRIN	převzato z diplomové práce (Uhrin, 2004); měření kritické pevnosti na brněnském jílu z ulice Sportovní v Brně
	ERBENOVÁ_A	převzato z doktorské práce (Erbenová, 2006); rešerše parametrů brněnského jílu z výstavby kolektorů v Brně z hloubek 151 - 358 m pod terénem
	ERBENOVÁ_B	převzato z doktorské práce (Erbenová, 2006); rešerše parametrů brněnského jílu z hloubek do 20 m pod terénem
	ERBENOVÁ_C	převzato z doktorské práce (Erbenová, 2006); výsledky zkoušky CIUP na jílu z lokality VMO Dobrovského
	ERBENOVÁ_D	převzato z doktorské práce (Erbenová, 2006); rešerše parametrů jílovitých zemín jihomoravského neogénu; průměry z 22 vzorků
	ROTT	převzato z článku (Rott, 2015); kritická pevnost jílu z lokality Brno Slatina
zdroje z jižní Itálie	DI MAIO_A	převzato z článků (Di Maio, 2010b), (Di Maio, 2014), (Vassallo, 2014), (Vassallo, 2016); výsledky fyzikálně-indexových a mechanických vlastností jílu ze sesuvné lokality Costa della Gaveta v jižní Itálii z laboratorních zkoušek prováděných s různým roztokem - destilovanou vodou, roztokem KCl nebo NaCl
	DI MAIO_B	převzato z článku (Di Maio, 2010a); výsledky fyzikálně-indexových a mechanických vlastností jílu ze sesuvné lokality Grassano v jižní Itálii z laboratorních zkoušek prováděných s různým roztokem - destilovanou vodou, roztokem KCl nebo NaCl
	DI MAIO_C	převzato z článku (Di Maio, 2014); výsledky fyzikálně-indexových a mechanických vlastností jílu s vysokým obsahem smektitu z laboratorních zkoušek prováděných s různým roztokem - destilovanou vodou, roztokem KCl nebo NaCl
zdroje ze sledovaných lokalit	BUDKOVICE	převzato ze zprávy o IG průzkumu (Paseka, 1989); výsledky laboratorních zkoušek jílu ze sesuvné lokality Budkovice-Svížla
	BYSTRC	převzato ze zprávy o IG průzkumu (Papoušek, 1976); výsledky laboratorních zkoušek jílu ze sesuvné lokality Brno Bystrc
	ZNOJMO	převzato ze zprávy (Paseka, 2007); výsledky laboratorních zkoušek jílu z lokality Znojmo

přehled dostupných dat o fyzikálně indexových vlastnostech a o smykové pevnosti těchto zemin ze zájmové oblasti a dalších jílovitých zemin s podobnou genezí. Do rešerše jsou připojena publikovaná data o charakteristikách neogenních brněnských jílů z okrajové části karpatské předhlubně na Moravě a údaje ze dvou sesuvných území v jihoitalských Apeninách z okraje bradanské předhlubně. Přehled zdrojů je popsán v Tab. 2.

Větší množství dostupných dat o fyzikálně indexových vlastnostech jílů z okrajové části karpatské předhlubně na jižní Moravě pochází z oblastí s větší mocností pánevní výplně, především z podloží brněnské aglomerace. Bylo provedeno srovnání těchto dat s vlastnostmi zemin odebraných v mělkých reliktech předhlubně. Tyto zeminy z mělkých reliktů vykazují oproti jílovitým zeminám z hlubších částí předhlubně častěji až extrémní plasticitu. Například v lokalitě Budkovice-Svízla vykazovalo extrémní plasticitu 30 ze 48 zkoušených vzorků zemin neogenního původu.

Z mechanických vlastností byla sledována smyková pevnost. Rešerše obsahuje široké spektrum dat publikovaných o jejich vrcholové, kritické, reziduální a totální smykové pevnosti. Výsledky měření jsou ovlivňovány metodikou zkoušek (Di Maio et al., 2014, Di Maio and Vassallo, 2011). Důležitou skutečností pro řešenou problematiku je, že při zkoušení extrémně plastických zemin s montmorillonitem běžně používanou metodikou v translačním krabicovém smykovém přístroji za použití destilované vody jsou výsledky silně podhodnoceny oproti reálnému stavu. Opět bylo provedeno srovnání dostupných dat z okraje předhlubně a z mělkých reliktů. Smykové pevnosti zemin reliktů (především z lokality Budkovice-Svízla) patří k nejnižším ze všech dostupných dat, jak odpovídá tomu, že se jedná o zeminy s extrémní plasticitou, s montmorillonitem, které byly zkoušeny výše popsanou metodikou. Graf na Obr. 3 ukazuje přehled reziduálních pevností předmětných zemin (rozsah $\varphi_r' = 3,5-14,5^\circ$ a $c_r' = 0$ kPa).



Obr. 3 Reziduální smyková pevnost předmětných zemin

Dalším požadavkem na vstupní data, zpřesňujícím numerické výpočty, je stanovení míry překonsolidace horninového prostředí. Přestože se jedná o aktuální problematiku, kterou se v současné době zabývalo více autorů, není možné z rešerše jejich prací stanovit jednoznačné závěry pro zájmovou oblast. Proto je v numerických výpočtech v práci uvažováno normálně konsolidované prostředí.

Na základě výsledků laboratorního rozboru zemin lokality a závěrů výše uvedených studií byla stanovena vstupní data pro numerické modely sesuvu v Budkovicích-Svázle.

4 Případové studie

Ve druhé části práce jsou uvedeny tři případové studie: sesuv Budkovice-Svázla, fosilní sesuv na silničním obchvatu Znojma a dvojice sesuvných území v Brně-Bystřci.

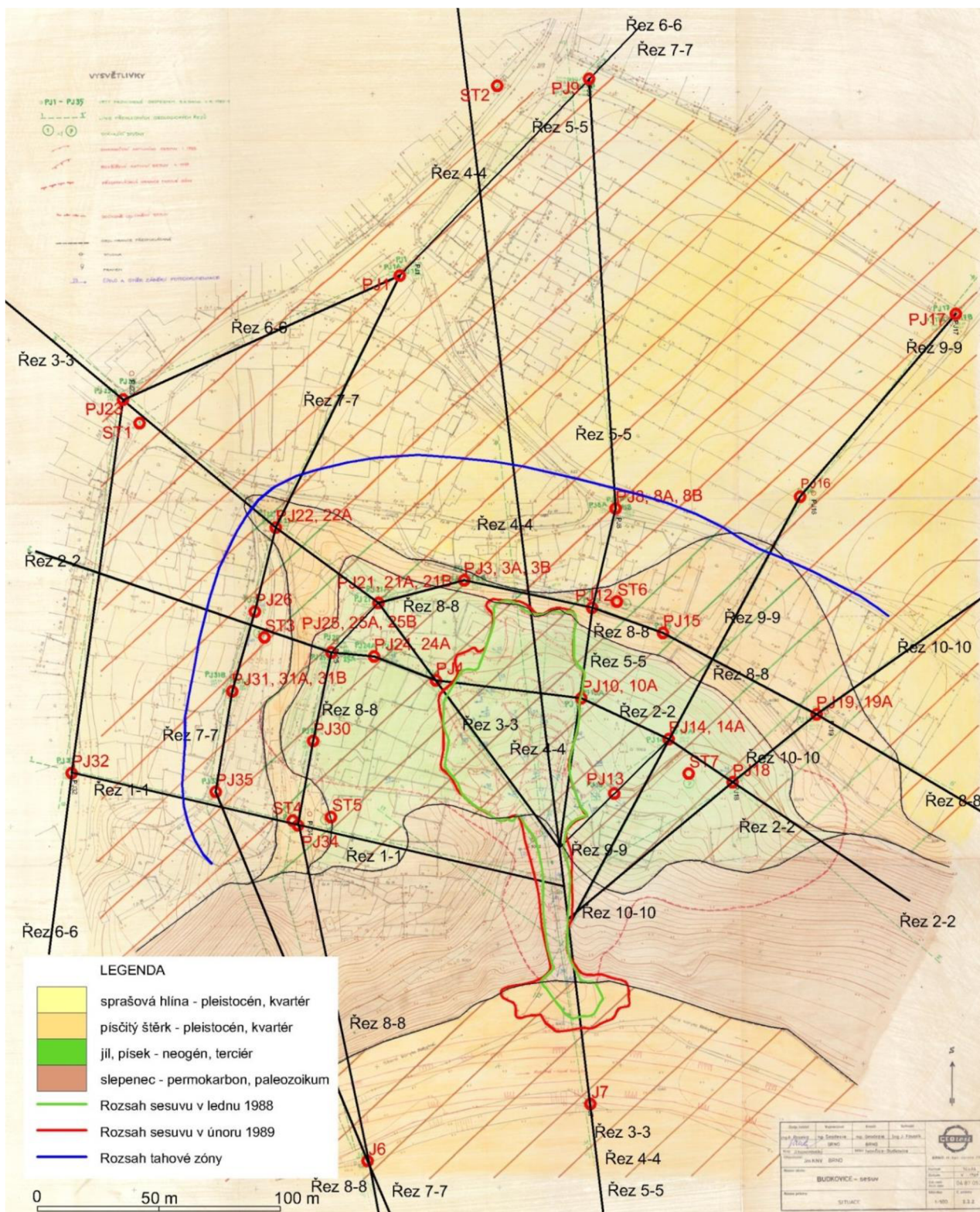
4.1 Sesuvné území Budkovice-Svázla

K aktivizaci svahového pohybu v sesuvném území Budkovice-Svázla opakovaně docházelo v obdobích déletrvajících intenzivních dešťů. Sesouvání zemin zde bylo pozorováno např. v letech 1830 a 1870 a k nejnovějšímu rozsáhlému oživení svahové nestability došlo také v letech 1985-1989, kdy čelo sesuvu dosáhlo až do koryta říčky Rokytne a přehradilo její tok. Postupně byly destruovány objekty místní komunikace, kanalizace, požární nádrž, lokální vodovod, elektrické vedení, dva domky (Obr. 6) a ohroženo bylo asi 20 dalších obytných domů ležících v oblasti tahové zóny sesuvu (viz Obr. 4).

