UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE, PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užité geofyziky

Inženýrskogeologické problémy liniových silničních a železničních staveb

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Lukáš Janků

Vedoucí: Ing. Jan Novotný, CSc.
Konzultant pro matematický model: doc. RNDr. David Mašín, Ph.D.

Praha, červen 2011

Poděkování:

V první řadě děkuji Ing. Novotnému za vedení mé práce, za cenné rady a za trpělivost. Vypracování této práce by bylo rovněž mnohem obtížnější bez pomoci celé řady lidí. Mé díky patří proto všem následujícím (uvedeni v abecedním pořádku): Bc. Böhmové, doc. Drozdovi, Ing. Hládkové, Ing. Krestovi, Dr. Mašínovi, E. Novotné, Ing. Novotné, L. Srutové, Mgr. Tichému, Ing. Tomáškovi, Ing. Vísnerovi, J. Warnesovi, Bc. Zikovi, pracovníkům firmy Strix Chomutov a mnohým dalším. Také děkuji správě ŘSD za umožnění přístupu k některým zprávám a informacím jinak podléhajícím blokaci. Další díky patří Mgr. Botlíkové, jejíž diplomová práce *Případy inženyrskogeologických problemů rodinných domů a obdobných malých staveb* mi nevyhnutelně posloužila jako inspirace, převážně co se týká struktury práce. V neposlední řadě pak děkuji své rodině a přátelům za podporu.

V Praze dne 1.6.2011

Lukáš Janků

Obsah:

1. ÚVOD 5

1.1. Konstrukce silničních těles 6

1.2. Konstrukce železničního tělesa 6

2. KLASIFIKACE INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝCH PROBLÉMŮ LINIOVÝCH DOPRAVNÍCH STAVEB 7

2. 1. Problémy spojené se zemní plání a s tělesem komunikace 8
2.1.1. Únosnost a kvalita provedení zemní pláně, resp. aktivní zóny komunikace 8
2.1.2. Objemové nestálé zeminy v podloží komunikace, resp. její aktivní zóně 9
2.1.3. Problémy s odvodněním komunikace 10

2. 2. Problémy spojené se stavbou a provozem těles násypů 11
2. 2. 1. 1. Mezní stav násypů a jejich podloží 11
2. 2. 2. 2 .Mezní stav násypů a jejich podloží 12
2. 2. 3. Technologická nekázeň při provádění násypů 12
2. 2. 4. Problémy s využitím zemin do násypu 13

2. 3. Problémy spojené s budováním a provozem zářezů 13
2. 3. 1. Nestabilita zemních svahů zářezu 13
2. 3. 2. Nestabilita skalních svahů zářezu 14
2. 3. 3. Problémy s určením těžitelnosti 15

2. 4. Původní nestabilita území 15

2. 5. Ovlivnění komunikace podzemní vodou a naopak 17
2. 5. 1. Ovlivnění hydrogeologického režimu okolí 17
2. 5. 2. Ovlivnění komunikace či jejího okolí hydrogeologickými podmínkami či jejich změnou 18

2. 6. Problémy spojené s poddolováním 18

2. 7. Problémy spojené s erozní činností povrchových vod 19

2. 8. Problémy spojené s vlivem vegetace 20
2. 8. 1. Změny vlhkosti zemin v důsledku vegetace 20
2. 8. 2. Problémy spojené s prorůstáním kořenů 20

2. 9. Ovlivnění komunikace výstavbou či provozem jiného objektu 20

3. PŘÍKLADY INŽENÝRSKOGEOLOGICKÝCH PROBLÉMŮ 21

3. 1. Rešeršní případy 21
3.1.1. Abertamy 21
3.1.2. Bystřička 23
3.1.3. Čabranka 24

3.1.4. D3 - Mezno - Mitrovice 26
3.1.5. D8 - Trmice - Knínice 28
3.1.6. D47 (D1) – Ostrava 30
3.1.7. Davle – Žižkův Vrch 32
3.1.8. Děčín - Hřensko 33
3.1.9. Horní Ležany 35
3.1.10. Hřebeč 37
3.1.11. Hřensko 39
3.1.12. Jilešovice 41
3.1.13. Košťálov 43
3.1.14. Las Vegas 46
3.1.15. Medlovice 47
3.1.16. Most 49
3.1.17. Praha - Trója 51
3.1.19. R6 - Jenišov 53
3.1.20. Strážný 55
3.1.21. Turnov 56
3.1.22. Vráž – Bavoryně 58
3.1.23. Zlaté Moravce – Lužianky 59

3. 2. Příklady dokumentované autorem 60
3.2.1. Brandýsek 61
3.2.2. D11 - Voleč 65
3.2.3. Drahotuše 70
3.2.4. Nové Dvory - Sušice 71
3.2.5. R7 – Brandýsek 74
3.2.6. Raspenava - Frýdlant 77
3.2.7. Štěchovice - Davle 79

4. MATEMATICKÉ MODELY 83

4. 1. Matematický model násypu na lokalitě Nové Dvory - Sušice 83
4. 1. 1. Cíle a vstupní data modelu 83
4. 1. 2. Metodika výstavby modelu 85
4. 1. 3. Závěry na základě vytvořeného modelu 86

4. 2. Model sesuvů na lokalitě D11 – Voleč 86
4. 2. 1. Cíle a vstupní data modelu 86
4. 2. 2. Metodika výstavby modelu 88
4. 2. 3. Závěry na základě vytvořeného modelu 89

5. ZÁVĚR 90

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK 91

6. POUŽITÁ LITERATURA 93

6.1. Seznam použitých norem a TP 100

1. Úvod

Problematice liniových dopravních staveb není mezi odbornou veřejností často věnována větší pozornost. Jedná se o konstrukčně velmi jednoduché, a tedy pro odbornou veřejnost často nezajímavé stavby. Poruchy s nimi spojené mají pak často podobný charakter a nebývají hojně publikovány, snad s výjimkou větších a zajímavějších případů, jakým byl například v posledních letech případ sesuvu u tunelu Hřebeč, či případů významných mediálně. Přesto při jejich poruchách může docházet ke značným finančním ztrátám a komplikacím v důsledku přerušení dopravy. Zároveň se jedná o stavby mimořádně rozsáhlé. K 1.1.2011 bylo v České Republice 55 752 km silnic (*ŘSD, 2011*), délka železnic v r. 2003 byla 9492 km (*SŽDC, 2003*).

Cílem této práce je proto pokusit se vytvořit jednotnou typologii inženýrskogeologických problémů liniových dopravních staveb na našem území, jejich mechanismů a projevů a jednotlivé typy problémů ukázat na příkladech z praxe. V první fázi je cílem této práce vytvořit samu klasifikaci problémů a teoreticky pojednat o jejích jednotlivých bodech. Přestože v oblasti liniových dopravních staveb, především silničních, již určité dělení poskytují např. *TP 62, TP 82* a *TP 131,* jedná se o klasifikace jinak zaměřené, a proto jsou pro použití v rámci inženýrské geologie často příliš obecné. V této části jsem využil jak rešerší z odborné literatury a článků, tak znalosti získané během studia a během zpracovávání druhé části práce.

Cílem druhé části práce je pak ukázat na případech z praxe příklady jevů zmíněných v první části. Ve druhé části se vyskytují jak případy rešeršní, tak případy dokumentované přímo autorem. Rešeršní případy jsou sesbírány z řady zdrojů: zpráv z archivu České Geologické Služby - Geofondu, kde se však nachází relativně málo zpráv týkajících se novějších příkladů a ty bývají často blokovány; z článků v časopisech a ze sborníků z konferencí; ze zpráv z osobních archivů jednotlivých odborníků z praxe, z archivů firem či přímo z archivu investorů a z materiálů a manuskriptů, zaslaných v rámci osobní korespondence. V těchto případech jsem se rovněž pokoušel si na situaci vytvořit vlastní názor, případně k případu dohledat další informace, tento komentář je pak uveden v závěru každého případu. V rámci případů dokumentovaných autorem byla snaha zaměřit se na případy případy, které v době dokumentace ještě nebyly v odborné literatuře plně publikovány.

Liniové stavby ze své povahy často procházejí napříč různými geologickými strukturami a podmínkami. Na rozdíl od většiny klasických staveb je možné se v případě silnic a železnic setkat v rámci jednoho úseku s mnoha rozdílnými inženýrskogeologickými podmínkami a problémy. Může se jednat jak o změny horninových typů v podloží a stupně jejich zvětrání, významných především u zářezů a odřezů, tak i s různou orientací nářezů a násypů vzhledem k dominantním směrům diskontinuit, změny zemin v aktivní zóně, různé hydrogeologické poměry a podobně. Požadavek plynulého vedení nivelety bez prudkých stoupání či klesání pak často vede ke střídání úseků vedených na násypech a v zářezech, místy i značných výšek, resp. hloubek a tedy i značných objemů (například při stavbě silnice R6 v úseku Praha - Pavlov dosahoval celkový objem zemních prací přes 1 800 000 $m^{3,}$ *ŘSD, 2010b*).

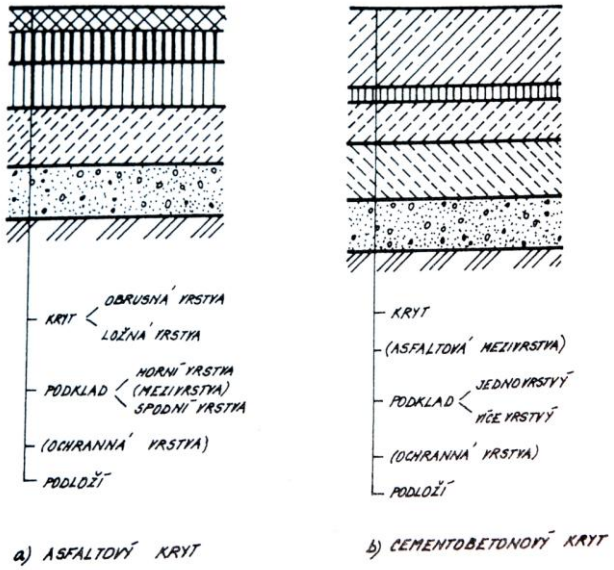
Vzhledem k výše zmíněnému většímu rozsahu silniční sítě oproti železniční a k tomu, že silniční síť je v současné době rozšiřována výrazně více než síť železniční kladu v této práci primární důraz na problémy a problematiku silničních staveb. Tomu je přizpůsobena i použitá terminologie, proto je v některých případech pro jednoduchost použit například termín „komunikace“ jako souhrnné označení pro komunikace i pro železniční tratě.

Tato práce se pak primárně zaměřuje na problémy, které mohou vznikat na území České republiky. Z toho důvodu není v práci zmiňována problematika aktivního vulkanismu, přirozené seismicity a podobně. Pakliže jsou v této práci ukázány příklady ze zahraničí (Slovensko, USA, Chorvatsko), jedná se vždy o případy nezávislé na tamních specifických podmínkách a tedy případy, jež by se na území České republiky stát mohly.

Tato diplomová práce vychází z mé bakalářské práce, částečně ji prohlubuje a rozšiřuje. Některé případy, zpracované v ní jsem proto v upravené podobě použil i zde, v jiných místech se na ni pak odkazuji.

1.1. Konstrukce silničních těles

Těleso vozovky má podobu vrstevnaté tuhé či polotuhé konstrukce, uložené na zemní pláni. Ochranná vrstva má charakter zemního tělesa, sloužícího především k ochraně podloží před promrzáním a přímo s ním interagujícího. V případě vhodných parametrů zemní pláně pak může být zcela vypuštěna (*Kaun a Luxemburk, 2002*). Funkcí podkladních vrstev je poté roznášení zatížení z krytu vozovky na ochrannou vrstvu či zemní pláň. Kryt, ať už asfaltový či cementobetonový, poté představuje samotný povrch vozovky, po němž se pohybují vozy a na nějž se promítají deformace podložních vrstev. Detailnější složení konstrukce vozovky není pro tuto práci důležité.

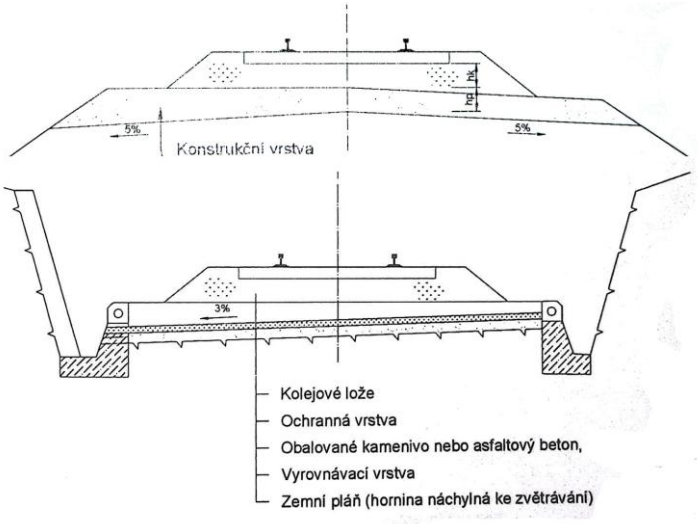


OBRÁZEK 1: DVA ZÁKLADNÍ TYPY KONSTRUKCE VOZOVEK – S ASFALTOVÝM A CEMENTOBETONOVÝM KRYTEM. KAUN A LUXEMBURK, 2002

V případě silničních staveb a jejich zemních těles je dle platných norem (*TP 170)* dovolena určitá míra porušení. Ta může na konci návrhového období (pro komunikace stavěné v současnosti je to dle *TP 170* 25 let) představovat méně než 1% plochy pro dálnice, rychlostní silnice a silnice I. třídy a méně než 5% plochy pro silnice II. a III. třídy. V praxi lze tedy říci, že je-li po 25 letech po zbudování zářezu rychlostní komunikace, dlouhého 1000 m, postiženo sesuvy méně než 10 m zářezu, jedná se o přípustnou hodnotu. Přestože je tento postup uplatňován, v této práci budu nadále vycházet z inženýrskogeologického přístupu k problematice, tedy z teorie, že poruchy silničního tělesa jsou problematickým jevem a je třeba nalézt způsoby, jak jim zabránit či jak vzniklé škody co nejefektivněji sanovat, nikoli z pohledu *TP 170*, kdy je vznik sesuvů či ostatních poruch do určité míry akceptovatelný nebo kdy dokonce potvrzuje ekonomický, ne zbytečně konzervativní návrh. Více informací o konstrukci silničních těles je uvedeno například v *Kaunovi a Luxemburkovi (2002),* případně jsou jednotlivé aspekty konstrukce komunikací rozebrány v sérii TP, vydávaných Ministerstvem Dopravy ČR.

1.2. Konstrukce železničního tělesa

Železniční těleso se (*dle Kubáta a Týfy (2003))* dělí na dvě základní části: železniční svršek a železniční spodek. Železniční svršek se skládá ze samotné konstrukce kolejí, pražců a jejich upevňovacích prvků a z kolejového lože. To poskytuje podporu konstrukci kolejí, přenáší napětí na pláň železničního spodku, umožňuje drobné úpravy geometrie vedení kolejí a odvádí srážkovou vodu. Jako



OBRÁZEK 2: DVĚ Z MOŽNÝCH KONSTRUKCÍ ŽELEZNIČNÍHO TĚLESA. PLÁŠEK ET AL. (2004).

jedny ze zásadních parametrů kolejového lože se berou propustnost a nenamrzavost, v naší republice se k tomuto účelu nejčastěji využívá drceného štěrku v tloušťce vrstvy od 20 do 35 cm.

Železniční spodek pak dále roznáší napětí ze železničního svršku. Kromě samotného zemního tělesa pod zemní plání může obsahovat i konstrukční vrstvy ze zemních materiálů. Ty bývají typicky provedeny ze štěrkopísku, štěrku či struskového materiálu (*Plášek et al, 2004*), jejich účelem bývá ochrana zemní pláně proti namrzání a zvětrávání. V určitých případech může mít i o složitější stavbu, obsahující vyztužené zemní konstrukce, zlepšenou zeminu a podobně. V případě existence vhodných zemin v úrovni zemní pláně mohou být konstrukční vrstvy železničního spodku naopak zcela vypuštěny a železniční svršek může být uložen přímo na zemní pláň. Zemní pláň pod železničním spodkem se obvykle navrhuje v příčném sklonu 5%, tedy 2,25°, z důvodu odtékání vody ze zemní pláně. Více o této problematice pojednává například *Kubát a Týfa, 2003* nebo *Plášek et al., 2004*.

2. Klasifikace inženýrskogeologických problémů liniových dopravních staveb

I. Problémy spojené se zemní plání a s tělesem komunikace
   A. Únosnost a kvalita provedení zemní pláně, resp. aktivní zóny komunikace
   B. Objemové nestálé zeminy v podloží komunikace, resp. v její aktivní zóně
   C. Problémy s odvodněním komunikace
II. Problémy spojené se stavbou a provozem těles násypů
   A. 1. m.s. násypů a jejich podloží
   B. 2. m.s. násypů a jejich podloží
   C. Technologická nekázeň při provádění násypu
   D. Problémy s využitím zemin do násypu
III. Problémy spojené s budováním a provozem zářezů
   A. Nestabilita zemních svahů zářezu
   B. Nestabilita skalních svahů zářezu
   C. Potíže při určení těžitelnosti hornin
IV. Původní nestabilita území
V. Interakce komunikace a hydrogeologických poměrů
   A. Ovlivnění hydrogeologického režimu okolí komunikací
   B. Ovlivnění komunikace či jejího okolí hydrogeologickými podmínkami či jejich změnou
VI. Problémy spojené s poddolováním
VII. Problémy spojené s erozní činností povrchových vod
VIII. Problémy spojené s vlivem vegetace
   A. Změny vlhkosti zemin v důsledku vegetace
   B. Problémy spojené s prorůstáním kořenů
IX. Ovlivnění komunikace výstavbou či provozem jiného objektu

2. 1. Problémy spojené se zemní plání a s tělesem komunikace

Do této skupiny patří nejobecnější problémy, jimž je vystavena každá komunikace bez ohledu na její výškové vedení. V případech vedení nivelety v úrovni terénu v rovinatém reliéfu a bez přítomnosti dalších negativních faktorů se může jednat o jediné hrozící problémy, v ostatních případech jsou vždy příslušné problémy doplňkem k této skupině.

