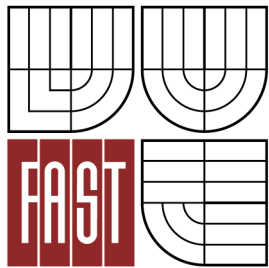




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV GEOTECHNIKY

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF GEOTECHNICS

ZHDNOCENÍ INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU ÚZEMÍ POSTIŽENÉHO SVAHOVÝMI POHYBY V BUDKOVICÍCH

**ENGINEERING GEOLOGICAL SURVEY EVALUATION OF AREA AFFECTED BY LANDSLIDES IN
BUDKOVICE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KATEŘINA PRECHTLOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Mgr. ALEXANDRA ERBENOVÁ, Ph.D.



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav geotechniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Kateřina Prechtlová

Název Zhodnocení inženýrskogeologického průzkumu
území postiženého svahovými pohyby v
Budkovicích

Vedoucí bakalářské práce Mgr. Alexandra Erbenová, Ph.D.

**Datum zadání
bakalářské práce** 30. 11. 2013

**Datum odevzdání
bakalářské práce** 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

.....
doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Budou předány vedoucím bakalářské práce zvlášť.

Zásady pro vypracování

Úkolem autorky bakalářské práce je zhodnotit stabilitu území postiženého svahovým pohybem a vypracovat ideový návrh jeho sanace.

Předepsané přílohy

.....
Mgr. Alexandra Erbenová, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt

Práce se zabývá zhodnocením inženýrsko-geologického průzkumu území postiženého svahovými pohyby v Budkovicích. Zájmové území leží v jižní části Boskovické brázdy na levém nárazovém břehu řeky Rokytne. V práci je nejdříve nastíněna problematika svahových pohybů obecně. Proč je vhodné je zkoumat, jaké faktory hrají roli při jejich vzniku, které oblasti jsou na jejich vznik náchylné, jak se postupuje při inženýrskogeologickém průzkumu a jak se řeší stabilita svahů. Dále je zaměřena na již zasanovaný sesuv v obci Budkovice. Byla nastudována geologie a hydrogeologie zájmového území. Dále bylo shrnuto, jaké průzkumné práce zde byly provedeny. Seznámila jsem se s jejich výsledky a výstupy. Byl proveden výpočet úhlu vnitřního tření reziduální pevnosti na smykové ploše pomocí Petterssonovy metody, který vyšel 11,27°.

Byly vytvořeny přehledné geologické řezy svahovým územím a řez pro výpočet stability. Na zachovalých vrtech bylo provedeno měření hladiny podzemní vody a bylo porovnáno s dřívějším.

Klíčová slova

Svahové pohyby, stabilita svahu, inženýrskogeologický průzkum, monitorování, stupeň bezpečnosti, Petterssonova metoda, hladina podzemní vody, úhel vnitřního tření

Abstract

This Thesis deals with evaluation of engineer-geological survey of area affected by landslides near Budkovice. The area of interest is situated in the south part of Boskovická brázda on the left bank of the river Rokytná. The Thesis first outlines the problems of slope movements in general: why it's appropriate to study them, what factors play role in their creation, what areas are prone to their creation, how to proceed with engineer-geological survey and how the slope stability is solved. Next it focuses on the above mentioned landslide in village Budkovice. Geology and hydrogeology of the area of interest were studied. Carried out survey works were summarized. I became familiar with their results and outputs. Friction angle of the residual strength on the slip plane was calculated using Pettersson's method, it's value was 11, 27°.

Simple geological cuts through the slope area and calculation cut were made. Groundwater level was measured on the preserved drill holes and it was compared with former values.

Keywords

Landslides, slope stability, engineering-geological survey, monitoring, factor of safety, Pettersson's method, groundwater level, friction angle

...

Bibliografická citace VŠKP

Kateřina Prechtlová *Zhodnocení inženýrskogeologického průzkumu území postiženého svahovými pohyby v Budkovicích*. Brno, 2014. 35 s., 15 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav geotechniky. Vedoucí práce Mgr. Alexandra Erbenová, Ph.D.

Prohlášení:

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

V Brně dne 26. 5. 2014

.....
podpis autora
Kateřina Prechtlová

Poděkování:

Ráda bych na tomto místě poděkovala své vedoucí Mgr. Alexandře Erbenové, Ph. D. a i dalším členům ústavu geotechniky, kteří mi jakkoli pomohli. Poděkování patří i mým rodičům a dalším blízkým, kteří mě po celou dobu podporovali ať již psychicky, finančně, a nebo mi věnovali svůj čas při korekturách.

OBSAH

| | | |
|--------|--|--------|
| 1. | Úvod..... | - 2 - |
| 2. | Všeobecná část a účel průzkumu | - 2 - |
| 2.1. | Přehled faktorů způsobujících sesouvání..... | - 4 - |
| 2.2. | Rozdělení svahových pohybů | - 5 - |
| 2.3. | Řešení stability sesuvů..... | - 8 - |
| 2.4. | Stanovení plošného rozsahu svahového pohybu..... | - 9 - |
| 2.5. | Hydrogeologický průzkum území svahových pohybů..... | - 11 - |
| 2.6. | Monitorování sesuvů..... | - 13 - |
| 2.7. | Sesuvná území bývalé ČSSR a některé významné sesuvy | - 15 - |
| 2.8. | Průměrné sklony svahů..... | - 18 - |
| 3. | Provedené průzkumné práce v Budkovicích | - 19 - |
| 3.1. | Vrtné práce..... | - 19 - |
| 3.2. | Měření hladiny podzemní vody na pozorovaných objektech | - 20 - |
| 3.3. | Geofyzikální práce | - 20 - |
| 3.4. | Laboratorní rozborů | - 21 - |
| 3.4.1. | Mechanika zemin | - 21 - |
| 3.4.2. | Chemizmus podzemní vody..... | - 21 - |
| 3.5. | Měřičské práce – základní a opakované měření na sesuvu..... | - 22 - |
| 4. | Přírodní poměry..... | - 23 - |
| 4.1. | Geomorfologické poměry | - 23 - |
| 4.2. | Geologická stavba širšího okolí..... | - 23 - |
| 4.3. | Hydrogeologie..... | - 24 - |
| 5. | Inženýrsko-geologické zhodnocení průzkumu..... | - 24 - |
| 6. | Výpočet reziduální pevnosti na smykové ploše | - 26 - |
| 6.1. | Petterssonova metoda..... | - 26 - |
| 6.2. | Výpočet reziduální pevnosti na smykové ploše | - 28 - |
| 7. | Závěr | - 30 - |
| | Seznam použité literatury | - 31 - |
| | Seznam použitých zkratk a symbolů..... | - 33 - |
| | Přílohy..... | - 35 - |

1. ÚVOD

Vzhledem k pestré geologické stavbě našeho území a veliké hustotě zalidnění jsou svahové pohyby jednou z nejčastějších úloh, které na našem území řešíme. Svážení je jev, kdy se dá část zemin do pohybu v důsledku porušení stability ve svahu. Zemina zaujme novou polohu, v níž po sesutí nastane nový stav rovnováhy. K porušení rovnováhy může dojít z nejrůznějších důvodů. Velmi častým je nepříznivý sklon svahu či působení vody.

Řešení stability svahů je další z praktických aplikací mechaniky zemin, v níž používáme pevnostní nebo deformační charakteristiky zemin.

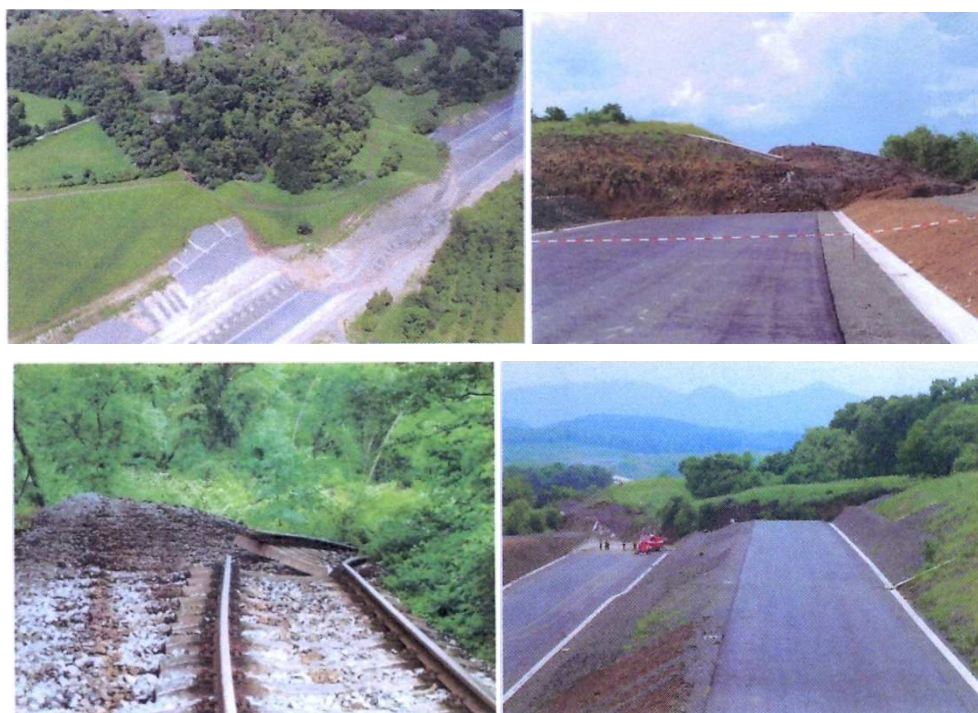
2. VŠEOBECNÁ ČÁST A ÚČEL PRŮZKUMU

Stabilita svahů je důležitou otázkou v nejrůznějších oborech lidské činnosti. Nejvíce nás trápí při projektování a realizaci technických prací [1, s. 15]. Porušením stability svahů vznikají svahové pohyby, které můžeme obecně definovat jako přesun hornin vlivem gravitace z vyšších částí svahu do nižších. Z geologického hlediska není žádný svah trvale stabilní. Svahy podléhají působení mnoha procesů, ať již přírodních či umělých, které mají vliv na jejich tvar a stabilitu.