Probíhající svahový pohyb byl monitorován a svahová nestabilita byla následně v letech 1988 až 1989 sanována přeložením koryta řeky Rokytne a vybudováním rozsáhlé paty a přísypu z lomového kamene (Drobníčková and Paseka, 1989). Do současnosti probíhá monitoring úrovní hladin podzemních vod.

Lokalita leží mezi Ivančicemi a Moravským Krumlovem v Brněnské vrchovině v jižní části celku Boskovická brázda, v geomorfologickém podcelku Oslavanská brázda. Území je ukloněno pod generelním sklonem cca 20° směrem k levému nárazovému břehu meandrující říčky Rokytne, která protéká jižně od lokality. Pozici Budkovic v boskovické brázdě ukazuje Obr. 1, podrobná geologická mapa sesuvného území v měřítku 1 : 500 je na Obr. 4, podélný řez sesuvným územím s vyznačenými průměty vrtů a základní geometrie z něho odvozeného numerického modelu svahu je na Obr. 5.

Podloží lokality je budováno permokarbonskými rokytenskými slepenci boskovické brázdy, jejichž povrch je zvlněný a ukloněný mírně k severovýchodu. Slepence vystupují na povrch ve svazích podél řeky Rokytne, v místě sesuvu se snižují a tvoří úzkou depresi, která se stala predisponovanou transportní oblastí sesuvu. Na tomto podkladu leží neogenní souvrství sladkovodních až brakických sedimentů proměnné mocnosti do 39 m, na bázi s polohou rozpadavého pískovce. Převažujícím sedimentem souvrství je prachovitý jíl, nevápnitý nebo slabě vápnitý, převážně pevný nebo velmi pevný (stupeň konzistence $I_c = 0,8-1,5$), nejčastěji extrémně

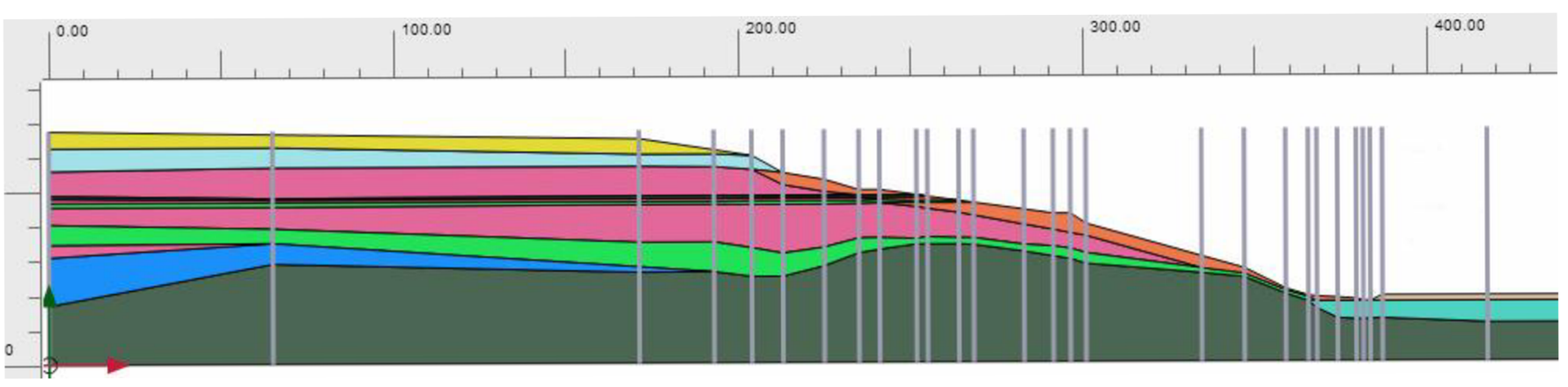
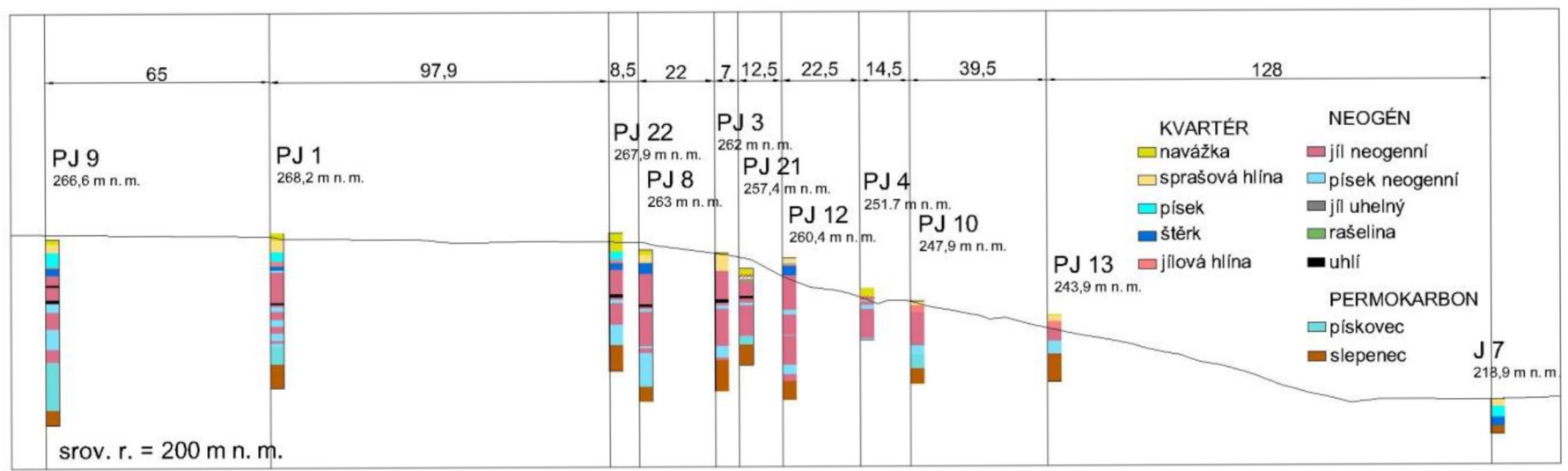


Obr. 4 Podrobná situace zájmového území Budkovice-Svízla² (Drobníčková and Paseka, 1989)

² zpracováno ze situace zájmového území v měřítku 1 : 500

Obr. 5 Řez sesuvem s promítnutými vrty a základní geometrie numerického modelu

ŘEZ 4 - 4





Obr. 6 Destrukce obytného domu svahovým pohybem v Budkovicích-Svízle (foto - A. Paseka)

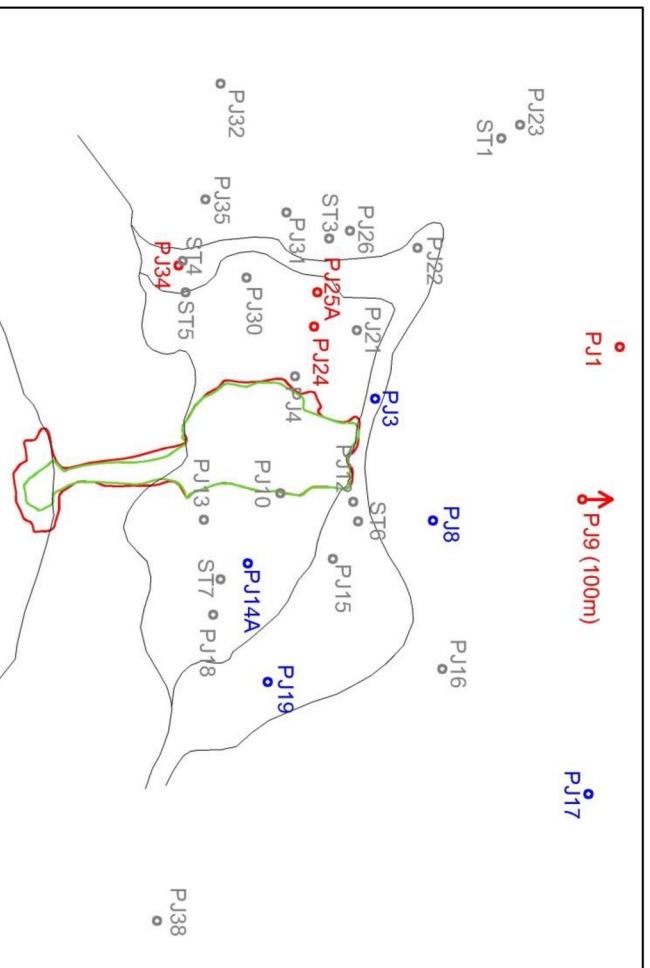
plastický, místy střípkovitě rozpadavý, s převahou illitu a s montmorillonitem. Jíl je místy prostoupen horizontálními laminami až různě mocnými vrstvami písku, ve svrchní části se vyskytuje vrstva uhelného jílu nebo uhlí do mocnosti 3 m. Svrchní polohy souvrství jsou zvětralé. K sesouvání a stékání zemin dochází tam, kde neogenní sedimenty vystupují na povrch. Kvartérní pokryv tvoří reliktní nejstarší říční terasy mocnosti 3-6 m, sprašové hlíny do mocnosti zpravidla 5 m, svahové hlíny a navážky (Drobníčková and Paseka, 1989).