2.1.1. Únosnost a kvalita provedení zemní pláně, resp. aktivní zóny komunikace

Požadavky na únosnost zemní pláně silničních staveb jsou stanoveny v *TP 170* dle třídy komunikace, charakteru podloží a frekvence provozu nákladních vozidel na komunikaci a pohybují se ve v rozmezí hodnot E_{def} od 30 do 90 MPa, přičemž se jedná o E_{def} z druhé větve statické zatěžovací zkoušky. Požadavky na únosnost zemní pláně (resp. stejně jako v předchozím případě na E_{def}, určeného z druhé větve statické zatěžovací zkoušky) železničních staveb je možné najít například v *Pláškovi et al (2004)* nebo *Kubátovi a Týfovi (2003)* a pohybují se generelně mezi 15 a 60 MPa dle významu trati a návrhové provozní rychlosti.

Jeden z problémů vyvstává ve chvíli, kdy je zemní pláň vozovky vedena v nevhodných zeminách, viz tab. 1. V takových případech se však obvykle přistupuje buďto k jejich výměně nebo k jejich úpravě, je-li možná. Technologie úprav zemin jsou značně komplexní a různé metody jsou stále předmětem výzkumu. V současné době je pro tyto úpravy platná např. *TP 94*. V zásadě je možné říci, že úpravou zemin lze dosáhnout změny zrnitosti, konzistenčních mezí, bobtnavosti, tuhosti, propustnosti i zhutnitelnosti (*Boháč, J., Úvodní slovo k zahájení Workshopu Pražských Geotechnických Dnů 2011, 10.5.2011*).

Druhý problém, jenž se v této souvislosti objevuje, souvisí se zaváděním či rekonstrukcemi inženýrských sítí a kabelových vedení, které se v aglomeracích často vedou právě pod komunikacemi. Výsledný zásyp by pak měl mít vlastnosti shodné s původními parametry aktivní zóny. Pokud je použita nevhodná vlhkost sypaniny, malý počet pojezdů hutnícího stroje, příliš velká tloušťka hutněných vrstev či nevhodný materiál zpětného zásypu, může zásyp po doplnění konstrukčních vrstev pod zatížením provozu dále konsolidovat, což pak vede k charakteristickým deformacím.

Třetí kategorie problémů může být způsobena změnou požadavků na zemní pláň, zmíněných výše. Je zřejmé, že zatímco třída komunikace ani její skladba se v čase nemění, frekvence provozu nákladních vozidel je v čase proměnlivý faktor. Přestože jsou snahy předpovědět jeho vývoj po dobu návrhového období komunikace, může docházet jak k jeho nepřesnému určení, tak k těžko předvídatelným změnám, ať už z důvodů stanovení objízdných tras, změn hlavních koridorů nákladních vozidel či například z důvodů výstavby průmyslových podniků či logistických center (viz

Podmínky použití	**NEPOUŽITELNÉ** [a] k jakémukoli použití	**NEVHODNÉ** k přímému použití bez úpravy	**PODMÍNEČNĚ VHODNÉ** k přímému použití bez úpravy	**VHODNÉ** k přímému použití bez úpravy
	Nelze upravit běžnými technologiemi, použití se zpravidla vylučuje	Musí se vždy upravit [c]	Podle dalších vlastností se rozhodne, zda lze použít přímo bez úpravy nebo zda se musí upravit	Lze použít přímo bez úpravy
Aktivní zóna	Organické zeminy s obsahem organických látek větším než 6 % [b]; bahna, rašelina, humus, ornice, CE, ME	ML, MI, CL, CI MH, MV, CH, CV	S-F MG, CG, MS, CS, SP, SM, SC, GP, GM, GC	SW, GW, G-F
Násyp		MH, MV, CH, CV	MG, CG, MS, CS, SP, SM, SC, GP, GM, GC ML, MI, CL, CI	SW, GW, G-F S-F

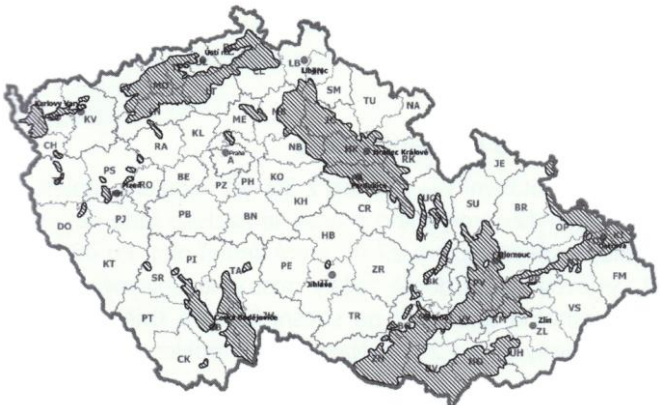
TABULKA 1: POUŽITELNOST JEDNOTLIVÝCH ZEMIN V RÁMCI KONSTRUKCE POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ DLE ČSN 73 6133. SYMBOLY ZEMIN JSOU OBECNĚ ZNÁMÉ A DOHÁDATELNÉ V ČSN 73 6133, VÝZNAM NĚKTERÝCH SYMBOLŮ JE PŘESTO OBJASNĚN V TEXTU.

kap. 3.2.4.). Kromě toho bývá komunikace využívána i po dobu návrhové období výrazně přesahující, která však již při návrhu nebývá zohledněna. Příklad nárůstu intenzity provozu těžkých nákladních vozidel ukazuje např. *Pospíšil, 2007*, dle něhož došlo jen mezi lety 2000 a 2005 na vybraných dálničních úsecích přibližně k dvojnásobnému zvýšení intenzity provozu těžkých nákladních vozidel. Vzhledem k tomu, že se dle zmíněných parametrů určuje i skladba konstrukčních vrstev, dochází v případě překročení dopravního zatížení primárně k deformacím v konstrukčních vrstvách vozovky, může nicméně dojít až k distribuci deformací do podloží komunikace.

2.1.2. Objemové nestálé zeminy v podloží komunikace, resp. její aktivní zóně

Problematickým faktorem může být přítomnost objemově nestálých zemin v podloží vozovky, resp. v její aktivní zóně. Objemové změny mohou vznikat několika různými mechanismy:

- Namrzání a rozbřídání: namrzavé zeminy mají za určitých podmínek (promrznutí, přísun vody) tendence k vytváření ledových čoček, které pak vedou k nárůstu objemu zeminy. Při rozmrzání pak dochází k uvolnění velkého množství vody do zeminy a dochází k rozbřídání. K namrzání jsou náchylné jemnozrnné zeminy (*Drozd, K., ústní sdělení*). Stupeň namrzavosti se dle *ČSN 73 6133* určuje z průběhu zrnitostní křivky. Jako minimální nezámrzná hloubka se na většině území bere hloubka 80 cm, na některých částech území i více. *ČSN 73 6133* pak stanovuje dosah klimatických vlivů v rozsahu aktivní zóny, tedy do hloubky 50 cm pod úroveň zemní pláně.
- Bobtnání a smršťování: tímto jsou ohroženy jílovité zeminy, především jíly s vyššími obsahy minerálu smektitu, ale také vermikulitu či illitu (*Xeidakis et al., 2004*). Tyto minerály mohou do své struktury absorbovat vodu a následně zvětšovat svůj objem. V případě jejich vysychání dochází naopak ke vzniku smršťovacích trhlin, které i po jejich uzavření zvyšují propustnost povrchových vrstev masivu. Negativní projevy bobtnavých zemin tedy závisí primárně na změně jejich vlhkosti a mohou být iniciovány buďto změnou jejich vlhkosti v důsledku změny přirozeného HG režimu (viz kap. 2.5.2.), umělé infiltrace (např. z poškozené drenáže, viz kap. 2.1.3.) či v důsledku změny vegetačního pokryvu (viz kap. 2.8.1.). Některé další možné příčiny pak zmiňuje *Felt, 1953*.



OBRÁZEK 4: VÝSKYT BOBTNAVÝCH ZEMIN NA NAŠEM ÚZEMÍ. SEYČEK, LUŠTINCOVÁ, 2005

- Chemické změny a rekrystalizace v zemině: Mezi materiály k tomuto náchylné patří především druhotné suroviny, především popílky a struskové kamenivo (zejména objemově nestálá ocelářská struska a velmi nehomogenní studený odval (*Kresta a Herle, 2011*)). Dále jsou k nim náchylné zeminy zlepšené vápnem v případě, kdy jsou zkombinovány s dalšími faktory jako přítomnost vody a síranů (*Vaníček a Vaníček, 2008*), kdy hrozí krystalizace

OBRÁZEK 3: VÝSKYT PROSEDAVÝCH ZEMIN NA NAŠEM ÚZEMÍ. NOVÁK, 2010.

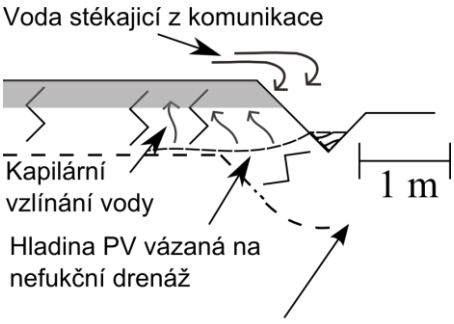
ettringitu. V těchto případech může docházet k chemickým reakcím a rekrystalizacím minerálů a následně ke zvětšování objemu. Aktivace těchto procesů závisí na splnění konkrétních fyzikálně chemických podmínek pro daný typ materiálu.

- Zápar a zahoření: toto riziko se týká především míst, kde se v podloží komunikace vyskytují oblasti s vyšším obsahem uhelné frakce, ale i některých rud železa či mědi uhlí. Toto riziko proto hrozí především u úseků, kde se v těsné blízkosti povrchu vyskytují uhelné sloje či slojky, v případech uhelných hald a skládek a následně i míst, kde byla hlušinová sypanina využita jako alternativní materiál při výstavbě násypu. *Ryšávka et al., 2009* zmiňuje toto riziko i na lokálních železničních tratích, kde dříve jezdily parní lokomotivy, zejména v místech čištění vagonů či nakládání uhlí. V takovém prostředí hrozí spontánní oxidace zmíněných složek a následně zápar či zahoření. Ty vedou k prudkému nárůstu teploty v materiálu, doprovázenému vzniky kaveren a úniky toxických plynů (*Hájovský et al., 1999*).
- Prosedání: Pro prosedavé zeminy je charakteristická existence nestabilní vnitřní struktury, která se však může zbortit po nasycení zeminy vodou. V takovém případě dochází ke zmenšení objemu zeminy, což pak může vést k deformacím na povrchu. Mezi tyto zeminy patří především spraše, nicméně mezi ně mohou patřit i kypré písky či antropogenní, volně sypaná zemní tělesa *Novák, 2010*.

2.1.3. Problémy s odvodněním komunikace

Nezbytným prvkem komunikace je její odvodnění a zamezení přímého ovlivnění tělesa komunikace, zemní pláně a aktivní zóny komunikace přítoky vody. Ty mohou být dvojího původu: přítoky z horninového prostředí (viz kap. 2.5.2.) nebo infiltrace srážkových vod, které se na povrchu komunikace nemohou vsakovat, stékají po komunikaci, a následně jsou odváděny drenáží. K tomuto účelu bývají podél či pod komunikací budovány drenážní systémy, ať už formou drenážních příkopů podél komunikací, či trativodů pod nimi. Ty bývají následně odváděny do vsakovacích jímek či lokálních vodotečí. Při snížené účinnosti těchto systémů pak může docházet k lokálnímu nárůstu vlhkosti či dokonce ke vzniku lokálních zvodní. Následkem toho pak může docházet jak k ovlivnění komunikace samotné, tak ovlivnění okolí. To může být umocněno tím, že ve vodách steklých z komunikace může být během zimního období, i krátce po něm, zvýšený obsah chloridů či dalších chemických látek sloužících k zimní údržbě silnic. Důsledkem mohou být následující problémy:

- Změna konzistence zemin v aktivní zóně komunikace a její vytlačování spojené s poklesy vozovky. Tento problém může být umocněn nedostatečnou tuhostí konstrukce vozovky.
- Zamrzání akumulované vody v konstrukčních vrstvách či v aktivní zóně vozovky. Tento problém může být o to výraznější, dochází-li k infiltraci vody ze zanesených drenážních příkopů podél komunikace. V tomto případě může zemina promrzat i „z boku“ a tím zdánlivě hlouběji pod komunikaci, než je běžně uvažovaných 80 cm, viz obr. 5. .
- Degenerace a koroze materiálu konstrukčních vrstev vozovky, případně stavebních objektů komunikace. Zde hrozí především poškození železné výztuže v betonových objektech působením chloridů ve vsakované vodě (*http://www.fce.vutbr.cz/PKO/0M3/predn3/prednaska3.htm*).
- Ovlivňování chemismu materiálů aktivní zóny. To se může spolupodílet na vzniku objemových změn v objemově nestálých zeminách. Tento bod tedy úzce souvisí s kap. 2.1.2.



OBRÁZEK 5: UKÁZKA MECHANISMU PROMRZÁNÍ KONSTRUKČNÍCH VRSTEV VOZOVKY A AKTIVNÍ ZÓNY KOMUNIKACE.

- Vsakování vody do podloží a zvednutí hladiny podzemní vody. Nepříznivé ovlivnění okolí komunikace hrozí především při výrazné bodové infiltraci. Pokud voda není do terénu odváděna průběžně (což není možné např. u zářezů), či není drenážní systém sveden do lokální vodoteče, musí být drenážní systém sveden do vsakovacích jímek. Následkem může být víceméně bodový intenzivní přítok do horninového prostředí, lokální zvýšení hladiny podzemní body (či vznik lokální zavěšené zvodně) a následné ohrožení stability okolního území. Zvláštně rizikové může toto být v kombinaci s nevhodným návrhem výškového průběhu nivelety v zářezu, respektive je-li její průběh konvexně zakřivený, s nejnižším bodem nacházejícím se uvnitř tělesa zářezu. V takových místech pak dochází k akumulaci stékající vody a její další odvedení může být problematické. Ohroženy tímto jevem jsou rovněž násypy, u kterých může dojít v důsledku infiltrace z komunikace ke snížení stability jeho svahů, případně ke stékání vody po jeho svazích a k jejich erozi (viz kap. 2.7.).
- Zvýšení hladiny vodotečí. V případech svedení drenážních prvků do vodotečí dochází naopak po výraznějších infiltračních událostech (srážkách či tání) k rychlejšímu odtoku vody do vodoteče, což však může vést ke zvýšenému riziku vzniku povodňových stavů.

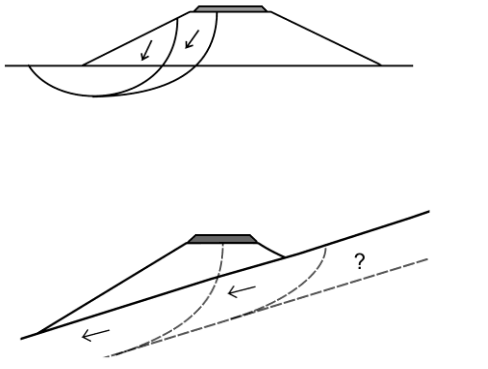
2. 2. Problémy spojené se stavbou a provozem těles násypů

Násypy v silničním a železničním stavitelství mohou dosahovat značných rozměrů a objemů a jejich délka se může pohybovat i v řádu kilometrů. Z toho důvodu je problematika násypů v dopravních stavbách stěžejní. Problematikou násypů jako zemních těles se zabývá celá řada autorů, například *Vaníček a Vaníček (2008)*, sanacemi násypů obecně se pak zabývá např. *Svoboda (2007).*

2. 2. 1. 1. Mezní stav násypů a jejich podloží

V případech, že je přitížení od tělesa násypu příliš velké, může dojít v násypu či jeho podloží k překročení smykové pevnosti a následně ke vzniku sesuvu, ať už pouze v zemním tělese nebo i v jeho podloží. Příčiny mohou být obecně následující:

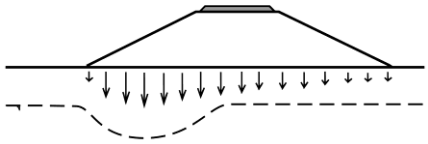
- Příliš strmě navržené sklony násypu vzhledem k materiálu, z něhož je zbudován.
- Nedostatečně únosné zeminy v podloží násypu. Toto riziko může být větší u násypů vedených ve svahu, kde je následně nerovnováha hmot o to výraznější, viz např. kapitola 3.1.14.
- Problémy s odvodněním svahů nad násypem. V případech, kdy je násyp vedený ve svahu subparalelně s průběhem vrstevnic, může fungovat jako hráz proti odtoku povrchových vod. V těchto případech se situace obvykle řeší systémem propustků pod jeho tělesem, nicméně při jejich poruše či zanesení může dojít k zadržování vody nad násypem a tím i ke zvednutí hladiny podzemní vody v násypu a v jeho podloží nebo k únikům protékající vody do tělesa násypu a následně opět ke vzedmutí hladiny v jeho tělese. V obou případech může být navíc stabilita snižována i účinkem sufoze při vytékáním vody z tělesa násypu.