Sesuvy a různé svahové pohyby jsou vnímány jako živelní katastrofy. Páchají velké škody na majetku a připravují o životy desetitisíce lidí. Vědci z Durham University ve Velké Británii spočítali, že si sesuvy v letech 2004 až 2010 vyžádaly 32 300 životů. Předchozí odhady uváděly 3 000 - 7 000 obětí. Části světa nejčastěji postihované sesuvy jsou například Himálaje, Indie, Pákistán, Bhútán, Nepál, Bangladéš, Čína (provincie Si Chuan), Střední a Jižní Amerika. Za jeden z největších a nejtragičtějších sesuvů moderní doby je považován sesuv z roku 1999 ve státě Vargas, který je součástí Venezuely. Zemřelo 30 000 lidí a byla zničena ekonomická stabilita regionu [2].

V České republice se se svahovými pohyby také setkáváme. Z historie zmíním sesuv v Handlové (území SR) z roku 1961, který byl velmi rozsáhlý. Bylo při něm zničeno 260 domů. Přispěl ale k tomu, že dnes máme sesuvy na

našem území zmapovány a máme o nich dobrý přehled. Z nedávných sesuvů, které nám připomínají ekonomický význam jejich studia, prevence a zabezpečení, bych jmenovala sesuv vyvolaný povodněmi v červnu 2013, který zavalil rozestavěnou dálnici D8 a poškodil několik stovek metrů železniční tratě. Byla tím způsobena škoda až 1 miliarda korun [3].



Obr. 1-4: *Sesuv na dálnici D8 a poškozená železniční trať*

Z výše uvedených příkladů je patrné, že inženýrsko-geologický průzkum na zamýšleném staveništi má nepostradatelný význam. Při budování velkých a technicky náročných staveb by měly činit prostředky na průzkum oblasti zhruba 2% ze zamýšlené ceny stavby. Bohužel to není v praxi pravidlem a mnohdy tak investor přichází o nemalé finanční prostředky. Stejně tak včasná odborná sanace území, popřípadě vyhnutí se oblasti náchylné na sesouvání při výstavbě, může ušetřit nemalé finanční prostředky, a v krajních případech i lidské životy.

2.1. Přehled faktorů způsobujících sesouvání

Hlavním úkolem při inženýrsko-geologickém průzkumu sesuvu je určení příčin sesouvání a návrh správného opatření k zabezpečení svahu. Abychom tak mohli učinit, musíme umět rozeznat, co svahový pohyb způsobilo. „*Rozmanitost svahových pohybů je podmíněna nejen geologickou strukturou, ale také růzností faktorů, které sesouvání způsobují*“ [1, s. 34]. Je tedy zřejmé, že existuje množství kritérií, jak je třídit a rozdělovat. Například je můžeme dělit na přírodní, jako jsou srážky a sníh, a umělé čili antropogenní, což jsou stavební a těžební činnosti člověka; pak také na krátkodobé (epizodické) a dlouhodobé (permanentní). Podle Záruby a dalších autorů [1] [4] [5] patří, bez ohledu na třídění, mezi nejčastější faktory následující:

- **Změna sklonu svahu.** Nárůst úhlu sklonu svahu způsobuje v horninách změnu napětí. Rovnováha bývá porušena vzrůstem napětí ve smyku.
- **Přetížení násypy.** Způsobuje vzrůst smykových napětí a zvětšení napětí vody v pórech jílovitých zemin, které zmenšuje jejich smykovou pevnost. Přetížení je tím nebezpečnější, čím je rychlejší.
- **Otřesy a vibrace.** Zemětřesením vznikají v horninách kmity různých frekvencí; podobně působí i výbuchy velkých náložů trhavin a otřesy stavebních strojů. V hornině tak vzniknou dočasné změny napětí, které mohou porušit rovnováhu svahu. U spraší a málo zpevněných písků mohou otřesy způsobit porušení intergranulární vazby, a tím dojde ke zmenšení soudržnosti. U zvodněného jemného písku a citlivých písčitých jílů mohou dát otřesy popud k přemístění nebo pootočení zrn. To pak může vyvolat ztekucení zeminy.
- **Změny obsahu vody.**
 - a) *Dešťová voda a voda z tajícího sněhu* se dostává do puklin, kde vzniká hydrostatický tlak. V zeminách roste tlak v pórech a tím se zmenšuje jejich smyková pevnost.
 - b) V období *sucha* jílovité zeminy vysychají a smršťují se. Vznikají v nich trhliny, které zmenšují soudržnost hornin na svazích a umožňují vnikání vody.

- **Elektrický potenciál.** Někteří autoři zjistili měřením rozdíl elektrického potenciálu mezi dvěma vrstvami horniny. Na jejich styku pak byla smyková plocha.
- **Působení podzemní vody.**
 - a) *Proudící podzemní voda působí tlakem* na částice zeminy, a tak zhoršuje stabilitu svahu. Rychlé změny vodní hladiny na březích umělých nádrží způsobují vzrůst vodního tlaku v pórech. To by mohlo u písčitých zemin vést k jejich ztekucení.
 - b) Podzemní voda může vyplavit rozpustný tmel a tím zeslabit intergranulární vazbu a snížit hodnotu parametrů smykové pevnosti.
 - c) Proudící p. v. vyplavuje v jemném písku a siltu částice ze svahu.
 - d) Napjatá hladina p. v. působí na nepropustné vrstvy jako vztlak.
- **Zvětrávání hornin.** Mechanické i chemické zvětrávání postupně porušuje soudržnost hornin.
- **Činnost mrazu.** Promrzáním se zvyšuje objem vody v trhlinách, rozšiřují se ty stávající a tvoří se nové. V rozpukaných horninách je pak menší soudržnost. V jílovitých a jílovitopísčitých zeminách se působením mrazu tvoří ledové vrstvičky, při tání se zvětšuje objem vody v povrchové vrstvě zeminy, která rozbírá.
- **Změny ve vegetačním pokryvu.** Kořeny stromů udržují stabilitu svahu mechanicky a přispívají k vysoušení svahů tím, že část podzemní vody spotřebují (tzv. evapotranspirace). Odlesněním svahu se mění vodní režim v podpovrchových vrstvách.

2.2. Rozdělení svahových pohybů

Vzhledem k rozmanitosti sesuvných jevů existuje mnoho kritérií pro jejich klasifikaci. Téměř každý autor, který se touto problematikou zabýval či zabývá, přináší svůj vlastní pohled na tuto otázku.

V roce 1925 navrhl Karel Terzaghi klasifikaci z inženýrskogeologického hlediska, v níž zohlednil fyzikální vlastnosti postižených hornin.

F.P.Savarenský přihlíží k průběhu smykových ploch. Sesuvy dělí na asekvntní, insekventní a konsekvntní. **Asekvntní sesuvy** vznikají ve stejnorodých soudržných zeminách a smyková plocha je přibližně válcová (rotační). **Insekventní sesuvy** procházejí napříč vrstvami, smykové plochy tak zasahují hluboko do svahu a sesuv je značných rozměrů. Ke **konsekvntním sesuvům** dochází po plochách vrstevnatosti nebo jiných předurčených plochách.

U nás se terminologií a dělením svahových pohybu zabývali A. Němčok, J. Pašek a J. Rybář (1974), kteří dělí svahové pohyby podle mechanismu a rychlosti pohybu na čtyři základní skupiny: ploužení, stékání, sesouvání a řícení [1, str. 37]:

- **Ploužení** (nebo také plazení, či creep) je dlouhodobý, pomalý (centimetry za rok) a nezrychlující se pohyb horninových hmot. Výsledná forma sesuvu je až na výjimky morfologicky nevýrazná.
- **Stékání** je krátkodobý, rychlý pohyb horninové hmoty ve viskózním stavu. Rychlosti jsou metry až kilometry za hodinu. Stékající hmoty jsou odděleny od podloží ostrou hranicí. Velká část odloučených hmot vyteče z odlučné jámy a přemístí se na velkou vzdálenost. Výslednou formou stékání je proud, horninový materiál je nasycen vodou. Ale v Alpách či Kordillerách se setkáme i s kamenitými proudy.
- **Sesouvání** je relativně rychlý (metry za den) klouzavý pohyb hornin po svahu podle jedné nebo více smykových ploch. Je typické, že část sesutého materiálu se dostane do předpolí na původní terén a v horní části vznikne odlučná oblast. Výslednou formou je sesuv.
- **Řícení** je krátkodobý a náhlý pohyb hornin (v metrech za sekundu), na strmém svahu, při kterém se, alespoň v části pohybu, uplatní volný pád.

Svahové pohyby můžeme také dělit podle jejich vývoje a to na sesuvy v **počátečním, pokročilém a závěrečném stádiu** vývoje.

Podle stáří rozeznáváme svahové pohyby **současné a staré**. Staré sesuvy, které se z důvodu dnešních klimatických a morfologických podmínek již nemohou opakovat,

nazýváme **fosilní**. Pokud se takovýto sesuv nachází pod vrstvou mladých uloženin, mluvíme o sesuvu **pohřbeném**.

Pro naši technickou praxi je důležité dělení podle stupně stabilizace na sesuvy **živé (aktivní), dočasně uklidněné (potenciální) a trvale uklidněné (stabilizované)**. Živé sesuvy poznáme snadno podle povrchových tvarů, které jsou velmi dobře zřetelné, ostré, neporušené ronem a erozí. Stromy jsou různě vychýlené, povrch je potrhán a v trhlinách jsou kořeny napnuté. Meze, stromořadí a cesty jsou porušené, stavby poškozené. U sesuvů dočasně uklidněných jsou stopy posledních sesuvů málo znatelné, protože jsou zarostlé vegetací a porušené erozí. Ovšem příčiny vzniku stále trvají a může tedy dojít k obnovení pohybu. Trvale uklidněné sesuvy vznikly za klimatických a morfologických podmínek, které se nyní nemohou opakovat.

Podle půdorysného tvaru můžeme sesuvy dělit na **plošné, proudové a čelní**. Podle směru narůstání rozlišujeme sesuvy **progresivní**, kde se oblast sesuvu rozšiřuje ve směru pohybu po svahu a **regresivní**, u kterých se oblast rozšiřuje proti směru pohybu.[5]

Pro Českou republiku je nejučelnější rozdělit svahové pohyby **podle regionálně geologických podmínek**. Na našem území se převážná část sesuvů týká kvartérních pokryvných uloženin, a proto je řadíme do samostatné skupiny. Sesuvy v horninách předkvartérního podkladu rozlišujeme podle druhu postižené horniny a podle typu pohybu [4] :

1. ***Svahové pohyby pokryvných útvarů*** (svahových sutí, hlín a zvětralin).