Pro sesuvné území Budkovice-Svízla byl proveden rozsáhlý inženýrsko-geologický průzkum, ze kterého je v dizertaci čerpáno (Drobníčková and Paseka, 1989). V návaznosti na něj byly v rámci práce provedeny 4 sady měření hladin podzemní vody v pozorovacích vrtech a byl zpracován podrobný rozbor hydrogeologického režimu sesuvného území.

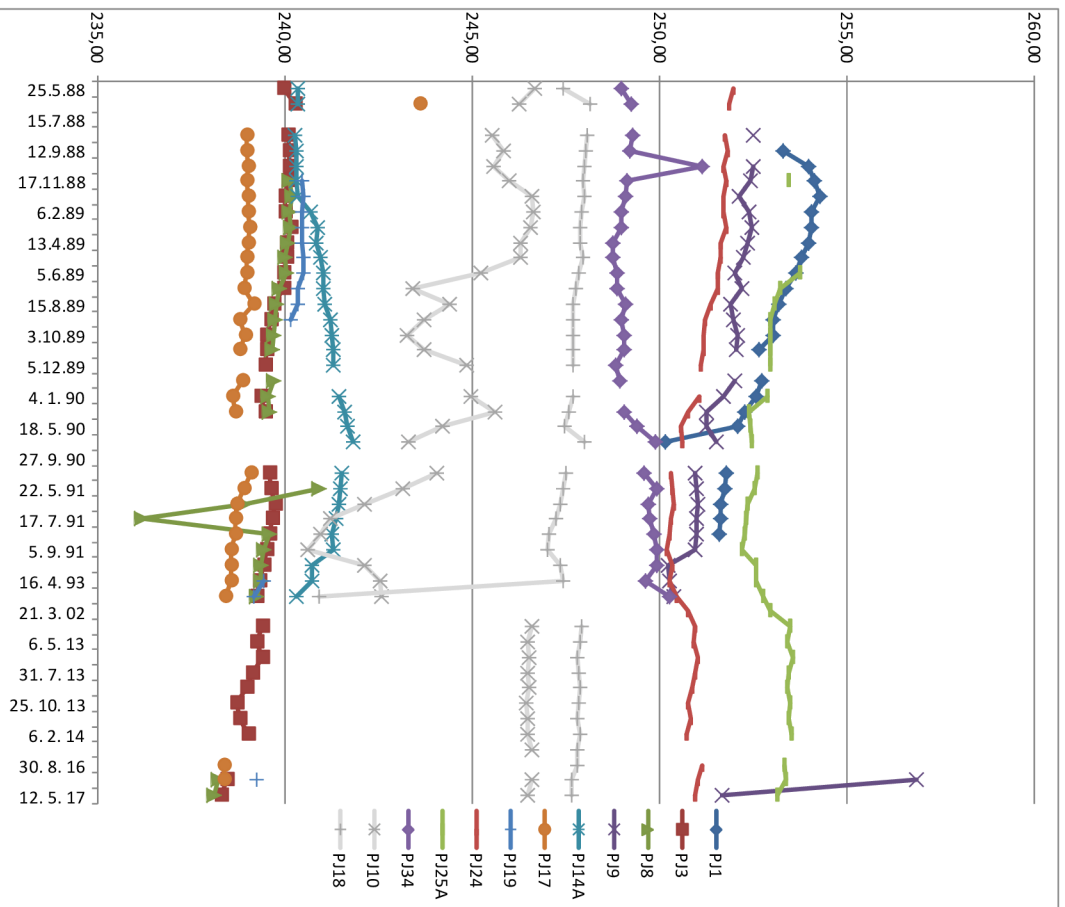
Na základě geodetických měření byl zmapován pohyb sesuvu. Podle rychlosti pohybu byl sesuv zatříděn jako pomalý až mírný svahový pohyb.

4.1.1 Hydrogeologický režim lokality

Hydrogeologické poměry lokality jsou složité. V lokalitě byly rozlišeny 3 horizonty podzemní vody: jeden horizont v kvartérních písčitéch štěrcích (HL1) a svrchní a spodní horizont v neogenním souvrství (HL2 a HL3). Byl vysledován základní trend HPV v území v měřeném období let 1988-2017. Maxim HPV bylo dosahováno na začátku sledovaného období v roce 1988, v době vysoké sesuvné aktivity. V tomto období byla také opakovaně pozorována skoková několikametrová zvýšení a následná snížení HPV v některých vrtech. Tyto změny způsobují velká,



Obr. 7 Situace vrtů pro měření HL3 (vyšší HL3 červeně, nižší HL3 modře)



Obr. 8 Úrovně HPV ve spodní části neogenního souvrství (HL3)

časově omezená, zvýšení pórového tlaku v prostředí. Minima HPV nastala v období 1991-1993 v návaznosti na intenzivní odvodnění sesuvného území v rámci sanačních prací. V letech 2013-2017 došlo ke zvýšení HPV přibližně na stav odpovídající období 1989-1990.

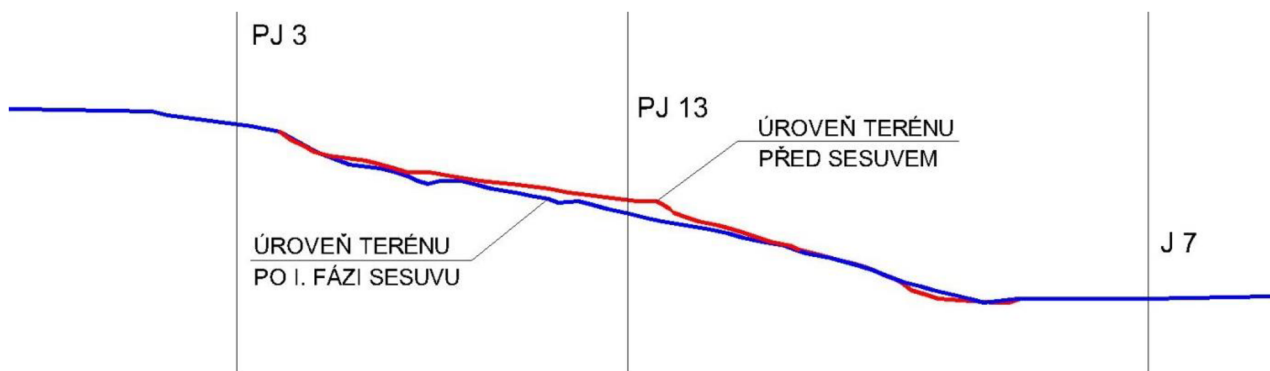
Obr. 7 a Obr. 8 představují vyhodnocení režimu HPV nejspodnějšího kolektoru ve spodní hrubozrnné části neogenního souvrství (HL3). Na Obr. 8 jsou dobře viditelné značné rozdíly v úrovni HPV v západní a východní části lokality. Na Obr. 7 jsou modře označeny vrty, ve kterých je HL3 o cca 10 m níže než v červeně označených vrtech. Rozdíl je přičítán vlivu odvodnění hlubších vrstev neogenního souvrství severovýchodním směrem, v soulase se směrem povrchových toků Rokytne a Jihlavy. Tím se stává HPV této zvodně volnou ve východní oblasti, zatímco v západní části zůstává napjatou. Pro srovnání jsou v grafu na Obr. 8 šedě zakresleny HPV ze dvou dalších vrtů PJ10 a PJ18, které měří souhrnně všechny HPV (HL1+HL2+HL3). Dokládají několikametrové změny úrovně HPV variující mezi HL3 v západní a východní části území a potvrzují základní režim HPV v území.

4.1.2 Matematické modelování stability sesuvu Budkovice-Svázla

V programovém prostředí Plaxis 2D byly pro sesuvné území vytvořeny numerické modely pro parametrické studie ohodnocující stabilitu svahu (Tab. 3). Výpočty byly prováděny s uvažováním velkých deformací vzhledem k tomu, že během svahového pohybu docházelo k posunům v řádu metrů až desítek metrů. Je použito 12 typů geomateriálů (viz také Obr. 5), jejichž vlastnosti odpovídají výsledkům laboratorního rozboru zemin provedeného v rámci průzkumu lokality (Drobníčková and Paseka, 1989) a jejich rozboru. Pro pískovce a slepence v podloží je využit lineárně elastický materiálový model, pro zeminy je zaveden Mohr-Coulombův lineárně elastický ideálně plastický materiálový model (Plaxis 2D manuals).

Všechny parametrické studie sledují vliv změn hladin podzemní vody na stabilitu území. Jsou provedeny výpočty pro interpolační stavy HPV 0-6. Stav 0 odpovídá maximálním naměřeným hladinám vod ve vrtech, stav 6 odpovídá minimům těchto hladin. Jako výstupní parametr je sledován stupeň stability svahu SF , který je definován metodou paralelní redukce smykových parametrů.

Pro potřeby zjištění spouštěcího mechanismu sesuvu byla metodou podle Rapisardy (2007) zrekonstruována přibližná morfologie terénu před začátkem sesouvání (Obr. 9).