OBRÁZEK 6: SCHÉMATA MOŽNÝCH MECHANISMŮ POŠKOZENÍ NÁSYPŮ NESTABILITOU. JANKŮ, 2008

2. 2. 2. 2 .Mezní stav násypů a jejich podloží

Násypy mohou představovat výrazné přitížení horninového prostředí, které může navíc zasahovat do značné hloubky. Silniční násypy samotné jsou během výstavby i provozu relativně necitlivé na rovnoměrné sedání (*Kučera, 2009* i *Kresta, 2005* zmiňují sedání násypů v řádech až prvních desítek centimetrů, v kap. 3.1.20 došlo bez problémů k sedání až 100 cm), s výjimkou přechodů na další dopravní konstrukce, jako například mosty. Detailněji o problematice sedání násypů na našem území pojednává *Karlín, 2010*. Problematické však může být nehomogenní či dlouhodobé sedání. K dlouhodobé konsolidaci podloží dochází v případech zbudování násypů na málo únosném podloží s nízkou hydraulickou vodivostí, případně je toto charakteristické pro organické zeminy, kde může docházet ke značné sekundární konsolidaci. Řešení tohoto problému představuje např. dnes již běžně aplikovaná metoda štěrkových pilířů či drénů, spojených s drenážní vrstvou pod násypem, případně užití konstrukcí lehčených násypů. Jiné možné řešení je zmíněno v kapitole 3.1.20.. Druhým, potenciálně nebezpečnějším prvkem je nehomogenní sedání. To může být způsobeno např. nehomogenitou zeminy pod násypem nebo nerovnoměrným průběhem skalního podloží. Ta je podrobněji rozebrána v kap. 2.3.3.



OBRÁZEK 7: SCHÉMA MOŽNÉHO PRŮBĚHU NEROVNOMĚRNÉHO SEDÁNÍ NÁSYPU. JANKŮ, 2008

2. 2. 3. Technologická nekázeň při provádění násypů

Budování násypů vyžaduje dodržování určitých základních technologických zásad a postupů. Mezi důležité aspekty patří dodržení správného počtu pojezdů hutnících strojů po celé ploše násypu, správná mocnost hutněných vrstev, využití sypaniny o optimální vlhkosti a homogenním složení a zabránění promrznutí zemní pláně během zimních měsíců. Zatímco homogenní složení směsi je otázkou dodavatele zeminy či kameniva a věcí dozoru stavby, optimální vlhkost závisí mj. na způsobu a délce skladování zeminy v zemníku. Při skladování nezakryté zeminy po delší dobu může docházet v přípovrchové vrstvě k jejímu vysychání nebo promáčení. Zemina se změněnou vlhkostí pak vykazuje jinou zhutnitelnost a při navržené technologii nemusí být zhutněna na požadovanou úroveň. To samé může nastat při nedostatečném počtu pojezdů hutnících strojů nebo jejich nerovnoměrným pokrytím celé plochy násypu - například okrajů koruny násypu či míst, kde se hutnící stroje otáčejí.

Dalším problematickým prvkem může být výstavba násypů během zimního období. Pokud není stavba násypu přes zimní období pozastavena (například z ekonomických důvodů) a není této skutečnosti přizpůsobena technologie výstavby a charakter ukládaného materiálu, může docházet k ukládání namrzlé zeminy, jejíž vlastnosti nemusí odpovídat původním, ať už se jedná o pórovitost, vlhkost, objemovou hmotnost či zhutnitelnost.

Ve všech těchto případech může nedodržení technologie výstavby zemního tělesa vést ke vzniku více či méně omezených poloh se zvýšenou pórovitostí a sníženou únosností, což může následně vyvolat snazší infiltraci vody do zemního tělesa a jevy s ní spojené a následně vést až k lokální subsidenci koruny násypu či ke ztrátě jeho stability. Další skupina možných rizik vyvstává při použití složitějších technologií, například geotextilií či gabionů, které mají své specifické požadavky na jejich provádění (příklady takto vzniklých problémů ukazuje například *Herle, 2006* a *Kresta, 2007*).

2. 2. 4. Problémy s využitím zemin do násypu

Jednou ze snah při navrhování komunikací je dodržení hmotnice, tedy vyrovnaného objemu hmot vytěžených ze zářezů a použitých do násypů tak, aby byla minimalizována potřeba během výstavby zemního tělesa dovážet, resp. vyvážet zeminu mimo stavbu. Dosažení ideální hmotnice však není často možné, ať už z důvodu potřeby nutnosti vedení nivelety mimo úroveň nutnou k dosažení hmotnice (absence zářezů či násypů v delším úseku), či z důvodu výskytů nevhodných zemin v zářezech. K problematice vhodnosti zemin do tělesa násypu se obsáhle vyjadřuje *ČSN 73 6133*, viz *tab. 1*.

Použití nevhodných či podmínečně vhodných zemin je nicméně možné, a to buď jako poddajných vrstev v sendvičové konstrukci násypu nebo po upravení zeminy pojivy.

Další alternativou je využití zeminy z oblasti mimo stavbu komunikace, a to buďto přivezené ze zemníku, zřízeném pro účely stavby nebo užití alternativních materiálů, jako jsou stavební sutě, strusky, hlušina či popílky. K použití jednotlivých materiálů se detailně vyjadřují *TP 138, TP 210*, *TP 176 a TP 93.* Tyto materiály bývají s úspěchem využívány, přesto se v souvislosti s jejich použitím vyskytují rizika plynoucí z nejednoznačného značení těchto materiálů, jejich heterogenity či náchylnosti k objemovým změnám (*Kresta a Herle, 2011*), viz také kap. 2.1.2.

2. 3. Problémy spojené s budováním a provozem zářezů

Stejně jako násypy jsou zářezy zemní tělesa, dosahující často značných délek, hloubek a objemů. Oproti násypům jsou však ještě těsněji svázány s horninovým prostředím. V této kapitole jsou zmíněny problémy, které během výstavby a provozu zářezu hrozí vždy. Je zde však nutné zmínit, že zářezy mohou být (za určitých podmínek, zmíněných v příslušných kapitolách) silně ohroženy i dalšími jevy, viz kap. 2.4. a 2.5.2.

2. 3. 1. Nestabilita zemních svahů zářezu

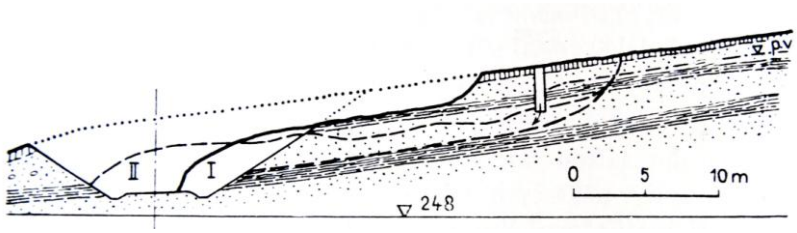
Problém nestability svahů zářezu je, dle zkušeností autora, jedním z nejčastěji řešených problémů liniových dopravních staveb na území ČR, resp. v některých regionech.

Jednou z možných příčin jsou příliš strmé sklony svahů vzhledem k inženýrskogeologickým a především hydrogeologickým poměrům. První příčinou aktivace mělkých sesuvů bývá vytvoření lokální zvodně, zpravidla oddělené od hlouběji zakleslé, trvalé zvodně (*Rybář, 1999b*), například v důsledku enormních srážek, letního tání či antropogenní infiltrace (viz kap. 2.5.2.). To vede ke snížení stability svahu a aktivaci svahového pohybu. Zde je nutné upozornit na jeden z drobných paradoxů, vyplývající z *ČSN 73 6133*. Při výstavbě komunikací se často používá návrh sklonů standardně 1:2 (viz kapitoly 3.1.19. či 3.2.2.). „Zkušenosti a kvalitativní geologický průzkum“ však lze dle *ČSN 73 6133* použít univerzálně pouze pro první geotechnikou kategorii, jenž je však podmíněná kromě výšky do 3 m i stavbou mimo dosah vlivu podzemní vody. V případě, že může v okolí komunikace dojít k náhlému vzedmutí podzemní vody, není možné stavbu považovat za 1. geotechnickou kategorii a návrh normativních sklonů je tedy sporný. Ověření možného vzedmutí podzemní vody však vyžaduje podrobnější inženýrskogeologický a především hydrogeologický průzkum. Geologickým průzkumem na úrovni předběžného průzkumu, vyžadovaným pro první geotechnikou kategorii, toto nemusí být odhaleno.

Druhou častou příčinou vzniku (dle *Rybáře, 1999b*) bývá výskyt namrzavých zemin (viz kap. 2.1.2.) ve svazích zářezů. Pokud nejsou dostatečně chráněny proti promrzání, dochází v povrchové vrstvě během zimních období k akumulaci ledu, během tání se pak tato voda uvolňuje, zemina mění konzistenci, rozbřídá a ztrácí stabilitu.

Stabilitu může také negativně ovlivnit existence oslabených zón. Může se jednat jak o smykové plochy starých sesuvů, tak o plochy, podél nichž došlo k tektonickým pohybům (viz. kapitola 3.1.19.).

Jako první možné opatření proti tomuto problému se v místech, kde hrozí vytvoření lokálních zvodní, jeví zmenšení sklonu svahů dle výsledků stabilitních výpočtů založených na laboratorních zkouškách (jsou-li provedeny). To lze buďto nejjednodušším zmírněním sklonů spojeným s dalším záborem pozemků, vybudováním gravitační konstrukce v patě svahu a zmírnění sklonu terénu nad ní. Další možností je odvodnění svahu, k čemuž se dnes hojně využívá technologie žeber. Ta mohou být buďto příčná, jdoucí kolmo na spádnici svahu, kosá nebo podélná, jdoucí souběžně s hranou svahu. Poslední zmíněná však mohou často představovat spíše ohrožení stability svahu v důsledku usnadnění infiltrace srážkové vody do horninového prostředí (*Novotný, J., ústní sdělení*). *Mencl, Záruba, 1969* také zmiňují riziko, jež dobře vystihuje obr. 8. V tomto případě došlo vybudováním podélného drenážního žebra k propojení povrchové zvodně se spodním, předtím suchým horizontem a následně k sesuvu.



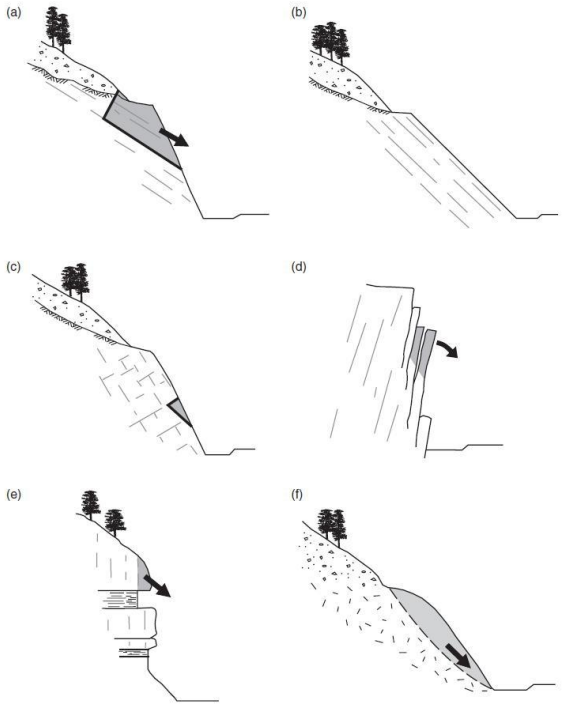
OBRÁZEK 8: MOŽNÝ ÚČINEK ŽEBRA PRO INFILTRACI PODZEMNÍCH VOD DO HLUBŠÍCH HORIZONTŮ. MENCL, ZÁRUBA, 1969.

2. 3. 2. Nestabilita skalních svahů zářezu

V řadě případů je nutné vést zářez či odřez ve skalních horninách. Projevy nestability skalních stěn mají přitom obvykle velmi rychlý průběh, který může ohrozit nejen provoz komunikace, ale přímo i bezpečnost účastníků provozu. Tyto problémy se týkají nejen umělých skalních stěn, ale i stěn přirozených.

Stabilita skalních stěn je přitom ovlivňována řadou různých faktorů. Kromě mechanických vlastností samotné horniny je tak klíčové určit sklony a další parametry diskontinuit, jimiž je masiv prostoupen. Rovněž je třeba věnovat pozornost technologii výstavby, neboť nevhodně provedený odstřel masivu může rozrušit i horninu za plánovaným lícem stěny, a tím ji učinit náchylnější k projevům nestability. Zároveň je třeba zvážit proměnnost stability skalního svahu s časem neboli vzít v úvahu zvětrávání, rozpad horniny v důsledku teplotních změn či změn vyvolaných účinky podzemní vody a podobně, ale také rozrušování horniny kořeny stromů.

V případě nestability skalních stěn existuje řada metod technických



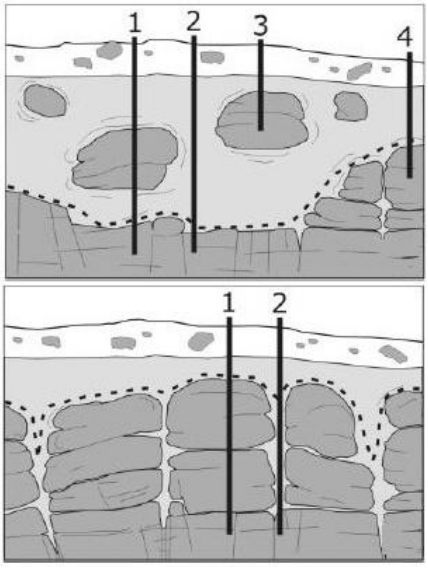
OBRÁZEK 9: ZÁKLADNÍ MECHANISMY PORUŠENÍ SKALNÍHO ODŘEZU. A: VYJÍŽDĚNÍ VRSTEV PODÉL DISKONTINUIT; B:STABILNÍ ODŘEZ, VRSTVY ROVNOBĚŽNÉ SE SVAHEM; C: VYJÍŽDĚNÍ SKALNÍHO BLOKU PODÉL KOMBINACE DISKONTINUIT; D: VYKLÁPĚNÍ STRMĚ UKLONĚNÝCH VRSTEV; E: VYTVÁŘENÍ PŘEVISŮ NA HRANICI HORNIN RŮZNĚ RYCHLE ZVĚTRÁVAJÍCÍCH; F:SESUV V SILNĚ ROZRUŠENÉ HORNINĚ. HOEK, BRAY, 2005.

zabezpečení. Ty lze rozdělit do třech základních kategorií: zpevnění masivu, například stříkaným betonem, kotvami, drenážními vrty a podobně; odstraněním nebezpečných hmot, například zmírněním svahů či odstřelem bloků, hrozícím zřícením; přímou ochranou komunikace, například zadržovacími sítěmi (*Hoek a Bray, 2005*). Problematika stability svahů je značně komplexní a je jí věnováno množství literatury, například již zmíněný *Hoek a Bray (2005)*.

2. 3. 3. Problémy s určením těžitelnosti

V oblasti těžitelnosti došlo v r. 2010 k výrazné změně, kdy namísto 7 tříd v *ČSN 73 3050* byl v *ČSN 73 6133* snížen počet tříd na 3.

Pojem „těžitelnost“ byl definován v (již zneplatněné) *ČSN 73 3050 jako* rozpojitelnost, složitelnost a transportovatelnost hornin a v souladu s ní je chápán i v *ČSN 73 6133*. Její určení nemá vliv na bezpečnost samotného zářezu během jeho provozu, má nicméně zásadní význam pro určení nákladů na jeho výstavbu. Při jejím chybném určení hrozí na jedné straně zbytečné naddimenzování navržené technologie a zbytečné prodražení projektu stavby, na straně druhé zdržení stavby z důvodu nepřítomnosti vhodné techniky na staveništi, případně i její poškození a následné prodražení stavby oproti projektu.



OBRÁZEK 10: UKÁZKA ŽOKOVITÉHO ZVĚTRÁVÁNÍ GRANITŮ A OBTÍŽE JEHO ZACHYCENÍ VRTNÝM PRŮZKUMEM. NOVOTNÝ, 2009

Zcela zásadní pro výstavbu zářezů je určení hloubky pevného skalního podloží. To může být problematické především v případech granitů a vápenců (granity mají tendence žokovitě, nepravidelně zvětrávat, zvětrávání vápenců pak může být ovlivňováno krasovými jevy a mohou se v nich vyskytovat široké pukliny, vyplněné dodatečně napadaným materiálem), nicméně nerovnoměrným zvětráváním mohou být postiženy i ostatní horniny. *Přovský (2006)* například zmiňuje proměnlivost hloubky skalního podloží v proterozoických horninách v důsledku nerovnoměrného chemického zvětrávání masivu. Dalším potenciálním rizikem může být výskyt fosilních říčních koryt, především při bázi sedimentů říčních niv.

Rozpojitelnost skalních hornin samých pak závisí na několika faktorech, jakými jsou kromě typu horniny i stupeň jejího zvětrání, resp. čestnosti a orientaci dominantních diskontinuit ke směru výkopu (*Kudrna, Z., ústní sdělení*). V důsledku této komplexnosti a velkého finančního významu určení těžitelnosti došlo v minulosti k řadě sporů mezi prováděcími firmami a investory, motivací však v řadě případů byla spíše snaha zvýšit či snížit náklady na výstavbu než geologické podmínky (*ústní sdělení odborníků z praxe*).