Jsou zapříčiněny hlavně působením povětrnostních činitelů:

- Slézání sutí, podmiňuje současně hákování vrstev
- Plošné povrchové sesuvy
- Proudové sesuvy
- Suťové proudy, mury, vyplavování písků

2. ***Sesuvy v pelitických horninách*** (jíly, slíny, jílovce, jílovité břidlice):

- Podél válcových smykových ploch
- Podél složených smykových ploch
- Svahové pohyby vzniklé vytlačováním měkkých hornin

3. Svahové pohyby pevných skalních hornin:

- Po předurčených plochách
- Dlouhodobé deformace horských svahů
- Skalní řízení

4. Zvláštní případy svahových pohybů, které se u nás nevyskytují, ale v některých oblastech jsou důležitým geologickým jevem:

- Soliflukace
- Sesouvání citlivých jílu
- Subakvatické skluzy

Při třídění svahových pohybů bychom měli brát ohled na to, že i propracované regionální roztržnění nemusí vždy přesně vystihovat každý případ sesuvu, neboť příroda je velmi rozmanitá a každý svahový pohyb je ucelenou kombinací mnoha procesů a faktorů, které se mohou v čase měnit.

2.3. Řešení stability sesuvů

Stabilitu můžeme řešit pomocí metod, které řeší statickou rovnováhu na mezi porušení nebo metodami, které analyzují napjatostně deformační stav svahu.

Metody, které řeší statickou rovnováhu na mezi porušení, tedy mezní stav porušení, jsou založeny na předpokladu, že existuje plocha porušení, na které je vyčerpána smyková únostost zeminy. Hledáme plochu, na které je porušení nejpravděpodobnější (kritická smyková plocha). Obecně můžeme říct, že u nesoudržných zemin se jedná o plochy rovinné a u soudržných zemin o plochy rotační [6, s. 163]. Metody neberou v úvahu přetvárné charakteristiky zemin a výsledek nám nepoví nic o průběhu deformací nebo napětí. Výsledkem je stupeň stability, což je poměr pasivních sil, které sesuvu brání a aktivních sil, které ho způsobují. Nejjednodušší z těchto metod je proužková Petterssonova metoda, kdy uvažujeme normálovou sílu jako tíhu proužku a zanedbáváme fakt, že vyšší proužek se opírá o níže položený. Tento fakt je možné zanedbat pouze u málo zakřivené smykové plochy. Touto metodou se blíže zabývám v kapitole 6, kde byla použita pro výpočet reziduální pevnosti na smykové ploše. Metody, které vliv okolních proužků

zavádějí, jsou například Bishopova metoda. Pokud přidáme vodorovné i svislé účinky okolních proužků, dostaneme staticky neurčitou úlohu. [1, s. 197]

Dále můžeme stabilitu vyšetřovat pomocí celkové analýzy napjapostně deformačního stavu. K tomu používáme numerické metody. V geotechnice se nejvíce používá metoda konečných prvků - MKP. S touto metodou je v geotechnice největší zkušenost. Vychází z toho, že je oblast rozdělena na malé podoblasti, kterých je konečný počet, s uzlovými body. Řešíme tak veliký počet lineárních rovnic, kdy neznámou je posun ve sledovaných uzlech. Výhodou je, že pracujeme s přetvárnými a napjatostními charakteristikami horninových materiálů, což nám ve výsledku poskytne informace o průběhu deformací a napětí ve sledovaném svahu či konstrukci. Smykovou plochu tedy předem neurčujeme. Další výhodou je, že můžeme modelovat i sanační opatření. Parametry materiálů můžeme měnit a tím zjistit, co má největší vliv, či jak nejlépe a navrhnout opatření. Nevýhodou jsou vysoké požadavky na kvalitu vstupních parametrů a časová náročnost, kterou si vyžádá příprava modelu a samotný výpočet, ke kterému navíc potřebujeme dobrou výpočetní techniku.

2.4. Stanovení plošného rozsahu svahového pohybu

Stanovení plošného rozsahu svahového pohybu je při inženýrsko-geologickém průzkumu prvořadou záležitostí, od které se odvíjí další postup. Velmi užitečné jsou pro nás letecké fotografie a technologie umožňující dálkové snímání Země, na kterých jsou dobře patrné trhliny, význačné hrany či změny ve vegetaci. I při prohlídce na místě se zaměřujeme na tyto morfologické znaky sesuvu, a poté se provádí zhodnocení geomorfologie povrchu a ověření porušených hmot geofyzikálními metodami a odkryvnými útvary.

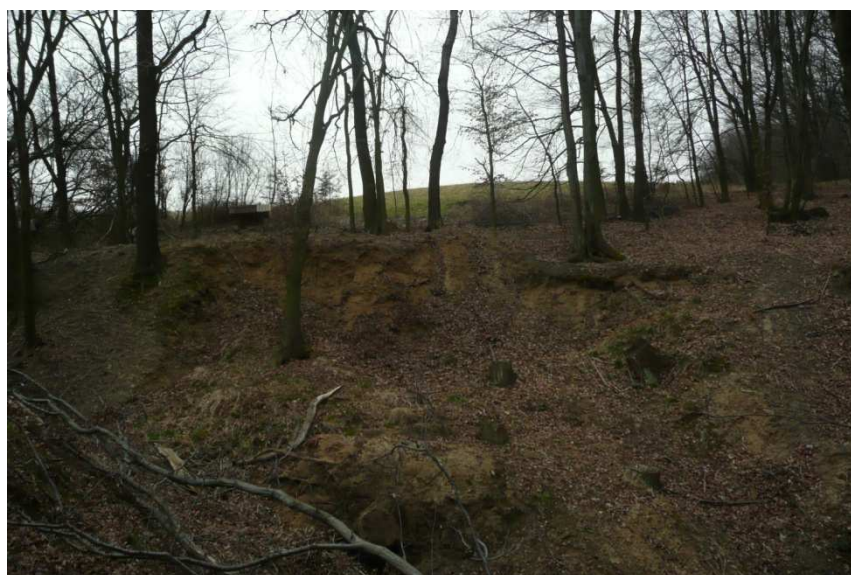
Tyto metody by měly vést k vytvoření vrstevnicového plánu území v měřítku 1:5000 až 1:500. V plánu by měly být zmapovány všechny tři hlavní zóny sesuvu, které jsou dobře patrné u všech typů svahových pohybů. Jedná se o **odlučnou oblast** vymezenou odlučnou stěnou od neporušeného svahu, dále **střední část** sesuvu, kde se hmoty přemísťují z odlučné oblasti do třetí části sesuvu, **akumulační oblasti**, kde se hromadí sesutý materiál. Mapa by ještě měla obsahovat průběh hlavních trhlin,

hlavní tvary, výchozy vrstev, polohu sond, vrtů, studní, pramenů a stav vegetace. [1, s. 159]



Obr. 5: *Trhlina terénu*

Obr. 6: *Nově vzniklé jezírko*



Obr. 7: *Odlučná oblast sesuvu*

Odlučná oblast u současných sesuvů nám může poskytnout informaci o tvaru smykové plochy a tím i o hloubce sesuvu. Mnohem složitější je mapování dočasně

uklidněných sesuvů. V tomto případě je vhodné zaměřit se na rostliny, které se vyskytují ve starých odlučných oblastech. Jedná se především o přesličku či podběl. V mokřinách můžeme nalézt i jiné rostliny, které preferují vlhké stanoviště, například rákos obecný, který se snadno stane plevelem. Dále je vhodné a snadné zaměřit se na skloněné a zakřivené kmeny stromů.



Obr. 8 a 9: *Skloněné a zakřivené kmeny stromů (opilý les)*

2.5. Hydrogeologický průzkum území svahových pohybů

Voda je velice důležitým faktorem, který svah destabilizuje. Je proto potřebné provést detailní a komplexní hydrogeologický průzkum, provedený jak v celé oblasti postižené sesuvem, tak v jeho okolí. Na jeho základě můžeme blíže charakterizovat druh svahového pohybu, upřesnit smykovou plochu a můžeme posoudit stabilitu svahu. Všechny tyto informace nám poslouží i k návrhu zabezpečení svahu. Prvořadým úkolem je stanovení hloubky podzemní vody a její změny. Na povrchu je třeba zjistit a zaznamenat polohu všech potoků, které do oblasti sesuvu přitékají, prameny a vývěry podzemní vody. Také je nutno zmapovat mokřiny a deprese či trhliny vyplněné vodou.

Svahový pohyb vždy naruší přirozené odtokové poměry území, a to jak povrchové, tak podzemní vody. V porušených horninách a zeminách si tak voda vytvoří nové cesty, kudy odtéká či vyvěrá. Smykové plochy jsou často z nepropustných materiálů, a tak zadržují jak srážkovou, tak podzemní vodu. V místech, kde se smyková plocha blíží povrchu, se tvoří nové prameny či mokřadla. Hloubku podzemní vody zjišťujeme měřením ve vrtech a sledujeme její kolísání. Důležité je i podpovrchové proudění vody. To zjišťujeme buď pomocí barvicích metod, nebo metodou vetknuté sondy, která je založena na principu opakovaných geoelektrických měření. Dalším sledovaným jevem jsou hladiny napjaté vody, které působí vztlakem na nadložní vrstvy. Stejný vliv na stabilitu svahu, jako má napjatá hladina vody, může mít i tlak vody v pórech, který je typický pro jílovité horninové prostředí. Proto ho sledujeme metodami, které se používají u těsnících jader přehradních hrází. Měření nebude probíhat ve stejných vrtech jako měření hladiny podzemní vody, protože vrtem a jeho naplněním vodou jsme narušili přirozený tlak vody v jeho okolí.

Sanační práce by zcela jistě měly obsahovat odvodnění území. Proto z území odvedeme potoky a srážkovou vodu nejkratší možnou cestou. Z depresí či studní odčerpáváme vodu. Používáme povrchové odvodnění, příkopy, trubky. Utěsňujeme otevřené trhliny, aby do nich nevnikala srážková voda. Hloubkové odvodnění provádíme studnami, vodorovnými vrty nebo štolami.