Obr. 9 Rekonstrukce původního terénu podle Rapisardy - řez

Tab. 3 Přehled modelů a prováděných parametrických studií

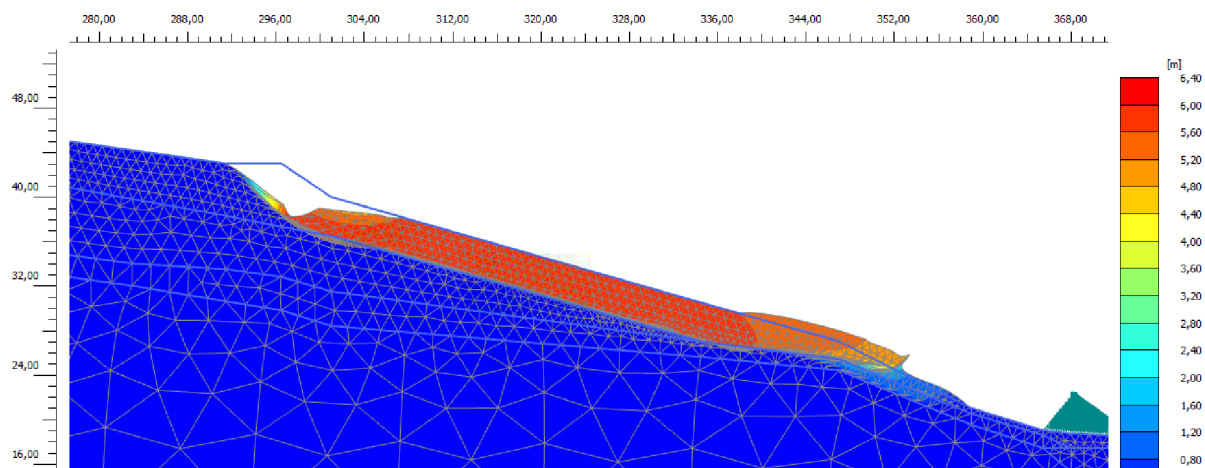
	výchozí stav	parametrická studie	výsledný stav
Model 1	rekonstruovaný původní terén, bez smykových ploch	vliv parametrů kvartérního jílu	vznik smykové plochy na bázi kvartérních jílu
Model 2 (A,B)	fáze (A) navazuje na výsledný stav modelu 1, fáze (B) na výsledný stav modelu 2A; na bázi kvartérních jílu je vložena smyková plocha	vliv parametrů smykové plochy na bázi kvartérních jílu a přítomnosti/nepřítomnosti vody v prohlubních terénu	další fáze sesouvání kvartérních jílu: rozšiřování aktivní sesuvné oblasti po svahu i proti svahu, translační pohyb sesuvu, vyklizování odlučné zóny, boulení akumulací oblasti
Model 3	rekonstruovaný původní terén, bez smykových ploch	vliv zvýšení hladiny HL3 nad terén v oblasti paty svahu	vznik smykové plochy v neogenních jílech
Model 4 (A,B,C)	fáze (A) navazuje na výsledný stav modelu 3, fáze (B) na výsledný stav modelu 4A, fáze (C) na výsledný stav modelu 4B; v neogenních jílech je vložena smyková plocha	vliv parametrů smykové plochy v neogenních jílech	rozvoj sesuvu podél smykové plochy v neogenních jílech: hlubší sesuv v dolní části svahu
Model 5	geodeticky zaměřený terén během sesouvání, smykové plochy na bázi kvartérního jílu a v neogenním jílu	vliv parametrů smykové plochy	další rozvoj sesuvu
Model 6	sanovaný stav, přísyp lomového kamene	vliv parametrů kvartérního jílu	podmínky rozvoje sesuvu ve zbytcích kvartérních jílu v okolí stabilizačního přísypu

Snížení smykové pevnosti v oblasti smykových ploch je v práci modelováno tím způsobem, že do míst, kde je v jednom modelu vyhodnocena linie, podél níž dochází k velkým smykovým přetvořením, je v navazujícím dalším modelu vložena tenká vrstva geomateriálu se sníženou smykovou pevností. Pro následný model je také převzata geometrie svahu vyhodnocená v předešlém modelu. V parametrické studii je pak postupně snižována smyková pevnost na smykové ploše s cílem vyhledat stav svahu, kdy stupeň stability klesne těsně pod 1,0 a spustí se dílčí svahový pohyb. Tak je modelován postupný rozvoj sesuvu.

Podmínky vzniku smykové plochy na bázi kvartérního jílu byly vyhodnocovány na modelu 1, který vychází ze zrekonstruovaného původního stavu terénu. Kromě změn úrovně HPV je v parametrické studii sledován vliv snížení smykové pevnosti kvartérních jílu, pokrývajících území v mocnosti cca 3,5 m, na stabilitu svahu (Tab. 4, Obr. 10). Ke snížení vrcholové smykové pevnosti těchto zemin dochází při dlouhodobém působení sladké vody (dlouhodobé deště, porucha dešťové kanalizace), při zvýšení vlhkosti zemin, vlivem hlubokého rozorání a vlivem stavebních zásahů. V tabulce jsou červeně zvýrazněny výsledky výpočtů, ve kterých byl stupeň stability vyhodnocen těsně nad 1,0. Z výsledků vyplývá, že při vysokých stavech HPV stačí malé snížení vrcholové smykové pevnosti ke spuštění svahového pohybu. Vrstva kvartérních jílu se začne sesouvat po pevnějších podložních nezvětralých neogenních jílech (Obr. 10).

Tab. 4 Model 1 – stupně stability při snižování soudržnosti kvartérních jíílů K2

Parametry pro kvartérní jííl		Interpolace úrovně vodní hladiny							
c (kPa)	φ (°)	terén	0	1	2	3	4	5	6
11	17	1,137	1,203	1,288	1,365	1,39	1,42	1,446	1,471
9	17	1,096	1,141	1,224	1,319	1,39	1,416	1,441	1,571
8	17	0,9364	1,056						
7	17		0,9613	1,075	1,179	1,28	1,347	1,385	1,411
6	17			1,003	1,114				
5	17			0,9631	1,055	1,122	1,19	1,226	1,245
3	17				0,8303	0,9946	1,05	1,094	1,11
1	17						0,7508	0,817	0,825



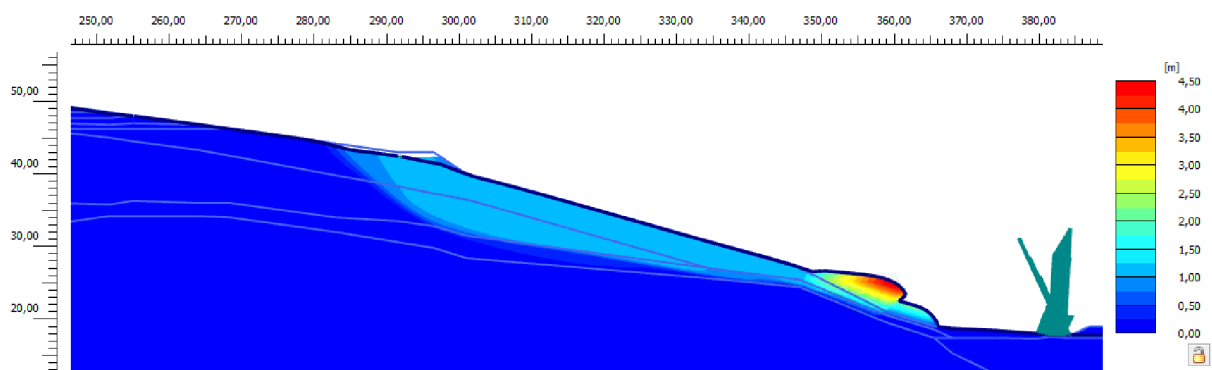
Obr. 10 Model 1 (K2: $c' = 8$ kPa, HPV: stav 0) – predikce sesouvání kvartérních jíílů

Sesouváním podél smykové plochy na bázi kvartérních jíílů, vyspecifikované jak geofyzikálním průzkumem (Jančovič, 1988), tak parametrickou studií na modelu 1, se zabývají modely 2A a 2B. Výsledky parametrických studií na těchto modelech ukazují, že jakmile se ve svahu vytvoří smyková plocha, na které klesne smyková pevnost na reziduální hodnoty, stupeň stability se nevratně sníží. Dále studie ukazují, že v závislosti na úrovni HPV se neaktivnějšími částmi sesuvu stávají jeho různé oblasti: někdy převažuje translační pohyb směrem se svahu k řece, jindy dochází k zatrhávání v odlučné oblasti a k rozšiřování aktivního sesuvného území proti svahu.

Vznikem hlubší smykové plochy v neogenním jííl v dolní části svahu, která byla také vyhodnocena geofyzikálním průzkumem (Jančovič, 1988), se zabývá studie na modelu 3. Ukazuje se, že tato hluboká smyková plocha vzniká, když se v oblasti paty svahu zvýší vztlak v nejspodnější neogenní zvodni HL3 a výtlačné úrovně dosahují v dolní části splazu o více než 70 cm nad terén (Tab. 5). Rozsah sesouvajícího se tělesa je na Obr. 11.