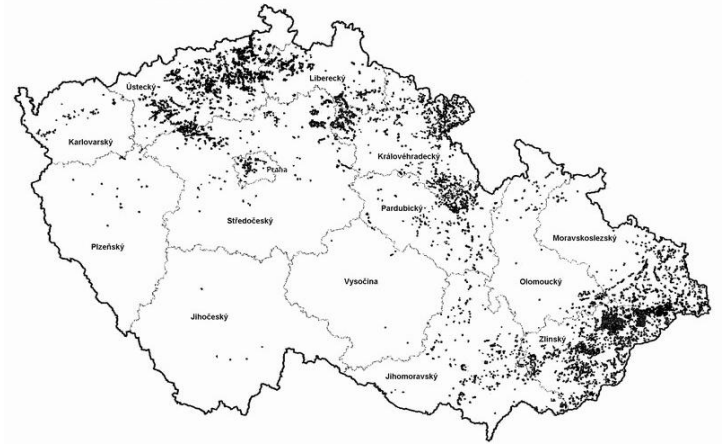
2. 4. Původní nestabilita území

Stavba komunikace může být ohrožena svahovým pohybem i ve chvíli, kdy do horninového prostředí sama citelným způsobem nezasahuje. Může k tomu dojít ve chvíli, kdy komunikace prochází sesuvným územím, územím s náchylností k výskytu stékání zeminy či pod nestabilními skalními stěnami.

Až 90 % nových sesuvných jevů na našem území vzniká v místech, kde již dříve k sesuvným jevům došlo (*Rybář, 1999b*). Rozsah sesuvných území je přitom v naší republice zmapován a

přístupný v ČGS v rámci registru sesuvů na webových stránkách ČGS - Geofond. Nejoptimálnější situací při návrhu komunikací je pak odhalení těchto území geologickým průzkumem a vedení nivelety jinou cestou – v některých oblastech to však vzhledem k četnosti výskytu sesuvných svahů není možné. V takovém případě je pak výhodné vést komunikaci tak, aby nezhoršovala stabilitní situaci, tedy neodlehčila patu svahu odřezem (viz kapitola 3.1.3.) a nepřitížila jeho korunu násypem. Hrozí-li i nadále postižení komunikace, je nutné zvážit riziko jejího poškození a případně zvolit stabilizaci svahu, například jeho drenáží či výstavbou opěrné zdi, či těleso komunikace od potenciálního sesuvu odizolovat (viz například sesuv u Trevoru, *Nichol a Graham, 2001* in *Janků, 2008*).

Potenciálně nestabilní skalní stěny je rovněž možné vysledovat. Ilustrační, spíše než stoprocentně reprezentativní, mapku výskytu nestabilních skalních svahů ukazuje obr. 11. Rizikové faktory byly již rozebrány v kap. 2.3.2. Stejně jako v případech skalních zářezů se může stabilita skalních stěn s časem snižovat procesy rozevírání diskontinuit zamrzající vodou, drcení klíčových opěrných bloků či například procesem, popsaným z labského údolí *Zvelebilem a Rybářem (1978)*, kdy jsou v již rozevřených trhlinách zaklíněny skalní bloky, které se v zimním období tepelně smršťují a zapadnou více do pukliny, v letním pak tepelným roztažením rozevírají puklinu. Průzkum je tedy v případech vedení komunikace pod skalní stěnou třeba rozšířit i na širokou oblast nad komunikací. Přestože je, stejně jako u sesuvných svahů, nejoptimálnějším řešením se pak vedení komunikace pod potenciálně nestabilní stěnou vyhnout, není to vždy možné. Typicky v místech, kde na řeku navazuje suťovitý svah a nad ním se vyskytují potenciálně rizikové stěny, tedy například údolí Labe mezi Děčínem a Hřenskem (viz například *Zavoral, Kurka (2008), Zvelebil, Rybář (1978), Zvelebil (2010a)* a údolí Vltavy v okolí Davle. Prvním možným postupem zmenšení rizika je vést niveletu tak, aby mezi skalní stěnou a komunikací byl co nejdelší pás lesa, který funguje jako částečná ochrana proti padajícím blokům (*Drozd, K., ústní sdělení*). Problémem přírodních skalních stěn je často jejich velký rozsah, díky němuž často není ekonomicky možné zabezpečit preventivně celý potenciálně rizikový úsek. Proto je v případě potenciálně nestabilních skalních stěn používaná metoda monitoringu, kdy jsou riziková místa monitorována a sanována až v případech, kdy hrozí samotné zřícení. Zkušenosti přesto ukazují, že tato metoda není vždy 100% úspěšná.



OBRÁZEK 11: ROZLOŽENÍ SESUVŮ NA NAŠEM ÚZEMÍ K 1.1.2007. Z ČGS IN INFORMAČNÍ SYSTÉM MASARYKOVY UNIVERZITY, WWW.IS.MUNI.CZ

OBRÁZEK 12: LOKALIZACE DOSAVADNÍCH ZÁZNAMŮ SANACÍ SKALNÍCH SVAHŮ NA NAŠEM ÚZEMÍ Z DATABÁZE PROGRAMU NEMETON 2013. VÝSTUP Z PROZATÍMNÍ DATABÁZE K 10.4.2011, EMAIL STRIX CHOMUTOV, 10.4.2011.

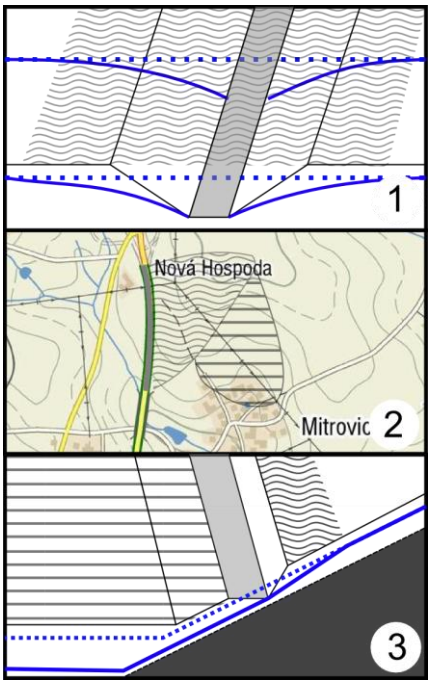
2. 5. Ovlivnění komunikace podzemní vodou a naopak

Podzemní voda funguje jako významný inženýrskogeologický faktor. V následujícím textu bude probírán především vliv na zářezy a odřezy, kde je toto riziko největší. V takovém případě může dojít ke dvěma situacím, jež se však navzájem nevylučují: k ovlivnění hydrogeologického režimu okolí vybudováním zářezu a k ovlivnění zářezu nepříznivými hydrogeologickými podmínkami či jejich změnou.

2. 5. 1. Ovlivnění hydrogeologického režimu okolí

V případě, kdy je niveleta zářezu zbudována pod hladinou podzemní vody dochází v jejím okolí k jejímu snížení a k drenáži okolního masivu směrem do zářezu. Zářez tak může ovlivnit úroveň hladiny podzemní vody v okolí třemi mechanismy:

- Prostým vznikem depresního kužele podél stěn zářezu a vyvoláním proudění směrem do zářezu.
- Změnou hydrogeologického režimu drenáží významných propustných drah či poloh (například výrazných diskontinuit v prostředí rozvětraného krystalinika). Tím může dojít ke změně proudění v oblasti poměrně daleko nad komunikací a následně i ke změně úrovně hladiny podzemní vody v místech, která nejsou bezprostředně nad či pod zářezem.
- Přerušením proudění ve svahu. V případě, že se ve svahu koncentruje proudění podzemní vody do přípovrchové zóny (typicky do kvartérního pokryvu či zvětralé přípovrchové zóny skalního podloží) a zářez jimi prochází, efektivně přerušuje proudění z oblasti nad svahem a následně ho odvádí drenážním systémem. V důsledku sníženého přítoku pak může dojít k zaklesnutí podzemní vody v oblasti pod svahem a to i v takové vzdálenosti, kde by se jinak pouhý vliv depresního kužele neprojevoval.



Obrázek 13: Možný dosah ovlivnění okolí komunikace změnou hladiny podzemní vody. Vlnovkou je vyznačen primární dosah depresního kužele, vodorovnou šrafou sekundární území s deficitem podzemní vody. 1) změna hladiny podzemní vody v homogenním kolektoru. 2) Změna proudění v důsledku rozšíření depresního kužele 3) přerušení proudění ve svahu

Zaklesnutí hladiny podzemní vody může následně způsobit zaklesnutí podzemní vody v jímacích objektech a dodatečné sedání území i staveb v důsledku zvýšení efektivního napětí pod jejich základy. V případech, kdy se díky zaklesnutí podzemní vody dostanou nad její hladinu bobtnavé zeminy, může dojít k jejich vysychání a následně ke vzniku poruch na okolních stavbách v důsledku vzniku smršťovacích trhlin.

Opačným jevem, s prvním souvisejícím, je zvednutí hladiny podzemní vody v důsledku vyústění drenážního systému. Kromě výše zmíněných příčin týkajících se zářezů a odřezů, může zdrojová voda rovněž pocházet ze srážek, viz kap. 2.1.3.

2. 5. 2. Ovlivnění komunikace či jejího okolí hydrogeologickými podmínkami či jejich změnou

Podzemní voda a její režim je jeden z klíčových prvků, jenž musí být uvažovány při návrhu zemních těles. Podzemní voda může komunikaci či zemní těleso ovlivnit řadou mechanismů:

- Snížením efektivní smykové pevnosti zeminy v důsledku snížení efektivního vertikálního napětí
- Změnou konzistence jemnozrnných zemin
- Změnou objemu u bobtnavých zemin a zprostředkovaně též u namrzavých zemin
- Poskytnutím média pro průběh chemických reakcí v zemině (viz kap. 2.1.2.)
- Sufozí zeminy v horninovém prostředí v okolí komunikace
- Erozí svahů v případě koncentrovaných vývěrů
- Rozrušováním povrchových vrstev skalního masivu během zimního období, kdy voda zamrzá a zvyšuje svůj objem
- Hydraulickým tlakem na opěrné zdi. Při silných mrazech může podobně fungovat i zamrzlá, a tedy nepropustná povrchová zóna ve skalním masivu (*Rybář, 1999b*).

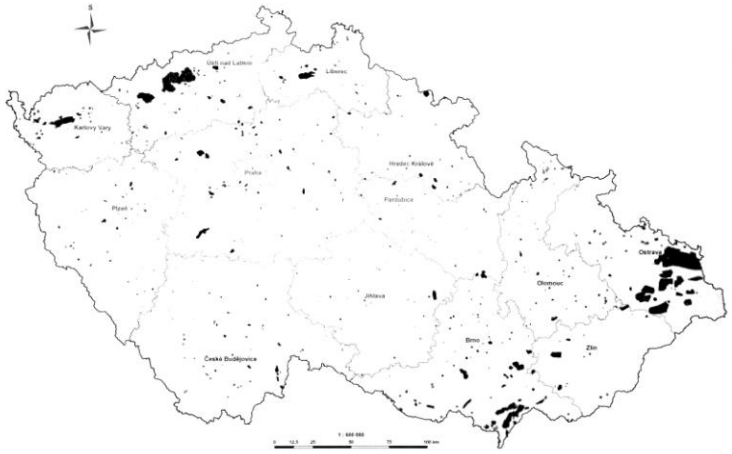
Tato problematika se ve větší či menší míře objevuje v řadě případů v této práci (viz například kapitoly 3.1.2., 3.1.10., 3.1.13. a další). Problémem při určování hydrogeologických podmínek v okolí komunikace je však jejich časová proměnlivost. Úroveň hladiny podzemní vody může podléhat změnám jak v rámci let a měsíců (*Šilar et al., 1983*), tak v případech náhlých výrazných srážkových událostí i v rámci dní (*Butterworth, 1999*). Přestože dle *ČSN EN 1997-1* se má tam, kde to připadá v úvahu zahrnout do úvah "i kolísání výšky hladiny podzemní vody, včetně vlivu odvodňování, možných povodní, poruch drenážního systému, využití vody", zkušenosti z praxe ukazují, že toto se zdaleka ne vždy děje. Vysledování změn by vyžadovalo sledování úrovně podzemní vody v místě stavby alespoň rok před jejím započetím, což však z ekonomických důvodů často není možné. Kromě toho k zachycení reakce horninového prostředí na anomální srážky nemusí dojít ani při delším monitoringu. Zároveň se v některých oblastech projevuje vliv více úrovní zvodní (typicky na výsypkách, kde se v důsledku nehomogenity hojně vyskytují lokální zavěšené zvodně či v horninách tvořících nepropustné eluvium, kde často vznikají dvě oddělené zvodně – jedna puklinovo-průlinová ve skalním podloží a druhá kvartérní, oddělená právě nepropustným eluviem) s tím, že horní povrchová zvodeň nemusí být zvodnělá trvale. Pokud se při vrtném průzkumu nepočítá s více zvodněmi, může dojít k proražení izolátoru pod první zvodní, v důsledku čehož je její odhalení klasickou metodou měření nastoupané úrovně podzemní vody také nemožné (viz. například kapitola 3.1.5.). Dalším problematickým jevem mohou být úniky z porušených drenážních systémů, vodovodních potrubí a dalších antropogenních zdrojů. Přestože tyto zdroje mají obvykle silně omezený plošný rozsah, díky své nepředvídatelnosti a často vysoké intenzitě přítoku mohou představovat značné riziko.

2. 6. Problémy spojené s poddolováním

Komunikace může být ovlivněna dvěma jevy spojenými s poddolováním: vznikem poklesové kotliny a vznikem propadu. Vznik poklesové kotliny je kromě nerovnoměrné subsidence doprovázen též vznikem tahových a tlakových napětí na povrchu terénu. Ty mohou následně vyústit ve vznik prasklin na povrchu komunikace (*Mine Subsidence Engineering Consultants, 2007*).

Propady patří mezi mimořádně rizikové jevy. Dochází k nim obvykle náhle a kromě poškození komunikace hrozí při jejich vzniku i ztráty na životech. Toto riziko může být umocněno efektem dynamického přitížení od dopravy, který může zafungovat jako spouštěcí faktor (viz kapitola 3.1.1., kdy k propadu došlo pod projíždějícím popelářským vozem).

Rizikům, spjatým s poddolováním území je teoreticky nejvhodnější předcházet zmapováním rozsahu poddolování a zamezením další výstavby na daném území. Na území České republiky se však hojně nacházejí i pozůstatky po tzv. „selské těžbě“. Rozsah těchto děl není dodnes zmapován a jejich nalezení může být vzhledem k jejich často lokálnímu rozsahu problematické i s využitím geofyzikálních metod. Také se zde uplatňuje tlak investorů na využití pozemků, na nichž může být podezření z poddolování, ale které nebylo (obvykle z ekonomických důvodů) přesně definováno průzkumem nebo bylo ignorováno. Určité preventivní řešení představují úpravy komunikací v oblastech potenciálního nebezpečí propadů, například vyztuženými násypy, některé tyto metody zmiňuje například *Parák, 2006,* přestože je diskutabilní, zda je v případě hrozícího nebezpečí propadu vhodnější zmírnit následky pomocí vyztužené konstrukce či snížit pravděpodobnost vzniku propadu eliminací násypu, a tím i přitížení terénu.



OBRÁZEK 14: ORIENTAČNÍ MAPKA ROZLOŽENÍ DOBÝVACÍCH PROSTOR (NE POUZE PODDOLOVANÝCH ÚZEMÍ) NA ÚZEMÍ ČR. DATOVÝ PODKLAD, ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA – GEOFOND, 2010, PRAHA

2. 7. Problémy spojené s erozní činností povrchových vod

Poškození komunikace či jejího zemního tělesa erozivní činností vody hrozí v několika případech. Při vedení komunikace ve svahu hrozí poškození v době intenzivních srážek, kdy může dojít ke vzniku intenzivního dešťového ronu, který může následně erodovat svahy zářezu nad komunikací či svahy pod ní. Zvláště ohrožené mohou v tomto případě být místa, kdy se vedlejší komunikace probíhající kose na svah napojuje na hlavní, vedoucí průběžně se svahem (toto ukazuje například *Tomášek, 2010*). V tomto případě může dojít k intenzivnímu a v podstatě bodovému přítoku z vedlejší komunikace a její drenáže, a tím k silnému lokálnímu zvýšení rizika eroze.

Při vedení komunikace podél potoků a řek, resp. v jejich zátopových oblastech (jejich mapa je dostupná například na webové adrese *http://www.dibavod.cz/70/prohlizecka-zaplavovych-uzemi.html*). Komunikace podél řek jsou obvykle stavěny tak, aby nedošlo k jejich zatopení za běžného či lehce zvýšeného stavu vody. Z toho důvodu bývají komunikace podél řek vedeny obvykle na násypech či na opěrných zdech. Poškození těchto konstrukcí nicméně hrozí při zvýšeném vodním stavu a to několika mechanismy:

- prostým odnosem materiálu zemního tělesa proudící vodou
- erodováním materiálu pod základy a jejich podemletím
- rozrušením pojiva opěrné zdi, průsakem vody srze zeď a sufozí materiálu za ní

Z tohoto pohledu jsou ohroženy především nárazové břehy řek, kde má proudění větší rychlost a tedy i vyšší erozivní schopnost. To potvrzují jak zkušenosti autora, viz. kapitola 3.2.6., tak i fotky v *Kropáčkovi, 1999*. Dle *ČSN 73 6133* tak musí být protierozní ochrana dimenzována na stav 100-lété vody.

Problémy v důsledku eroze mohou také vznikat v případech, kdy nad svahy zemního tělesa (ať už zářezu či násypu) chybí drenáž a kdy dochází k intenzivnějšímu stékání srážkové vody po jejich svazích.