Obr. 10: *Neudržované odvodňovací žebro*

Výše popsané úkoly se provádějí většinou co nejdříve, ale s ohledem na roční období. Účinky mrazu na nedokončené odvodňovací zařízení mohou být fatálnější, než jejich odložení na jaro. Na účinky mrazu bychom měli myslet i při údržbě takovýchto zařízení, která je nezbytná. Její zanedbání může zapříčinit, že se opatření stane neúčinným nebo se dokonce stane příčinou nového svahového pohybu.



Obr. 11: Vyústění vodorovných odvodňovacích vrtů do studny poškozené dalším sesuvem.

2.6. Monitorování sesuvů

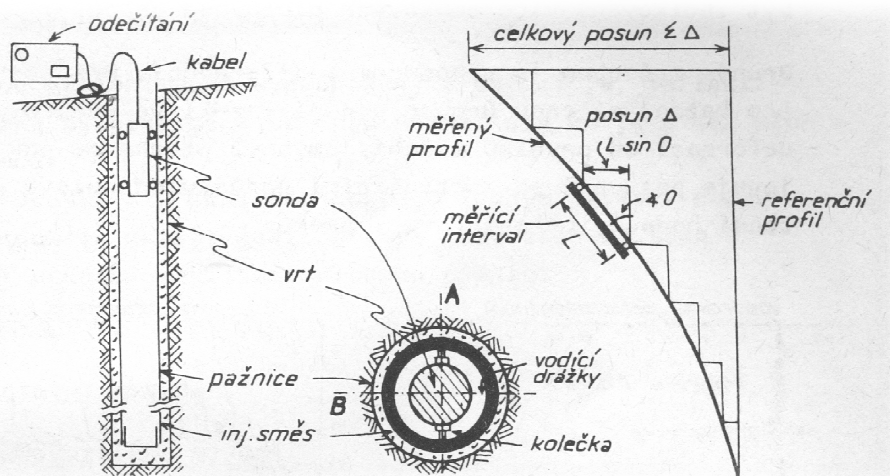
Monitorování svahu postiženého sesuvem je pro nás důležité jak během průzkumu a posuzování stability svahu, tak i po provedení sanačních opatření, kdy můžeme sledovat, zda jsou účinná. Monitorujeme především posuny bodů a hladinu podzemní vody. O měření hladiny podzemní vody pojednává předchozí kapitola. Její kolísání bychom měli v rámci monitoringu sledovat nejméně jeden rok. K měření posunů bodů se používá velká řada přístrojů na nejrůznějším principu (mechanickém, elektrickém, magnetickém, optickém,...) Do své práce jsem vybrala jen ty nejčastěji používané.

Monitoringu předchází **instrumentace**, což je výroba, instalace, kalibrace a údržba měřících zařízení. Monitoring je potom samotný sběr dat a jejich vyhodnocování. Monitoringem můžeme rozumět i opakovaná pozorování na místě prováděná osobně [7].

Změny polohy bodů **na povrchu** můžeme sledovat **geodetickými metodami**. Použitím triangulace, nivelace nebo systému umělých družic Země, které umožňují

určení polohy bodu (GPS, Galileo,...). Geodetickými body můžeme pokrýt celou sledovanou plochu sesuvu, ale i nejbližší okolí.

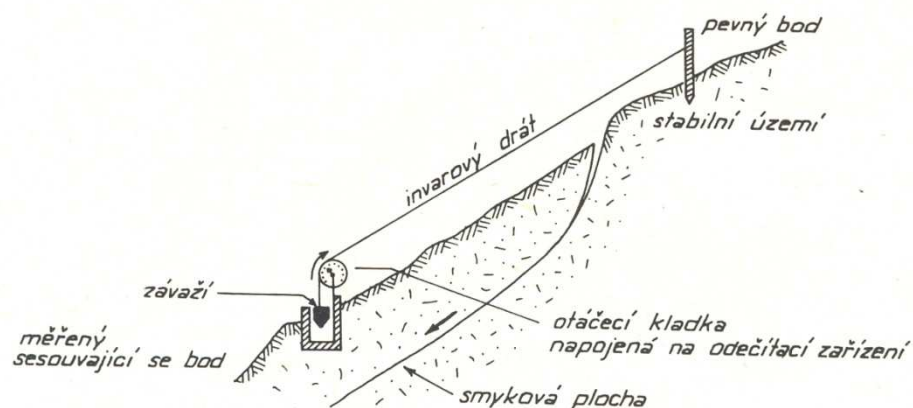
Vedle toho můžeme posuny svahu sledovat **ve vrtech** pomocí **inklinometrů**. To je výhodné, pokud se na sledovaném území nachází více aktivních smykových ploch v různých hloubkách. V hloubce se tak může odehrávat mnohem pomalejší sesuv velkého objemu horninového materiálu, který nelze na povrchu pozorovat [7]. Vrt pro inklinometrické měření se vybaví speciálně drážkovanými pažnicemi, po kterých se pak pohybuje inklinometr. Opakovaná měření nám poskytnou velmi přesné informace o deformaci vrtu a můžeme stanovit smykové plochy, které nemusí být vždy zřetelné z povrchového sledování. [8]



Obr. 12: Princip inklinometru [7]

K měření velmi malých posunů se používá další z geofyzikálních metod monitoringu, a to **geoakustická**, někdy nazývaná **seizmoakustická**. Měření probíhají v různých místech vrtů, což nám vymezí nejvíce namáhaná místa, tedy místa potenciálního porušení. Aktivita svahu se projeví zvýšením geoakustické aktivity. Nevýhodou metody je interpretace výsledků, která vyžaduje zkušenou osobu.

Posuny bodů na trhlinách nebo oblastech největšího očekávaného pohybu je vhodné měřit **extenzometry**. Jeden bod se umístí vždy mimo oblast sesuvu (pevný bod) a druhý na místo, jehož pohyb chceme sledovat. Extenzometry mohou být na principu mechanickém nebo elektrickém. U skalních stěn je výhodné použít citlivých **dilatometrů** či terčová měřidla [9].



Obr. 13: Drátový extenzometr [7]

2.7. Sesuvná území bývalé ČSSR a některé významné sesuvy

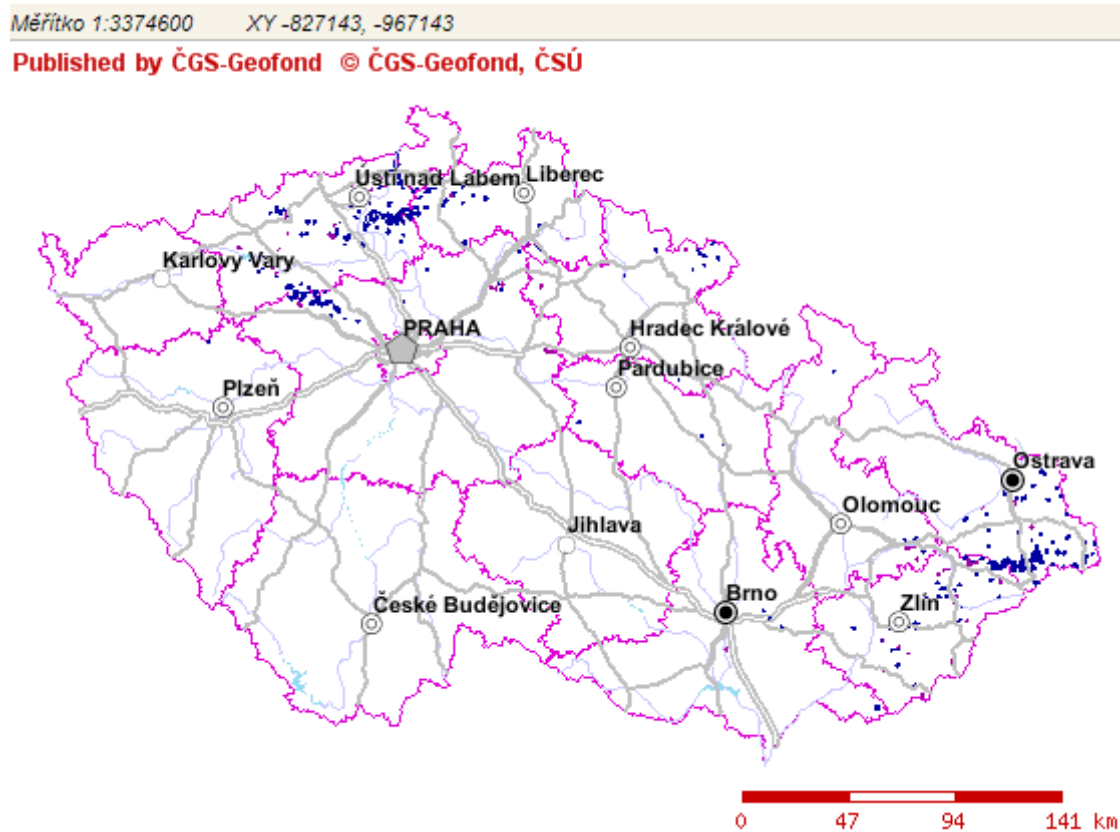
Na území České republiky se nachází nejméně dvě geologické struktury s četným výskytem sesuvů.

První je flyšové pásmo Západních Karpat. Petrograficky zde jsou pískovce až slepence a pelity (jílovce, slínovce). Území je složité co do tektoniky i hydrogeologie. Typické jsou proudové a plošné sesuvy.

Druhou oblastí je Česká křídlová pánev, která leží v severovýchodních Čechách a zasahuje až na Moravu k Blansku. Najdeme zde převážně křemičité pískovce, jílovce, slínovce a opuky. Pískovce jsou propustné a tvoří výborné zásobníky podzemní vody, která je jímána. Pro tuto oblast jsou typické kerné sesuvy postihující pískovce.