Tab. 5 Model 3 – stupně stability při zvýšení HL3 nad terén v dolní části splazu

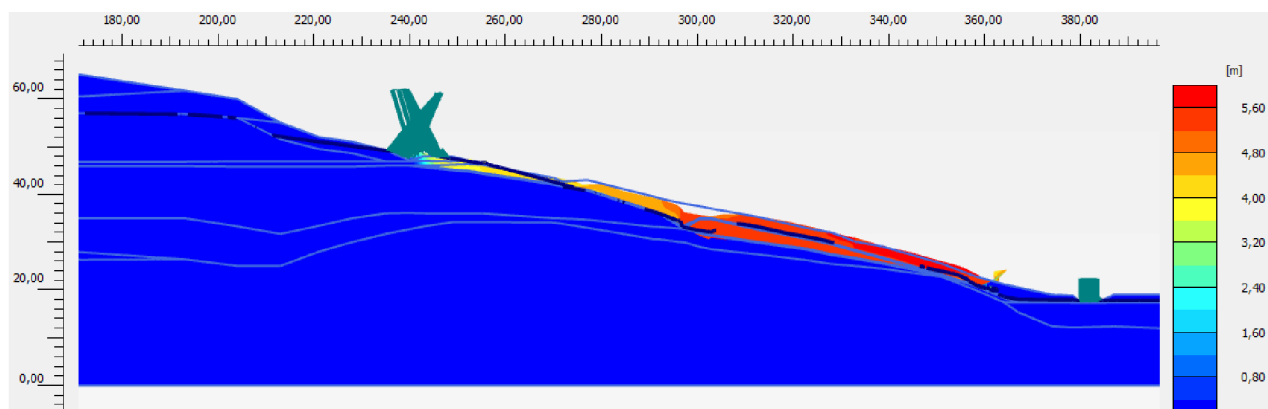
Parametry pro kvartérní jííl		model	terén	a	b	c	d	e	f
c (kPa)	φ (°)	zvýšení HL3 nad terén o (m)	0	0,2	0,4	0,6	0,65	0,7	0,73
11	17	první zvýšená HPV ve vrtu B_2 - staničení 334,5 m		1,087	1,065	1,035	1,030	0,387	
		první zvýšená HPV ve vrtu B_16 - staničení 347 m	1,137	1,102	1,089	1,080	1,081	1,080	0,297



Obr. 11 Model 3 - vznik hlubší smykové plochy v neogenních jílech

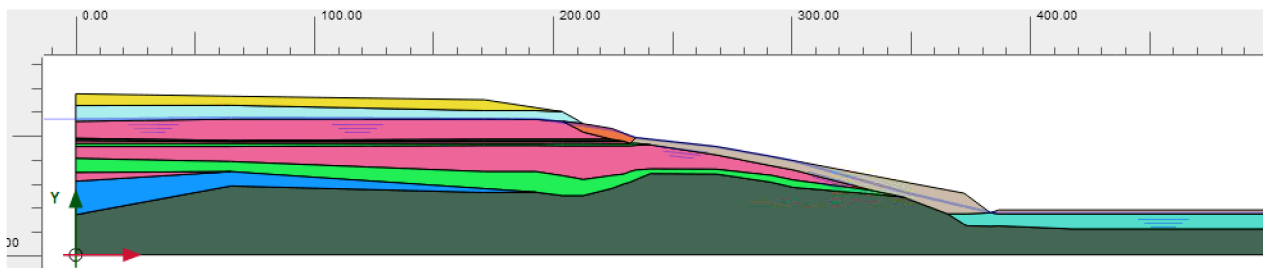
Postupný rozvoj svahového pohybu podél smykové plochy v neogenních jílech simulují studie na modelech 4A, 4B a 4C. Při porovnání výsledků je zřejmé, že tento dílčí svahový pohyb je nejaktivnější v počáteční fázi 4A, v následných dvou fázích 4B a 4C ve srovnatelných podmínkách (úroveň HPV) se stupně stability zvyšují a pohyb se tedy zpomaluje.

Geometrie modelu 5 je převzata z geodetického zaměření terénu k lednu 1988 po první fázi sesouvání a z pozice smykových ploch zjištěných geofyzikálním průzkumem a potvrzených výpočty na modelech 1-4. Je opodstatněné předpokládat, že na smykových plochách klesla smyková pevnost na reziduální hodnoty $\varphi_r' \approx 10^\circ$ a $c_r' = 0$ kPa. Za těchto podmínek probíhá aktivní svahový pohyb při všech stavech HPV. Rozsah sesouvání je zřejmý z Obr. 12.



Obr. 12 Model 5 – rozvoj sesouvání z geodeticky zaměřeného stavu k lednu 1988

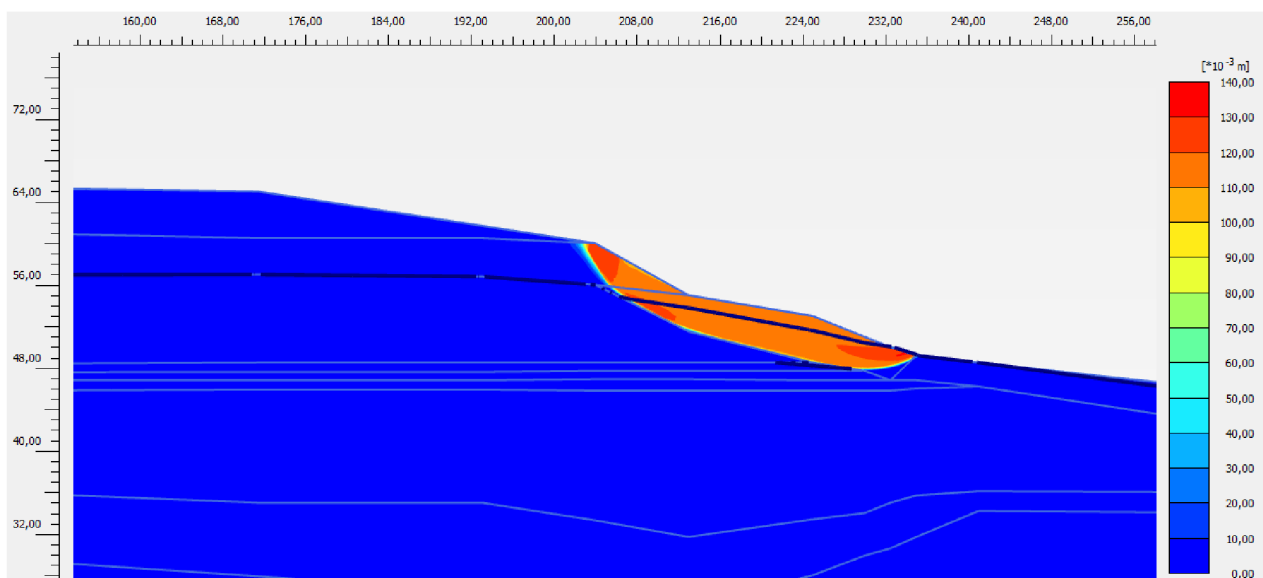
Studie provedená na modelu 6 hodnotí stav po sanaci sesuvu. Koryto řeky Rokytne je přeloženo jižněji, aby nepodemílalo patu svahu, a v sesuvném území je vybudována rozsáhlá stabilizační pata a přísyp z lomového kamene. Sesuté hmoty jsou až pod smykovou plochu nahrazeny lomovým kamenem a drceným kamenivem a je vybudována rozsáhlá konstrukce s drenážní a stabilizační funkcí. Rozsah přísypu ukazuje Obr. 13. Výsledky parametrické studie ukazují, že stabilita území je výrazně zvýšena (Tab. 6). Nejslabším místem profilu, kde by v budoucnu mohlo dojít k dílčímu sesuvu, jsou zbytky kvartérních jílu v zázemí sanovaného sesuvu. Pokud by jejich vrcholová smyková pevnost klesala podobným způsobem, jako se uvažovalo u modelu 1, mohlo by dojít k rozvoji sesuvu v kvartérním jílu podobným způsobem (viz Obr. 14).



Obr. 13 Model 6 – geometrie stavu po sanaci přítěžovacím přísypem z lomového kamene

Tab. 6 Model 6 – stupně stability po sanaci svahu

Parametry pro kvartérní jíly		Interpolace úrovně vodní hladiny						
c (kPa)	φ (°)	0	1	2	3	4	5	6
11	17	1,529	1,564	1,598	1,614	1,624	1,649	1,656
9		1,302	1,454	1,422	1,598	1,626	1,637	1,641
7		1,096	1,23	1,238	1,372	1,459	1,487	1,541
6		1,007	1,109	1,108	1,262	1,347	1,374	1,448
5		0,9225	1,013	1,016	1,131	1,234	1,269	1,338
3		0,574	0,7025	0,7089	0,9316	1,004	1,039	1,131
1						0,4378	0,4593	0,6273

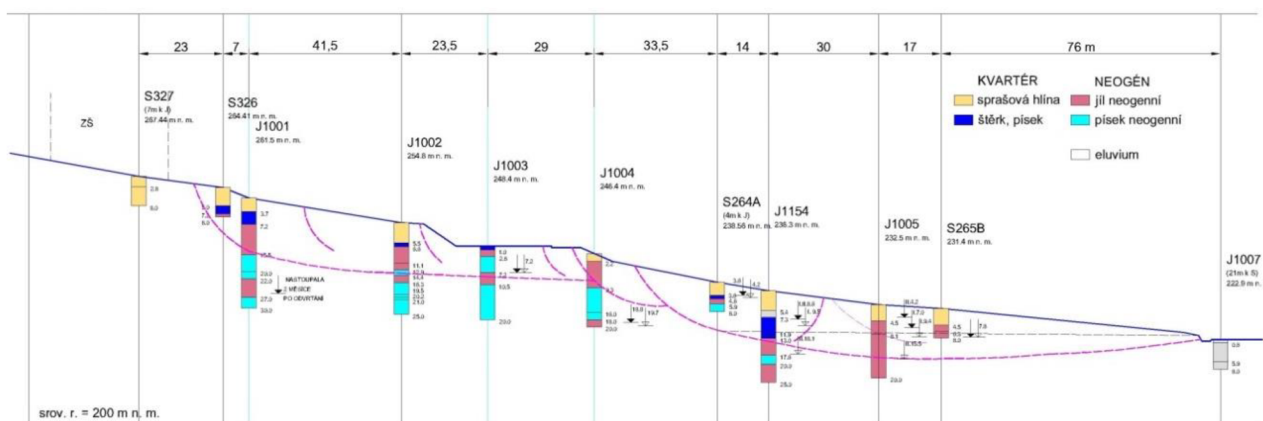


Obr. 14 Model 6 (K2: $c' = 5$ kPa, $\varphi' = 17^\circ$; HPV: stav 1) – vznik sesuvu ve zbytcích kvartérních jílu

