

**Univerzita Karlova v Praze**

**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geotechnologie



**Petr Zimola**

Sesuvy na dopravních stavbách v České republice

Landslides on transport constructions in Czech Republic

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jan Novotný, CSc.

Praha, 2015

**Prohlášení:**

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

V Praze, 1. 8. 2015

### **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému školiteli Ing. Janu Novotnému, CSc. za inspiraci, odborné vedení a cenné rady, které mi poskytl. Dále bych rád poděkoval doc. Rybářovi a Ing. Kyclovi za poskytnutí některých zdrojů. V neposlední řadě bych rád poděkoval rodině a přátelům za podporu.

## **Abstrakt**

Konstrukce dopravních staveb se na první pohled nemusí vždy zdát složitá, ale i tak při výstavbě nebo i později mohou snadno vzniknout problémy v podobě svahových. Práce je v první části věnována charakteristice svahových pohybů, příčin jejich vzniku vlivem inženýrské činnosti a možností jejich nápravy. V další části jsou pak poznatky o sesuvech demonstrovány na vybraných sesuvech, které se udály na území České republiky a byly jimi poškozeny silnice nebo železniční tratě od počátku 20. století až do současnosti.

## **Abstract**

Construction of transport constructions appear to look so difficult at first sight, but during the construction may occur problems in the form of landslides. The first part of work is dedicated to landslide characterisation, their causes and landslide remediation options. In the next part landslide knowledge is demonstrated on specific examples when damaged roads or railways on the territory of the Czech republic since the early 20th century to the present.

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Svahové pohyby.....</b>	<b>2</b>
	2.1 Definice svahového pohybu.....	2
	2.2 Klasifikace svahových pohybů.....	2
	2.2.1 Rozdělení podle mechanismu a rychlosti pohybu.....	2
	2.2.2 Rozdělení podle průběhu smykové plochy.....	5
	2.3 Vývoj sesuvu z hlediska mechaniky zemin.....	5
<b>3</b>	<b>Příčiny způsobující sesouvání.....</b>	<b>6</b>
	3.1 Faktory.....	6
	3.1.1 Změna sklonu svahu.....	7
	3.1.2 Přetížení násypy.....	7
	3.1.3 Změny obsahu vody.....	7
	3.1.4 Činnost mrazu.....	7
	3.1.5 Zvětrávání hornin.....	7
	3.1.6 Změny vegetačních porostů.....	8
	3.2 Podmínky.....	8
	3.2.1 Geologické poměry.....	8
	3.2.2 Geomorfologické poměry.....	8
	3.2.3 Hydrogeologické poměry.....	8
	3.2.4 Klimatické poměry.....	8
<b>4</b>	<b>Sanační práce.....</b>	<b>9</b>
	4.1 Moderní metody sanace.....	10
	4.1.1 Odvodnění sifonovými drény.....	10
	4.1.2 Geosyntetika.....	10
	4.1.3 Buněčný zpevňovací systém GEOWEB®.....	10
	4.1.4 Sít'ová struktura hřebíků.....	10
	4.1.5 Geovaky pro stabilizaci svahových těles.....	11
<b>5</b>	<b>Výskyt svahových pohybů podle regionálních poměrů.....</b>	<b>11</b>
	5.1 Český masiv.....	12
	5.2 Region Karpatského flyše.....	12
<b>6</b>	<b>Vybrané příklady výskytu svahových pohybů.....</b>	<b>13</b>
	6.1 Křižany – sesuv na trati Liberec – Česká lípa.....	13
	6.1.1 Provedené práce.....	14
	6.1.2 Popis sesuvu.....	14
	6.1.3 Rozbor příčin.....	15
	6.1.4 Sanace.....	15
	6.2 Sesuv železničního náspu v Košťálově.....	16
	6.2.1 Provedené práce.....	17
	6.2.2 Popis sesuvu.....	17
	6.2.3 Rozbor příčin.....	18

6.2.4	Doporučená sanace.....	19
6.3	Sesuv svahů na železniční těleso v úseku trati Valašské meziříčí – Bystřička.....	20
6.3.1	Průzkumné práce .....	21
6.3.2	Popis sesuvu .....	21
6.3.3	Rozbor příčin.....	21
6.3.4	Doporučená sanace.....	22
6.4	Sesuv na silnici I/35 u tunelu Hřebeč.....	23
6.4.1	Popis sesuvu .....	23
6.4.2	Příčiny svahového pohybu .....	23
6.4.3	Sanace .....	24
6.5	Řízení na silnici Děčín – Hřensko, dnes označené jako I/62 .....	26
6.5.1	Průzkumné práce .....	26
6.5.2	Popis horninového prostředí.....	26
6.5.3	Příčiny nestability svahů .....	26
6.5.4	Sanace .....	27
6.6	Skalní řízení na Povltavskou silnici II/102.....	27
6.6.1	Geologická stavba .....	28
6.6.2	Příčiny řízení .....	28
6.6.3	Sanace .....	29
6.7	Sesuv na dálnici D8 u Dobkoviček .....	29
6.7.1	Průzkumné práce .....	30
6.7.2	Popis sesuvu .....	30
6.7.3	Rozbor příčin.....	31
6.7.4	Sanace .....	31
6.8	Sesuv u Třebenic na železniční trati Čížkovice - Obrnice.....	32
6.8.1	Provedené práce .....	33
6.8.2	Popis sesuvu .....	33
6.8.3	Příčiny a průběh sesouvání.....	34
6.8.4	Doporučená sanace.....	35
6.8.5	Provedené sanační práce .....	35
6.9	Sesuv na silnici III/237 u Nového Strašecí.....	36
6.9.1	Popis sesuvu .....	36
6.9.2	Příčiny svahového pohybu .....	37
6.9.3	Doporučená sanace.....	37
6.9.4	Provedené sanační práce .....	37
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>Zdroje.....</b>	<b>39</b>

# 1 Úvod

Svahové pohyby jsou v některých částech České republiky poměrně hojné. Svahové pohyby jsou podmiňovány geologií a velmi často také antropogenní činností: narušení povrchu země, změna hydrogeologických podmínek vlivem nadměrného čerpání podzemní vody, avšak příčin vzniku sesuvů je mnohem více.

I po rozsáhlém výzkumu a registraci míst potenciálního ohrožení svahovými pohyby po celé ČR zahájených v roce 1962 po ničivém sesuvu u Handlové (Záruba, Mencl, 1974), je problematika sesouvání svahu vlivem dopravních, ale i jiných staveb stále aktuálním tématem.

Nesprávné kroky při stavebních a projekčních pracích vedoucí k porušení svahu jsou ekonomicky velmi významné (Záruba, Mencl, 1969). Jeden z největších problémů v posledních letech nastal nedaleko obce Dobkovičky, kdy v souvislosti s výstavbou dálnice D8 došlo k masivnímu sesuv, který zavalil nedokončenou dálnici a poškodil nedalekou železniční trať. Škody se tak šplhají do řádu stovek miliónů českých korun (Kycl, 2015a).

Častým důvodem porušení stability svahu při inženýrské činnosti je nedostatečná znalost geologických poměrů místa výstavby. Chyby vzniklé při realizaci dopravních i jiných staveb mohou vést k sesouvání svahu a porušení stavby. Při plánování složitějších liniových staveb je proto před zásahem do území důležité správné zhodnocení situace a případných stabilitních změn, zejména v územích náchylných k sesouvání. S obezřetností by mělo být postupováno i při následné sanaci, pro zabránění opakování stejných chyb.

Cílem této práce je zpracování příkladů svahových pohybů na dopravních stavbách v České republice. V první části práce je popsána základní klasifikace svahových pohybů, možné příčiny jejich vzniku při podmínkách, které panují na území české republiky, možné způsoby provedení jejich sanace a v neposlední řadě také nové technologie využívané pro stabilizaci svahů. V druhé části práce jsou pak uvedeny vybrané příklady svahových pohybů, které postihly dopravní stavby na území České republiky od začátku 20. století až do současnosti, jedná se o rešeršní popis jednotlivých událostí. Na příkladech z praxe je tak dokumentována teorie je popsána v první části

## **2 Svahové pohyby**

### **2.1 Definice svahového pohybu**

Záruba a Mencl (1974) definují svahový pohyb jako přemísťování hornin do nižších poloh působením gravitace.

Změnou napjatosti ve svahu dochází ke vzniku odlučných trhlin, tzv. odlučná oblast sesuvu, a následnému rozpojení horniny, která se pohybuje po smykové ploše. Další částí sesuvu je splaz, podléhající setrvačnému pohybu horniny. Konečným prvkem sesuvu je tzv. čelo, jehož morfologie často poukazuje na hloubku smykové plochy (Kozlovskii, Young, Hutchinson, 1988). Například čelo sesuvu pokryté vegetací napovídá, že k pohybu došlo hlouběji pod povrchem, a čelo tak bylo vytlačeno vzhůru.

### **2.2 Klasifikace svahových pohybů**

Vzhledem k značné různorodosti svahových pohybů, je možné je klasifikovat mnoha způsoby. Rozděleny jsou například podle rychlosti, tvaru a hloubky smykové plochy nebo z inženýrskogeologického hlediska výhodné je rozdělení podle fyzikálních vlastností postižených hornin. Neopomenutelná je také aktivita sesuvu.

V anglické literatuře je nejběžněji používaná klasifikace podle D. J. Varnese z roku 1954, která byla postupně doplněna v roce 1978 a 1996 in Hungr, Leroueil, Picarelli (2012). V české a slovenské literatuře se nejčastěji setkáváme s klasifikací podle Němčoka, Paška a Rybáře z roku 1974.

Nadpoloviční většina svahových pohybů týkajících se dopravních staveb se odehrává v kvartérním pokryvu. Objevují se ale i takové sesuvy, kdy smyková plocha kopíruje geologické rozhraní. Dopravní komunikace jsou v mnohých případech také ohroženy skalním řícením nebo stékáním (Záruba, Mencl, 1974). V takových případech je vhodné přihlídnout k regionálním poměrům, protože v různých krajinách v závislosti na geologii je průběh jednotlivých typů sesuvů podstatně odlišný.

#### **2.2.1 Rozdělení podle mechanismu a rychlosti pohybu**

Dnes v České a Slovenské republice nejpoužívanější klasifikace svahových pohybů je podle Němčoka, Paška a Rybáře, která byla sepsána v roce 1974 po kritickém zhodnocení dosavadních způsobů klasifikace (Němčok, Pašek, Rybář, 1974).



Základní kritéria pro třídění podle klasifikace od Němčoka, Paška a Rybáře jsou mechanismus pohybu a rychlost pohybu. Svahové pohyby jsou tak rozděleny do čtyř velkých skupin, které jsou ploužení, sesouvání, stékání a řízení. V podrobné klasifikaci jsou uvedeny pouze ty druhy pohybu, které se v přírodě mnohonásobně objevují, není možné uvést přesně všechny existující typy svahových pohybů.

Ploužení – z geologického hlediska jde o dlouhodobý, nezrychlující se pohyb horninových hmot. Velikost posunů je vzhledem k rozsahu okolního prostředí zanedbatelná (Němčok, Pašek, Rybář, 1974).

Sesouvání – relativně rychlý klouzavý pohyb svahových hmot po jedné (nebo více) smykové ploše. Při sesouvání často může docházet i k ploužení v hlubších partiích a zároveň ke stékání nebo řízení v povrchové části (Němčok, Pašek, Rybář, 1974). Právě tento typ pohybu postihuje dopravní stavby nejčastěji.

Stékání- rychlý, krátkodobý pohyb hornin ve viskózním stavu. Podstatná část hmot vyteče z odlučné jámy a přemístí se po povrchu terénu na větší vzdálenost. Výsledný pohyb nazýváme „proud“. Konečná fáze stékání se může projevit jako ploužení. Podstatnou část zde hraje voda, která napomáhá ztekucení hmot. Pokud je ovšem poměr vody vyšší než poměr pevných částic, nejedná se již o svahový pohyb. Ke stékání může dojít i bez příměsi vody například tečením úlomkovitých hornin (Němčok, Pašek, Rybář, 1974).

Řízení – náhlý krátkodobý pohyb, probíhající na strmých svazích. Při pohybu dojde ke ztrátě kontaktu hmoty s povrchem a uplatňuje se tak volný pád. Pohyb může být kombinován s ostatními typy pohybu (Němčok, Pašek, Rybář, 1974).

Tabulka č. 1 znázorňující třídění svahových pohybů ve smyslu klasifikace Němčok, Pašek, Rybář (1974).