Celkově máme o rozšíření sesuvů na našem území velmi dobrý přehled. Jsou dobře zmapovány a informace k nim jsou sesbírány Českou geologickou službou. Mapování začalo roku 1962 na základě vládního usnesení. Tehdejší představitelé a odborníky k tomu vedl katastrofální sesuv u Handlové z roku 1961 na území dnešní Slovenské republiky. Byla zpracována přehledná mapa sesuvů území ČSR. Také byly posbírány informace o sesuvech a shromážděny v Geofondu pro odbornou veřejnost. V dnešní době se touto činností zabývá Česká geologická služba, která mimo jiné provozuje webový mapový sever Geofond. Díky této službě je pro veřejnost přehledně zpracovaná, mimo jiné, i problematika sesuvů. Zájemci zde

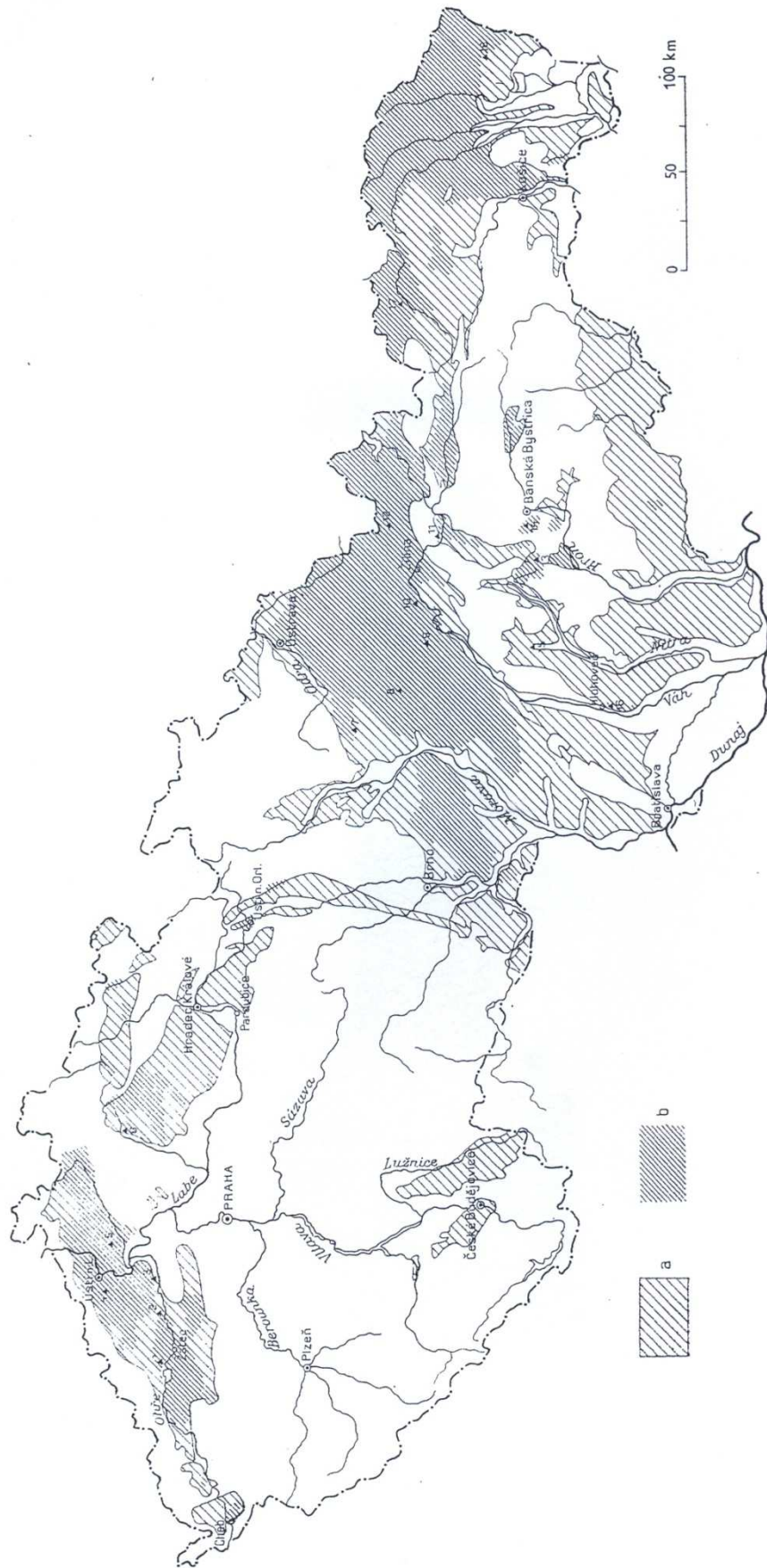
mohou snadno nalézt vymezení sesuvu, informace, zdali se jedná o sesuv uklidněný či aktivní, datum pořízení záznamu a aktualizace. Podrobné informace dostane zájemce po objednání.



Obr. 14: *Mapa výskytu svahových sesuvů na území ČR*

Obr. 15: (následující strana) *Rozšíření sesuvů v Československu a některé významné sesuvy*

ROZŠÍŘENÍ SESUVŮ V ČESKOSLOVENSKU



a — Území tvořená horninami náchylnými k sesouvání, b — oblasti postižené četnými sesuvy.

Některé významné sesuvy na území Československa;

- 1 — Straná u Žatce, 2 — Březno u Postoloprta, 3 — Hazmburk, 4 — Stadice u Teplic, 5 — Dolní Týnec u Litoměřic, 6 — Dneboh u Mnichova Hradiště, 7 — Maleník u Hranic, 8 — Hošťálková u Vsetína,
- 9 — Dubková u Páchova, 10 — Mikšová u Bytče, 11 — Sučany u Vrútek, 12 — Ricčnice na Oravě, 13 — Handlová, 14 — Kordiky u Banské Bystrice, 15 — Bánovec nad Bebravou, 16 — Hlohovec, 17 — Ruž-
- bachy, 18 — Morské oko ve Vihorlatu. Měřítko 1 : 2 500 000.

(Kreslil Vodrážka.)

2.8. Průměrné sklony svahů

Čím větší má svah sklon, tím větší je v něm napětí a tím roste i pravděpodobnost, že se sníží stupeň jeho stability. V tabulce uvádím průměrné sklony svahů, které zajistí, že svah z daného horninového materiálu bude stabilní.

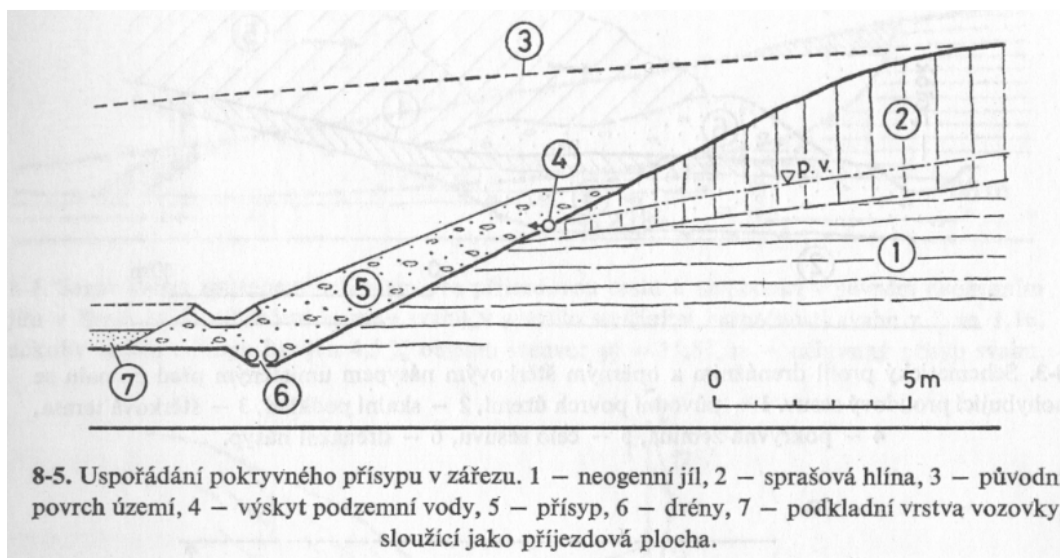
Tab. 1: *Sklony svahů v závislosti na výšce svahu a druhu zeminy*

| Výška svahů [m] | 0-3 | 3-6 | 6-9 | 9-12 |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------------|
| Hlína | 1:1,5 | 1:2 | 1:2,5 | 1:3 až 1:3,5 |
| Jílovitá hlína nebo jíl | 1:1,75 | 1:2,25 | 1:2,75 | 1:3,5 až 1,4 |
| Písek | 1:1,25 | 1:1,25 | 1:1,25 | 1:1,25 |

Pokud je stupeň stability menší, než je přípustné, můžeme pro zvýšení stability provést tato opatření:

- Zmenšíme sklon svahu, případně provedeme na svahu lavičky. Sklon můžeme i odstupňovat, potom hovoříme o mísovitém tvaru.
- Odlehčíme aktivní části sesuvu odebráním materiálu a přitížíme patu sesuvu násypem.
- Pokud je přítomna voda, provedeme odvodnění pomocí horizontálních vrtů či žeber. Přítomnost žeber zvýší tření. Je nutné je chránit humusem a zavést do trativodů.
- Svah ochráníme proti vnikání srážkové vody humusem a zatravněním či jinou vegetací.
- Proti nepříznivým účinkům vytékající vody ze svahu zřizujeme ochranné vrty a filtry.
- Uměle zvýšíme pevnost injektováním, odvodněním pomocí elektroosmózy.

Svahy z jílovitých hlín a jílu je potřeba chránit před účinky mrazu nenamrzavým přísypem, který musí být při patě odvodněný (např. násyp tělesa železničního spodku).



Obr. 16: Ochranný přísyp svahu z jílu [1, s. 212]

3. PROVEDENÉ PRŮZKUMNÉ PRÁCE V BUDKOVICÍCH

V této kapitole a jejích podkapitolách je čerpáno z [10].

Průzkumné práce, především jejich rozsah a charakter, byly provedeny podle projektu schváleného 23. 11. 1987. Podle projektu byly předpokládány tyto práce:

- Provedení 940 bm jádrových vrtů vystrojených jako pozorovací objekty.
- Provedení 50 bm vrtů nárazovotočivých.
- Měření přirozených vodorovných napětí v horninách.
- Geodetické sledování území.
- Laboratorní rozbory vzorků zemin a vody.
- Vypracování závěrečných zpráv 1 (1988) a 2 (1992).

3.1. Vrtné práce

Termín ukončení vrtných prací byl předpokládán na 29. 2. 1988. Termín nebyl dodržen, protože vrtná technika byla potřeba na jiné zakázce. Práce byly

ukončeny až 25. 10. 1988. Nárazovotočivé vrty na vlastním území oživeného sesuvu nebyly provedeny vůbec.