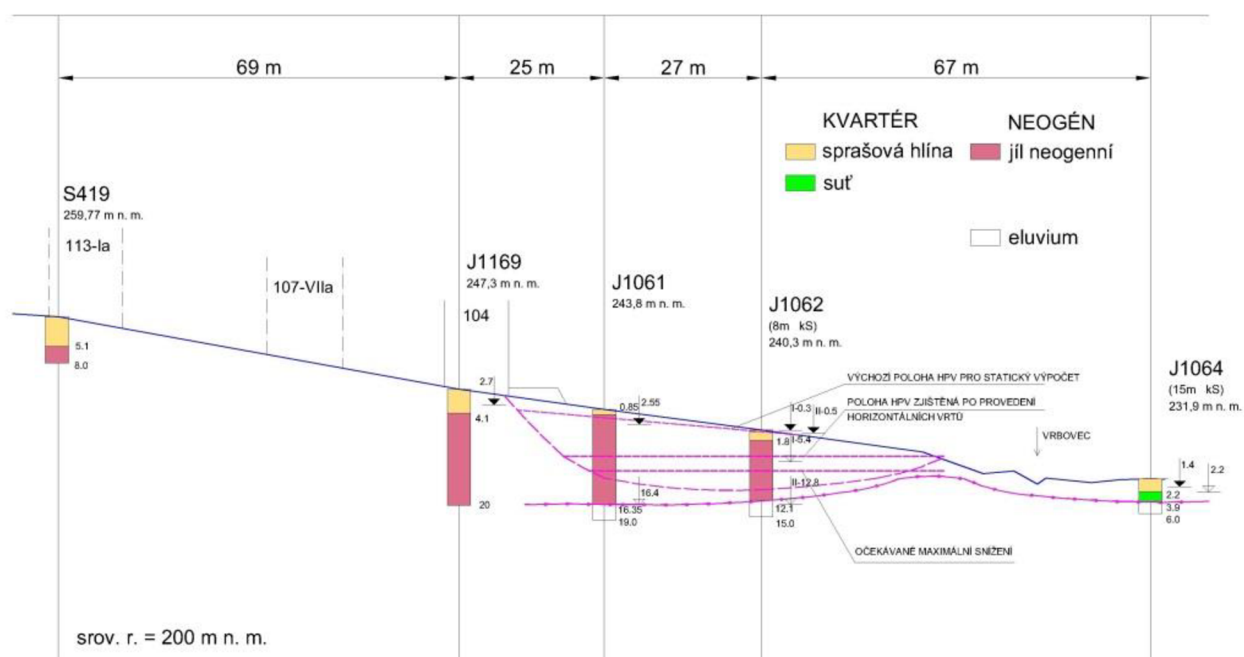
4.2 Fosilní sesuv v zářezu pro obchvat kolem Znojma

V zářezu silničního obchvatu Znojma I/38 byly zastiženy miocenní jílovité zeminy, přestože jejich výskyt zde nebyl očekáván. Inženýrskogeologický průzkum předpokládal, že v zájmovém území leží hned pod mělkým kvartérním pokryvem eluvia granitoidů dyjského masivu, ale během zemních prací zde byla odkryta vrstva miocenního jílu do hloubky 7,5 m.

V tomto mělkém reliktu miocenních jílovitých zemin byla zjištěna stará smyková plocha na bázi fosilního sesuvu (Obr. 15), který byl odkryt během výstavby silničního zářezu. Sesuv je dokladem toho, že v mělkých reliktech jemnozrnných



Obr. 16 Řez sesuvným územím č. 1 v Brně-Bystrci



Obr. 17 Řez sesuvným územím č. 2 v Brně-Bystrci

5 Závěry a doporučení pro inženýrsko-geologický průzkum a stavební činnost v sesuvných lokalitách v zájmové oblasti

Pro inženýrsko-geologický průzkum a stavební práce v sesuvných územích zájmové oblasti mohou být přínosná tato upozornění a doporučení:

Geomorfologické a geologické poměry:

- V zájmové oblasti při okraji předhlubně se mohou na skalních horninách Českého masivu vyskytovat dosud nezmapované nebo inženýrsko-geologickým průzkumem nevyhodnocené relikty neogenních zemín karpatské předhlubně, které zpravidla leží pod několikametrovým kvartérním pokryvem. Podobně tomu bylo v sesuvných územích v Brně-Bystrci a ve Znojmě. Z dalších lokalit lze jmenovat např. sesuvy č. 5840 a č. 6222 u Moravských

Knínic u Kuřimi registrované v mapě Svahových nestabilit ČGS, které proběhly v neogenních zeminách, které v mapových podkladech nebyly zachyceny³. Někdy lze na základě studia mapových podkladů očekávat hrubozrnnou pánevní výplň, ale in situ jsou zastiženy jemnozrnné zeminy (např. lokalita Znojmo);

- Z geomorfologického hlediska lze nezmapované mělké reliktů předhlubně očekávat za geomorfologickou hranicí oblasti Západních vněkarpatských sníženin v Česko-moravské soustavě především v geomorfologických celcích ležících v blízkosti geomorfologické hranice s Dyjsko-svrateckým úvalem, tj. v Jevišovické pahorkatině Českomoravské vrchoviny a v Brněnské vrchovině v celcích Bobravská vrchovina, Řečkovicko-kuřimský prolom a Boskovická brázda;
- Jílovitá souvrství reliktů předhlubně bývají často prostoupena systémem starých smykových ploch. Pokud je v geologické skladbě zastižen relikt předhlubně vyplněný jílovitými zeminami, je v něm třeba přítomnost smykových ploch vyšetřit. Lze očekávat dva systémy ploch:
 - mělké smykové plochy, podél nichž dochází k planárnímu sesouvání zvětralé přípovrchové vrstvy; systém těchto ploch byl zastižen v lokalitách Budkovice-Svázla (mocnost sesouvající se vrstvy byla okolo 3,5 m) a Brno-Bystrc (mocnost cca 5 m);
 - hlubší smykové plochy; tyto smykové plochy byly nalezeny v lokalitách Budkovice-Svázla, Brno-Bystrc a Znojmo. Ve střední části hlubších sesuvů v kontraktantní zóně může být vytvořena mocnější prohnětená smyková zóna (sesuvné území č. 1 v Brně-Bystrci);
- V některých reliktech se i v blízkých lokalitách významně mění jejich geologická skladba a hydrogeologický režim (např. sesuvná území č. 1 a č. 2 v Brně-Bystrci);
- Výplň reliktů tvoří neogenní miocenní sedimenty eggenburgu a ottnangu zpravidla s vyšším podílem hrubozrnných zemin. Ve spodních částech miocenních souvrství nejčastěji převládají hrubozrnná klastika (šterky, písky), směrem vzhůru se výplň zjemňuje, mohou se střídát propustné písčitéjší a nepropustné jílovité vrstvy a postupně převažují jemnozrnné zeminy.

Hydrogeologické poměry:

- Od geologického uspořádání okraje předhlubně v zájmové oblasti se odvíjí jeho hydrogeologický režim. Proterozoické a paleogenní skalní horniny tvoří hydrogeologický masiv, po jehož povrchu do předhlubně stéká podzemní voda. Převládá směr proudění od severozápadu k jihovýchodu;

³ mapa Svahových nestabilit ČGS (https://mapy.geology.cz/svahove_nestability) a Základní geologická mapa 1 : 50 000, ČGS (<https://mapy.geology.cz/geocr50>), Geologická mapa předkvartérních útvarů v měřítku 1 : 200 000, ČGS

- Hydrogeologický režim sesuvných území bývá složitý. Nejspodnější horizont podzemní vody bývá vázaný na předneogenní zvětraliny a spodní hrubozrnnou část neogenního souvrství. Hladina podzemní vody vázaná na tento kolektor se může významně měnit i na malém území. V některých místech může být volná, ale v blízkém okolí se může změnit na vysoce napjatou (viz sesuvné území Budkovice-Svížla a Brno-Bystrc 1). I tam, kde je neogenní pánevní výplň tvořena pouze jílovitými zeminami, mohou se vyskytovat vysoce napjaté sezónně kolísající horizonty podzemní vody vázané na rozhraní neogenních zemin a předneogenního podkladu (Brno-Bystrc 2). Vztlak tohoto horizontu, především v oblasti paty svahu, významně ovlivňuje stabilitu území (numerická studie Budkovice-Svížla). Proto je třeba v rámci hydrogeologického průzkumu sesuvného území měřit napjatost tohoto horizontu včetně jejího sezónního kolísání především v důsledku extrémních srážek a tání sněhové pokrývky (Budkovice-Svížla, Brno-Bystrc);
- Střídají-li se ve výplni reliktu písčité a jílovité polohy (střední část neogenního souvrství v Budkovicích-Svížle a Brně-Bystrci 1) a je-li svah modelován hlubokými sesuvy v neogenních zeminách (Brno-Bystrc 1), bývá komplikované interpretovat hydrogeologické poměry lokality. Podzemní voda se vyskytuje v rozdílných místech a rozdílných hloubkách, pórový tlak se mění nerovnoměrně podél smykových ploch (Vassallo et al., 2014, Vassallo et al., 2016);
- Nejvyšší horizont podzemní vody bývá vázaný na bázi propustnějšího kvartérního pokryvu (Budkovice-Svížla, Brno-Bystrc);
- Bývá opakovaně pozorováno, že HPV ve vrtu v určitém období „přeskočí“ i o několik metrů výše, zpravidla jako odpověď na srážky, a postupně se zase sníží (Budkovice-Svížla). HPV spodní zvodně může „přeskakovat“ na HPV vyšší zvodně (Budkovice-Svížla).