Základní skupiny svahových pohybů	základní typy svahových pohybů	příklady nejrozšířenějších typů a jejich charakteristika	Názvy výsledných svahových deformací
Ploužení	Rozvolňování svahů	Rozvolňování skalního svahu vznikem puklin lemujících tvary svahu a dna erozivního údolí	1) Rozvlonění svahu 2) projevy uvolňování napětí 3) roztrhání horských masívů 4) otevření tahových trhlin 5) Rozpad horského hřebenu 6) shrnutí Hlubinné ohýbání vrstev 7) gravitační vrásky
		rozvolňování svahu otevíráním tahových trhlin v jeho horní části	

		deformace vysokých horských svahů provázené roztrháním horských hřbětů a stupňovitými poklesy svahů	
	Gravitační vrásnění	shrnování vrstev podél okrajů pánví	1) gravitační vrásky 2) shrnutí
		Vytlačování měkkých hornin ve dně údolí	1) údolní antiklinály 2) bulging 3) naduřování vrstev pode dnem údolí
	Blokové pohyby	blokové pohyby po plastickém podloží	1) bloková pole 2) cambering
		blokové pohyby podél předurčené plochy	1) rozsedliny 2) bloková pole 3) posuvy
Povrchové ploužení		1) slézání sutí 2) slézání svahových hlín 3) povrchové ohýbání vrstev 4) vyvlečení a hákování vrstev 5) plošná soliflukce 6) kamenné ledovce	
sesouvání	sesouvání podél rotační smykové plochy		1) rotační sesuvy 2) sesuvy podle rotační smykové plochy
	Sesouvání podél rovinné smykové plochy	Sesouvání zemin podél rovinné smykové plochy	1) planární sesuvy 2) sesuvy podle rovinné smykové plochy 3) sesuvy podle předurčené (predisponované) smykové plochy
		sesouvání skalních hornin podél rovinné smykové plochy	1) planární sesuvy ve skalních horninách 2) sjíždění po předurčené ploše 3) skalní sjíždění 4) sjíždění
	sesouvání podél složené smykové plochy	sesouvání podél složené, zakřivené a rovinné smykové plochy	1) rotačně planární sesuvy 2) sesuvy podél složené smykové plochy
		sesouvání po horizontální nebo mírně ukloněné smykové ploše	1) laterální sesuvy
stékání	stékání svahových uloženin	stékání jílovitých a hlinitopísčitých zemin	1) zemin proudy 2) bahnité proudy 3) zemní proudy v citlivých jílech 4) soliflukční proudy
		stékání hlinitých a úlomkových zemin působením přívalových vod	1) kamenité (balvanité) přívalové proudy 2) hlinitokamenité přívalové proudy 3) hlinité a bahnité přívalové proudy 4) mury

		stékání povrchových partií pokryvných útvarů v období tání nebo po nadměrných srážkách	1) angl. "flowage"
řícení	sesypávání	přemísťování drobných úlomků poloskalních hornin až zemin kutálením a valením po svahu	1) drolení 2) sesypy
	odpadávání úlomků	náhlé přemístění úlomků skalních hornin volným pádem, poté valením a posouváním po svahu	1) odpadové kužele 2) suťové kužele 3) haldy 4) úsypy 5) osypy 6) kamenná moře 7) padání kamenů
	odvalové řícení	náhlé přemístění skalních stěn převážně volným pádem	1) skalní řícení 2) odvalové zřícení 3) odvaly
	planární řícení	náhlé přemístění skalních stěn, přičemž se kombinuje kluzný pohyb po předurčené ploše s volným pádem	1) sesutí 2) planární skalní zřícení 3) skalní zřícení kombinované se sjížděním

### 2.2.2 Rozdělení podle průběhu smykové plochy

Smyková plocha konsekventního sesuvu je rovnoběžná s vrstevnatým rozhraním, puklinami nebo břídlíčnatostí. Smyková plocha asekventního sesuvu má přibližně tvar válce. Insekventní sesuv dosahující velkých rozměrů má smykovou plochu zasahující hluboko do sesouvaného svahu (Záruba, Mencl, 1974).

### 2.3 Vývoj sesuvu z hlediska mechaniky zemin

Pro správné odhadnutí situace a stabilitních poměrů svahu je důležité znát alespoň základní principy mechaniky zemin. Je dobré vědět, jaké vlastnosti zeminy je třeba vyšetřit a které parametry musíme znát, pro správné navržení svahu, nebo určení příčin nestability.

Jednou z nejdůležitějších charakteristik sesuvu je smyková plocha. Odhadnutím průběhu smykové plochy určíme hloubkový rozsah sesuvu. Smyková plocha může být hluboká i mělká. Například v případě stékání bahenního proudu nedochází k pohybu po smykové ploše, ale po povrchu (Sawyer et al., 2012). Zda sesuv proběhl pouze v pokryvu nebo smyková plocha kopíruje geologické rozhraní, puklinu atp. určíme na

základě znalosti geologického průzkumu. U homogenních zemin je tvar smykové plochy určen parametry zeminy.

Rozhodujícím ukazatelem stability svahu je stupeň stability, nazýván také jako stupeň bezpečnosti (FS).  $FS < 1$  indikuje nestabilní poměry a porušení stability svahu. Pro výpočet stability svahu se používá řada metod. Jednou z nejpoužívanějších je Bishopova (proužková) metoda (Pasternack, Gao, 1988).

Při výstavbě dopravních komunikací nás při návrhu zářezů zajímá odvodněná (dlouhodobá) stabilita, kdy pracujeme s kritickou pevností, která je pro každou zeminu konstantní a je tedy materiálovým parametrem zeminy. To znamená, že při dostatečně dlouhé deformaci každá zemina dosáhne jednoznačně definovaného stavu, při kterém dojde k porušení zeminy smykovým napětím bez ohledu na její počáteční stav (Hattab, 2011). Stanovení pevnosti v kritickém stavu může být pomocí laboratorně například krabicovou smykovou zkouškou na rekonstituovaném vzorku.

V případě odvodněné (krátkodobé) stability počítáme s vrcholovou pevností, která je na rozdíl od kritické pevnosti veličinou stavovou, není to materiálový parametr, závisí na stavu zeminy před zatížením.

Disipací negativních pórových tlaků v zemině postupně dochází ke ztrátě stability, disipace probíhá při vytvoření zářezu nebo výkopu. Naopak při přitížení nad horní hranou svahu dochází k disipaci kladných pórových tlaků a tím je stabilita svahu zvyšována. Rychlé přitížení nad svahem je tak v praxi velmi nebezpečné a může způsobit sesuv. (Simony et al., 2004).

### **3 Příčiny způsobující sesouvání**

Pro správné posouzení svahové deformace a následné navržení nápravných opatření je podstatné znát nejlépe všechny příčiny sesuvné události, kdy hodnotíme tzv. podmínky a faktory.

#### **3.1 Faktory**

Jako faktory označujeme přírodní nebo antropogenní procesy vedoucí ke snižování stability svahu. (Stemberk, Suchý, Nýdl, 1997).

### **3.1.1 Změna sklonu svahu**

Zvyšováním sklonu svahu zvyšujeme smykového napětí v hornině, což může vést až k překročení smykové pevnosti a ztrátě stability. Může se tak stát podemletím svahu erozní činností vodního toku nebo antropogenní činností, např. podkopáním svahu, výjimečně i tektonickou činností (Záruba, Mencl, 1969).

### **3.1.2 Přetížení násypy**

Přetížením horní hrany (neplatí pro patu svahu) zvyšuje smykové napětí, dochází ke zvýšení pórových tlaků a v důsledku toho ke snížení vnitřního tření. Čím rychlejší přetížení je, tím větší je ztráta stability (Atkinson, 1993).

### **3.1.3 Změny obsahu vody**

Nejčastějším spouštěcím faktorem svahového pohybu bývá zvýšené množství srážek (Crosta, Frantini, di Prisco, 2012). Kolísání hladiny podzemní vody způsobuje změnu pórových tlaků. Za nebezpečné lze považovat také střídání suchých období, kdy zeminy náchylné k objemovým změnám vysychají, smršťují se a vznikají v nich pukliny, s obdobími zvýšených srážek, během kterých do puklin vniká voda, která nepříznivě ovlivňuje mechanické vlastnosti zeminy. Pokud je hladina podzemní vody napjatá, působí na nepropustné vrstvy podloží vztlakem. Proudící podzemní voda pak může vyplavit tmel a zeslabit tak intergranulární vazbu, zmenšit soudržnost a v neposlední řadě může probíhat erozní činnost a vznik podzemních dutin. (Záruba, Mencl, 1969).

### **3.1.4 Činnost mrazu**

Voda v trhlinách při zamrznutí zvětší svůj objem, zvětšuje tak trhliny a v rozpukaných horninách pak ubývá soudržnost. Jakmile dojde k ústupu mrazů a led začne tát, zvyšuje se obsah vody v povrchové rozbředající vrstvě (Schuster, Wieczorek, 2002)

### **3.1.5 Zvětrávání hornin**

Mechanické a chemické zvětrávání porušuje soudržnost hornin. Větší náchylnost k sesouvání je pozorována v oblastech výskytu glaukonických pískovců a jíílů, zvětrávání však podléhají všechny horniny (Záruba, Mencl, 1969).

### **3.1.6 Změny vegetačních porostů**

Odlesnění svahu může způsobit problémy, protože kořeny stromů mechanicky zpevňují svah a zároveň fungují k vysoušení svahu spotřebou podzemní vody pro jejich vlastní život, může odlesnění svahu nepříznivě ovlivnit stabilitní poměry svahu změnou hydrogeologického režimu (Záruba, Mencl, 1969).

## **3.2 Podmínky**

Podmínkami označujeme přírodní poměry území: geologické, geomorfologické, hydrogeologické a klimatické (Stemberk, Suchý, Nýdl, 1997).

### **3.2.1 Geologické poměry**

Geologické poměry jsou základní podmínkou pro vývoj sesuvných pohybů. Složení předkvartérního i kvartérního podkladu, některé typy hornin jsou pro vznik pohybů více vhodné, svoji roli hraje také tektonika nebo vrstevnatost, pokud jsou vrstvy uloženy ve směru svahu, snadno pak vznikne sesuv, který má smykovou plochu rovnoběžnou s rozhraním vrstev, tento případ nastal například u sesuvu Bystřička (Stemberk, Suchý, Nýdl, 1997).

### **3.2.2 Geomorfologické poměry**

Stavba a tvar reliéfu je další podmínkou, sesuv by nevznikl, pokud by svah nedosahoval dostatečného sklonu. Ve svahu se mohou nacházet bezodtoké deprese.

### **3.2.3 Hydrogeologické poměry**

V mnoha případech je voda jedním z hlavních příčin ztráty stability svahu. Dostatečné zvodnění masívu pro tvorbu svahových pohybů je dáno hydrogeologickými poměry.

### **3.2.4 Klimatické poměry**

Jedním z nejčastějších spouštěcích faktorů svahových pohybů na území ČR jsou zvýšené srážkové úhrny, ty jsou ovlivněny klimatickými poměry.

## 4 Sanační práce

Pro určení priority sanačních prací sesuvů a přidělování státních dotací byla zavedena kategorizace podle stupně ohrožení sesuvem. Kategorie I - malé riziko – dočasně uklidněný sesuv, s možností obnovení pohybu. Kategorie II - střední riziko – aktivní sesuv, příčiny vzniku sesuvu stále trvají, jsou ohroženy okolní stavby. Kategorie III - vysoké riziko – sesuv je aktivní a jeví známky čerstvosti. Svahové pohyby porušily blízké stavby nebo komunikace, je nutná okamžitá náprava. (Hroch, 1999)

Před zahájením průzkumných a poté sanačních prací, se bezprostředně po sesuvné události provádí havarijní opatření spočívající v odvedení povrchové vody protékající sesuvným územím, odčerpání vody z bezodtokových depresí, odčerpání vody ze studní v sesuvném území a zadusání všech trhlin, kterými by voda snadno vnikla do podloží (Záruba, Mencl, 1969).

V další etapě pak mohou přijít správně navržená sanační opatření, která zajistí dlouhodobou stabilitu svahu.

Jedno z prvních možných sanačních opatření je změna tvaru svahu. Jde především o změnu skonu, které lze docílit odvozem materiálu z odlučné oblasti. Běžným řešením je také přetížení paty svahu, čímž poměrně snadno zvýšíme stabilitu celého svahu (Lippomann, Kley, 2002).