2. 8. Problémy spojené s vlivem vegetace

Určitá skupina problémů může vyvstat z interakce vegetačního pokryvu v okolí komunikace a komunikace či zemního tělesa. Této problematice se více věnuje například sborník Konference *Stromy a jejich vliv na stavby* z r. 2005. V tomto sborníku jsou také řešena opatření, vedoucí k omezení negativních vlivů vegetace včetně preventivních, jako je udržení minimální vzdálenosti 4 m mezi stromy a okrajem komunikace (*Kuplík, 2005*).

2. 8. 1. Změny vlhkosti zemin v důsledku vegetace

Vegetace přirozeně ovlivňuje vlhkost zemin a případně i úroveň hladiny podzemní vody ve svém okolí její absorpcí kořenovým systémem. Hloubka, plošný rozsah a účinnost pak závisí na jejím charakteru a řadě dalších efektů, jako je roční období či míra oslunění konkrétního stromu. Tato schopnost tak může negativně ovlivnit podloží komunikace. Z tohoto pohledu jsou rizikové především tři typy zemin.

Zřejmě nejčastější na našem území jsou problémy spojené s ovlivněním vlhkosti bobtnavých zemin kořenovým systémem (viz kapitola 2.1.2.). Ten se, na rozdíl od vlivu vysychání, může projevovat i do hloubek 8 a více m (*Paseka a Bažant, 2005*). Problémy však nemusí v tomto případě vyplývat pouze z přítomnosti vegetace drénující vodu, ale i z jejího odstranění. Ke změně charakteru vegetace v místě komunikace či v jejím okolí může typicky dojít při samotné výstavbě komunikace, kdy je z trasy nivelety a jejího okolí odstraněna vegetace (*Felt, 1953)* či při rejuvenaci stromové aleje kolem komunikace. V tomto případě může vegetace způsobovat lokální subsidenci terénu v důsledku smršťování bobtnavých zemin, při jejím odstranění pak může nastat opětovné bobtnání či zamokření terénu.

Druhý problematický typ zemin představují rašeliny. Tyto zeminy mají často extrémní vlhkosti, pohybující se ve stovkách procent (*Nichol, Farmer, 1998* in *Janků, 2008*). Objem těchto zemin tak závisí úzce na jejich vlhkosti, stromy v těchto zeminách tedy mohou způsobovat časově relativně vytrvalou subsidenci.

Třetím případem může být snížení hladiny podzemní vody v propustných zeminách, což může vyústit v dokonsolidaci terénu mechanismem rozebraným v kap. 2.5.1.

2. 8. 2. Problémy spojené s prorůstáním kořenů

Kořeny mohou při svém růstu vyvíjet na okolí značný tlak. Při jejich prorůstání konstrukčními vrstvami komunikace může docházet k jejich zdvihům a trhání. Kořeny tak mohou svým růstem zneprůchodnit či potrhat drenážní systém komunikace.

2. 9. Ovlivnění komunikace výstavbou či provozem jiného objektu

Ve výše zmíněném dělení byly uvažovány případy vyplývající z interakce komunikace s horninovým prostředím ovlivňovaným pouze přírodními procesy či komunikací samotnou. Komunikace sama však může být zasažena jevy vyvolanými stavební činnosti v jejím okolí či provozem jiných staveb. Může se jednat o zasažení svahovou deformací v důsledku odlehčení svahu zářezem jiného objektu (viz kapitola 3.1.21.), změnu hydrogeologických podmínek v okolí v důsledku výstavby či provozu jiného objektu (jedna z možných příčin zmíněných v případě 3.1.10.), ovlivnění komunikace úniky z vodovodních potrubí (viz kapitola 3.1.14), umělými infiltracemi ze vsakovacích nádrží budov a mnohé další. Rozsah a mechanismy takovýchto problémů však již sahají mimo rámec této práce.

3. Příklady inženýrskogeologických problémů

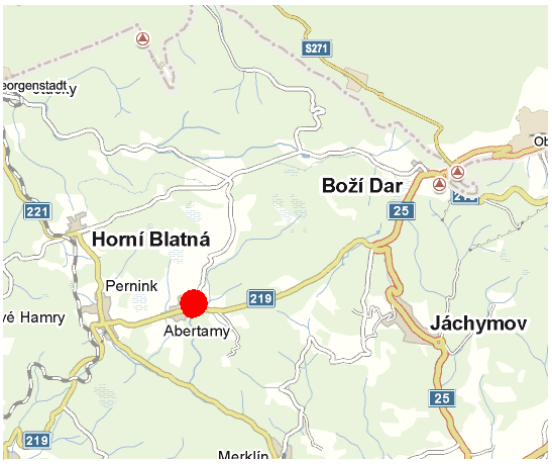
V následující části jsou formou krátkých „pasportů“ uvedeny příklady problémů liniových silničních a železničních staveb. Ve většině případů se jedná o situace, kdy se problém projevil vznikem havarijního stavu, ve dvou případech však i o situace, kdy bylo problému úspěšně předejito. V rámci vypracovávání těchto částí (především, avšak ne pouze 2. podkapitoly) jsem často využíval informací, získaných e-mailem či telefonicky (ať už od místních obyvatel, či například od investičních techniků SŽDC apod.). V rámci ochrany osobních údajů zmiňuji v práci pouze jména daných osob bez dalších kontaktních informací. V případě zájmu čtenáře a souhlasu dotyčné osoby jsem však schopen tyto údaje na požádání poskytnout. V rámci hlavičky každého případu je uvedena mapka, která má za cíl přiblížit lokaci daného místa. Cílem bylo do této mapky obsáhnout i větší obec, vyskytující se v okolí, z toho důvodu jsou v hlavičkách použity mapy různých měřítek. V hlavičce každého případu je rovněž uvedeno, které problematické jevy z výše navržené typologie jsou v případu zastoupeny. V případě, že negativní vliv některého z bodů nebyl jistý, je jeho číslo uvedeno v závorce.

3. 1. Rešeršní případy

Dále je uveden soubor případů, které jsem vyhledal v odborné literatuře, geotechnických zprávách a v manuskriptech poskytnutých přímo autory. Tyto rešerše pocházejí obvykle maximálně ze dvou rešeršních zdrojů, které jsou uvedeny v hlavičce každého případu. V takovém případě se celý text zakládá na syntéze ze zmíněných zdrojů a jednotlivé zdroje jsou tak v textu citovány pouze, je-li to z nějakého důvodu důležité. Pakliže byly mezi zdroji v některých oblastech rozpory, uvádím v textu obě varianty. Pokud byly příčiny jevu (a vliv problematických jevů z navržené typologie) sporné, uvádím v této části příčiny zmíněné v citovaných zdrojích, svůj vlastní názor uvádím pak v závěrečném komentáři. Příklady jsou dále uvedeny v abecedním pořádku.

3.1.1. Abertamy

Označení komunikace: Točna sběrných vozů na konci ulice Pražská
Lokalizace: V okraj obce Abertamy
Okres: Karlovy vary
Vedení nivelety: V úrovni terénu
Geologické podmínky: Horniny Karlovarského plutonu
Popis problému: Propad v důsledku poddolování
Období vzniku: Jaro 2006
Problematické jevy: ***VI***
(*Šefrna, 2006*)



Obrázek 15: Lokalizace řešeného případu. Upraveno z www.mapy.cz

K propadu uprostřed točny sběrných vozů v obci Abertamy došlo na jaře roku 2006 v okamžiku, kdy se na místě propadu otáčel popelářský vůz, který ve vzniklém propadu následně uvízl (Prirodakarlovarska.cz). Propad měl průměr 4 m a dosahoval hloubky 2,6 – 3,2 m, směrem do hloubky se propad dále rozšiřoval. Dle údajů místních, docházelo na daném místě k propadům již dříve. V dotyčném místě dříve stával rodinný domek, který byl však v důsledku opakovaných poruch zdemolován.

Propad se nacházel nad polymetalickou žilnou strukturou Lorenc. Ta je strmě ukloněná a probíhá východo - západním směrem. Od 16 století byla intenzivně těžena starci – starými důlními díly, jejich přesná poloha dnes není známá. Z výsledků vrtného průzkumu vyplynulo, že se jedná právě o propad jedné ze stařin. Jedním z vrtů byla v hloubce 9,5 m zastižena dutina, dle kamerové prohlídky pravděpodobně přímo stará sledná štola. Vrty v okolí ukázaly přítomnost skalního podloží v hloubce 6 m pod terénem, vrt v místě propadu ukázal kamenito-hlinitý zásyp až do hloubky 19,5 metru, kde byl vrt ukončen.

OBRÁZEK 16: PROPAD V OBCI ABERTAMY, Z ŠEFRNY, 2006

Situace byla dále řešena následovně:

- Volná dutina propadu byla stabilizována výplňovou injektáží na bázi fluidního popílku až do hloubky 0,8 m a vyztužena ocelovými mřížemi, položenými ve třech úrovních.
- Kamenito-hlinitý zásyp byl stabilizován tlakovou injektáží do hloubky 18 m. Použita byla směs užitá k výplňové injektáži, smísená s bentonitem a cementem
- V hloubce 0,7 m pod úrovní terénu byla položena geomříž s přesahem 5 m od okraje propadu. Na ni byl nad místem propadu osazen třístupňový extenzometr pro monitoring dalších pohybů.
- Následně byl povrch dorovnán hutněným zásypem frakcemi 8/16 a 0/32 mm. Na něj bylo znovu zbudováno těleso vozovky.

Komentář autora: Tento případ je zajímavý nejen z geologického hlediska, jež zde bylo ukázáno. Názorně ukazuje přístup, kdy je pozemní komunikace brána jako nenáročná stavba, již je možné postavit i v místech pro jiné stavby nevyužitelných. Přestože vznik propadu v daném místě byl vzhledem k podmínkám zřejmě nevyhnutelný, ve stavu limitní stability může představovat přitížení od nákladního auta rozložené na několika metrech plochy výrazný spouštěcí faktor.

3.1.2. Bystřička

Označení komunikace: Železniční trať Valašské Meziříčí - Vsetín
Lokalizace: Při severním okraji obce Bystřička
Okres: Vsetín
Vedení nivelety: Odřez doplněný násypem
Geologické podmínky: Flyš
Popis problému: Komplikovaná svahová deformace
Období vzniku: Červenec – Srpen 1997
Problematické jevy: *IV, V.B.*
(Rybář, 1999a)

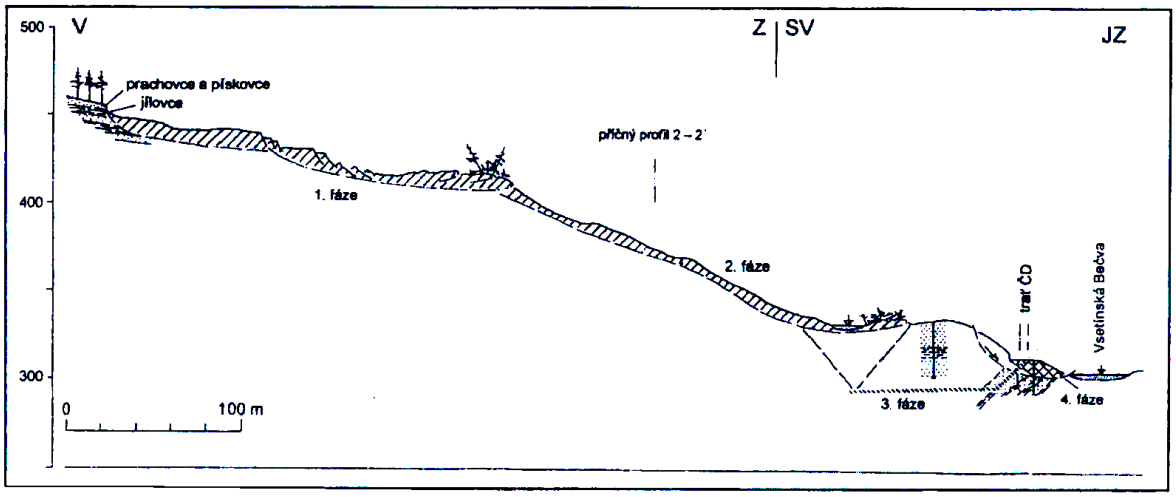
OBRÁZEK 17: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

Zde popisovaný zemní proud byl jeden ze tří vyskytujících se nad tratí u obce Bystřička po intenzivních srážkách v roce 1997.

Svah sesuvu byl tvořen rusavskými vrstvami patřícími do zlínského souvrství račanské jednotky. Ty jsou tvořeny střídajícími se vrstvami pískovců, jílovců a prachovců. Ty byly překryty vrstvou deluviálních sedimentů. Železnice byla situována mezi patou svahu a korytem řeky Bečvy. Před vybudováním železnice byla pata svahu opakovaně vymílána boční erozí řeky a svah nad ní vykazoval známky dřívějších hlubokých svahových pohybů. Samotná trať byla vybudována z většiny na násypu vysokém 7 až 8 m *(Březina a Stach, 1997)*, z části v odřezu. Sesuvy ve flyšovém pásmu jsou relativně specifické. *Nešvara a Sekyra (1999)* v této oblasti obecně vyčleňují dva typy sesuvů.

- Deformace "mělké", t.j. sesuvy, které se vyvinuly ve zvětralinovém plášti. Jílovce a pískovce flyšového komplexu zvětrávají na písčitou hlínu. V případě zvýšených srážkových úhrnů pak může docházet ke ztrátě stability a vzniku sesuvu. Tyto sesuvy se vyskytují ve chvíli, kdy strmost svahu dosáhne cca 15 – 17° a jsou vždy po spádnici.
- Deformace "hluboké", t.j. sesuvy zasahující do navětralého až relativně zdravého horninového komplexu. Těchto sesuvů je podstatně méně, než sesuvů prvního typu, do pohybu se dostávají velké masy horniny. Často dochází také ke kombinaci výše zmíněných typů.

Průběh řešené svahové deformace je dobře patrný z řezu, viz obr. 18. První fáze sesuvu se z pohledu dělení *Nešvary a Sekyry (1999)* dá označit jako deformace „hluboká“. V místě sesuvu tvořila převážně prachovcová souvrství synklinální koryto široké 30 - 50 m a se sklonem kolem 10°, kosým ke spádnici svahu. Ve vzdálenosti cca 250 m od odlučné oblasti se nacházela široká plošina, následovaná změnou sklonu svahu na cca 24°. Na této plošině se vytvořilo dílčí čelo sesuvu, načež pohyb



OBRÁZEK 18: PROFIL SVAHOVÝM POHYBEM U OBCE BYSTŘIČKA. RYBÁŘ, 1999.

pokračoval 2. fází charakteru zemnímu proudu. Ta se zastavila v morfologické depresi asi 30 m nad hladinou řeky. Zemní proud sám na železnici nepokračoval. V místě dokumentovaného sesuvu a v jeho okolí byl záhy zaznamenán přibližně půlmetrový posun železničního tělesa směrem do řeky a jeho výzdvih, v obrázku označen jako fáze 3. Toto bylo vysvětleno translačními pohyby vyvolanými zřejmě přitížením čela sesuvu. Předpokládá se, že v rámci 3. fáze byly oživeny staré hluboké deformace vázané na období podemílání paty svahu řekou. Následovala fáze 4, sesuv podél zakřivené smykové plochy, který poškodil železnici a opěrnou zídku pod železničním násypem.

Sanace v první fázi spočívala v odtěžení sesutého železničního tělesa a jeho rekonstrukci. Následně byly vybudovány subhorizontální odvodňovací vrty, nejdříve ze železničního tělesa a poté z paty říční navigace. Dále byl zaveden systém kontrolního sledování zahrnující inklinometrická měření, měření piezometrických hladin a měření pórových tlaků ve vrtech. Následně byly odtěženy masy čela sesuvu nad svahem železnice a bylo navrženo odvodnění odlučných oblastí sesuvů pomocí drenážních vrtů, vegetační úpravy svahů a zábrany proti zemním proudům. Zároveň bylo navrženo definitivní povrchové odvodnění svahů a bezpečné odvedení vod do řeky. Fáze č. 3, konkrétně poškození zárubní zídky následkem aktivace starých deformací, bylo mimo drenážních vrtů sanováno i hřebílkováním (*Březina a Stach, 1997*).

Komentář autora: Z popisu sesuvu vyplývá, že se při závěrečné fázi mohl uplatnit také vliv vody, vsakující se ze zvodnělé masy čela zemního proudu do podloží. Tento případ nicméně ukazuje jeden z klasických případů, kdy je železnice vedena v relativně stísněných podmínkách mezi svahem a řekou. Situace je zde komplikována tím, že zemní proudy podobného charakteru a rozsahu jsou v oblasti flyše mimořádně hojné (databáze sesuvů na webu ČGS - Geofondu eviduje v okolí několika kilometrů od řešeného místa řádově desítky svahových pohybů) a jejich konkrétní průběh může být obtížně předvídatelný. Zároveň v případech zemních proudů je krajně obtížné použít preventivní opatření - metoda přitížení paty svahu není v případech zemních proudů účinná a plošné povrchové odvodnění svahů může skýtat rizika v podobě zrychlení nástupu hladiny řeky po prudkých deštích.