Pro vrtání byla použita lehká přenosná souprava. Nakonec bylo provedeno 1249,1 bm jádrových vrtů. Nárůst 259,1bm oproti předpokladu byl způsoben nutností provést některé vrty třikrát. A to proto, aby bylo možné sledovat všechny tři vodní horizonty. Nejprve byl proveden vrt PJ3, který zasahuje až do permokarbonských slepenců. Následně se provedl vrt s označením PJ3A, který zastihuje vyšší vodní horizont a jako poslední byl realizován vrt PJ3B, kterým sledujeme nejvyšší vodní horizont. Jednotlivé vrty v takovýchto skupinách jsou od sebe vzdáleny přibližně půl metru.

3.2. Měření hladiny podzemní vody na pozorovaných objektech

Měření na pozorovacích objektech mohlo probíhat vždy až po provedení a vystrojení vrtu. Proto je počet měření na různých vrtech různých.

Při současném měření jsme se potýkali s faktem, že některé vrty byly zničeny a proto bylo možno provést měření jen na některých vrtech.

Naměřené hodnoty z let 1988/89 a 2013/14 jsou seřazeny do tabulky v příloze 5.

3.3. Geofyzikální práce

Byly prováděny v oblasti oživeného sesuvu, kde nebylo možné provést vrty. Úkolem geofyzikálního měření bylo:

- a) Plošné vymezení svahové deformace s cílem sledovat odlučnou oblast a na ni vázanou tahovou zónu, ve které je zvýšené nebezpečí svahových pohybů.
- b) Hloubkové vymezení, tj. určit mocnost rozvolněné a sesuté vrstvy.

K řešení úkolu bylo použito převážně metod geoelektrických a mělká refrakční seismika. Konkrétně byla použita metoda vertikálního elektrického sondování (VES), kterou se zjišťuje horizontální rozvrstvení sledovaného prostředí.

Za stejným účelem bylo použito i odporové profilování (OP) Třetí použitou metodou byla mělká refrakční seismika (MRS), která se používá zpravidla pro mělčí průzkum a zdárně se s ní dá určit rozhraní vrstev.

Výsledky geofyzikálního měření byly použity k dořešení geologické stavby zájmové oblasti, zejména pak v prostoru nepřístupném vrtné technice. Ze získaných výsledků byl upřesněn rozsah jak staršího, tak současného sesuvu. Bylo také možné stanovit šířku tahové zóny vázané na odlučnou oblast sesuvu.

3.4. Laboratorní rozbory

3.4.1. Mechanika zemin

Pro určení fyzikálně mechanických vlastností zemin bylo odebráno 94 ks neporušených vzorků a 2 ks porušených a 8 ks velkoobjemových vzorků zemin.

Laboratorní rozbory byly zaměřeny především na poznání indexových vlastností zemin, lineární smrštitelnosti, objemové bobtnavosti a smykové reziduální pevnosti.

Výsledky laboratorních zkoušek a zařazení zemin dle tehdy platné ČSN 73 1001 uvádím v příloze 4.

3.4.2. Chemismus podzemní vody

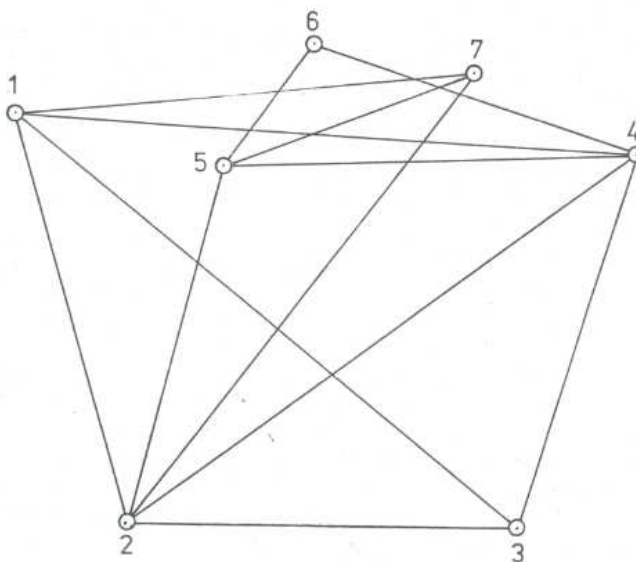
Na místě bylo odebráno 35 ks vzorků podzemní vody z různých poloh pro chemickou analýzu. Účelem bylo zjistit původ a vzájemné souvislosti podzemních vod. Dále se zjišťovala její agresivita pro návrh materiálů pro sanační opatření.

Bylo zjištěno, že se jedná o vody proměnlivého složení, vcelku však silně mineralizované a tvrdé. Charakteristický je výskyt dusíku v nižších oxidačních stupních, dále výskyt železa a manganu. Kolísavý obsah dusičnanů, draslíku a hořčíku můžeme připisovat vlivu zemědělství. Vody obsahují značné množství volného CO₂. Z hlediska agresivity jsou to vody s uhličitánovou i síranovou agresivitou.

3.5. Měřičské práce – základní a opakované měření na sesuvu

Na místě byla provedena rekognoskace svážného území a vytyčena místa pro stabilizaci pozorovacích a pozorovaných bodů. Pozorovacích bodů bylo vybráno sedm dle schématu na obr. 17. Tyto body byly stabilizovány pažnicemi o délce 3,10 m. Pažnice byly uvnitř i zvenku vyplněny betonovou směsí, aby došlo k dokonalému spojení se zemínou a zaplnění vrtného otvoru. Do horní části bylo umístěno centrací zařízení pro nucenou centrací zařízení. Záhloví bylo opatřeno poklopem, aby nedošlo k poškození. Podobu pozorovacích bodů můžeme vidět v příloze 9. Pozorovaných bodů bylo zvoleno 39 a byly stabilizovány pouze betonářskou 1m výztuží ϕ 20 mm, zabodnutou do země tak, aby vyčnívala 10 mm. Pro zacílení byl do výztuží vyvrtán otvor ϕ 3 mm.

Byly provedeny dvě etapy měření. Bylo zjištěno, že pozorované body jsou stabilní v poloze i výšce. Za posun byly považovány vektory souřadnicových rozdílů větších jak 21 mm a za výškový posun výškový rozdíl větší než 15 mm. Vycházelo se přitom z teorie vyrovnávacího počtu, že ještě trojnásobek střední polohové chyby je v toleranci chyb měřičských. Výsledkem měření je mapa, jejíž výřez tvoří přílohu 10.



Obr 17: Síť pozorovacích bodů [10, s. 18]

4. PŘÍRODNÍ POMĚRY

4.1. Geomorfologické poměry

Budkovice se nacházejí asi 25 km jihozápadně od Brna. Katastrálně spadají pod obec Ivančice, která je 4 km vzdálena. Podle geomorfologického členění ČR náleží zájmová lokalita ke geomorfologickému celku Boskovická brázda – konkrétněji k jejímu podcelku Oslavanská brázda. Celá hierarchie je následující [11]:

System: Hercynský

Subsystem: Hercynská pohoří

Provincie: Česká Vysočina I

Subprovincie: Česko-moravská I2

Oblast: Brněnská vrchovina I2D

Celek: Boskovická brázda I2D - 1

Podcelek: Oslavanská brázda.

Terén oblasti je mírně zvlněný a protéká jím řeka Rokytná, která zde vyhloubila údolí. Sesuvné území se nachází na levém nárazovém břehu řeky. Nadmořské výšky v dané lokalitě jsou 270 m. n. m. až 200 m. n. m. Převýšení území postiženého sesuvem je 40m. Sklon svahu je prudký, přibližně 15°.

4.2. Geologická stavba širšího okolí

Geologicky se boskovická brázda zařazuje následovně [12]:

Soustava: Český masiv - pokryvné útvary a postvariské magmatity

Oblast: svrchní karbon a perm

Region: mladší paleozoikum brázd

Jednotka: boskovická brázda.

Skalní podklad je tvořen permokarbonskými slepenci rokytenské facie, silně tektonicky porušenými a na povrchu zvětralými. Jejich barva je červenohnědá až rezavohnědá a v blízkosti sesuvu u řeky vystupují na povrch. Reliéf podloží je zvlněný. V prostoru sesuvu vytváří depresi, která je vyplněna neogenními sedimenty zřejmě ottangského stáří. Na bázi je zachována vrstva zelenošedého rozpadavého

pískovce s valouny rozvětraného permokarbonského slepence. Následuje komplex zelenošedých prachovitých jílu s vložkami písku. Ve svrchních vrstvách byla zastižena vrstva uhelného jílu o mocnosti až 3 m. Celková mocnost neogenních sedimentů se na zájmovém území pohybuje od 3 do 39 m. [10]

Kvartérní pokryv je tvořen říční terasou s relativní výškou 35 - 55 m nad úrovní dnešního toku. Na bázi terasy je uložena vrstva hrubého štěrku s valouny do 15 cm. Svrchní polohu tvoří hrubozrnný písek, často zahliněný. Celková mocnost vrstvy je od 3 do 6 m. V severovýchodní části území je terasa zakryta vrstvou sprašové jílovitopísčité hlíny o mocnosti 5 až 12 m. Nejmladší sedimenty zastupují svahové humózní hlíny. V zastavěné části byl terén často vyrovnáván navážkou. [10]

Geologická stavba zájmového území je viditelná i z vypracovaných přehledných geologických řezů, které tvoří přílohu 7.

4.3. Hydrogeologie

Hydrogeologické poměry je možné klasifikovat jako složité. Hladina podzemní vody zde byla zastižena ve třech horizontech.[10]

Nejhlubší horizont je vázán na skalní podklad a má puklinový charakter. V souvrství neogenních sedimentů jsou zvodněným kolektorem vložky písků a okolní jíly působí jako izolátory. Během průzkumu byly zastiženy dva horizonty, oba tlakové. Nejvyšší horizont je na bázi kvartéru ve štěrkové terase. Jeho hladina se projevuje jako volná a kolísá během roku v závislosti na množství srážek. [10]

5. INŽENÝRSKO-GEOLOGICKÉ ZHODNOCENÍ PRŮZKUMU

V této kapitole je čerpáno z [10].