Je třeba pamatovat, že voda zvyšuje zatížení svahu a zhoršuje jeho stabilitu (Záruba, Mencl, 1969). Součástí většiny sanačních opatření je tedy také navržení povrchového a podpovrchového odvodnění. Technologií pro odvodnění je mnoho. Mezi nejběžnější technologie pro odvedení povrchové vody patří vybudování sítě příkopů a struh, pro odvedení podzemní vody se používají různá drenážní opatření a také například horizontální odvodňovací vrty.

Variantou stabilizace svahu při nedostatku prostoru, například v zářezu je vybudování opěrných konstrukcí, pilotových zdí a gabionových zdí. U plošných mělkých sesuvů je také vhodné vyztužit svah vysazením vegetace. Kořeny mechanicky vyztuží svah a pomohou také k vysušení svahu vlastní spotřebou vody.

## **4.1 Moderní metody sanace**

S postupem času se stále více setkáváme s inovativními řešeními, která pomáhají ke snadnějšímu a bezpečnějšímu a často i ekonomicky příznivějšímu řešení sanačních opatření. Zmíním tedy některé novější technologie, které doposud nejsou běžnou součástí sanačních projektů.

### **4.1.1 Odvodnění sifonovými drény**

Metoda je založena na hloubkové drenáži za působení gravitace. K odvodnění jsou použity sifonové drény (násosky), které jsou umístěny do svislých vrtů, které jsou uspořádány v řadě, s pravidelnou roztečí. Odvodnění může fungovat až 10 metrů pod úrovní terénu. Speciální regulační výtokové kusy na dolním výtokovém konci násosky a stále vodní rezervy ve vrtech zajišťují funkčnost systému. Při zvýšení hladiny nad srovnávací úroveň je sifonovou trubicí voda okamžitě odváděna do výtokové šachty a následovně mimo drénovanou lokalitu (Bomont, Mrvík, 2009).

### **4.1.2 Geosyntetika**

Do této technologie můžeme zahrnout geomříže a geotextílie. Tyto prvky jsou obvykle zakomponovány do sanovaných svahů a používají se k jejich vyztužení a zlepšení stabilitních poměrů (Bouazza, 2002). Geosyntetika můžeme dělit podle jejich vlastností (ohebné, tuhé) a také podle typu výroby (tkané, pletené, lepené, svařované). Geosyntetiky mohou být například přikryté skalní horniny, u kterých je nebezpečí uvolňování menších úlomků.

### **4.1.3 Buněčný zpevňovací systém GEOWEB®**

Buněčný zpevňovací systém GEOWEB® tvoří sestavu vzájemně spojených povrchově texturovaných plochých proužků z vysokohustotního polyethylenu, jejichž konečné uskupení dává tvar „včelí plástve“ (Benda, Lidmila, 2007). Systém GEOWEB® zvyšuje odolnost zeminy vůči erozi a zabraňuje vzniku erozních (Geoweb, 2014).

### **4.1.4 Síťová struktura hřebíků**

Tato metoda je určena pro stabilizaci zemních svahů, ukloněných stěn jam a zářezů. Vyztužení prostředí zemními hřebíky uspořádanými do paralelní sítě zlepšuje

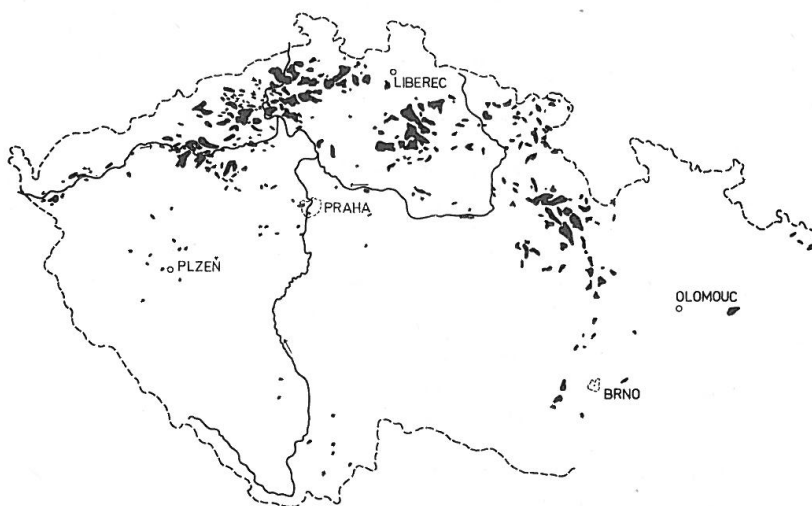


vlastnosti podobně jako kořeny prorůstající povrchovou část svahu. Neomezená možnost směrové orientace hřebíků umožňuje vytvořit rovinné soustavy o libovolném sklonu a směru (Vojtasík, Mohyla, Höchsmann, 2014).

#### 4.1.5 Geovaky pro stabilizaci svahových těles

Nově zaváděnou technologií pro sanaci svahových pohybů jsou geovaky. Jedná se o tkaninové vaky s velkým objemem. Vaky jsou na místě pomocí speciálních čerpadel plněny směsmi na bázi popílku, kameniva, písku a dalších materiálů dostupných v sanovaném území. Plnění vaků probíhá pomocí speciálních čerpadel, které mohou po instalaci sloužit k přitížení paty svahu, zabraňovat přímé erozi, vytvářet stupňovité přehrazení svahu nebo podepírání skalního bloku. Výhodou této metody je rychlá instalace a finanční nenáročnost (Hrubešová et al., 2014).

## 5 Výskyt svahových pohybů podle regionálních poměrů

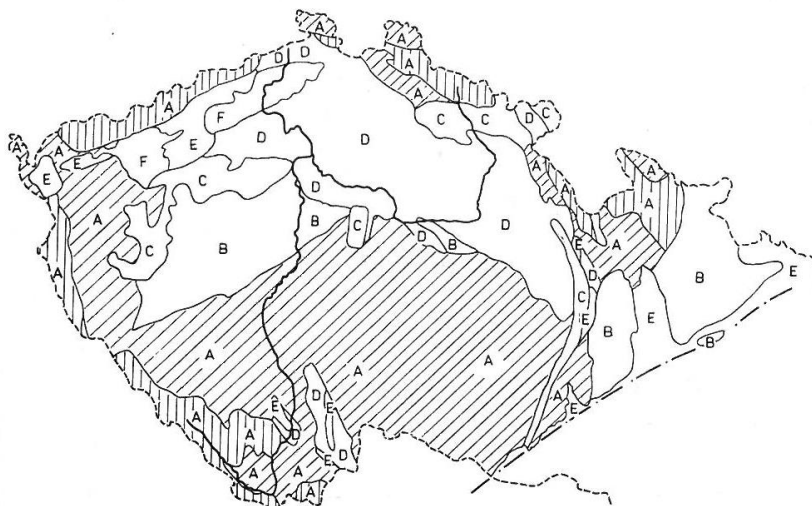


Obrázek 1 Výskyt svahových deformací v Českém masívu. Zdroj: Matula, Pašek 1985.

Území České republiky je geologicky, hydrogeologicky a morfologicky velmi rozmanité. V závislosti na těchto faktorech mají svahové pohyby v různých oblastech odlišný průběh. Důkazem role regionálních podmínek je nerovnoměrné rozmístění sesuvných lokalit v Českém masívu, jak je patrné z obrázku č. 2. Region karpatského flyše zasahující i do České republiky je na sesuvy nejbohatším regionem Západních Karpat (Matula, Pašek, 1985).

## 5.1 Český masiv

Převážná část České republiky se rozkládá na území Českého masívu, který tvoří mohutný konsolidovaný blok ve středu Evropy. Do dnešní podoby se Český masiv formoval již od konce starších prvohor. Mladší části obklopující český masiv jsou útvary především druhohorního a třetihorního stáří (Mísař et al., 1983). Český masiv svojí jižní částí zasahuje do Rakouska k Dunaji, na západě do Bavorska a na severu do Saska a Polska. Jihovýchodní část Moravy a Západní Karpaty jsou již členěny do Alpinské provincie, jež byla dotvořena horotvornými procesy až na konci druhohor a během starších třetihor a vznikl tak mohutný oblouk, začínající v západní Evropě, pokračující přes Alpy a Karpaty na Balkán a dále do Asie. Právě rozdílný vývoj obou celků tvořících území České republiky, je příčinou podstatně odlišných inženýrskogeologických podmínek. V Českém křídovém útvaru, ve vulkanitech na křídovém podloží, v terciérních severočeských hnědouhelných pánvích a také v některých permokarbonských pánvích jsou sesuvy početně zastoupeny, tyto útvary jsou příznivé pro sesouvání, protože se zde vyskytují málo zpevněné sedimenty (Matula, Pašek, 1985).



Obrázek 2 Schéma rozdělení Českého masívu na regiony. A. Region krystalinika, B. Region nemetamorfovaného předvariského podkladu, C. Region permokarbonských pánví, D. Region křídových pánví, E. Region terciérních depresí, F. Region neovulkanitů Zdroj: Matula, Paš

## 5.2 Region Karpatského flyše

Region Karpatského flyše tvoří souvislý pás při vnějším okraji Západních Karpat. Litologický charakter podkladu je zde poměrně jednoduchý. Převládají zde

horninové komplexy flyšové formace, z nichž nejrozšířenější je rytmický jílovcovo-pískovcový flyš (Matula, Pašek, 1985). Specifikem karpatského flyše jsou rozpukané rigidní horniny vedle málo rozpukaných plastických hornin. Pískovce plní funkci kolektoru, jílovce a slínovce funkci izolátoru. Připovrchové vrstvy mají funkci kolektoru, což při zvýšených srážkových úhrnech umožňuje velmi rychlé, krátkodobé maximální zvodnění horninového prostředí. V těchto podmínkách je území velmi náchylné ke spuštění svahové deformace a stabilita svahu je závislá na směru sklonu vrstev a směru sklonu svahu (Rybář, 1999).

## 6 Vybrané příklady výskytu svahových pohybů

Na území České republiky se v minulosti událo velké množství svahových pohybů, méně či více významných. V následující kapitole jsou popsány vybrané svahové pohyby, které svým ekonomickým významem, svou zajímavostí nebo způsobem provedení sanačních prací jsou vhodné pro připomenutí.

### 6.1 Křížany – sesuv na trati Liberec – Česká lípa

Zájmové území sesuvu se nachází na železniční trati mezi stanicí Křížany a zastávkou Zdislava. Svah se dal do pohybu dne 2. 6. 2013 a poškodil trať natolik, že bylo nezbytné okamžitě přerušit provoz a doprava byla nahrazena autobusovou dopravou. Délka sesuvu byla cca 60m, pokles odlučné hrany byl zhruba o 6m, výška porušení svahu byla zhruba 20m (Ďurove, Sekyra, 2014).



Obrázek 3 Odlučná oblast sesuvu na trati Liberec – Česká lípa. Zdroj: Vojtěchovská et al., 2013.

### 6.1.1 Provedené práce

Průzkumné práce byly provedeny ve dvou etapách. V první etapě proběhl inženýrskogeologický průzkum, na základě kterého byly určeny fyzikálně-mechanické vlastnosti zemin a hornin pro sestavení numerických modelů, které byly poté využity k vytvoření projektu sanačních opatření. Průzkum zahrnoval inženýrskogeologické mapování sesuvného území, vrtný průzkum



*Obrázek 4 Vrtné práce nad severovýchodní odlučnou oblastí sesuvu. Zdroj: Vojtěchovská a další 2013*

včetně inklinometrického a karotážního měření, realizaci kopaných sond a dynamických penetrací, geofyzikální měření, laboratorní zkoušky zemin, hornin a vody a rešerši archivních podkladů (Ďurove, Sekyra, 2014).

### 6.1.2 Popis sesuvu

Složité inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry v postižené oblasti se odráží v návrhu sanačních prací. Násep je složen z množství kvartérních i předkvartérních hornin s různými geotechnickými vlastnostmi. V prostoru svahu nad násepem je podloží tvořeno křemennými pískovci, které mají vyšší pevnost a jsou odolné proti zvětrávání. Jihozápadním směrem pak horniny přecházejí do jílových pískovců, které jsou méně pevné a snadno podléhají zvětrání. Svrchní části těchto hornin jsou obvykle velmi zvětralé a porušené. Slínovcové zvětralinové zóny jsou svými geotechnickými parametry velmi blízko jílům, které nejsou stabilně příliš příznivé (Ďurove, Sekyra, 2014).

Kvartérní pokryv je v horní části svahu zastoupen kamenitopísčítými sedimenty, a směrem po svahu svahoviny přecházejí do hlinitopísčítých deluvií. V prostoru podloží slínovců je spodní poloha kvartérního pokryvu zastoupena zvětralinami v podobě jílovitých zemin. Tvar předkvartérního podkladu a mocnosti kvartérního pokryvu je ovlivněn několika tektonickými poruchami (Ďurove, Sekyra, 2014).