Fyzikálně-indexové vlastnosti jílovitých zemin:

- V rámci dizertační práce bylo provedeno srovnání fyzikálně-indexových vlastností zemin ze sesuvných lokalit zájmové oblasti s parametry publikovanými o tzv. brněnském jílu (brněnském téglu). Bylo shledáno, že oproti brněnským jílům, které patří převážně do třídy F8 (CH, CV) a jejich meze tekutosti w_L jsou měřeny nejčastěji v rozmezí 50-90 %, ve všech třech studovaných sesuvných lokalitách zájmového území se vyskytují zeminy s w_L vyšší než 90 %, tj. s extrémní plasticitou (CE a ME). V lokalitě Budkovice-Svížla spadá do kategorie extrémně plastických zemin 30 ze 48 odebraných vzorků jemnozrnných zemin neogenního původu a byla zde ověřena přítomnost smektitu (montmorillonitu). Jílovité zeminy s w_L nižší než 50 % jsou zpravidla prachovité nebo písčité;
- Stupeň konzistence intaktních jemnozrnných neogenních zemin byl nejčastěji zjišťován v rozmezí 0,81-1,39, s nejvyšší četností v rozsahu 0,95-1,1,

v lokalitách zájmového území podobně jako v publikovaných datech o brněnském jílu v soulase s výsledky Fůrychové (Fůrychová et al., 2014);

Smyková pevnost jílovitých zemin:

- V rámci práce bylo provedeno srovnání smykových pevností pevných jílovitých zemin ze sesuvných lokalit zájmové oblasti s publikovanými daty z dalších lokalit. K pravým parametrům zeminy, nezávislým na stavu zeminy, patří kritická a reziduální smyková pevnost. Kritický úhel vnitřního tření φ_c' vyhodnocený pro brněnský jíl řadou autorů variuje od $\varphi_c' = 18,9^\circ$ po $\varphi_c' = 26,7^\circ$, kritická soudržnost je zpravidla $c_c' = 0$ kPa. Reziduální úhel vnitřního tření φ_r' brněnského neogenního jílu byl stanoven v rozmezí $\varphi_r' = 3,5^\circ$ do $\varphi_r' = 14,5^\circ$, reziduální soudržnost $c_r' = 0$ kPa. Protože se v zájmové oblasti v mělkých neogenních relikttech vyskytují ve zvýšené míře extrémně plastické jíly s montmorillonitem, jejich smyková pevnost leží při dolní hranici této škály (viz lokalita Budkovice-Svížla a Brno-Bystrc);
- U zemin s vysokým obsahem smektitu dochází při standardním laboratorním zkoušení prováděném v destilované vodě k podhodnocení řady materiálových parametrů. Je vyhodnocována nižší smyková pevnost všech typů a větší stlačitelnost zemin. Při laboratorním testování těchto typů zemin se doporučuje používat místo destilované vody roztok s vlastnostmi pórové tekutiny zeminy (Di Maio et al., 2011, Di Maio et al., 2014);
- U jílu se smektitem dochází v sesuvném území k postupnému snižování smykové pevnosti při dlouhodobém působení sladké vody např. vlivem srážkové činnosti nebo zatékání kanalizace.

Stabilita svahů a její ohodnocení:

- Pro modelování počátku svahového pohybu lze doporučit použití metody rekonstrukce původního terénu podle Rapisardy (2007), která byla využita pro modelování rozvoje svahového pohybu v Budkovicích-Svížle;
- Stupeň stability svahu se podél smykové plochy mění místo od místa. V rozsáhlých sesuvných územích k poruše svahu nedochází najednou v plném rozsahu, ale k rozvoji svahového pohybu dochází postupně. V sesuvu Budkovice-Svížla sesouvání kvartérních jílu započalo v lici svahu a na tuto dílčí poruchu navazovaly postupně další směrem proti svahu i po svahu. Obecně lze říct, že rozšiřování sesuvu je vázané na změnu morfologie svahu v předchozí fázi svahového pohybu, který postupně zasahuje čím dál větší území;
- Obecně po spuštění nebo rozšíření svahového pohybu se na bázi sesouvajícího se tělesa vytvoří smyková plocha, na níž smyková pevnost postupně klesne až na reziduální hodnoty. Přírozená stabilita svahu se tak sníží oproti původnímu stavu svahu neprostoupeného smykovými plochami. Během svahového pohybu se sesouvající se zeminy přesunují do nižších poloh, kde svojí tíhou zvyšují stabilitu svahu a je dosaženo labilní rovnováhy se stupněm stability rovnému $SF = 1,0$;

- V sesuvech v zájmovém území se na rozhraní kvartérních a neogenních jílu postupně vytváří převážně rovinná smyková plocha;
- Při různých úrovních hladiny podzemní vody se stávají neaktivnější části sesuvu jeho různé oblasti. Např. k rozšiřování sesuvu směrem proti svahu v odlučné oblasti docházelo v Budkovicích-Svázle při stavech HPV, kdy v depresích svahu nestagnovala voda. Při vyšetřování stability svahu v sesuvných územích je tedy třeba věnovat pozornost jak vysokým stavům podzemní vody, tak stavům nižším;
- Numerickou studií území Budkovice-Svázla byly ověřeny dva pravděpodobné spouštěcí mechanismy pohybu:
 - snížení vrcholové smykové pevnosti kvartérních jílu, ke kterému zde může docházet vlivem dlouhodobého obhospodařování, zvýšením vlhkosti zemin a působením sladké vody na tyto extrémně plastické jíly se smektitem, je příčinou sesouvání přípovrchové vrstvy kvartérních jílu. Tímto způsobem se vytvářejí smykové plochy na bázi kvartérních jílu;
 - zvýšení HPV vázané na spodní neogenní zvrstvení v oblasti paty svahu nad terén. Takto dochází ke vzniku hlubších smykových ploch v neogenním jílu v dolní části svahu;

Tyto mechanismy mohou mít v zájmovém území v mělkých reliktech karpatské předhlubně obecnější platnost.

Sanační opatření:

- Sanační opatření musí působit proti spouštěcímu mechanismu svahového pohybu. Je třeba zajistit, aby smyková pevnost kvartérních jílu v sesuvném území nebyla dlouhodobě snižována, např. zhoršením jejich konzistence nebo vlivem dlouhodobého vystavení působení sladké vody;
- Důležitou součástí sanačních prací je efektivní odvodnění sesuvného území, které musí zajistit trvalé snížení HPV především v obdobích extrémního stavu podzemní vody. Je důležité, aby byla zaručena trvalá účinnost drenáže;
- K účinným sanačním opatřením patří přeložení toku vodoteče, podemílajícího patu svahové deformace, mimo akumulaci oblast sesuvu (Budkovice-Svázla), aby proudící voda neodnášela z akumulaci oblasti materiál, který svojí tíhou zvyšuje stabilitu svahu.

Použitá literatura

Brzobohatý, R. (2011). *Paratethys a neogén na Moravě, část II Neogén na Moravě*. Výběrová přednáška, <http://is.muni.cz/el/1431/podzim2011/G9601/ParatethysCast2neogenMoravaKpBa.pdf>.

Di Mao, C., Vassallo, R., (2011). *Geotechnical characterization of landslide in a Blue Clay slope.*, Landslides (2011) 8:17-32, DOI 10.1007/s10346-010-0218-8, Springer-Verlag.

- Di Mao, C., Scaringi, G., Vassallo R., (2014). *Residual strength and creep behaviour on the slip surface of a landslide in marine origin clay shales: influence of pore fluid composition*. Landslides (2015) 12:657-667 DOI 10.1007/s10346-014-0511-z, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Drobníčková, H., Paseka, A. (1989) *Budkovice – sesuv, Podrobný inženýrskogeologický průzkum sesuvného území*. Brno, Geotest. GF P059908.
- Duncan, J. Wright, S. G., Brandon, T. L. (2014). *Soil strength and slope stability*. 2nd ed., 317 s, John Wiley & Sons, Inc., ISBN 978-1-118-65165-0.
- Erbenová, S. (2006). *Faktory ovlivňující mechanické chování jílovitých zemin*. Doktorská disertační práce, 177 s., Vysoké učení technické v Brně, Brno.
- Feda, J., Boháč, J., Herle, I., (1995). *Shear resistance of fissured Neogene clays*. Engineering Geology, 39 (1995) 171-184, SSDI 0013-7952(95)00023-2, Elsevier B. V.
- Fencl, M. (2012). *Pevnost brněnského téglu v kritickém stavu*. Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze, Praha.
- Fürychová, P., Melichar, R., Poul, I. (2014). *Geomechanické vlastnosti jílu na území města Brna*. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezku, 2014, str. 85-89, Brno.
- Hruban, R. (2013). *Moravské Karpaty*. <http://moravske-karpaty.cz/prirodni-pomery/geologie/karpatska-predhluben>.
- Hungr, O., Leroueil, S., Picarelli, L. (2013). *The varnes classification of landslide types, an update* Landslides (2014) 11:167-194 DOI 10.1007/s10346-013-0436-y, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Hynie, O., (1961). *Hydrogeologie ČSSR I, Prosté vody*. 562 s., Nakladatelství Československé akademie věd, Praha.
- Chlupáč, I. et al. (2002). *Geologická minulost České republiky*. Academia, nakladatelství AV ČR, Praha, 436 s. ISBN 80-200-0914-0.
- Jančovič, L. (1988) *Budkovice-Sesuv, Zpráva o geofyzikálním průzkumu*. Brno, Geofyzika n.p.
- Krásný, J. et al. (2012). *Podzemní vody České republiky*. 1143 s., Česká geologická služba, Praha. ISBN 978-80-7075-797-0.
- Krejčí, O., et al. (2011). *Regionální dokumentace rizikových geodynamických jevů v oblasti Džbánu ve středních Čechách, v brněnské aglomeraci a na Zlínsku. Díl B: Dokumentace rizikových geodynamických jevů v brněnské aglomeraci*. Česká geologická služba, Brno.
- Marschalko, M., Müllerová, J., Ides, D. (2008). *Inženýrská Geologie, část 8: Hydrogeologické poměry*. Multimediální výukový text, <http://geologie.vsb.cz/inzgeol/default.htm>
- Marschalko, M., Müllerová, J., Ides, D. (2008). *Svahové deformace, část 2: Klasifikace a charakteristika svahových pohybů*. Multimediální výukový text, <http://geologie.vsb.cz/svadef/default.htm>.