Z provedených průzkumných prací bylo zjištěno, že ve zkoumané oblasti se jedná nejméně o tři generace sesuvů různého rozsahu. Hloubka těchto sesuvů byla maximálně 5 m. Průběh smykových ploch byl odvozen nepřímo z charakteru postižených hornin ve vrtech i v otevřených smykových plochách a z geofyzikálního

měření. Na změnu původního uložení zemin názorně ukazuje vložka uhelného jílu, která je horizontálně uložená v celém sledovaném území. Účelem geofyzikálních měření mělo být i stanovení tahové zóny, která vymezuje území náchylné k sesunutí, je tedy vázána na odlučnou oblast sesuvu a její šířka byla stanovena na 50 m. Na styku s neporušeným podložím se objevuje voda, což koresponduje se zvýšenou vlhkostí zemin na smykové ploše.

Na sledovaném území jsou tedy sesuvy dočasně uklidněné a sesuv oživený. K oživení došlo v roce 1985 po vydatných srážkách. Odlučná oblast byla zasypána štěrkem, což umožnilo další prosakování vody na smykovou plochu. K nejvýraznějšímu oživení, kterým se v práci zabývám, došlo v květnu roku 1987, opět po vydatné srážkové činnosti. Tento sesuv se pohyboval značnou rychlostí, jak ukazuje tehdejší fotodokumentace (příloha 9), a mapa z geodetického měření (příloha 10). Posuny v transportní zóně byly podle těchto měření v rozsahu 7,7 až 14,5 m, a to v období od prosince 1988 do dubna následujícího roku. Můžeme ho tedy označit za stékání a sesouvání. Transportní zóna od bazénu k řece byla téměř vyklizena. V odlučné oblasti vystupovala na povrch smyková plocha, tvořena neogenní jílovitou zeminou.

Hlavní příčinou vzniku svahových pohybů jsou zde geomorfologické poměry. Řeka Rokytná soustavně podemílala patu svahu, a tím vytvářela podmínky vhodné k sesouvání.

Dalším nepříznivým faktorem je přítomnost tří horizontů podzemní vody, z nichž dva se nacházejí v neogenních píscích. Byl zde navíc zjištěn vztlak, místy až 5 m (viz přílohy 5 a 6). Nejvyšší horizont je značně ovlivněný srážkami. Při vydatných deštích se vodní horizonty spojovaly, a tím byl zvýšen jejich nepříznivý vliv.

Nepříznivě na svah tvořený neogenními jíly působily i klimatické podmínky. Jílovité zeminy mají tendenci v období sucha zmenšovat svůj objem, tedy se smršťovat, což vytváří na povrchu trhliny. Do nich pak v období srážek zatéká voda a vyvozuje vztlak. Svahům z jílu a jílovitých zemin nesvědčí ani mráz, protože tyto zeminy jsou namrzavé až silně namrzavé, a dochází tak k jejich porušování od paty a vzniku smykové plochy. Všechny tyto nepříznivé jevy se na svahu v Budkovicích vyskytly.

Další možnou příčinou tak rozsáhlého sesuvu mohla být i nepromyšlená lidská činnost. V roce 1973 byla oblastí sesuvu vedena dešťová kanalizace, která mohla propouštět. Nepříznivě jistě zapůsobilo i neodborné zasanování oživeného sesuvu v roce 1985, kdy byla odlučná oblast zasypána štěrkem.

6. VÝPOČET REZIDUÁLNÍ PEVNOSTI NA SMYKOVÉ PLOŠE

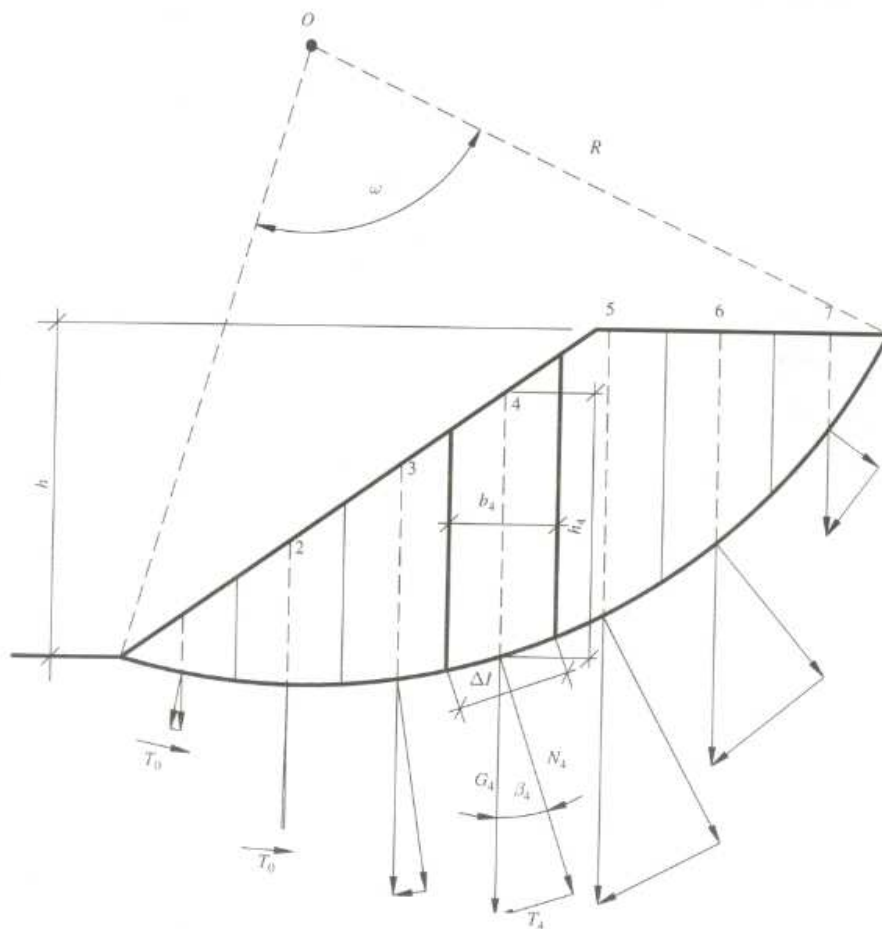
6.1. Petterssonova metoda

Pro výpočet reziduální pevnosti jsem použila Petterssonova metodu. Ta patří mezi tzv. proužkové metody. Používá se pro sesuvy s rotačními smykovými plochami a je vhodná i pro vrstevnatý svah a podloží [6, s. 163]. Nejlepších výsledků dosahuje, pokud není plocha příliš zakřivená [1, s. 197].

Úlohu řešíme jako rovinnou, na 1 m délky svahu. Svah nad smykovou plochou rozdělíme na stejně široké proužky, nejčastěji volíme 1 m. Protože neuvažujeme silové působení sousedních proužků, je jedinou silou, kterou působí proužek na daný úsek smykové plochy, jeho vlastní tíha. Ta působí svisle v ose proužku. Její účinkování rozložíme graficky na složku normálovou N , která je kolmá ke smykové ploše, a na složku tangenciální T , která má směr tečny ke smykové ploše. Ve spodní části svahu mohou působit tangenciální síly proti usmýknutí, ty zahrnujeme do výpočtu s opačným znaménkem. Výsledný moment určíme ke středu otáčení O . [6, s. 164]

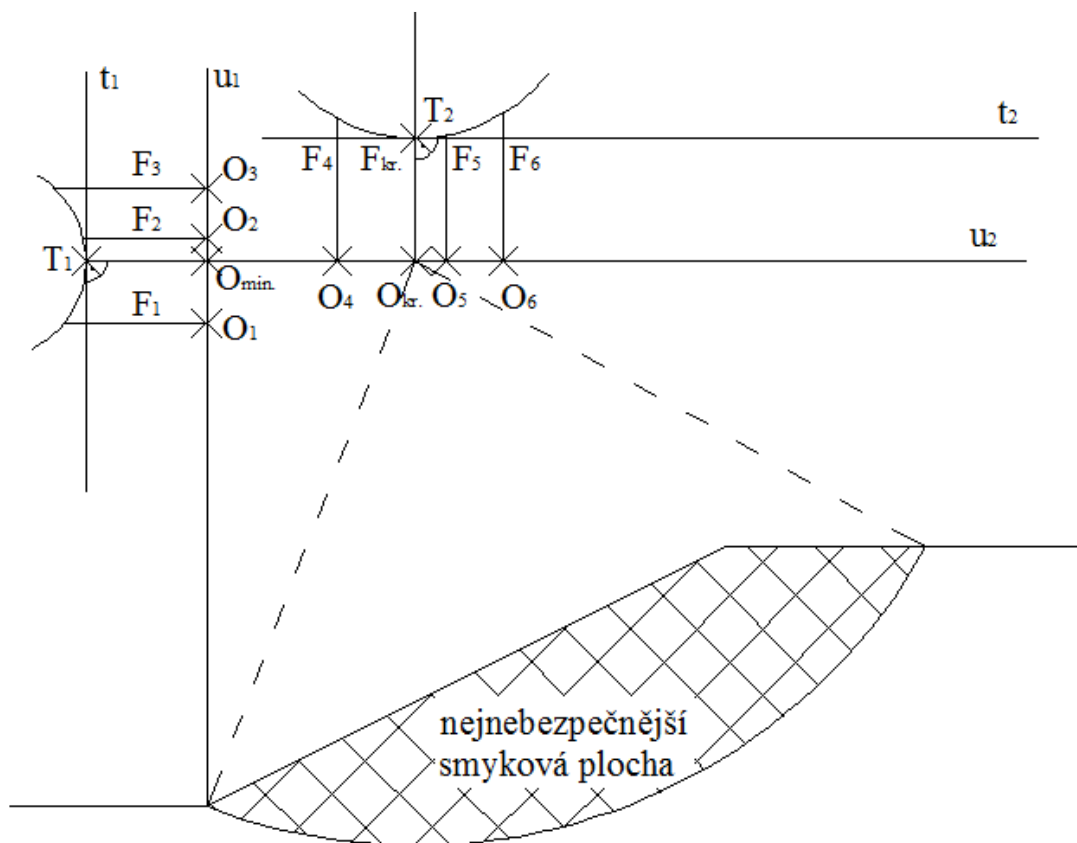
$$F = \frac{M_{pas}}{M_{akt}} = \frac{\gamma \sum [(N - U)tg\varphi] + 0,8c \sum \Delta l}{\gamma \sum T}$$

Normálové síly dosadíme do rovnice snížené o hodnotu vztlaku U . Dále do výpočtu vstupují charakteristiky zeminy, a to úhel vnitřního tření φ a objemová tíha γ . *Koheze c se uvažuje na 80% délky smykové plochy $\sum \Delta l$, protože v horní části smykové plochy nepůsobí celá tíha a také proto, že v koruně vznikají tahové trhliny* [6, s. 164].