Původní těleso náspu je složeno z několika vrstev různých hornin o odlišných mocnostech. Z rešeršních prací vyšlo najevo, že v zájmovém území došlo zhruba před 90 lety ke svahovým deformacím, které poškodily okolní pozemky.

### **6.1.3 Rozbor příčin**

Inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry jsou v lokalitě nepříznivé a jsou také jednou z hlavních příčin vzniku svahových pohybů. V horních polohách ve svahu nad náspem se nachází pevné a propustné křemenné pískovce, které přecházejí v nepropustné slínovce s nepříznivými geotechnickými parametry. V nadloží těchto hornin se nacházejí písčítokamenité propustné horniny, které po svahu přecházejí v méně propustné slínovcové zvětralině. Oblast vzniklého sesuvu je dotována jak povrchovou, tak průlinově-puklinovou podzemní vodou. V oblasti sesuvu je jen malá infiltrační oblast, proto vznikají problémy v obdobích s vyššími srážkovými úhrny. Vznik sesuvu lze také přisuzovat vlivu vhodných vlastností horninového prostředí pro sesouvání (svrchní polohy slínovců) a také materiálu použitého na samotný násep. Stabilitní problémy také můžeme přisuzovat starému sesuvu, u kterého neznáme parametry ani způsob sanace, která s velkou pravděpodobností nebyla příliš dokonalá. Že k menším svahovým pohybům docházelo již dříve, nasvědčuje zvýšené množství nasypaného stěrku v oblasti odlučné hrany. Konečným spouštěcím faktorem bylo zvýšení dlouhodobých srážek několik dní před sesuvem (Ďurove, Sekyra, 2014).

### **6.1.4 Sanace**

Navržený způsob sanace musel zajistit dlouhodobou životnost. Důležité bylo, aby vzhledem k předchozím svahovým pohybům, sanační konstrukce zasahovala až do neporušeného podloží. Dále také bylo nutné zajistit odtok povrchových a podzemních vod ze zájmového území (Ďurove, Sekyra, 2014).

Analýzy ukázaly, že sanovanou oblast bude nutné rozšířit od sesuvu na obě strany na cca 100 metrů délky. Oblast, o kterou byla sanovaná oblast rozšířena, sice nepodlehla svahovým pohybům, ale stupeň stability svahu v tomto místě nedosahoval potřebné hodnoty a podstoupit riziko porušení svahu bylo neakceptovatelné (Kasová, 2013).

Primárním předpokladem bylo odstranění sesutých hmot, včetně tělesa samotného a nevhodných podložních vrstev. Proto bylo rozhodnuto vybudovat také

vyztužené zemní těleso. Odtěžování bylo zahájeno ve spodní části sesuvu, kde byla vytvořena základová spára vyztuženého násypu. Pod náspem a v části mezi odtěženým svahem byl proveden plošný drén. Pro úspěšnou sanaci bylo nezbytné zajistit spolehlivé odvodnění. V průběhu sanačních prací byly také podchyceny všechny podzemní přítoky vody. Důležitou roli během sanačních prací hrál geotechnický dozor, který přímo na místě posuzoval odchylky numerických analýz od reálného stavu svahu a určil tak správnou míru odtěžení materiálu (Ďurove, Sekyra, 2014).

Násep byl vytvořen na únosných podložních vrstvách, tvořených navětralými a zdravými slínovci, jílovitými pískovci a křemennými pískovci. Při realizaci celého násypu jako výztužného tělesa bylo nezbytné posoudit napěťo-deformační, technologické a geometrické možnosti výstavby. Vyztužení bylo provedeno pomocí polyesterové geomříže. Hutnění bylo prováděno po vrstvách, Čela jednotlivých vrstev byla zabezpečena pomocí balení se zpětně zataženou výztuží a také zpevněna vegetací. V místech, kde byla pata násypu založena níže, než byl původní terén, byl prostor dosypán materiálem z podložních vrstev (Ďurove, Sekyra, 2014).

## 6.2 Sesuv železničního násypu v Košťálově

Lokalita, ve které došlo k sesuvu, se nachází v severovýchodních Čechách u obce Košťálov. Postižen byl 95,1. kilometr úseku trati z Pardubic do Liberce. První svahové pohyby byly započaty 2. 1. 1975 a i přes okamžité vybudování odvodňovacího příkopu ve svahu nad násypem probíhaly v několika etapách až do 10. 2. 1975. Sesuv poškodil trať natolik, že na ní musel být přerušen provoz, Během čtyř dnů od zahájení svahových pohybů byla trať přeložena na provizorní násyp, který však vlivem dalších pohybů nebyl bezpečný a již



Obrázek 5 Zavalené koryto řeky Olešky. Zdroj: Rybář, Pašek 1975.

v druhé polovině února byl na druhé přeložce, položené od původního násypu asi o 35 metrů, zahájen provoz. Sesuv o délce 95 metrů a šířce 60 metrů poničil také elektrické

vedení v blízkosti tratě. Sesunutý svah zavalil v údolí řeku Olešku, kde vytvořil umělou hráz. Voda z vytvořeného jezera následovně zaplavila domy postavené v nivní oblasti a obyvatelé museli být evakuováni. Bylo zde vytvořeno nové koryto, které bylo dostatečně vzdálené od paty sesuvu. Po ukončení svahových pohybů bylo čelo sesuvu o 6 až 8 metrů zvednuté oproti běžnému povrchu (Rybář, Pašek, 1975).



*Obrázek 6 Východní část strmé odlučné stěny v tělese násypu. Zdroj: Rybář, Pašek 1975.*

### **6.2.1 Provedené práce**

Inženýrskogeologický průzkum, na základě kterého byl určen způsob sanace, sestával z inženýrskogeologického mapování, realizace sondážních a vrtných prací, hodnocení archivních podkladů a vyslechnutí očitý svědků události (Rybář, Pašek, 1975).

### **6.2.2 Popis sesuvu**

Studované okolí sesuvu geologicky náleží území permu podkrkonošských pánví. Reliéf je v Podkrkonošské pahorkatině členitý v důsledku rozdílné odolnosti sedimentu a vyvřelin vůči erozi a denudaci. Horní části svahů v Košťálově jsou tvořeny odolnými melafyrovými tělesy, v důsledku čehož zůstávají sklony svahů i v méně odolných sedimentech strmé a jsou tak náchylné ke vzniku svahových pohybů (Rybář, Pašek, 1975).

Při sesuvu v Košťálově byly kromě tělesa samotného násypu a kvartérního útvaru v dolní části svahu zasaženy také pevné předkvartérní horniny (Rybář, Pašek, 1975).

Těleso násypu je vybudováno z jílovitoprachovité zeminy, místy s úlomky jílovců, prachovců a slínovců. Materiál tvořící násyp, mající stejné vlastnosti jako svahové hlíny v podloží, byl tedy zřejmě získán těžbou v blízkosti sesuvné oblasti (Rybář, Pašek, 1975).

Předkvartérní podklad je tvořen horninami permského stáří, které jsou v nezvětrálem stavu pevné a mají charakter poloskalních až skalních hornin. Ve spodní části svahu převládají prachovité jílovce a prachovce. V horní části svahu jsou více zastoupeny jílovité a prachovité pískovce (Rybář, Pašek, 1975).

Kvartérní pokryv je zastoupen především deluviálními uloženinami a v údolní nivě také fluviálními naplaveninami. Mocnost deluviálních hornin složených ze zvětralín permských sedimentů je v jihovýchodní části sesuvu i přes 5 metrů a směrem k západu se mocnost snižuje. Výchozy a strmé úseky svahu jsou bez pokryvu. Fluviální uloženiny dosahují mocnosti až 5 metrů a jsou zastoupeny terasovými písčítými štěrky pokrytými hlinitopísčítými náplavami (Rybář, Pašek, 1975).

Hydrogeologické podmínky jsou nestabilní, hladina podzemní vody je velmi kolísavá. Přes 100 let starý násep tvořený ze stejné horniny jako je jeho podloží, tak lze považovat za jedno těleso. Při měření podzemní vody v rozmezí několika měsíců byla hladina naražena nejvýše zhruba 1,5 metrů pod korunou svahu - leden 1975, v květnu byla hladina vody až při bázi svahoviny (Rybář, Pašek, 1975).

### **6.2.3 Rozbor příčin**

Při analýze příčin bylo nutné počítat s mnoha faktory, které spolu vzájemně souvisely (Rybář, Pašek, 1975).

Jedním z největších problémů bylo stáří sesuvu, které v době katastrofy činilo zhruba 120 let. I přesto, že byl násep vybudován ze zemin s nevhodnými geotechnickými parametry, dosahovala výška násypu místy až 11 metrů a sklon byl 35°. Dalším problémem byla nedostatečná údržba drenážních zařízení svahu nad násypem, která pak nebyla schopná dostatečně odvodnit svah při nadměrných srážkách v prosinci



1974 (měsíční úhrn dosáhl 342% oproti průměru). Výrazný vzestup hladiny podzemní vody způsobil zvodnění zemin násypu i podloží, zvýšení pórového tlaku v zeminách a změnu konzistence zemin a došlo tak k poklesu jejich pevnostních paramterů. Posledním podmětem ke spuštění sesuvu byly extrémní srážky před 2. lednem 1975 (Rybář, Pašek, 1975).

Další faktor, který mohl přispět ke svahovému pohybu, je zvýšení frekvence průjezdu vlaků a jejich odlišné parametry, například váha a rychlost průjezdu (Rybář, Pašek, 1975).

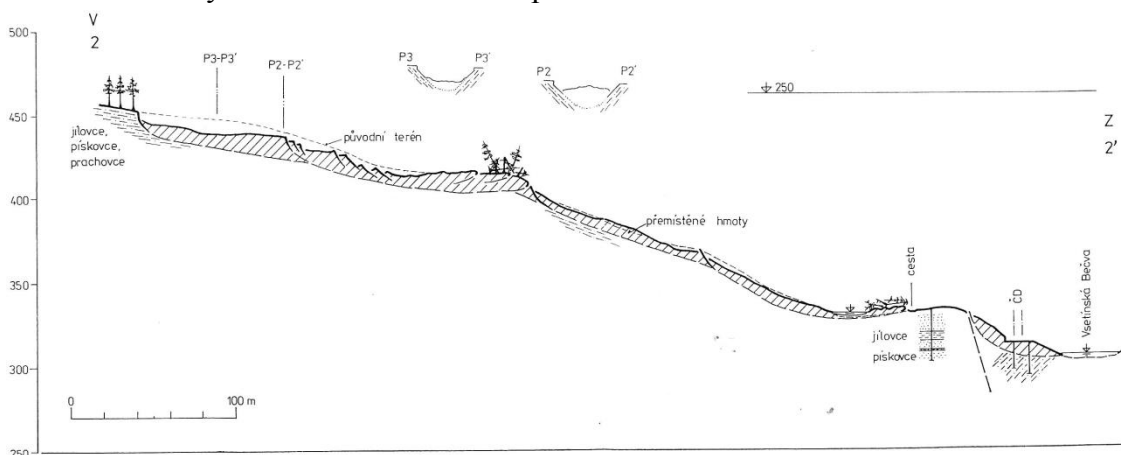
#### **6.2.4 Doporučená sanace**

Přeprava po přeložené trati nebyla vyhovující z hlediska nezbytného zpomalení rychlosti vlakových souprav, proto byly navrženy úpravy nutné k obnovení původního provozu (Rybář, Pašek, 1975).

V dolní části svahu bylo nutné přitížit patu lavicí z propustného materiálu a před založením lavice očistit povrch sesuvu od porostu. Délka lavice byla doporučena na cca 80 metrů. Jako možnou alternativou lavice byla uvažována pilotová zeď, o kterou by se opírala pata násypu. Dále bylo doporučeno zajistit odvodnění podloží železničního tělesa horizontálními drenážními vrty a melioračními úpravami urychlit odtok povrchových i zemních vod zejména ze svahu nad násypem. Před rekonstrukcí samotného tělesa násypu by bylo vhodné odejmout zeminy z koruny násypu do hloubky 3 metrů, poté obnovit železniční těleso sypáním vhodného propustného, nenamrzavého materiálu a jeho patu zapřít o zatěžovací lavici. Po provedení všech opatření a spuštění provozu na trati bylo doporučeno odstranění provizorních přeložek a uvedení okolí železničního tělesa do původního stavu. V neposlední řadě byla zdůrazněna nezbytnost následného pravidelného monitoringu, ke kontrole účinnosti sanačních zařízení (Rybář, Pašek, 1975).