3.1.3. Čabranka

Označení komunikace: Ž5031
Lokalizace: Údolí řeky Čabranka
Oblast: Gorski kotar region, Chorvatsko
Vedení nivelety: V odřezu
Geologické podmínky: Svahové sedimenty na tektonicky porušeném skalním podloží
Popis problému: Aktivace svahových pohybů provedením zářezu
Období vzniku: 2000 - 2001
Problematické jevy: ***III.A, III.B., IV, V.B***
(*Arbanas et al., 2006*)

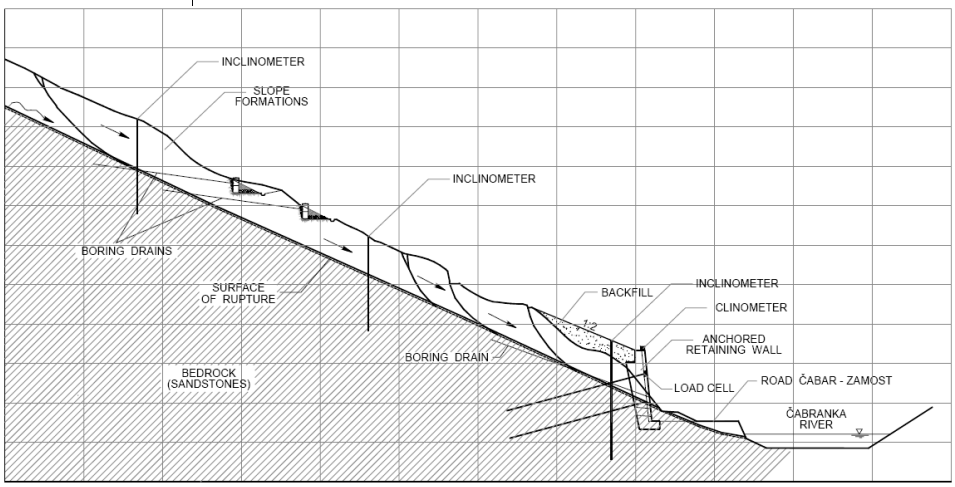
OBRÁZEK 19: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

V rámci propojení města Čabar a vesnice Hrvatsko došlo v údolí Čabranka k rozšíření stávajícího úseku komunikace Čabar - Zamost a výstavbě nového úseku Zamost - Hrvatsko. Tento úsek probíhal z většiny při patě údolí říčky Čabar, horského toku tvořícího hranici mezi Chorvatskem a Slovinskem. Realizaci staveb nepředcházel žádný geologický průzkum. Během její realizace došlo k vybudování, resp. rozšíření, zářezů v patě svahů. Před stavbou i během ní došlo ke vzniku řady svahových deformací, dále popisované vznikly během rozšíření komunikace Čabar - Zamost.

V zájmovém úseku prochází řeka velmi dynamickým reliéfem. Nad říčkou se zvedají relativně strmé svahy, které místy překonávají výškový rozdíl i přes 500 m. Svahy v zájmovém úseku dosahují průměrného sklonu 21°, maximálně pak 29°. Říčka Čabranka pak tvoří lokální erozní bázi. Čabranka stále funguje jako erozní činitel a svým tokem průběžně eroduje a odnáší materiál údolních svahů.

OBRÁZEK 20: JEDEN Z PŘÍVALOVÝCH PROUDŮ, VZNIKLÝCH PO ODTĚŽENÍ PATY SVAHU. ARBANAS ET AL., 2006

Zájmový úsek se nachází v tektonické jednotce Gorski kotar. V údolí převládají klastické permské sedimenty. Ty jsou tvořeny střídáním vrstevnatých břidlic, pískovců a křemenných slepenců. Nad nimi vystupují triasová klastika a karbonáty. Celá oblast je značně tektonicky postižená, horniny jsou silně zvrásněné a porušené zlomy. Tento předkvartérní podklad je kryt až 9 m mocnou vrstvou deluviálních sedimentů, v nichž dochází k promíšení zvětralin jednotlivých permských hornin. Tento pokryv má tedy charakter bloků pískovců a slepenců, smíšených s jíly a písčitými jíly.



OBRÁZEK 21: PROFIL SESUVEM, AKTIVOVANÝM VYBUDOVÁNÍM ZÁŘEZU VČETNĚ NÁSLEDNÝCH SANAČNÍCH OPATŘENÍ. ARBANAS ET AL., 2006.

K prvním zaznamenaným svahovým pohybům došlo již před zahájením výstavby. Je však pravděpodobné, že k nim docházelo i v minulosti, kdy řeka Čabranka průběžně erodovala paty svahů a reaktivovala sesuvy ve svazích nad ní. Po rozšíření zářezu pak došlo k rozšíření svahových pohybů. Došlo ke vzniku několika svahových nestabilit odlišného charakteru:

- Retrográdně se rozšiřující sesuv. Právě jeho aktivita byla zaznamenána místními obyvateli již před výstavbou. Po vyhloubení odřezu došlo k jeho aktivaci a retrográdnímu rozšíření do svahu. Celková délka dosáhla 86 m a šířka 80 m. Smyková plocha sesuvu procházela po hranici skalního podloží, tedy v hloubce 6-9 m.
- Přívalové proudy. Dva nejvýznamnější dosahovaly kubatur 20 000 m^3, resp. 5000 m^3 a byly tvořeny směsí kamenných bloků a prachovité a jílovité matrix. Maximální mocnost těchto pohybů dosahovala 6 m.
- Vyjíždění bloků po diskontinuitách. Tyto pohyby měly spíše lokální charakter a docházelo k nim následně po obnažení výchozů pískovců předchozími svahovými pohyby.

Sanace byly následně navrženy dle typu deformace. Hlavní důraz byl kladen na sanaci sesuvu.

- V první fázi byl nestabilní svah osazen monitorovacím systémem, tedy inklinometry, extenzometry, piezometry a geodetickými body. Sesuv byl sanován přitížením jeho paty a drenáží tělesa sesuvu. Drenáž sesuvu byla provedena dvěma řadami drénů, vrtaných do svahu a dále provedením drenážního příkopu nad a podél tělesa sesuvu k odvedení stékajících srážkových vod. K přitížení svahu byla využita opěrná zeď, zakotvená dvěma řadami kotev (viz obr. 21). Nad ni byla doplněna kamenná sypanina do sklonu 1:2. Ta byla stavěna od krajů směrem doprostřed sesuvu. Během výstavby sanačních opatření došlo k reaktivaci sesuvu, což vedlo ke zničení některých monitorovacích prvků a nutnosti instalace nových.
- Přívalové proudy byly sanovány vybudováním kotvené opěrné zdi nad komunikací, instalací drenážních vrtů ve spodní části akumulovaných sedimentů a v instalaci systému geomříží a kotev v tělese zemních proudů. Následně byl svah oset vegetací.
- Vyjíždějící bloky byly řešeny in situ dle vyhodnocení geotechnického dozoru.

Komentář autora: Přestože se jedná o případ ze zahraničí, ilustruje tento případ problémy, k nimž může vést provedení nezabezpečeného zářezu v (potenciálně) nestabilním území. Pokud by byla nestabilita území odhalena a respektována, šlo by v tomto případě zajistit stabilitu vybudováním zárubní (pilotové) zdi a drenážního systému v předstihu. Další alternativou by byla změna výškového vedení nivelety a výstavba komunikace na zemní konstrukci, zabezpečené ze strany řeky opěrnou zdí, případně přímo na vyztužené zemní konstrukci a opět toto spojit s drenáží svahů nad komunikací.

3.1.4. D3 - Mezno - Mitrovice

Označení komunikace: D3
Lokalizace: přibližně 63 km mezi obcemi Mezno a Mitrovice
Okres: Tábor
Vedení nivelety: V zářezu
Geologické podmínky: Krystalinikum kryto eluviálními sedimenty
Popis problému: Snížení hladiny podzemní vody v okolí zářezu
Období vzniku: Léto 2008
Problematické jevy: *V.A*
(*Jäger a Kessl, 2008, Tomášek, 2002*)

OBRÁZEK 22: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

Zájmový úsek se nachází při severním okraji úseku Nová Hospoda – Mezno na dálnici D3, tedy v místech, kde začíná jihočeský úsek dálnice, který dále pokračuje směrem na Tábor. Výstavba středočeského úseku dálnice nebyla v době psaní této části (Jaro 2011) ještě zahájena z důvodu zvažování jednotlivých variant jejího vedení (*ŘSD, 2010a*). V daném úseku probíhá silnice v zářezu hloubky až 9 m. Zářez byl odtěžován během května a června 2008.

Geologické podloží oblasti je tvořeno nerovnoměrně migmatitizovanými pararulami Moldanubika s vložkami rigidnějších tvrdších hornin typu amfibolitů či erlánů. Ty jsou v přípovrchové zóně zvětralé a přechází až v eluvium, do spodních partií zvětrávání vyznívá. Hloubka a intenzita zvětrání vykazují v celé oblasti vysokou proměnlivost (*Chmelař, 2004*, *Jäger a Kessl, 2008 a Tomášek, 2002).* Ohledně generelního směru průběhu a sklonu foliace se autoři různí, *Jäger a Kessl, 2008* uvádí směr severovýchod - jihozápad s úklonem k severozápadu, *Tomášek, 2002* uvádí směr vrstev severoseverovýchod - jihojihozápad a úklon k východojihovýchodu. Masiv je porušen několika systémy mladších puklin, *Jäger a Kessl, 2008* uvádí orientace sever - jih, severovýchod - jihozápad a

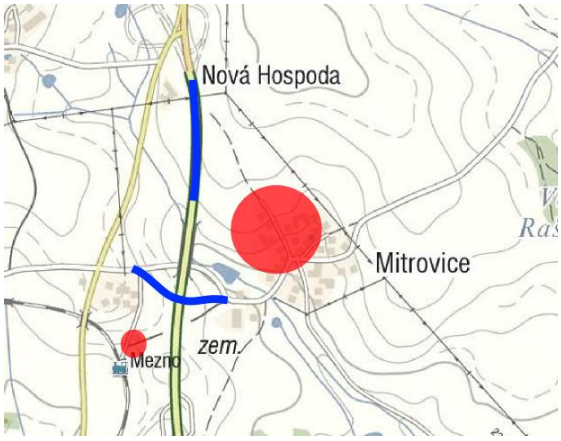
severozápad - jihovýchod. Skalní podloží je kryto proměnlivou mocností eluviálních, deluviálních a deluviofluviálních sedimentů, které místy dosahují mocnosti až 6 m (*Tomášek, 2002*), nicméně ve většině vrtů nepřekračovaly 1,5 m. Oblast leží na hydrologickém rozhraní a hlavní zdroj podzemní vody je tak srážková infiltrace. Hlavní oběh podzemní vody probíhá především v přípovrchové, zvětralé zóně krystalinika, kde je hornina rozpukaná a pukliny jsou často vyplněné písčitým materiálem. Na lokalitě existují i další typy oběhů, např. lokální zavěšené kvartérní zvodně a hluboký oběh vázaný na zlomová pásma vyplněná propustným materiálem. Úroveň hladiny podzemní vody je v důsledku různé hloubky a stupně zvětrání a tektonického porušení masivu sama značně proměnlivá.

Obrázek 23: Místa měření hladiny podzemní vody. 1 – Nová Hospoda, 2 – Mezno - Nádraží, 3 – Mitrovice. Modře je vyznačen hloubený zářez D3., červeně zářez přeložené silnice III/1248. Dle Jägera, Kessla, (2008), upraveno z www.mapy.cz

V souvislosti se stavbou dálnice byla také přeložena niveleta silnice III/1248 do zářezu, podcházející niveletu dálnice.

V rámci hloubení východní části zářezu bylo prováděno sledování hladiny podzemní vody. První sledování probíhalo v roce 2007. Následující, zde popisované, probíhalo v roce 2008 souběžně s hloubením dálničního zářezu a to na třech lokalitách: na lokalitě Nová hospoda, lokalitě Mitrovice a lokalitě Mezno - Nádraží. Lokalita Nová hospoda se nacházela cca 150 m západně od budované trasy, lokalita Mezno - Nádraží přibližně 200 m západojihozápadně od přeložky silnice III/1248, lokalita Mitrovice se nalézala 200-400 m jihovýchodně od zářezu dálnice. Na poslední lokalitě se také nacházelo nejvíce studní, využívaných pro zásobení obce. Ve většině studní byla hladina měřena jednou měsíčně, několik studen v potenciálně nejkritičtějších úsecích bylo osazeno automatickými stanicemi s hodinovou frekvencí měření.

Ke zhodnocení vlivu klimatu na změny hladiny podzemní vody byly monitorované hladiny srovnávány s vrtem ČHMÚ VP1017 (Soběslav) a bylo dále pracováno s rozdíly oproti tomuto vrtu. Sledování kontrolního vrtu i úhrnných měsíčních srážek z meteorologické stanice Tábor ukázalo, že rok 2008 byl z hlediska objemu srážek podprůměrný. Přesto měření ukázala v některých vrtech výraznější poklesy hladin, jež pravděpodobně nebylo možné vysvětlit pouze srážkovým deficitem. V některých vrtech docházelo od května k navážení vody, což zabránilo určení změn úrovně hladiny. Místa, ovlivněná zářezem ukazuje obr. 24, na němž je také patrná morfologie terénu.



Pravděpodobně ovlivněna úroveň hladiny podzemní vody ve studních (červeně) spolu s budovanými zářezy (modře) a průběhy vrstevnic. Přeložka III/1248 nebyla ještě v mapovém podkladu zachycena, proto probíhá vyznačený zářez „mimo komunikaci“. Dle Jägera, Kessla, 2008 upraveno z www.mapy.cz

Na lokalitě Mezno - Nádraží bylo měření komplikováno faktem, že do jedné ze studen byla během jara a léta navážena voda. Toto doplňování zřejmě ovlivnilo i dvě další blízké studny. Ve dvou studnách nejblíže zářezu pak došlo k poklesu hladiny až o 3 m.

Na lokalitě Nová Hospoda došlo pouze

k nevýraznému ovlivnění jednoho jímacího objektu.

Na lokalitě Mitrovice došlo k ovlivnění řady objektů, především v oblasti nejblíže k zářezu, avšak došlo také k ovlivnění dvou jímacích objektů, oddělených od hlavní oblasti objekty nepostiženými. To bylo vysvětleno přítomností poruchových pásem či jiných výrazných diskontinuit, podél nichž docházelo k preferenčnímu proudění podzemní vody a které byly zářezem ovlivněny. Maximální pokles hladiny činil přibližně 3 m (v oddělené studni na východním konci monitorované oblasti), v oblasti přivrácené k zářezu došlo k max. zaklesnutí o 1,5 m.

Komentář autora: V tomto případě je ovlivnění hladiny pravděpodobné. V případě Mitrovic zřejmě zářez ovlivnil proudění vody v hlubších puklinách směrem k zářezu a tím způsobil menší přítoky do oblasti Mitrovic. Na druhou stranu je situace komplikována značně proměnlivou hloubkou původního stavu podzemní vody a faktem, že nebyly známy odběry z jednotlivých studní (či alespoň faktory, umožňující tyto odběry odhadnout - např. zda byly studny využívány k zavlažování větších ploch, napouštění bazénů apod.). Zároveň mohly být stavy podzemní vody zkreslovány zmíněným navážením vody do studní (které samo je však zřejmě znakem přílišného zaklesnutí hladiny). Přesto určitá korelace mezi postupem odtěžování zářezu a celkovým trendem poklesů hladin spolu s existencí výše zmíněného možného mechanismu zřejmě nasvědčuje tomu, že snížení pochází od výstavby zářezu. Dle mého zjištění byl před budováním zářezu pasportizován stav budov, následkem zaklesnutí hladiny podzemní vody nedošlo k prokázaným vznikům poruch na stavbách v oblasti (Městský Úřad Mezno, telefonické sdělení, 8.3.2011)

Je nicméně otázkou, jak situaci řešit. V případě krystalinika bývá hladina podzemní vody vázána na přípovrchový puklinový kolektor a prohloubení studní proto pravděpodobně nepřinese žádný výsledek.

3.1.5. D8 - Trmice - Knínice

Označení komunikace: D8
Lokalizace: km 85,160 – 85,360
Okres: Ústí nad Labem
Vedení vozovky: V zářezu
Geologické podmínky: Výsypky
Popis problému: Sesuv během výstavby zářezu
Období vzniku: zima 2004
Problematické jevy: ***III.A, V.B***
(*Novotná a Záruba, 2008, Novotná, 2011*)

OBRÁZEK 25: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

V úseku Trmice - Knínice prochází dálnice výsypkami bývalého lomu 5. Květen. Materiál výsypek je tvořen třetihorními jíly s úlomky jílovců a dosahuje mocnosti až 35 m. Předběžný průzkum, provedený jinou firmou a zmíněný v *Novotné a Zárubovi (2008)* určil pro jílovitý materiál vrcholové pevnostní parametry Φ_{ef} = 13° a C_{ef} = 20 kPa (*). Hladinu podzemní vody zachytil průzkum 18 m pod terénem. Dle původního projektu měla v místě vzniku zde řešeného sesuvu probíhat niveleta zářezem hlubokým až 15 m se sklony svahů v poměru 1:2,5 s jednou lavičkou. V patě zářezu bylo plánováno vedení přeložky vodoteče. V zimě 2004, těsně před dokončením zářezu na požadovanou úroveň, došlo ke vzniku několika sesuvů, v zájmovém místě se první sesuv nacházel ve staničení km 85,170 - 85,200.