Obr. 18: *Určení stability svahu Petterssonovou „proužkovou“ metodou [6]*

Pokud chceme pomocí této metody najít nejnebezpečnější smykovou plochu, postupujeme následovně. Nejprve spočítáme stupně stability pro středy, které volíme na svislici procházející patou svahu. Volíme nejméně tři středy, aby bylo možné proložit stupni stability parabolou. V místě tečny paraboly je nejmenší stupeň stability. Kolmo na tečnu a dotykovým bodem vedeme přímku, na které volíme další středy otáčení a vyneseme k nim příslušné stupně stability a opět proložíme parabolou. Pokud spustíme z bodu dotyku kolmicí na přímku s body otáčení, dostaneme nejméně příznivý bod otáčení, a tedy i nejméně příznivou smykovou plochu.



Obr. 19: Určení nejnebezpečnější smykové plochy

6.2. Výpočet reziduální pevnosti na smykové ploše

Reziduální pevnost je dána úhlem vnitřního tření, který se ustálí po sesuvu. Vydeme ze základního vzorce pro Pettersonovu metodu, kdy $F=1$. Vliv soudržnosti c se neuvažuje. Objemová hmotnost zeminy, neogenního jílu, je $18,23 \text{ kN/m}^3$.

Základní Pettersonův vzorec se nám zjednoduší:

$$F = \frac{\sum N \cdot \text{tg} \varphi}{\sum T}$$

Pokud dosadíme za stupeň stability hodnotu 1,0, dostaneme výraz pro tangentu φ_{rez} ve tvaru:

$$\text{tg} \varphi_{\text{rez}} = \frac{\sum T}{\sum N}$$

Svah jsem si v podélném řezu překreslila do programu AutoCAD, rozdělila na třicet osm pruhů o šířce 5 m a graficky rozložila jejich vlastní tíhu na síly tangenciální a normálové, viz příloha 7, výkres 3. Vlastní tíhu jsem spočítala podle vzorce:

$$G = \gamma \cdot V = \gamma \cdot A \cdot d,$$

kde A je plocha proužku o šířce 5 m a d je délka uvažovaného svahu, která je vzhledem ke zvolené šířce také 5 m. Jednotlivé složky jsou potom:

$$N = G \cdot \cos \alpha$$

$$T = G \cdot \sin \alpha$$

Plochy A jednotlivých proužků a úhly α byly odměřeny. Sumy $\sum N$ a $\sum T$ jsou součty sil jednotlivých proužků, viz příloha 8.

Dosazením číselných hodnot do vzorce pro tangentu reziduální pevnost získáme:

$$\operatorname{tg} \varphi_{rez} = \frac{13889,4}{69677,6}$$

$$\varphi_{rez} = 11,27^\circ$$

Úhel vnitřního tření reziduální pevnosti na smykové ploše při uvažování stupně stability $F=1,0$ je podle výpočtu $11,27^\circ$.

7. ZÁVĚR

V práci jsem se seznámila s důvody a náležitostmi inženýrsko-geologického průzkumu na územích postižených sesuvy. Poté jsem se zaměřila na lokalitu Budkovic, která byla v roce 1987 postižena rozsáhlým sesuvem. Seznámila jsem se blíže s lokalitou a tím, jak byl problém řešen. Ověřila jsem pevnost na smykové ploše, reprezentovanou reziduálním úhlem vnitřního tření, která je $11,27^\circ$. K jeho stanovení jsem použila zpětný výpočet podle Petterssonovy metody, kdy byl zvolen stupeň stability $F=1,0$. S touto hodnotou se pracuje při dalších výpočtech, které by měly následovat a vézt k sanaci sesuvu. Na dané lokalitě byla sanace provedena vybudováním mohutného odvodňovacího žebra, tj. sesutá zemina se postupně odebírala až pod zjištěnou smykovou plochu a byla ihned nahrazována lomovým kamenem a písčítým šterkem. V další práci by měl být ověřen zvýšený stupeň stability svahu po sanaci, a prokázán vliv úrovně hladiny podzemní vody na celkovou stabilitu svahu před a po sanaci.

K tomuto účelu by se mělo pokračovat ve sledování kolísání hladiny podzemní vody na pozorovaných objektech, a to nejméně na jaře a na podzim. Na podkladě předběžné dohody s Ústavem geodézie uvádím, že se se bude pokračovat ve sledování případných posunů území na vybudovaných zachovaných pozorovacích bodech.

Součástí této práce jsou vypracované přehledné geologické řezy, výřez ze situace vrtů, zpracované Geotestem v roce 1989 a s vyznačením sestrojených řezů; a také výřez z mapy s polohopisem pevných a pozorovaných bodů se znázorněním vektorů posunů.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Sesuvy a zabezpečování svahů*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: Academia, 1987, 338 s.
2. Sesuvy půdy by měly patřit mezi globální hrozby, ročně zabijí tisíce lidí, tvrdí britský vědec. *Ekolist.cz* [online]. 2012, 20.8 [cit. 2013-09-02]. Dostupné z: <http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/sesuvy-pudy-by-mely-patrit-mezi-globalni-hrozby-rocne-zabiji-tisice-lidi-tvrdi-britsky-vedec>
3. HRADILEK, Ludvík. Největší škodu napáchala velká voda na hoře. *Aktualne.cz* [online]. 2013, 19.6 [cit. 2013-09-02]. Dostupné z: <http://aktualne.centrum.cz/domaci/fotogalerie/2013/06/19/povodne-2013-d8-sesuv-skoda/>
4. ZÁRUBA, Quido a Vojtěch MENCL. *Inženýrská geologie*. 3. dopl. vyd. Praha: Academia, 1974, 511 s.
5. HORÁK, Vladislav, Antonín PASEKA a Pavel POSPÍŠIL. *Mechanika hornin a inženýrská geologie* [online]. 2005 [cit. 2013-09-02]. Dostupné z: <http://geotech.fce.vutbr.cz/text.html>
6. WEIGLOVÁ, Kamila. *Mechanika zemin*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, s. 161-166. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-7204-507-5.
7. ROZSYPAL, Alexandr. *Měření v inženýrské geologii*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 1990, 123 s. ISBN 80-706-6322-7
8. PETROŠ, Vladimír, Jaromír KNEJZLÍK a Karel MÜLLER. *Geomechanický a geofyzikální monitoring*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2000, 42 s. ISBN 8070787686.

9. Svahové deformace - výukové multimediální texty. MARSCHALKO, Marian, Jarmila MÜLLEROVÁ a David IDEŠ. *Geologie - VŠB* [online]. 2002 [cit. 2014-03-06]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/svade/>
10. DROBNÍČKOVÁ, Helena a Antonín PASEKA. *Inženýrskogeologický průzkum sesuvného území v k.u. Budkovice, okres Brno - venkov - MS, závěrečná zpráva*. Geofond Praha, 1989.
11. © WWW.TRASOVNIK.CZ. *Horopisné členění české republiky* [online]. [cit. 2014-05-24]. Dostupné z: http://www.trasovnik.cz/k_ainfcr/horopis/horopis.asp
12. Intranet ČGS: Autorizovaná aplikace. ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA. *GEOČR50 legenda* [online]. © 2013 Česká geologická služba. [cit. 2014-05-19]. Dostupné z: http://www.geology.cz/app/legenda/gm50.pl?&tt_x&mmlink=425683

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| | |
|-----------|--|
| A | Plocha [m^2] |
| ČR | Česká republika |
| F | Stupeň stability [-] |
| G | Vlastní tíha [$N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$] |
| GPS | Global Positioning System |
| M_{akt} | Moment aktivní, způsobující sesuv [$Nm = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$] |
| MKP | Metoda konečných prvků |
| M_{pas} | Moment pasivní, působící proti sesutí [$Nm = kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$] |
| MRS | Mělká refrakční seismika |
| N | Normálová složka vlastní tíhy [$N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$] |
| O | Střed kruhové smykové plochy |
| OP | Odporové profilování |
| PJ n | Označení vrtu vystrojeného pro měření hladiny podzemní vody, n = číslo |
| T | Tangenciální složka vlastní tíhy [$N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$] |
| U | Vztlak [$N = kg \cdot m \cdot s^{-2}$] |
| V | Objem [m^3] |
| VES | Vertikální elektrické sondování |
| bm | Běžný metr |
| c | Soudržnost [$Pa = m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$] |
| cos | Cosinus úhlu |
| d | Délka svahu [m] |
| ks | Kus |
| l | Délka smykové plochy [m] |
| např. | Například |
| Obr. | Obrázek |
| p. v. | Podzemní voda |
| s. | Strana |
| sin | Sinus úhlu |
| Tab. | Tabulka |
| tj. | To je |

| | |
|------------------------|---|
| tzv. | Takzvaný |
| % | Procenta |
| Σ | Suma, součet řady |
| α | Úhel mezi vlastní tíhou a normálovou složkou vlastní tíhy |
| γ | Objemová tíha zeminy [$\text{N} \cdot \text{m}^{-3} = \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-2}$] |
| Δ | Změna, část |
| φ | Úhel vnitřního tření [$^{\circ}$] |
| φ_{rez} | Reziduální úhel vnitřního tření [$^{\circ}$] |
| ϕ | Průměr [mm] |

PŘÍLOHY

Seznam příloh:

| | | |
|-----|---|---------------|
| 1. | Situace zájmového území | 36 |
| 2. | Situace vrtů | Volně vložená |
| 3. | Geologická dokumentace vrtů | 37-40 |
| 4. | Tabulka fyzikálně mechanických vlastností zemin | 41 |
| 5. | Tabulka měření hladin podzemní vody | 42 |
| 6. | Grafy hladin podzemní vody | 43 |
| 7. | Přehledné geologické řezy (3 výkresy+vysvětlivky) | Volně vložené |
| 8. | Odměřené hodnoty pro výpočet reziduální pevnosti | 44 |
| 9. | Fotodokumentace | 45-50 |
| 10. | Geodetická mapa s vektory posunů na sesuvu | Volně vložená |