### 6.3 Sesuv svahů na železniční těleso v úseku trati Valašské meziříčí – Bystřička

Trať se nachází ve východní části republiky a prochází Západními Karpaty. Úsek ohrožené trati zaujímá rozmezí 31,4 – 31,7 kilometru. Svahové pohyby nad trati vznikly v průběhu července 1997, kdy v inkriminované lokalitě panovaly zvýšené srážkové úhrny a dokonce i rozsáhlé povodně. V sesuvném území došlo k množství



Obrázek 7 Řez zemního proudu č. 12. Zdroj: Stemberk, Suchý, Nýdl (1997).

sesuvů různé velikosti a typu. Celkem bylo zdokumentováno 58 svahových deformací. Do kategorie ohrožení stupně č. III patří ca 150 metrů trati, kde proběhl zával železniční komunikace zemním proudem č. 11 a objevovaly se zde také známky počátečních forem porušení na pravém boku proudu (odlučné trhliny, trhliny na zárubní zdi, posun kolejiště, vytlačování bloků z nábrežní navigace řeky). Zbývající část úseku je označena jako Kategorie stupně ohrožení č. II. K největším deformacím při této události patří zemní proud označený číslem 12, dlouhý 450m (Stemberk, Suchý, Nýdl, 1997).



Obrázek 8 Zemní proud číslo 12. Vlevo pohled horní část koryta, vpravo odlučná oblast zemního proudu. Zdroj: Rybář 1999

### **6.3.1 Průzkumné práce**

Pro posouzení stabilitních poměrů svahů podél trati vycházeli zpracovatelé z terénních poznatků, které získali již v předchozím mapování živých svahových deformací na Vsetínsku, kdy byli vyposlechnuti pracovníci Vsetínského okresního úřadu a dodali důležité informace. Dále byla použita dokumentace jádrových vrtů z lokality „Bystřička – ČD“, která obsahuje popis jádrových inklinometrických vrtů, hydrogeologických vrtů a vrtů na pozorování pórových tlaků a v neposlední řadě situační náčrt sesuvů získaný z leteckých snímků lokality (Stemberk, Suchý, Nýdl, 1997).

### **6.3.2 Popis sesuvu**

Litologické poměry typických flyšoidních sedimentů a četná tektonická a vrásová porušení podmiňují složitost strukturně geologických poměrů ve svahu nad železnicí. Střídání pevných lavicovitých pískovcových vrstev odolných vůči zvětrávání s polohami prachovců až jílovců, které jsou méně odolné vůči zvětrávání, vytváří v horninovém prostředí vyztužující žebra, díky kterým jsou sklony povrchu svahu strmější, než kritické sklony svahů v méně odolných prachovcích, jílovcích a prachových útvech (Rybář, 1999).

Postižené území je součástí tektonického bloku budovaného rusavskými vrstvami zlínského souvrství. Pro svahy s takto vysokým podílem vrstev je typický strmý sklon (v dolních partiích svahu je sklon 20-30°), při kterém nedochází ke ztrátě stability. Blok rusavských vrstev je ve velké míře porušen tektonickými a vrásovými deformacemi (Stemberk, Suchý, Nýdl, 1997).

Hydrogeologické poměry jsou ovlivněny silným zastoupením pískovců a jejich zvětralin, které umožňují významnou dotaci horninového prostředí srážkovou vodou. Díky střídání propustných a nepropustných vrstev jsou zde vhodné poměry pro vznik kolektorů (Rybář, 1999).

### **6.3.3 Rozbor příčin**

Zajímavostí jsou zde sklony svahů, které jsou na poměry flyše poměrně strmé. Tuto anomálii můžeme vysvětlit vrstevnatostí, jak je uvedeno v popisu sesuvu. Problém

ovšem nastává, pokud se sklon a směr vrstev stejně jako v případě svahu pod Křivskými pasekami, blíží směru a sklonu svahu (Rybář 1999).

Neopomenutelnou roli před vznikem svahových pohybů sehrály hydrogeologické poměry. Během přívalových dešťů došlo k maximálnímu zvodnění horninového prostředí díky propustné přípovrchové vrstvě pískovců. Tuto skutečnost lze vyčíst z četného výskytu povrchových pramenů vytékajících ze svahu (Stemberk, Suchý, Nýdl, 1997).

Nelze také opomenout, že svahy ležící pod Křivskými pasekami na nárazovém meandru Vsetínské Bečvy byly v minulosti podemílány boční erozí vodního toku. To se změnilo až s výstavbou železniční trati, kdy byl tok řeky regulován a došlo tak ke snížení eroze. Násep železniční trati leží v údolí říční nivy. Při vybudování násypu došlo k přitížení a stabilita svahu byla zvýšena. Při následném rozšíření však došlo k odříznutí svahu a tím byla naopak stabilita snížena (Stemberk, Suchý, Nýdl, 1997).

Konečným spouštěcím faktorem byly přívalové srážky ve dnech 5. až 9. července 1997. Místy byly překročeny srážkové úhrny až 500% dlouhodobého normálu.

#### **6.3.4 Doporučená sanace**

Po vyhodnocení všech průzkumných prací byl sestaven návrh s doporučenými opatřeními, které měly být v postižené lokalitě realizovány, aby svahové pohyby neohrozili provoz železniční trati (Rybář, 1999).

Bezprostředně po sesuvných událostech byly ve svahu vybudovány horizontální odvodňovací vrtvy. Tento způsob sanace se osvědčil, proto bylo doporučeno v budování těchto vrtů pokračovat s důrazem na to, aby bylo umožněno systematicky monitorovat jejich vydatnost. Bylo doporučeno vybudovat několik vrtů u paty svahu, aby bylo možné kontrolovat údaje o poměrech zvodnění i v místech, kde již nelze předpokládat vliv horizontálních odvodňovacích vrtů. Do systému monitorování bylo zakomponováno geodetické sledování výškových a polohových změn tělesa násypu (Stemberk, Suchý, Nýdl, 1997).

## 6.4 Sesuv na silnici I/35 u tunelu Hřebeč

Sesuvem postižené území se nachází u východního portálu tunelu Hřebeč na 5,330. – 5,375. kilometru silnice I/35 z Litomyšle do Moravské Třebové. Svahové pohyby zde proběhly v ranních hodinách 1. 4. 2006. Sesuv zavalil dva stoupací pruhy silnice a



částečně i portál tunelu. Odlučná oblast byla tvořena skalní stěnou místy vysokou až 15 metrů. Délka sesuvu byla 52 metrů a šířka 45 metrů (Bohátková, 2007).

*Obrázek 7 Čelo vzniklého sesuvu zahrazující portál tunelu. Zdroj: <http://www.casopisstavebnictvi.cz/>*

### 6.4.1 Popis sesuvu

Sesuvné území leží na strmém terénním stupni Hřebečského hřbetu tvořeného kuestou křídových sedimentů, kdy čela vrstev tvoří skalní stěnu. Horní část stěny je budována vrstvami písčitých slínovců a dosahuje mocnosti 13 – 15 metrů. Vrstvy jsou uloženy subhorizontálně a jsou lavicovitě až deskovitě odlučné. Slínovce jsou navětralé, při povrchu až zvětralé a zvětráváním vznikají úlomky až bloky. Ve spodních partiích horní části stěny vyvěrají trvalé prameny podzemní vody. V nižších částech stěny vystupují glaukonické cenomanské pískovce o mocnosti až 10 metrů. Podloží je budováno jíly peruckého souvrství. Pomocí inklinometrických vrtů byla ověřena mocnost této vrstvy, dosahující místy až 19 metrů. V polohách pískovců a jílovců dochází k vývěrům podzemní vody, které jsou převážně sezónní (Bohátková, 2007).

Rozdíl mezi výškou horní odlučné hrany a výškou, na které se sesuv zastavil, činí 33 metrů. Tvar sesuvu je plošný s výraznou odlučnou stěnou. Svahový pohyb nese známky kombinace sesouvání a skalního řícení. Akumulace materiálu v čele sesuvu měla mocnost ca 3 metry (Bohátková, 2007).

### 6.4.2 Příčiny svahového pohybu

Jednu z hlavních rolí při spuštění sesuvu sehrál nevhodně sanovaný sesuv z roku 1997, nacházející se nedaleko místa nově vzniklého sesuvu (Bohátková, 2007). Během

tohoto sesuvu vznikla v odlučné oblasti deprese, jež byla z části zasypána sesuvným materiálem, a povrch svahu byl uveden do původního sklonu. V úrovni staré smykové plochy byla zavedena drenáž a skalní stěnu zabezpečila gabionová zeď.

Sesuvné události předcházelo jarní tání a zvýšené srážkové úhrny. Došlo k nasycení puklinových systémů ve slínovcích a glaukonických pískovcích. Na kontaktech těchto vrstev docházelo k četným vývěřům, které mohly být také podpořeny nedávno ukončenou těžbou v lokalitě, během které bylo čerpáno větší množství podzemní vody, a byla částečně obnovována původní hladina podzemní vody. Jílovce sesuvem poškozeny nebyly. Smyková plocha ústila na povrch nad úrovní silnice. V další fázi svahového pohybu pak došlo k porušení stability skalního svahu a gabionové zdi, které vedlo k následnému řízení v odlučné stěně (Bohátková, 2007).

### 6.4.3 Sanace

Sanační práce byly rozvrženy do šesti etap. Jednalo se o velmi náročnou stavbu, která vyžadovala přístup velkého počtu odborníků. Při budování bezpečnostních opatření byly použity moderní technologie, některé dokonce v České republice úplně poprvé (Bohátková, 2007).

První etapa byla započata odtěžením hmoty sesuvu, následovalo očištění skalní stěny od volných kamenů, bloků a vegetace a odstraněním vegetace při horní hraně skalní stěny (Bohátková, 2007).

Při čištění skalní stěny byly zjištěny diskontinuity natolik velké, že byla nezbytná sanace. Ve druhé etapě proběhlo zabezpečení. Byla odtěžena horní část skalní stěny a vytvořena skalní plošina pro instalaci sanačních prvků. Na skalní stěnu bylo instalováno pozinkované pletivo, přes které byly položeny lanové panely HEA, ukotvené v horní části svahu kotvami 5- 6 metrů za hranou stěny. Ve spodní části svahu byly použity injektážní tyče o délce 6



Obrázek 8 Pohled na portál tunelu a vystavěnou přítěžovací a ochranou lavici. Zdroj: <http://www.arcadis.cz/Projects>

metrů umístěných na bázi slínovců. Obvodová lana zajišťující stálý kontakt pletiva se skalním povrchem byla ukotvena injektážními tyčemi o délce 2 metrů (Bohátková, 2007).

V další fázi proběhla výstavba přítěžovací lavice, jež měla za úkol zabezpečit dolní část zemního svahu a rovnoměrně odvádět vodu ze svahu. Byla vytvořena ze štěrku pro jeho dobrou propustnost a objemovou tíhu. Dále byla pro výztuž přítěžovací lavice použita geomříž, která byla instalována po celé délce lavice, dlouhé 75 metrů v horní úrovni a vysoké 8,5 – 14,7 metrů. Jako drenážní a separační prvek byla uplatněna geotextilie (Bohátková, 2007).

Pro zabezpečení snadno zvětrávajících glaukonických pískovců byla vystavěna ochranná lavice, která byla z důvodu nemožnosti dalšího přitížení spodní štěrkové lavice navržena z lehkého kameniva Liapor. Lavice kopírovala povrch skalní stěny a byla vybudována stupňovitě. Při řešení byly použity do té doby neobvyklé technologie, a to green terramesh a Liaporu a odvodnění pomocí tkané geotextilie (Bohátková, 2007).

Odvodnění lokality, které se ukázalo pro stabilizaci území jako klíčové, zajišťuje plošný drén – geotextilie, přítěžovací lavice, podélný podpovrchový drenážní systém a dvě příčná drenážní žebra (Bohátková, 2007).

Svah pod komunikací, vykazující stálý pohyb i po sesuvu, byl zabezpečen třemi drenážními žebry pod smykovou plochou v hloubce zhruba 3 metry (Bohátková, 2007). Důležité bylo, že vybudování podélné lavice, nemělo rizikový vliv na svah, ale naopak definitivně ustálilo svahový pohyb.