Pokles v odlučné oblasti činil 2 - 3 m, odlučná plocha byla zatržená o 5 - 6 m za hranu svahu. Při průzkumu sesuvu se ukázalo, že se ve výsypce nacházelo několik volných zavěšených zvodní v hloubce 2,5 – 4,5 m pod povrchem a nezachycených původním průzkumem. Přítomnost těchto zvodní byla místy i vizuálně patrna na svazích zářezu (*Novotný, J., ústní sdělení*). Stabilita svahů byla dále přepočítána s použitím redukovaných parametrů pevnosti, jež reprezentovaly předpokládané kritické pevnosti zeminy: Φ_{ef} = 16° a C_{ef} = 0-3 kPa. Laboratorní zkoušky byly provedené na tomto úseku až později v rámci jiného úkolu a určily kritické parametry na Φ_{ef} = 23° a C_{ef} = 0 kPa (*). Po provedení výpočtů se potvrdilo, že stabilita svahu se pohybuje kolem 0,98, tedy že svah je dlouhodobě nestabilní. Na základě této analýzy byl navržen upravený postup odtěžování zářezu, vedoucí ke stabilnímu řešení. Ten spočíval nejprve ve větším záboru půdy a zmírnění sklonů zářezu, následně pak ve vybudování 2 m vysoké opěrné gabionové zdi a nad ní zemního svahu o sklonu 1:2,5, vyztuženého geomříží. Navržený postup nebyl realizován a následně došlo ke vzniku druhého sesuvu ve staničení km 85,200-85,260.

OBRÁZEK 27: POHLED NA ODLUČNOU OBLAST JEDNOHO ZE SESUVŮ V R. 2004. NOVOTNÁ, 2011

OBRÁZEK 26: POHLED NA AKUMULAČNÍ OBLAST JEDNOHO ZE SESUVŮ V R. 2004. NOVOTNÁ, 2011

Po vzniku tohoto sesuvu byla situace řešena a bylo vypracováno několik variant řešení. Nakonec bylo zvoleno řešení, spočívající v:

- Přesunutí potoka z plánovaného koryta do dvou trub, vedených v patě zářezu. Hlavním důvodem pro toto řešení byla obava z netěsností koryta vodoteče a dalšího zhoršování stability zářezu vsakovanou vodou.
- Vybudování drenážních štěrkopískových žeber hloubky až pět metrů
- Vybudování přitěžovací lavice ze zeminy třídy F3 v patě zářezu. Ta byla nad vodovodními trubami, vyztužená geotextilií a s čelem z ocelových sítí terramesh.

Komentář autora: V tomto případě je zřejmé, že k chybě došlo již během průzkumu. Nezjištění lokálních zvodní mohlo být, dle mého názoru, způsobeno několika faktory:

- *Vzhledem k jejich typické laterální proměnlivosti je vrty nemusely zachytit.*
- *Ve zdrojích není uvedeno, jakou metodou byla úroveň hladiny podzemní vody měřena. V případě lokálních zvodní, nepříliš mocných, a charakteru jen o něco propustnějších poloh v jílovitých zeminách mohlo během vrtání dojít k rozetření jílů přes tyto polohy. V kombinaci s pravděpodobnou relativně malou vydatností těchto poloh a proražením spodního izolátoru vrtem to mohlo způsobit, že se zvodně na úrovni hladiny podzemní vody nemusely vůbec projevit. Je otázkou, zda by v takovýchto podmínkách, kde lze vznik zavěšených zvodní očekávat, nebylo výhodnější použít geofyzikální metodu rozpuštění soli ve vrtu a následného měření měrného odporu v důsledku přítoků vody po stěnách vrtu. Tato metoda mohla alespoň poukázat na případné přítoky vody z vyšších partií vrtu a tím odhalit přítomnost zavěšené zvodně (Bruthans, J., ústní sdělení). Jako další metoda se nabízí metoda napuštění vody do vrtu, jejího prosolení a následně použití karotážních metod (Novotný, J., ústní sdělení).*

*Novotná, Záruba, 2008 odkazují v případě některých údajů na další geotechnické zprávy, jež se mi však nepodařilo dohledat, a proto jsem je nemohl řádně citovat. Taková data jsou v textu označena symbolem **(*)**. V případě zájmu jsem proto čtenáře nucený odkázat původní zdroj.*

3.1.6. D47 (D1) – Ostrava

Označení komunikace: D47 (dnešní D1)
Lokalizace: Přibližně u soutoku Odry a Opavice
Okres: Ostrava – město
Vedení nivelety: Na násypu
Geologické podmínky: Násyp ze směsi ocelářské strusky, studeného odvalu a dalších hmot
Popis problému: Objemové změny v násypu
Období vzniku: Jaro 2009
Problematické jevy: *I.B*
(*Kresta, 2009* a *Kresta, 2011*)

OBRÁZEK 28: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ DLE KRESTY (2009) A STEJSKALA, L., ŘSD, SPRÁVA OSTRAVA (EMAIL, 24.3.2011)

Ke vzniku deformací na dálnici D47 v km 150.330-151.090 (dnešní D1, přibližně km 363-364 (*Stejskal, L., email, 24.3.2011*)) došlo na jaře 2009. Deformace měly charakter vertikálních zdvihů, jež dosahovaly až 0,5 m. Situace byla řešena nezávisle několika organizacemi, zde jsou využity poznatky, zpracované *Krestou (2009)* a *Krestou (2011)*.

Násyp byl budován především z tzv. studeného odvalu (staré vyzdívky vysokých a ocelářských pecí, smíšené s ocelářskou struskou). Tento materiál bývá často velmi nehomogenní a obsahuje především kusy hořečnaté a hořečnato-chromité strusky, dinasové a šamotové cihly, ale i kusy dalších odpadních stavebních materiálů. Materiál užitý při výstavbě byl konkrétně certifikovaný jako „*umělé kamenivo - homogenizovaný materiál štěrkodrť B-0-125*“ a dle průvodní dokumentace vykazoval dobré mechanické vlastnosti a zhutnitelnost.

V rámci průzkumu vznikajících poruch byla odebrána řada vzorků, které byly vyhodnoceny různými organizacemi. Na vzorcích provedené zkoušky následně ukázaly několik problematických aspektů materiálu zemního tělesa:

OBRÁZEK 29: POHLED NA ÚSEK PORUŠENÝ VERTIKÁLNÍMI DEFORMACEMI. KRESTA, 2011

- Mezi jednotlivými vzorky byly velké rozdíly, což pouze potvrzuje proklamovanou nehomogenitu studeného odvalu
- V případech některých vzorků byly některé parametry výrazně odlišné od hodnot uvedených v certifikátu, především se toto týkalo rozpadavosti v autoklávu
- Vzorky ukázaly poměrně vysoký obsah jemnozrnné frakce
- V některých vzorcích byl zaznamenán relativně vysoký obsah MgO
- V sypanině byly zastiženy i polohy cementárenských slínků, což svědčí o promíšení odvalu s dalším odpadním materiálem
- V násypu došlo, zřejmě částečně z důvodu přítomnosti slínků, ke vzniku zásaditého prostředí. Výluh z některých vzorků dosahoval pH 10,2-11,8

Tyto chemické podmínky byly ve výsledku vhodné pro reakci volného MgO a také minerálů akermanitu a galenitu se vzdušnou vlhkostí, tím k nárůstu objemu sypaniny a následně i ke vzniku deformací na komunikaci. Vzhledem k nehomogenně materiálu násypu také nebylo možné stanovit, jak dlouho budou objemové změny pokračovat.

Komentář autora: Využití alternativních materiálů je aktuálně intenzivně řešeným tématem. Přestože může užití této suroviny přinášet značné ekonomické úspory, rizika některých typů strusek jsou zde popsána. Udržení kvality značně nehomogenních materiálů pak klade značné nároky jak na dodavatele materiálu, tak na jeho další zpracování a kontrolu během jejího ukládání.

3.1.7. Davle – Žižkův Vrch

Označení komunikace: II/102
Lokalizace: Mezi obcemi Davle a Štěchovice, pod kótou Žizkův Vrch
Okres: Praha - Západ
Vedení nivelety: V odřezu pod skalní stěnou
Geologické podmínky: Prachovce a břidlice
Popis problému: Skalní řícení ve svahu nad komunikací
Období vzniku: 13.1.2011
Problematické jevy: ***IV***
(*Růžička 2011, Dufka et al., 2011)*

OBRÁZEK 30: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

Dne 13.1.2011 došlo, kolem 17. Hodiny, ke zřícení části skalní stěny na komunikaci Štěchovice-Davle. Geologickou stavbou údolních svahů a stěn mezi Strnady a Štěchovicemi se zabývala celá řada autorů, podrobněji viz kapitola 3.2.7.).

V postiženém úseku vede komunikace přibližně severojižním směrem při patě levé strany údolí řeky Vltavy. Nad ní se zvedá příkrý svah, přecházející až ve skalní ostroh, tvořící místy skalní věže, a postupně až v kótu Žižkův vrch. Průměrný sklon svahu je cca 50 - 65°, místy se nicméně vyskytují vertikální i převislé partie (*Vaníček et al., 2009).*

OBRÁZEK 31: POHLED NA KOMUNIKACI PO VZNIKU ŘÍCENÍ. RŮŽIČKA, 2011

Ve skalním ostrohu vystupují následující horniny (*Vaníček et al., 2009*):

- Černé, částečně prokřemenělé, svrchnoproterozoické břidlice lečických vrstev, s výraznou deskovitou odlučností. Těmi prostupuje žíla bazaltického andezitu Jílovského pásma.
- Svrchnoproterozoické prachovce a břidlice štěchovické skupiny s obvykle deskovitou vrstevnatostí a častou jemnou paralelní laminací.

V masivu se vyskytuje několik dominantních tektonických systémů. *Zvelebil (2007)* zmiňuje systémy s orientací spádnic 145/75-80° a 115/45-50° (odpovídá sklonu vrstevnatosti v hornině), *Růžička*

OBRÁZEK 32: POHLED NA ZŘÍCENOU SKALNÍ STĚNU BĚHEM JEJÍHO OČIŠŤOVÁNÍ. RŮŽIČKA, 2011

(2011) uvádí tři systémy diskontinuit nespecifikované orientace.

Během řícení dopadla část horniny (cca 10 m^3) až na vozovku, část zůstala ve svahu nad ní. K řícení došlo během krátkodobého oteplení spojeného s deštěm a táním sněhu (*Tichý, P., ústní sdělení, 18.5.2011*). Stěna byla prozkoumána a byly odhaleny další skalní bloky a partie vrcholových skalních věží, které bezprostředně hrozili zřícením. Dále byla stěna sanována následujícím způsobem:

- S pomocí lezců a lanových technik byla stěna prohlédnuta, byly identifikovány nestabilní bloky a ty byly shozeny, ať už pomocí ručních páčidel a sochorů nebo s pomocí tlakových podušek a hydraulických sochorů. Největším takto odstraněným blokem byla skalní věž o objemu cca 80 - 100 m^3.
- Vrchní partie skalní stěny byly stabilizovány pomocí vysokopevnostní dvouzákrutové ocelové sítě. Ta byla ke stěně přichycena svorníky délky 1,3 - 2 m. Síť byla následně překryta ocelovými lany o průměru 10 mm.
- Nejvíce rozrušené partie svahu byly zpevněny tlakovou injektáží.
- Při patě skalního svahu byla instalována dynamická bariéra o výšce 4,5 m, přichycená do podloží mikropilotami dlouhými 5 m.

Komentář autora: Tento úsek a jeho dosavadní zmapování je podrobněji zmíněno v kapitole 3.2.7. Faktem je, že situace, kdy horniny s výraznou deskovitou odlučností vybíhají ze svahu je ze stabilitního hlediska krajně nepříznivá. V celém úseku Davle - Strnady se vyskytují jak úseky, kde je riziko vyjíždění bloků zřejmé a kde ukloněné vrstvy spadají až ke komunikaci, tak místa, jako zde řešené, kde dochází k řícení ve svrchní části svahu, od komunikace oddělené lesem. Přestože les může v tomto případě zadržet určitou část především menších zřícených skalních bloků (Doc. Drozd, ústní sdělení), v případech jako je zde zmíněný nehraje rozhodující roli a může naopak činit riziko řícení z laického hlediska méně zřejmé.

3.1.8. Děčín - Hřensko

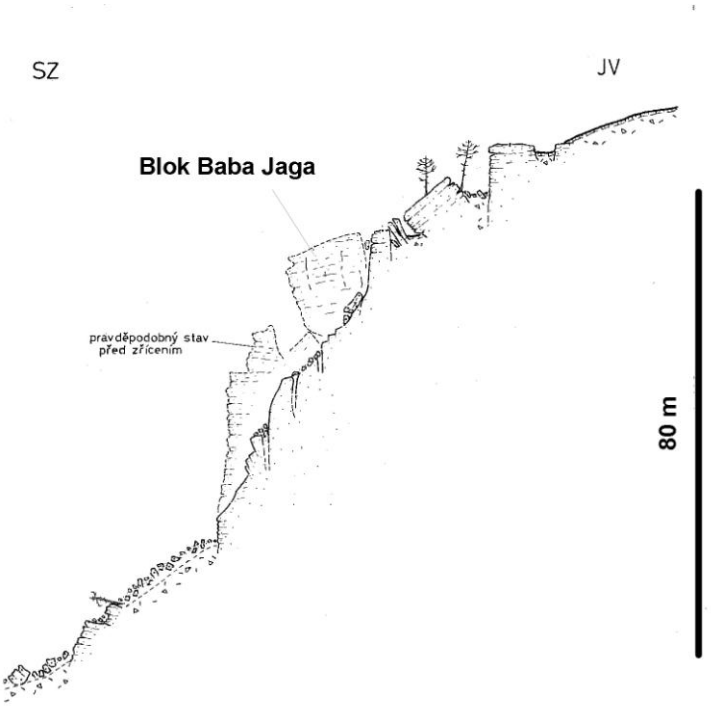
Označení komunikace: II/62
Lokalizace: Mezi obcemi Děčín a Hřensko (západoseverozápadně od obce Labská Stráň)
Okres: Děčín
Vedení nivelety: Násyp pod skalní stěnou
Geologické podmínky: Křídové pískovce tvořící stěnu nad silnicí
Popis problému: Zřícení skalní věže ve svahu nad vozovkou
Období vzniku: 20.3.1978
Problematické jevy: IV

(Zvelebil a Rybář, 1978)

OBRÁZEK 33: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

K řešenému řícení došlo v noci 20.3.1978 ve skalní stěně vysoké přes 50 m vystupující v pravé straně údolí řeky Labe. Pod skalní stěnou pokračoval terén zalesněným svahem o sklonu 28° až k silnici č. 62 vedoucí na nízkém násypu podél toku řeky. Při tomto řícení došlo k uvolnění řady bloků značných velikostí (největší dosahoval 390 m^3), z nichž většina se zastavila před dosažením komunikace. Několik větších bloků nicméně dopadlo až na komunikaci, na níž došlo k poškození konstrukčních vrstev a v jednom případě i tělesa násypu pod nimi.

Skalní stěna byla tvořena turonskými pískovci, jejichž čelo bylo rozvolněné a líc rozčleněn do charakteristických skalních věží. Pískovce vykazovaly inverzní sedimentární cykličnost s mocností jednotlivých cyklů 10 - 15 m. S tím mohl korespondovat vznik pěti příkrých až převislých skalních etáží odpovídajících výšek. Ve stěně bylo zjištěno několik dominantních systémů diskontinuit. První z nich byl tvořen subvertikálními puklinami probíhajícími přibližně kolmo na stěnu. Druhý byl systém velmi strmě (80 – 85°) ukloněných, se stěnou přibližně paralelních, a obvykle široce rozevřených diskontinuit, často vyplněných napadanými bloky a dalším materiálem. Původ těchto puklin je možné hledat v uvolňování napětí v masivu po zahloubení labského kaňonu. Třetím systémem byl systém mírně ukloněných ložních spár, které se však směrem do masivu rychle svíraly. V důsledku těchto tří systémů diskontinuit byl masivu rozdělen do složité soustavy bloků o rozměrech řádově metrů až desítek metrů tvořících pískovcové věže.



OBRÁZEK 34: PROFIL STĚNOU PŘED A PO SKALNÍM ŘÍCENÍ. ČÁRKOVANĚ JE VYZNAČENÁ REKONSTRUKCE PŮVODNÍHO TVARU SKALNÍ STĚNY A POLOHY BLOKU BABA JAGA., ZVELEBIL A RYBÁŘ, 1978 - UPRAVENO

OBRÁZEK 35: POHLED NA ZŘÍCENÉ BLOKY NA VOZOVCE. HTTP://DOLNIZLEBCOMPANY.COM/

Řícení souviselo s uvolněním bloku Baba Jaga. Tomu předcházel vznik puklin v tomto bloku, jejich rozevírání a drcení bloku, o nějž se Baba Jaga opírala. Samotné řícení začalo rozdrcením tohoto bloku v momentě, kdy tlak překročil pevnost pískovce. Padající blok Baby Jagy, o objemu přibližně 1000 m^3, dále srazil větší část skalní skupiny pod ním. Následně došlo ještě k vysypání balvanité výplně, zadržené za zmíněným blokem.

Jako hlavní příčina byl určen vznik převislých poloh, který vedl k akumulaci napětí v okrajových partiích stěny. Samotné oslabení mohlo mít několik příčin. První z nich byla primární rozdílnost v množství a kvalitě tmelu pískovců, kdy se v masivu mohly vyskytovat polohy s

jílovitějšími, méně odolnými tmely. Druhá souvisí s režimy podzemní vody v masivu, kdy mohlo docházet k vymílání tmelu podél oblastí se zvýšenou propustností, ať už tvořenou propustnějšími pískovcovými vrstvami či systémy puklin, dále k narušení expanzními účinky zamrzající vody či porušení horniny krystalizací solí z prosakujících vod. Dále se zde projevil efekt balvanité výplně puklin za blokem Baba Jaga, kdy docházelo v důsledku teplotní dilatance k opakovanému roztahování puklin expandujícím blokem a jeho zapadávání hlouběji po smrštění. Zjevně se zde také projevila akumulace napětí v čele stěny, vzniklá postupným vykláněním hlavního bloku.