- Nehyba, S., Holcová, K., Gedl, P., Doláková, N. (2016). *The Lower Badenian transgressive-regressive cycles – a case study from Oslavany (Carpathian Foredeep, Czech Republic)*. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abh. 279/2 (2016), 209-238, DOI 10.1127/njgpa/2016/0548, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Nováková, D. (2006). *Brno Bystrc – Založení objektu v území náchylném k sesouvání*. Diplomová práce, Brno, Vysoké učení technické v Brně.
- Pacák, F., Palán, M., Volný, R. (1991). *Znojmo – obchvat, závěrečná zpráva, 1. stavba - II. etapa*, Brno, Unigeo Ostrava, závod Modřice.
- Papoušek, Z., Paseka, A. (1976). *Zpráva o Inženýrskogeologickém a hydrogeologickém průzkumu základových poměrů stavby VII a VIII sídliště Bystrc I*. Brno, Geotest n. p.
- Paseka, A. (2007). *Posudek technologie budování násypů a zářezů v trase přeložky silnice I/38 v obchvatu Znojma*. Brno, Ing. Antonín Paseka, CSc. Inženýrská geologie a geotechnika zakládání staveb.
- Plaxis 2D manuals. <https://www.plaxis.com/support/manuals/plaxis-2d-manuals>.
- Polášková, A. (2007). *I/38 Znojmo – obchvat, st. 1-2. etapa, Posouzení svahu zářezu v km 1,900-2,260*. Brno, Geostar spol. s.r.o.
- Rapisarda, F. (2007). *Landslide analysis in Apennine chain areas*. Landslides (2007) 4:75-83, DOI 10.1007/s10346-006-0066-8, Springer-Verlag.
- Registr svahových nestabilit, <http://www.geology.cz/svahovenestability/registr>
- Rott, J., Mašín, D., Boháč, J., Krupička, M., Mohyla, T. (2015). *Evaluation of K_0 in stiff clay by back-analysis of convergence measurements from unsupported cylindrical cavity*. Acta Geotechnica (2015) 10:719-733, DOI 10.1007/s11440-015-0395-7, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Svoboda, T. (2010). *Numerický model NRTM tunelu v tuhém jílu*. Doktorská disertační práce, Univerzita Karlova v Praze, Praha.
- Uhrin, M. (2004). *Aplikace Cam Clay modelu na brněnský jíl*. Diplomová práce, 96 s., Vysoké učení technické v Brně, Brno.
- Vassallo, R., Grimaldi, G. M., Di Mao C., (2014). *Pore water pressures induced by historical rain series in a clayey landslide: 3D modeling*, Landslides (2015) 12:731-744 DOI 10.1007/s10346-014-0508-7, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Vassallo, R., Doglioni A., Grimaldi G. M., Di Maio C., Simeone V. (2016). *Relationships between rain and displacements of an active earthflow: a data-driven approach by EPRMOGA*. Nat Hazards (2016) 81:1467–1482, DOI 10.1007/s11069-015-2140-9, Springer Science+Business Media Dordrecht.
- Vrtek, F. (1998). *Mechanika zemín, inženýrská geologie a hydrogeologie v praxi*. 197 s., Brno.
- Záruba, Q., Mencl, V. (1987). *Sesuvy a zabezpečování svahů*. 2. přeprac. a dopl. vyd., 338 s., Academia, Praha.

Curriculum vitae

Jméno: Ing. Helena Brdečková
Datum narození: 5. 10. 1967, Česká republika

Kontaktní údaje:
E-mail: brdeckova.h@fce.vutbr.cz

Profesní a akademická kariéra:

1993-1994 práce na projektu GA ČR 103/93/0187 - Regionální informační systém o základových půdách, FAST VUT v Brně, Ústav geotechniky;
1994-1999 doktorské studium na FAST VUT v Brně, Ústav geotechniky, obor Teorie konstrukcí, specializace inženýrská geologie;
1997 až dosud FAST VUT v Brně, Ústav geotechniky; asistent (rodičovská dovolená: 1998-2006);
1997-2010 spolupráce s průzkumnou geotechnickou firmou doc. Ing. Antonín Paseka, CSc.;
2011-2016 spolupráce se statickou kanceláří A+Z PROJEKT TEAM v Brně.

Vzdělání:

1981-1985 studium na gymnáziu Vsetín;
1985-1991 studium na FAST VUT v Brně, obor Konstrukce a dopravní stavby;
1994-1999 doktorské studium na FAST VUT v Brně, Ústav geotechniky, obor Teorie konstrukcí, specializace inženýrská geologie, školící prof. RNDr. Šamalíková, CSc. (1997 složena rigorózní zkouška);
2011 až dosud doktorské studium na FAST VUT v Brně, Ústav geotechniky, obor Stavební inženýrství – Konstrukce a dopravní stavby, školící Ing. Jiří Boštík, Ph.D.

Pedagogická činnost:

1997-1998 a 2006 až dosud výuka předmětů geologie a mechanika zemin na Ústavu geotechniky, FAST VUT v Brně;
2010-2016 vedení bakalářských a diplomových prací na Ústavu geotechniky FAST VUT v Brně.

Účast ve výzkumných projektech:

- 1993-1994 FAST VUT v Brně, Ústav geotechniky, grant GA ČR 103/93/0187 – Regionální informační systém o základových půdách; člen řešitelského týmu;
- 2011-2012 Specifický vysokoškolský výzkum - Aplikace výpočtových postupů v analýze geotechnických konstrukcí; matematické modelování problematiky stability a stabilizace svahů programem Plaxis; spoluřešitel;
- 2012- 2014 CZ.1.07/2.4.00/31.0012 - OKTAEDR - partnerství a síť stavebnictví - koordinátorka týmu OKTAEDR GTN.

Zahraniční pobyty a stáže na jiných pracovištích:

20. 8.-19. 10. 2012 Slovensko, STU v Bratislave, Fakulta stavebná, Radlinského 11, 813 68 Bratislava, zaměření: Modelování geotechnických problémů MKP, programy Plaxis a Midas.

Znalosti a dovednosti:

- Jazyky: čeština (rodilý mluvčí), angličtina, ruština.
Výpočetní technika: uživatelská.

Abstrakt

Karpatská předhlubeň je podélná deprese v předpolí Karpat. Na Moravě je vyplněna především neogenními zeminami. Dizertační práce se zaměřuje na jihomoravské sesuvy, které proběhly v mělkých reliktech neogenních uloženin při okraji předhlubně, ležících na skalních horninách Českého masivu. Sesuvná aktivita v těchto mělkých pánvích je výsledkem řady faktorů. V teoretické části práce jsou zkoumány důležité společné rysy sesuvných území, jejich geologické a hydrogeologické poměry. Dále jsou shrnuta a zhodnocena podstatná dostupná data o geomechanickém chování zemin, na něž zde bývají sesuvy vázané. Případové studie se zabývají sesuvnými lokalitami v Budkovicích-Svázle, v Brně-Bystrci a ve Znojmě. Případová studie Budkovice-Svázla se opírá o rozsáhlý inženýrsko-geologický průzkum území a o měření hladin podzemní vody z let 1988-2017. V rámci práce je proveden rozbor hydrogeologického režimu území a rekonstruována původní morfologie svahu před svahovým pohybem. Numerickými studiemi jsou vysledovány pravděpodobné spouštěcí mechanismy sesuvu, modelován rozvoj svahového pohybu a zhodnocen vliv sanačních opatření. Závěrem práce jsou formulována obecná doporučení pro inženýrsko-geologický průzkum a stavební činnost v sesuvných lokalitách zájmové oblasti.

Abstract

The Carpathian foredeep is a lengthwise depressed area in the Carpathian foreland. In Moravia, it is mainly filled with Neogene soils. The thesis focuses on the South Moravian landslides which occurred in shallow relicts of Neogene deposits along a foredeep margin which lie on the rocks of the Bohemian Massif. Landslide activity within these shallow basins is a result of a number of factors. In the theoretical part, important general features of landslide areas, their geological conditions and hydrogeological regime are investigated. Next, available data on the geomechanical behaviour of soils, often connected with these landslides, are summarized and evaluated. The case studies deal with the landslide localities Budkovice-Svázla, Brno-Bystrc and Znojmo. The case study of Budkovice-Svázla is based on an extensive engineering geological survey of the locality and the measurement of groundwater levels in the years 1988 – 2017. In the thesis, the hydrogeological regime of the area is analysed and a reconstruction of the ground surface before slope movement is carried out. The probable trigger mechanisms, the development of sliding and the efficiency of the executed remedies of the landslide are evaluated by numerical studies. In conclusion, general recommendations for an engineering-geological survey and building activities in the area of interest are formulated.