Součástí prací byl vybudován monitorovací systém, který byl během provádění sanačních prací postupně rozšiřován a pomocí kterého byly postupně komplexně sledovány změny zemního prostředí průběhu výstavby. Byly zde zřízeny geodetické body a několik inklinometrických vrtů. V blízkosti komunikace byly osazeny dvě měřidla pórových tlaků. Dvě měřidla kontaktních napětí byly umístěny pod ochranou lavici. Pro kontrolu protahování výztužné geomříže během výstavby byly instalovány extenzometry (Bohátková, 2007).

## **6.5 Řízení na silnici Děčín – Hřensko, dnes označené jako I/62**

Státní silnice vedoucí do bývalé NDR, dnešní komunikace I/62 vedoucí z Děčína do Hřenska, byla postižena katastrofickým řícením v oblasti Labských pískovců poblíž obce Labská stráž na pravém břehu řeky Labe. 20. března 1978 došlo ke svahové deformaci, při které se zřítil přes 20 metrů vysoký skalní blok Baba Jaga, a strhl s sebou i blok Kobyla. V dalších letech docházelo opětovně k problémům a silnice byla na jaře v roce 1980 kvůli bezprostřednímu nebezpečí zhroucení skalního pilíře uzavřena. V průběhu následujících let byl svah pečlivě sledován. Z monitorovacích záznamů z konce roku 1984 bylo zřejmé, že provoz na silnici bude muset být znovu přerušen. 7. 1. 1984 došlo k dalšímu skalnímu řícení. I přes vynaložená ochranná opatření dochází v těchto místech k řícení skalních bloků do dnešní doby.

### **6.5.1 Průzkumné práce**

Dokumentace skalních stěn z důvodu špatného přístupu si v některých místech vyžádala použití horolezeckých metod. Pro určení nebezpečných úseků svahu bylo nezbytné v masívu správně identifikovat nespojitosti také puklinové systémy. Provedeno bylo také geodetické měření a letecké snímkování z rádiem řízeného letadla (Rybář, Zvelebil, 1979).

### **6.5.2 Popis horninového prostředí**

Hluboce zaříznutý Labský kaňon je tvořen křídovými pískovci. Horní partie svahu jsou tvořeny pískovci turonskými. Vytvořený masív je vlivem porušení skalní stěny několika systémy diskontinuit rozčleněn na věžovité bloky, místy dosahující výšky až 70 metrů. Dolní a střední část svahu se sklonem ca 30° je tvořena sutěmi a bloky z předchozích řícení. Celkové převýšení hrany svahu od hladiny Labe je 160 metrů (Rybář, Zvelebil, 1979). Pískovcové souvrství je rozlámáno soustavou zlomů. Během čtvrtohor byl pak kaňon dotvářen erozními vlivy, mezi nimiž hrála podstatnou roli řeka Labe.

### **6.5.3 Příčiny nestability svahů**

V Labském údolí dochází k poměrně výraznému odnosu hmot vlivem eroze, což způsobuje podemletí skalního svahu a změny napjatosti v pískovcích, které se pak snadno rozpadají do bloků, zejména podél ploch předurčených diskontinuitami.



V nižších polohách panuje v údolí vlhké a relativně chladné prostředí. Ve vyšších polohách bývají skalní bloky vyhřívány sluncem až do vysokých teplot. Tyto změny teploty a vlhkosti zvyšují intenzitu degradace pískovců, které jsou již tak náchylných k zvětrávání (Zvelebil, 1984).

Skalnímu řízení, ke kterému došlo počátkem roku 1978, předcházely nepříznivé jarní klimatické poměry. Blok Baba Jaga vysoký asi 20 metrů se zřítíl na blok Kobyla, jenž se vlivem nárazu zřítíl také. Některé bloky pískovce o objemu téměř 400 m<sup>3</sup> se zastavily až na silnici. Rozdrcené stromy ve spodních částech svahu vypovídaly o velké síle řízení a především o velkém štěstí, že v době události na silnici nikdo nepohyboval (Rybář, Zvelebil, 1979).

#### **6.5.4 Sanace**

Prvním krokem sanačních prací bylo odstranění zřícených skalních bloků z povrchu silnice. Odlučná stěna byla začištěna od nestabilních a uvolněných balvanů. Některé zřícené balvany a skalní bloky, které byly vyhodnoceny jako nebezpečné z důvodu možného budoucího pohybu směrem k silnici, byly odstřeleny. Ve skalní stěně byly identifikovány další nebezpečné skalní bloky, ale z důvodu nebezpečí vzniku dalšího porušení skalní stěny zde nebylo doporučeno použít trhaviny pro jejich odstranění, proto zde byl zaveden pozorovací systém. Trhliny oddělujících bloky vyhodnocené jako nebezpečné byly osazeny dilatometrické skoby umožňující měřit pohyby bloků (Rybář, Zvelebil, 1979).

V lokalitě docházelo a stále dochází k dalším řízením, v takto náchylném horninovém prostředí pro řízení není možné zavést trvalá sanační opatření, která by garantovala doživotní stabilitu skalní stěny, proto od inkriminovaného sesuvu až doposud platí, že je nezbytné pravidelně sledovat změny ve skalní stěně a musí zde existovat plán, díky kterému je možné v případě ohrožení okamžitě v tomto úseku zastavit provoz na komunikaci.

### **6.6 Skalní řízení na Povltavskou silnici II/102**

Silnice s dnešním označením II/102 v úseku Strnady – Štěchovice budovaná ve dvacátých letech 20. století byla již v minulosti mnohokrát výrazně postižena řízeními, z nichž největší dokumentované se událo v roce 1924, kdy se zřítílo celkem 8000 m<sup>3</sup>

materiálu nedaleko hráze přehrady Vrané. Řízení je v tomto úseku silnice velmi běžným jevem, který se nadále objevuje i přes ochranná opatření. V posledních několika letech stojí za zmínku, pád 2 tuny těžkého bloku na silnici přímo u hráze přehrady Vrané v lednu 2011, dlouhodobější řízení skalních bloků v oblasti starého lomu jv. od vodního díla Vrané a také přibývající kamenitohlinité přivalové proudy, vznikající při prudkých deštích, jejich akumulární oblast zasahuje až na vozovku (Kycl, 2015b).

### 6.6.1 Geologická stavba

Skalní stěna, která lemuje levý břeh řeky Vltavy ve sledovaném úseku silnice, spadá do hlavní regionálně geologické jednotky Barrandienu. V lokalitě se pak převážně objevují horniny neoproterozoického stáří. Hlavní stratigrafické jednotky, které zde můžeme identifikovat, jsou kralupsko-zbraslavská a štěchovická skupina. Kralupsko-zbraslavská skupina je vulkanosedimentární komplex, převážně se zde objevují kyselá



*Obrázek 9 Rytmičky zvrstvené sedimenty  
Zdroj: Kycl 2015b*

pyroklastika, tufity a v menším množství jemnozrnné sedimenty. Štěchovická skupina má v lokalitě podobu břidlic, prachovců a jemnozrnných drob. Tato několika set metrů mocná skupina hornin má charakter flyše, dochází zde k pravidelnému střídání vrstev jednotlivých hornin (Kycl 2015).

### 6.6.2 Příčiny řízení

Skalní útvary jsou v této lokalitě rozpukané a také poměrně hodně vrstevnaté, v některých místech jsou vrstvy rovnoběžné se svahem, jsou tak vytvořeny predisponované plochy. Kombinace těchto jevů dává predispozice pro odlučnost a rozpad hornin. Hlavní aktivním faktorem, který spouští svahový pohyb jsou klimatické vlivy, neopomenutelným faktorem však je také pohyb divoké zvěře, která může rozpohybovat volně ležící skalní fragment. Ve svahu byli zpozorováni mufloni a divoká prasata (Kycl, 2015b).

### 6.6.3 Sanace

V této lokalitě proběhly terénní rekognoskace, které trvaly celkem 7 dní, ze kterých pak v posudku České geologické služby vypracovaného v roce 2015 bylo doporučeno provést dočasná opatření, která zajistí bezpečnost provozu na silnici do doby, než proběhne plánovaný sanační projekt „Komplexní sanace skal II/102 ve směru Strnady – Štěchovice“. Posouzeno bylo celkem 22 stavebních objektů, u kterých byla určena míra rizika a v případě nutné sanace také způsob opatření (Kycl, 2015b).

Celkem tak bylo doporučeno instalovat 327 metrů betonových svodidel typu Jersey, povětšinou jde o doplnění stávajících polí, opravit a zkontrolovat 380 metrů palisád, vyčistit 17 m<sup>3</sup> akumulčního prostoru, odstranit 25 m<sup>3</sup> nestabilních objektů, zkontrolovat 200 metrů ochranných plotů a odstranit několik jednotek spadlých stromů (Kycl, 2015b).

### 6.7 Sesuv na dálnici D8 u Dobkoviček

Území postižené sesuvem se nachází nedaleko Dobkoviček, v úseku 56,300 až 56,500 dálnice D8. Postižena byla nejen nedostavěná silniční komunikace, ale také lom

a železniční trať v horní části sesuvu. Sesuv dosahuje šířky 170 až 200 metrů a délky 480 metrů. Smyková plocha



sesuvu je *Obrázek 10 Akumulační val sesuvu na dálničním tělese Zdroj: Kycl 2015a* v hloubce 4 až 9 metrů, na okrajích sesuvu i méně. Při sesouvání bylo přemístěno 380 000 m<sup>3</sup> materiálu. Sesuv svou velikostí a mírou, kterou poškodil rozestavěnou dálnici, železniční trať a lom je příkladem nemalého, nejen ekonomického významu svahových deformací (Kycl, 2015a).

### **6.7.1 Průzkumné práce**

Zahájení terénních průzkumných prací předcházelo vykácení lesního porostu a odstranění pařezů z oblasti sesuvu. Zprvu bylo provedeno inženýrskogeologické mapování, geofyzikální práce a geodetické práce, pomocí kterých byly přesně vytyčeny pozice průzkumných sond (kopané vrty, inženýrskogeologické vrty, hydrogeologické vrty, inklinometrické vrty). Vybudování příjezdových cest k místům, kde měly být vrtány průzkumné vrty, proběhlo ještě před 15. dubnem 2014, kdy byly započaty vrtné práce, jejich celková metráž dosahovala 439 metrů. Nedílnou součástí prací byl také monitoring, který zahrnoval metodu přesné inklinometrie, sledování pórových tlaků v některých vrtech a hladinu podzemní vody (Šindelář, Šíma, Komín 2014).

### **6.7.2 Popis sesuvu**

Pokryvné útvary obsahují kvartérní antropogenních materiály, které mají původ z odvalu v kamenném lomu nad odlučnou hranou sesuvu, mocnost těchto odvalových štěrků s příměsí jemnozrnných zemin dosahuje v horní části sesuvu až 12 metrů, a také z navážek kamenitého štěrku, které měly stabilizovat původní těleso dálnice, jejichž mocnost je u čela sesuvu až 9 metrů. V podloží těchto vrstev antropogenního původu se nacházejí kvartérní horniny a zeminy, převážně hlinité až štěrkovité jíly. Ve střední části sesuvu se objevují převážně hlinité až jílovité zeminy s vysokou plasticitou, tyto zeminy pak s hloubkou přecházejí do písčitých a dále štěrkovitých hlín a jílu až do hloubky 6,5 metrů. Při bázi těchto vrstev byla identifikována smyková plocha (Šindelář, Šíma, Komín, 2014).

Hlavní složkou předkvartérního podloží jsou terciérní horniny. Mají jílovitý charakter a uhelnou příměs, většinou však jde o vulkanoklastika, především zcela zvětrané tuffy s příměsí písku nebo štěrku. Objevují se zde bazaltové balvany a slínovce (Šindelář, Šíma, Komín, 2014).

Hydrogeologické poměry jsou komplikované, nacházejí se zde vyvřeliny s nízkou průlinovou propustností i křídový horizont s vysokým zvodněním (Šindelář, Šíma, Komín, 2014).

### 6.7.3 Rozbor příčin

Postižené území se nachází v inženýrskogeologickém regionu neovulkanitů v Českém masivu (Matula, Pašek 1985). Tento region je charakteristický svou náchylností k sesouvání, to potvrzuje také inženýrskogeologický průzkum, který odhalil přítomnost starších smykových ploch v místě sesuvu určující predispozice k sesouvání již v historii. Tektonické porušení při sesuvu také sehrálo svou roli, objevují se zde linie, které ohraničují z boku sesuv a jsou rovnoběžné se spádníci svahu. Významným faktorem při vzniku sesuvu bylo dlouhodobě zvýšené zvodnění svahu. Ze svahu nad lomem voda z přívalových toků odtékala do prostoru lomu, kde se díky zpevněnému povrchu nemohla intenzivně vsakovat do půdy, odtékala tak do prostoru svahu a teprve tam pak docházelo ke vsakování. Do svahu pod lomem tak přitékalo nadměrné množství vody, docházelo ke zvýšení pórových tlaků a tím i ke zhoršení stabilitních poměrů. Rozhodující vliv pak měly intenzivní srážky, které proběhly 10 dní před sesuvem, kdy během těchto dní spadlo téměř 500% srážek oproti dlouhodobému průměru (Šindelář, Šíma, Komín 2014).

### 6.7.4 Sanace

Pro úspěšnou sanaci, která zajistí obnovení dálničního tělesa je nezbytné svah kvalitně odvodnit a zabránit tak zvyšování pórových tlaků. Odvodnění proběhne ve dvou úrovních. V úrovni svrchní zvodně, která je vázána na bázi kvartéru, bude vybudována drenáž pomocí hloubkových odvodňovacích žeber, a to jak nad úrovní stávající železniční tratě, tak v prostoru u paty svahu. Voda z žeber bude odvedena subhorizontálními vrty na povrch do vodoteče. Dalším odvodňovacím systémem svrchní zvodně bude variantní systém šachet, ty budou vedeny mimo sesuv nad úrovní železniční tratě a v prostoru paty svahu. Odvodnění druhé, spodní úrovně zvodně, která je v úrovni 15 až 25 metrů pod terénem, proběhne až v další etapě sanačních prací, technologie a postup prací ještě není definitivně určena (Šindelář, Šíma, Komín 2014).

V rámci terénních úprav budou odstraněny drobné prohlubně zachycující vodu a plošné povrchové odvodnění v podobě mělkých příkopů. Z tělesa dálnice budou odtěženy sesuté zeminy a v rámci vylepšení bilance pasivních a aktivních sil v sesuvu za účelem zvýšení stupně bezpečnosti budou u paty svahu doplněny zeminy, vznikne tak stabilizační lavice, která bude odvodněna při její bázi plošným kamenným drénem (Šindelář, Šíma, Komín 2014).

Navrhovaná varianta sanačních prací počítá s vybudováním dvou pilotových stěn. První by měla být vybudována nad tělesem dálnice, pod stabilizační lavicí. Tato zdvojená pilotová stěna by měla být kotvena na třech úrovních. Druhá stěna, umístěná pod tělesem dálnice by měla být kotvena na úrovni terénu. U obou stěn je dána jejich hloubka rozhraním s tvrdými slínovci. Obě stěny jsou navrženy jako propustné pro podzemní vodu (Šindelář, Šíma, Komín, 2014).

## 6.8 Sesuv u Třebenic na železniční trati Čížkovice - Obrnice

Na železniční trati nedaleko Třebenic došlo ke svahovým pohybům v historii již mnohokrát. Podle starousedlíků v oblasti došlo k pohybům koncem 19. století při zvýšeném srážkovém úhrnu. Již zdokumentované velké svahové deformace zde nastaly v roce 1939, kterým předcházely plouživé pohyby (Pašek, 1964). Menší svahové pohyby probíhaly i nadále,

vzniklé deformace nedaleké silnice a železničního tělesa byly opravovány přisypáváním hmot. Až v roce 1970 pak bylo přistoupeno na samotnou sanaci, která se však soustředila pouze na nejkritičtější oblast,



v místě, kde se kříží silnice s tratí. V prosinci 1981

*Obrázek 11 Přerušení drážního tělesa v místě křížení se silnicí.  
Zdroj: Rybář, 1982*

došlo vlivem obnovených svahových pohybů k přerušení trati a provoz zde byl zastaven, porušena byla také silnice, na které vznikla trhлина a byla zavalena akumulacním valem sesuvu (Rybář, Kudrna, 1983).

### 6.8.1 Provedené práce

Průzkum, který započal v červnu 1982, měl za úkol objasnit příčiny svahových pohybů a navržení sanačních opatření. V první fázi byly prozkoumány převzaté a rešeršní dokumenty. Dále proběhlo inženýrskogeologické mapování, vrtné práce, byla snaha o využití vrtů, hloubených při průzkumu v roce 1970, ale tyto vrty byly často zdeformované a ne zcela průchodné. V poslední fázi pak proběhly vyhodnocovací práce, které se opíraly o převzaté a archivní podklady (Rybář, Kudrna, 1983).



*Obrázek 12 Původně svislý odvodňovací vrt z roku 1970. Zdroj: Rybář, 1983*

### 6.8.2 Popis sesuvu

Při inženýrskogeologickém průzkumu bylo sesuvné území rozděleno na 3 sesuvy označené písmeny (A, B, C) (Rybář, Kudrna, 1983).

Sesuv A se nachází kolem místa křížení silnice s železniční tratí, mezi 6,785 a 7,030 kilometrem trati. Sesuv koncem roku 1981 se zastavil v počáteční fázi a hrozilo nebezpečí dalšího pohybu. V roce 1970 probíhal v tomto místě sesuv, jehož porušená plocha byla odhadnuta na 15 000 m<sup>2</sup>, v roce 1981 již porušená plocha dosahovala 41 300 m<sup>2</sup>. Rozdíl mezi nevyšším a nejnižším bodem



*Obrázek 13 Odlučna trhlina u levého boku sesuvu A. Zdroj: Rybář, 1982*

sesuvu je 51 metrů, sklon svahu je přibližně 11°, šířka i délka sesuvu dosahovala 300 metrů, mocnost sesutých hmot je asi 8 metrů (Rybář, Kudrna, 1983).

Sesuv B postihl trať v úseku mezi 6,3 a 6,450 kilometrem. Výškový rozdíl mezi nejnižším a nejvyšším bodem sesuvu byl 22 metrů. Jeho délka dosahovala 110 metrů a

šířka 85 metrů. Podobně jako sesuv A je sklon svahu v místě sesuvu asi 11°. V odlučné oblasti sesuvu bylo možné pozorovat pokles v odlučných trhlinách až o 0,7 metru. Čelní valy a boční omezení jsou místy velmi špatně zřetelné (Rybář, Kudrna 1983).

Sesuv C nepoškodil železniční trať, ale zasáhl pouze vozovku. Ta byla porušena místy trhlinou se skokem až 1 metr. Sesuv byl dlouhý 90 metrů a široký 105 metrů. Akumulační oblast sesuvu byla vyvinuta až pod silnicí, kde čelní valy dosahovaly výšky 2 metrů (Rybář, Kudrna, 1983).

Lokalita je vázaná na svrchnokřídové vápnné prachovité jílovce až slínovce, s málo zřetelnou subhorizontální vrstevnatostí. Původní uložení sedimentů je patrné až v hloubkách nad 10 metrů. Povrch těchto sedimentů je krytý zvětralinami, většinou prachovými jíly s úlomky pevných vápnných jílovců a lokálně zvětraliny obsahují i čediče vulkanického původu přemístěné svahovými pohyby z vyšších poloh svahu. (Pašek 1964). Silně navětralé zeminy mají při povrchu rezavě hnědé zbarvení a směrem do hloubky pak přecházejí do sedavě zelena. V okolí silničního a železničního tělesa se vyskytují antropogenní nestejnorodé navážky (Rybář, Kudrna, 1983).

### **6.8.3 Příčiny a průběh sesouvání**

Zvětraliny vápnných jílovců, které v pokryvných útvarech převažují, jsou vhodné pro vznik svahových pohybů. Geomorfologie okolí je zde také výhodná, popisované sesuvy vznikl na svazích, dostatečně strmých pro sesouvání, jejich uklonění přesahuje 11°. Během několika desítek let se projevovaly svahové pohyby v lokalitě, místo kompletní sanace však bylo železniční i silniční těleso pouze dosypáváno různými hmotami, provoz byl sice rychle na komunikacích obnoven, ale stabilita svahu byla zhoršena, když pak bylo v roce 1970 přistoupeno k sanaci svahu, nebyla provedena dostatečně dobře a z dlouhodobého hlediska došlo spíše ke zhoršení stability svahu (Rybář, Kudrna, 1983).

Při měření ve vrtech se zjistilo, že hladina podzemní vody výrazně kolísá v závislosti na srážkových úhrnech, tomuto faktu také napomáhalo to, že starý drenážní systém byl neudržovaný a zanedbaný, v době, kdy spadne nadměrné množství srážek tak často hladina podzemní vody dosahuje téměř úrovně terénu, v nasyceném prostředí jsou pak pevnostní parametry zemin výrazně zhoršeny a může snadněji dojít ke ztrátě



stability svahu. Nakonec se ukázalo, že tento faktor, nepříznivých hydrogeologických podmínek v kombinaci se zanedbaným drenážním systémem a zvýšenými srážkovými úhrny v červenci a v říjnu roku 1981 se stal spouštěcím pro svahové pohyby koncem roku 1981 (Rybář, Kudrna, 1983).

#### **6.8.4 Doporučená sanace**

V možnosti obnovení provozu na trati se nabízely dvě volby, obnovit drážní těleso v původní trase nebo vybudovat nové drážní těleso (Rybář, Kudrna, 1983).

Pro zabezpečení svahu se nabízelo několik možností sanace svahu, jejich vhodná kombinace by pak měla přinést dlouhodobou stabilitu svahu. Na svahu se nacházelo množství zamokřených míst, bezodtokých depresí a pramenů, pro likvidaci těchto jevů bylo doporučeno vybudovat systém odvodňovacích příkopů, součástí melioračních úprav je vysadit vhodnou vegetaci. Za horní hranou svahu by měla být vybudována podzemní těsnicí stěna, která by omezila přítok podzemních vod z infiltrační oblasti. Ve svahu by byla vytvořena síť odvodňovacích studní. Některé úseky, které byly nejvíce postiženy sesuvem a lze očekávat jejich opětovné poškození by byly lemovány vrtanými kotvenými pilotovými stěnami, které by byly zapuštěny až do předkvartérním podkladu. Dále by drážní těleso mohlo být umístěno na mostní konstrukci, která by byla založena na pilířích sahajících až do předkvartérního podkladu. Jako inovativní metoda v době, kdy byla sanace navrhována, bylo také doporučeno zpevnění svahu jílocementovou injektáží (Rybář, Kudrna, 1983).

#### **6.8.5 Provedené sanační práce**

Projekt sanačních prací vypracovala společnost ČSD – PSD Ústí nad Labem. Podle projektu bylo v lokalitě vybudované povrchové odvodnění, Hloubkové odvodnění pomocí vsakovací stěny a protlaků, byla zde zřízena pilotová stěna u trati i nad tratí, znovu bylo vybudované železniční těleso (Vrba, 1984).

Vlastní provedené práce se poměrně výrazným způsobem shodovaly s doporučenými opatřeními, navrženými na základě inženýrskogeologického průzkumu pracovníky Ústavu geologie a geotechniky ČSAV.

## 6.9 Sesuv na silnici III/237 u Nového Strašecí

17. června 2010 zaznamenala Česká geologická služba v zářezu silnice III/237 k.ú. Nové Strašecí známky pohybové aktivity v místě sesuvu. Začátkem roku 2011 nastalo teplejší období se zvýšeným množstvím srážek, které v kombinaci s táním sněhu oživilo sesuvné procesy a sesuv se tak rozšířil do jeho konečné podoby. Akumulací sesuvu vysokou 1 až 2 metry byl zavalen jeden jízdní pruh silnice a byla proražena svodidla (Kycl, 2011).



*Obrázek 14 Akumulační oblast natlačená do jízdního pruhu. Zdroj: Kycl, 2011*

### 6.9.1 Popis sesuvu

Sesuv se pohyboval podle složené rotačně planární smykové plochy, její hloubka je odhadována mezi 1 až 3 metry, dosahoval délky 26 metrů, ve spodní části byl široký 22 metrů a v horní části 16 metrů. Došlo k poklesu odlučné hrany o 2 metry (Kycl 2011).

Zájmové území je zastoupeno Bělohorským souvrstvím, v jeho podloží pak nalezneme Perucko-Korycanské podloží na jehož bázi jsou hrubozrné slepence až pískovce. Nadložní bělohorské souvrství je tvořeno střípkovitě rozpadavými jílovci, které jsou překryty svahovinou s úlomky opuky. Směrem do hloubky pak následuje Perucko-Korycanské souvrství, které je tvořeno lavicovitými pískovci o mocnosti vrstev přesahujících 1 metr, tyto pískovce jsou výrazně tektonicky porušené a křídové jílovce, právě ty tvoří smykovou plochu tohoto sesuvu (Kycl, 2011).



*Obrázek 15 Stromy šavlovitého tvaru, naznačující dlouhodobý plouživý pohyb. Zdroj: Kycl, 2011*

## 6.9.2 Příčiny svahového pohybu

Již při budování zářezu došlo ke změně geometrie svahu, která zapříčinila zhoršení jeho stability, dlouhodobě tak docházelo k plouživým pohybům, to je patrné z tvaru kmene stromů rostoucích ve svahu, do ploužení vzniklých trhlin zatékala voda a zvyšovala v nich tlak. Oteplení, zvýšení srážek a nadměrné tání sněhu v lednu roku 2011 zvýšilo množství vody infiltrované do svahu, došlo ke zvýšení pórových tlaků v horninovém prostředí a ke zhoršení geotechnických parametrů jílovců. Rychle dosažené nadměrné zvodnění horninového prostředí tak můžeme považovat za finální faktor zapříčiňující sesunutí svahu (Kycl, 2011).

## 6.9.3 Doporučená sanace

Pro zabezpečení tohoto sesuvu menších rozměrů bylo Českou geologickou službou doporučeno provést zprvu úpravu povrchu, která spočívala v postupném odtěžení akumulace sesuvu, zemní práce by měly probíhat v co nejsušším klimatickém období, aby nedocházelo k obnovení sesuvu při postupném odstraňování sesunutého materiálu. Rovnoběžně s krajnicí měla být vybudována gabionová zeď, dosahující výšky 2 metrů nad terénem a délky 30 metrů. Kvůli nebezpečí, jaké s sebou nese zvýšená saturace horninového prostředí vodou, bylo součástí doporučení také provedení odvodnění pomocí odvodňovacího rigolu nad hranou sesuvu, který by zachycoval a odváděl povrchovou vodu, která přitéká v době zvýšených srážkových úhrnů z mírně ukloněné plošiny nad sesuvem a vybudování kamenného žebra, které by odvodňovalo zářez, ale také by sloužilo jako stabilizační prvek (Kycl, 2011).

## 6.9.4 Provedené sanační práce

Při zběžném posouzení, pracovníky geologické služby Ing. P. Kyclem a RNDr. P. Zelenkou dne 21. 9. 2011, vhodnosti provedených prací, se zdál být rozsah prací předimenzovaný. Namísto navrhovaného řešení byl odtěžen materiál v celé výšce



Obrázek 16 Prováděné sanační práce. Zdroj Kycl 2011

sesuvu v délce 90 metrů a mocnosti 5 metrů, Celkem tedy bylo odtěženo asi 8000 m<sup>3</sup> hornin, poté pomocí kamenných rohoží byl profil svahu dorovnan do původního tvaru (Kycl, Zelenka, 2011).

## **7 Závěr**

Cílem bakalářské práce bylo, jak je zmíněno v úvodní kapitole, zpracování příkladů svahových pohybů v České republice, které postihly dopravní stavby. Tento účel práce splnila, jen v několika případech se mi nepodařilo získat úplnou dokumentaci k jednotlivým událostem. Nejčastěji byl problém obstarat informace o provedených sanacích, nemohl jsem tak porovnat skutečně provedené sanační práce s navrhovanými pracemi v inženýrskogeologickém průzkumu.

V práci je celkově popsáno 9 lokalit, které byly postiženy svahovými pohyby. Jednotlivé sesuvy a skalní řízení byly vybrány podle svého ekonomického významu, díky svojí zajímavosti nebo neobvyklému způsobu provedení sanačních prací.

Sanační metody jsou v dnešní době již efektivnější a to díky využití některých moderních technologií, ale také díky využití matematického modelování, které bylo možné výrazněji rozvinout až s nástupem počítačové techniky. Problémem některých zejména starších svahových pohybů je často nedokonalá sanace z důvodu šetření nákladů, která zajišťuje mnohdy pouze krátkodobé řešení. Existují ale i případy jako skalní řízení v Labském údolí, kde vzhledem k podmínkám dlouhodobé řešení a bezpečnost na silniční komunikaci zajišťuje kvalitní monitoring, stabilitu skalní stěny však dlouhodobě zajistit nelze.

Každý sesuv nebo řízení je specifické a pro vznik takovéto události musejí být také vhodné podmínky a faktory. I přes vývoj oblasti výzkumu svahových pohybů k nim stále dochází a docházet bude, protože jde o přírodní procesy, které mohou být velmi nevyzpytatelné. Možností jak eliminovat škody při výstavbě dopravních staveb je provádět podrobný inženýrskogeologický průzkum a volit výstavbu pokud možno po nejbezpečnější trase.

## 8 Zdroje

ATKINSON, J. (1993). An introduction to the mechanics of soils and foundation. McGraw-Hill Book company Europe.

BENDA, J. – LIDMILA, M. (2007). Ochrana svahů před povrchovou erozí pomocí buněčného zpevňovacího systému GEOWEB®. Časopis Geotechnika 3/2007

BOHÁTKOVÁ, L. (2007). Sanace sesuvu na silnici I/35 u tunelu Hřebeč a jeho komplexní monitoring. Časopis Geotechnika 3/2007. Str. 36 – 38.

BOMONT, S. - MRVÍK, O. (2009). Examples of stabilisation of coastal landslides by innovative deep drainage systems. 9th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2009

BOUAZZA, A. (2002). Geosynthetic clay liners. Geotextiles and Geomembranes 20 (2002)

CROSTA, G., B. – FRANTTINI, P. – DI PRISCO, C. Approaches to rainfall-induced landslides forecasting. Landslides and engineered slopes: protecting society through improved understanding: proceedings of the 11th International and 2nd North American symposium on landslides and engineered slopes, Banff, Canada 2012. Boca Raton, Flor: CRC Press, 2012. ISBN 9780415621236.

ČASOPIS STAVEBNICTVÍ. <http://www.casopisstavebnictvi.cz/>

ĎUROVE, J. – SEKYRA, J. (2014). Křižany – sanace velkého sesuvu na trati Liberec – Česká Lípa. Sborník 42. Konference Zakládání staveb Brno 2014. ČGtS ČSSI Praha, 2014. Str. 41 – 46.

GEOWEB® product catalog (2014). Printed in the U.S.A. © 2014 Presto Geosystems®

HATTAB, M. (2011). Critical state notion and microstructural considerations in clays. C. R. Mecanique 339 (2011)

HROCH, Z. (1999). Svahové pohyby po povodních v roce 1997 a úloha státní geologické služby. Časopis Geotechnika 2/99. Str. 2 – 4.

HRUBEŠOVÁ, E. – KOVÁŘ, L. – POSPÍŠIL, P. – CUADROS, T., L. (2014). Možnosti využití geovaků pro stabilizaci svahových těles. Sborník 42. Konference Zakládání staveb Brno 2014. ČGtS ČSSI Praha, 2014. Str. 76 – 78.

HUNGR, O. – LEROUEIL, S. – PICARELLI, L. Varnes classification of landslides types, an update. Landslides and engineered slopes: protecting society through improved understanding: proceedings of the 11th International and 2nd North American symposium on landslides and engineered slopes, Banff, Canada 2012. Boca Raton, Flor: CRC Press, 2012. ISBN 9780415621236.

KASOVÁ, J. (2013). Projekt sanačních opatření km 128,200 – 128,250 Rynoltice – Křižany. ARCADIS a.s., divize Geotechnika

KOZLOVSKII, E., A. – YOUNG, C., P. – HUTCHINSON, J., N. (1988). Landslides and Mudflows: (in Two Volumes). UNEP/Unesco, 1988

KYCL, P. (2011). Inženýrskogeologické posouzení sesuvu na silnici III/237 v k.ú. Nové Strašecí.

KYCL, P. – ZELENKA, P. (2011). Nálezová zpráva: Realizace sanačních opatření na sesuvu v zářezu silnice č. III/237, k.ú. Nové Strašecí

KYCL, P. (2015a). D8 motorway Dobkovičky landslide: the case history and repair options. Prague Geotechnical Days 2015, Landslides – Role of geology and Geotechnics. Str. 32 – 34.

KYCL, P. (2015b). Posouzení stability masivu podél silnice II/102 v úseku Strnady – Štěchovice s ohledem na bezpečnost silničního provozu.

LIPPOMANN, R. – KLEY, G., M. (2002). Engineering structures for landslide control. Landslides: proceedings of the First European Conference on Landslides: Prague, Czech Republic, 2002. Lisse: A.A. Balkema, 2002, xiv, 734 s. ISBN 90-5809-393-x.

MATULA, M. – PAŠEK, J. (1985) Regionálna inžinierska geológia ČSSR

MÍSAŘ Z. – DUDEK A. – HAVLENA V. – WEISS J. (1983): Geologie ČSSR I, Českým masív. — Státní pedagogické nakladatelství. Praha.

NĚMČOK, A. – PAŠEK, J. – RYBÁŘ, J. (1974). Dělení svahových pohybů. Sbor. geologických věd, ř. HIG, 11, 1974. Str. 77 – 97.

PASTERNAK, S., C. – GAO, S. (1988). Numerical methods in the stability analysis of slopes. Computers and structures vol. 30 (1988).

PAŠEK, J. (1964). Zpráva o podrobném geologickém průzkumu sesuvu u Třebenic. Geologický ústav ČSAV odd. inženýrské geologie

RYBÁŘ, J. – KUDRNA, Z. (1983). Zpráva o inženýrskogeologickém výzkumu sesuvů u Třebenic na železniční trati Čížkovice – Obrnice. Ústav geologie a geotechniky ČSAV

RYBÁŘ, J. – PAŠEK, J. (1975) Sesuv železničního násypu v Košťálově – Geologický ústav ČSAV

RYBÁŘ, J. – ZVELEBIL, J. (1979). Výzkum stability skalních stěn v chráněné krajinné oblasti Labské pískovce. Časopis geologický průzkum 3/1979.

RYBÁŘ, J. (1999). Rozbor příčin zvýšeného výskytu svahových deformací v České republice v červenci 1997. Časopis Geotechnika 2/99. Str. 9 – 20.

- SAWYER, D., S. – FLEMINGS, P., B. – BUTTLES, J. – MOHRIG, D. (2012). Mudflow transport behavior and deposit morphology: Role of shear stress to yield strength ratio in subaqueous experiments. *Marine Geology* 307–310 (2012)
- SCHUSTER, R., L. – WIECZOREK, G., F. (2002). Landslide triggers and types. *Landslides: proceedings of the First European Conference on Landslides: Prague, Czech Republic, 2002*. Lisse: A.A. Balkema, 2002, xiv, 734 s. ISBN 90-5809-393-x. Str. 62 – 75.
- SIMONI, A. – BERTI, M. – GENERALI, M. – ELMI, C. – GHIROTTI, M. (2004). Preliminary result from pore pressure monitoring on an unstable clay slope. *Engineering Geology* 73 (2004).
- STEMBERK, J. – SUCHÝ, J. – NÝDL, T. (1997). Posouzení stabilitních poměrů svahů podél železniční trati v úseku Valašské meziříčí.
- STRÁNKY SPOLEČNOSTI ARCADIS CZ a.s. <http://www.arcadis.cz/Projects>
- ŠINDELÁŘ, J. – ŠÍMA, J. – KOMÍN, M. (2014) – Technická průvodní zpráva - Provedení geotechnického/inženýrsko-geologického průzkumu pro zpracování PD na sanaci území postiženého svahovými pohyby. MS AZ Consult, spol. s.r.o.
- VOJTASÍK, K. – MOHYLA, M. – HÖCHSMANN, T. (2014). Stabilizace zemin síťovou strukturou z hřebíků. Sborník 42. Konference Zakládání staveb Brno 2014. ČGtS ČSSI Praha, 2014. Str. 65 – 68.
- VOJTĚCHOVSKÁ, A. – SEKYRA, Z. – TLAMSA, J. – NOVÁK, M. (2013). Závěrečná zpráva inženýrskogeologického průzkumu, Rynoltice – Křižany, projekt sanačních opatření km 128,200 – 128,250. ARCADIS a.s., divize Geotechnika
- VRBA (1984), Projektový úkol stavby: Třebenice – sanace sesuvu trati Čížkovice – Obrnice km 6,3 – 7,1. ČSD – Severozápadní dráha Praha
- ZÁRUBA, Q. – MENCL, V. (1969). Sesuvy a zabezpečování svahů. Academia Praha
- ZÁRUBA, Q. – MENCL, V. (1974). Inženýrská geologie. Academia Praha
- ZVELEBIL, J. (1984). Skalní zřícení u Hřenska a jeho prognóza. *Časopis geologický průzkum* 10/1984.