Řícení bylo sanováno odstraněním bloků jak přímo napadaných na vozovku, tak potenciálně ohrožujících silnici svým dalším pohybem. Toto řícení vedlo k zahájení mapování Labského kaňonu.

Komentář autora: Tento případ je dalším příkladem vedení komunikace, kdy ke skalním řícením dochází opakovaně v důsledku geomorfologického vývoje území a geologických podmínek a kdy se rizikové oblasti efektivně nelze vyhnout. V takovýchto případech je tedy monitorování těchto úseků a průběžné odstraňování a sanace nejrizikovějších míst pravděpodobně jednou z nejvhodnějších alternativ.

3.1.9. Horní Ležany

Označení komunikace: Železniční trať Dolní Žanov - Cheb
Lokalizace: Km 443,692, v okolí mostního objektu u obce Horní Ležany
Okres: Cheb
Vedení nivelety: Na násypu
Geologické podmínky: Násyp tvořený převážně písčitými až štěrkovitými hlínami
Popis problému: Poklesy koruny a deformace svahů násypu
Období vzniku: Přelom let 2010/2011
Problematické jevy: ***I.A, I.C., II.A, II.B (II.C)*** *(Bouška, 2011)*

OBRÁZEK 36: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

V řešeném úseku prochází železniční trať na násypu výšky přibližně 12 m. V místě výskytu poruch prochází násyp přes mostní konstrukci mající podobu betonové klenby (viz obr. 37). Svahy násypu byly provedeny přibližně ve sklonu 1:1. Násyp leží při dně údolí Paličského potoka v mírném svahu orientovaném na východoseverovýchod (určeno z *www.mapy.cz*).

V rámci modernizace trati docházelo v celém úseku od března 2008 do prosince 2010 k četným rekonstrukcím mostních i dalším objektů (*http://stavby.karlovarska.net/stavba.php?ID=200719*). V rámci modernizace mostního objektu v Horních Ležanech byla rekonstruována svrchní stavba mostu, násyp nad mostem a zásyp v přechodových oblastech. Následně byly stěny zemního tělesa pokryty zádlažbou, mající charakter monolitické betonové vrstvy, pokryté kamennou dlažbou.

Od rekonstrukce v daném úseku začalo docházet k poklesům kolejí, poruchám opěrných zdí (vznik trhlin a odklon křídel od mostu) a poruchách zádlažby (vznik trhlin a posunů). Z fotografií poskytnutých firmou *4G Consite* vyplývá také vznik mělkých svahových pohybů na svazích násypu. V rámci průzkumu byly provedeny z koruny násypu 4 těžké penetrační zkoušky a 1 jádrový vrt. Z nich vyplynulo následující složení násypu:

OBRÁZEK 37: CELKOVÁ SITUACE POSTIŽENÉHO ÚSEKU NÁSYPU. BOUŠKA, 2011.

I. 0 - 0,9 m: drcené kamenivo kolejového lože a štěrkodrť
II. 0,9 – 1,6 m: hlinitý štěrk zlepšený pojivy, dle výsledků penetračních zkoušek kyprý
III. 1, 6 – 3 m: silně zahlíněné štěrky, dle výsledků penetračních zkoušek středně ulehlé
IV. 3 - 12,3 m: Písčité hlíny s příměsí úlomků hornin do 3 cm (do 30%) až hlíny štěrkovité. Penetračními zkouškami bylo zaznamenáno několik poloh s malým dynamickým odporem, které byla určeny jako místa málo zhutnělá.
V. 12,3 m - :Podložní zemina pod násypem charakteru tuhých písčitých jílů.

V hloubce 2- 6 m se vyskytovaly vrstvy polypropylénových geomříží (vždy po 0,5 m) s okem o velikosti 25 mm. Jejich spodní hranice byla pravděpodobně i hranicí nového rekostruovaného násypu.
Jako příčiny deformací pak byly určeny následující faktory:

- Příliš strmý sklon svahů násypu vzhledem k použité zemině
- Příliš jemnozrnná zemina vzhledem k užité geomříží. V důsledku toho nedocházelo k zaklínění zrn za strukturu geomříží a k plné aktivaci účinnosti geomříží.
- Polypropylénové mříže měly vyšší průtažnost než polyester, z čehož plyne jejich menší creepová účinnost.
- Použité zeminy byly namrzavé až nebezpečně namrzavé.
- Použití ochranné zádlažby bylo

OBRÁZEK 39: POHLED NA TRHLINY, VZNIKLÉ V POVRCHU ZÁDLAŽBY. Z ARCHIVU FIRMY 4G CONSITE

OBRÁZEK 38: SESUV VZNIKLÝ PODÉL OKRAJŮ MOSTNÍCH KŘÍDEL. Z ARCHIVU FIRMY 4G CONSITE

problematické. Zádlažba neumožňovala odtok vody ze zlepšeného podloží železničního svršku, kde následně docházelo k její akumulaci a k degradaci zemní pláně. Kromě toho docházelo k jejímu pohybu po svahu a k tlaku na křídla mostu a opěrné zdi, kde docházelo následně ke vzniku trhlin.

- Výskyt nedostatečně zhutnělých poloh v násypu.

Následně byla navržena bezprostřední sanační opatření:

- Sejmutí zádlažby a vrstvy degradovaných zemin pod ní a zhutnění svahů násypu.
- Pokrytí svahu protierozním geosyntetikem přikotveným ke svahu.
- Monitorování pohybu svahů násypu i deformací probíhajících na jeho koruně.

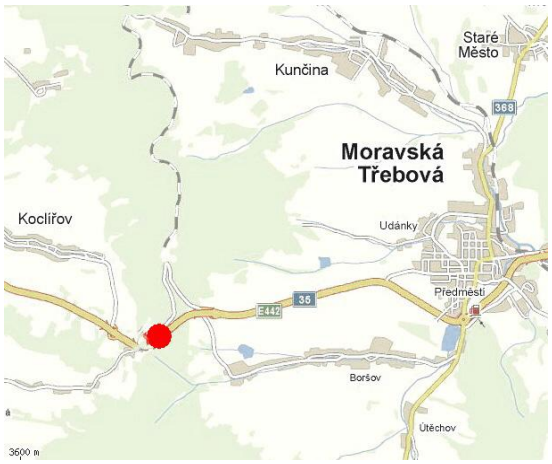
Na závěr byla navržena finální sanace jako jedna z následujících možností:

- Rozebrání násypu a jeho přebudování ze štěrkovitokamenitých zemin vyztužených geotextilií.
- Zlepšení stability násypu pomocí hřebílkování.
- Zbudování kotvené gabionové zdi u paty svahu, zmírnění svahu nad ní s pomocí štěrkovitokamenitého zásypu.

Komentář autora: Přestože vysokou citlivost polypropylenových mříží potvrzuje mj. Vaníček a Vaníček, 2007, je otázkou, zda zde zmiňovaná konstrukce může být na tyto projevy citlivá, a tedy zda je vhodné v tomto hledat jednu z příčin. Přestože zpráva uvádí stabilitní výpočty tohoto násypu, je otázkou, zda v násypu opravdu probíhaly hlubší deformace charakteru začínajících sesuvů spojených s bočním roztažením geotextilie či zda se jednalo spíše o dodatečnou konsolidaci v důsledku nedohutnělých poloh a v důsledku zvýšené vlhkosti materiálu a nezávisle na nich o mělké projevy nestability v důsledku příliš strmých svahů násypu. Rovněž by bylo na lokalitě výhodnější vybudovat další vrt, pro potvrzení penetračních zkoušek. Dle Boušky (2011) byl tento vrt i naplánován, avšak nebyl z technických důvodů realizován.

3.1.10. Hřebeč

Označení komunikace: I/35
Lokalizace: Při východním portálu tunelu Hřebeč
Okres: Svitavy
Vedení nivelety: V zářezu pod svahem a skalní stěnou
Geologické podmínky: Křídové pískovce a slínovce uložené na jílovcích
Popis problému: Kombinace skalního řícení a sesuvu
Období vzniku: 1.4.2006
Problematické jevy: ***III.A, III.B, V.B, (IX)***
(*Bohátková, 2007*)



OBRÁZEK 40: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

Zde popisovaný sesuv vznikl za východním portálem tunelu Hřebeč. V této oblasti je horninové prostředí tvořeno následujícím, subhorizontálně uloženým, horninovým sledem:

I. Turonské písčité slínovce (opuky) bělohorského souvrství v mocnosti 13-15 m. Jsou deskovitě odlučné a středně rozpukané minimálně podle 2 systémů vertikálních diskontinuit (orientace severoseverovýchod - jihojihozápad a východ - západ), při povrchu stěny rozevřených až na 100 mm.

II. Cenomanské glaukonitické pískovce korycanského souvrství - jílovité, slabě zpevněné, deskovitě odlučné s nevýraznými vertikálními puklinami.

III. Tmavě šedé jílovce a jíly peruckého souvrství, místy s obsahem slojek uhlí. V nich je v postiženém úseku vedena i niveleta komunikace.

Ve stěně docházelo na bázi slínovců k trvalým vývěrům vody, k dalším vývěrům, pravděpodobně sezónním docházelo i na hranici cenomanských pískovců a jílovců.

K sesuvu došlo na stejném místě již v r. 1997, jeho sanace má přímou souvislost se zde ukázaným sesuvem z r. 2006. Původní sesuv byl sanován navezením směsi původních sesutých hmot a málo propustného jílovopísčitého výkopku z okolí zpět a jejich urovnáním do původního sklonu. Na bázi zásypu byla provedena drenážní štěrková vrstva. Pod skalní stěnou byla umístěna gabionová zeď a dřevěná palisáda na betonovém základu.

Sesuv v roce 2006 dosahoval délky 52 m (v horizontálním průmětu) a šířky 42 m. Odlučná oblast měla výšku až 15 m a tvořila ji skalní stěna (viz obr. 41). Smyková plocha měla rotačně planární charakter, doprovázený uvolňováním skalních bloků ve stěně za sesuvem a následně a skalním řícením.

K iniciaci sesuvu došlo bezprostředně po jarním tání, doprovázeném intenzivními srážkami. Došlo k saturaci puklinových systémů jak ve slínovcích, tak v glaukonitických pískovcích a k vývěrům vody na jejich kontaktu, resp. na kontaktu pískovců a jílovců. Vznik vývěrů mohl rovněž souviset se změnou hydrogeologického režimu v okolí po ukončení čerpání vody z blízkého lomu. Vývěry nasytily kontaktní vrstvu mezi nepropustnými jílovci a málo propustnou navážkou po sanaci předchozího sesuvu, po tomto kontaktu následně došlo k sesuvu. V další fázi sesuvu došlo k porušení gabionové zídky při patě skalní stěny a následně k řícení ve stěně samotné. Během dvou měsíců po vzniku sesuvu docházelo také k pohybu svahu pod komunikací.

OBRÁZEK 41: POHLED NA SESUV U PORTÁLU HŘEBEČ. Z ARCHIVU MGR. BOHÁTKOVÉ

Sesuv byl sanován velmi komplexním způsobem, rozděleným na několik částí:

- Odtěžením sesutých hmot a očištěním skalní stěny od volných bloků a vegetace. Poté bylo odtěženo horních 2,9-4,3 m skalní stěny a vytvořena pracovní úroveň pro instalaci stabilizačních prvků stěny. Ty spočívaly v instalaci pozinkovaného pletiva, přes které byly položeny HEA panely z ocelových lan. Ty byly uchyceny k nepředpínaným kotvám umístěným na pracovní úrovni 5 m za okrajem stěny a k injektážím tyčím, umístěným na bázi slínovců, kromě toho byly ke stěně přichyceny systémem injektážních tyčí délky 2 m.
- Vybudováním přitěžovací a ochranné lavice. Přitěžovací lavice, určená ke stabilizaci spodní části svahu, byla provedena ze štěrku frakce 32-63 mm ve dvou úrovních jako vyztužená zemní konstrukce. Vyztužení bylo realizováno geomříží v celé šířce lavice. Ochranná lavice, k ochraně proti vypadávání glaukonitických pískovců ze stěny a jejich dalšímu zvětrávání, byla vybudována na přitěžovací lavici. K její konstrukci byly využity prvky green terramesh vyplněné lehčeným kamenivem Liapor, její tvar kopíroval skalní stěnu.

- Svah pod komunikací byl sanován drenážními žebry do hloubky 2,1-3 m. Rozhodující pro uklidnění pohybů se však ukázalo podélné odvodnění přitěžovací lavice, po jeho provedení pohyby ustaly.

Komentář autora: V *tomto úseku došlo k prvním porušením masivu již při ražbě východní části tunelu Hřebeč (Barták, 1999). V rámci něho bylo dokumentováno porušení masivu „odsedáním", tedy postupným zabořováním a vykláněním sloupovitých horninových ker, omezených diskontinuitami. Bohužel zpráva neuvádí podrobnější detaily předchozího, nevhodného sanačního zásahu, nicméně je zřejmé, že navezení sesutých hmot zpět na jejich místo není zcela optimální sanační metoda.*

3.1.11. Hřensko

Označení komunikace: I/62
Lokalizace: Severně od ústí Kamenice do Labe
Okres: Děčín
Vedení nivelety: V úrovni terénu
Geologické podmínky: Skalní pískovcové věže nad komunikací
Popis problému: Riziko řícení v důsledku nestability skalního masivu
Období vzniku: 2010-2011
Problematické jevy: ***IV***
(*Zvelebil (2010a), Zvelebil (2010b*))

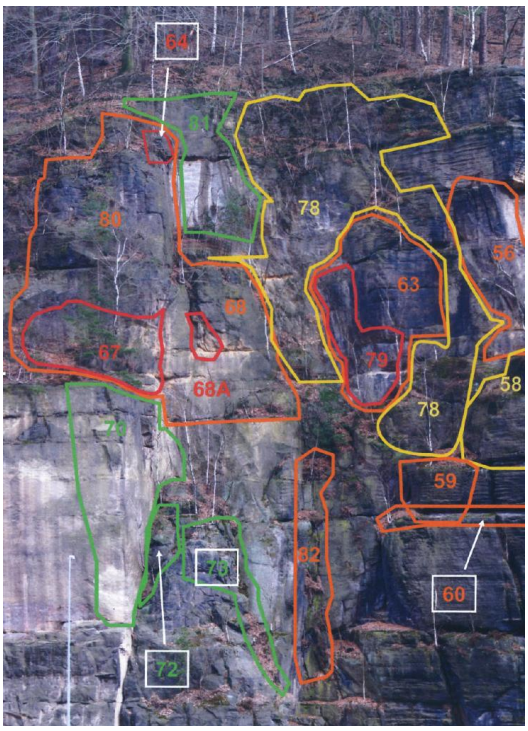
Obrázek 42: Lokalizace řešeného případu. Upraveno z www.mapy.cz

Dne 27.8.2010 byly při pravidelné kontrole stěn podél komunikace I/62 zjištěny projevy hrozící nestability skalních stěn, které bezprostředně ohrožovaly bezpečnost provozu na komunikaci. Bylo pozorováno jak drcení skalního masivu, pravděpodobně v důsledku vyklánění nadložních věží, tak vznik odprysků v důsledku koncentrace napětí, vznik čerstvých trhlin a podobně.

Stěna, vysoká přibližně 35 m (viz obr. 43), je tvořena spodnoturonskými pískovci Bělohorského souvrství (*geologická mapa 1 : 50 000, http://www.geologicke-mapy.cz/).*
Oblast byla následně zmapována a rozčleněna na 4 oblasti: oblasti představující bezprostřední ohrožení, oblasti představující potenciální ohrožení v intervalu 6 měsíců atd. (klasifikace rizika používaná při hodnocení labských pískovců podrobněji viz např. *Zvelebil (2010b)*). Vzhledem k tomu, že navzdory ohrožení, které nestabilní bloky představovaly pro komunikaci, nebylo možné jejich okamžité odstranění, byla zvolena metoda monitoringu: Stěna byla osazena měřicími přístroji, především měřiči

Obrázek 43: Celkový pohled na postiženou skalní stěnu v závěru první fáze sanačních prací. Z www.decin.cz

rozevírání puklin a trhlin, mezi jednotlivými částmi masivu; byly určeny dva varovné stavy, první pro zvýšení pozornosti, druhý pro uzavření komunikace; stěna byla pravidelně kontrolována horolezeckým prostupem. Po provedení těchto opatření byla pod stěnou vybudována gabionová zeď a záchytné lože pro případ pádu kamenů do objemu 5m^3 a silnice byla v jednom pruhu otevřena. Dne 10.12.2010 pak došlo na několika místech k dosažení 2. varovného stavu a komunikace byla opět uzavřena a byla navržena možná opatření. Ta se měla sestávat z postupného odtěžení nejkritičtějších bloků s pomocí hydraulických klínů a následné stabilizace potenciálně ohrožených oblastí spolu s jejich blízkým okolím. Při těchto pracích neměly být používány metody vyvozující otřesy (příklepově-rotační vrtání a odstřely) a během jejich realizace mělo být sledováno rozevírání puklin ve stěně, aby se zabránilo náhlým řícením a ohrožení života provádějících pracovníků. První fáze prací byla úspěšně realizována během února 2011 a nedošlo během ní k poškození komunikace (*http://www.decin.cz*), druhá fáze v době vypracování této práce ještě realizována nebyla.



OBRÁZEK 44: POHLED NA OHROŽENOU STĚNU S VYZNAČENÝ OBLASTMI S RŮZNÝM RIZIKEM ŘÍCENÍ. ZVELEBIL, 2010A

Komentář autora: Tento případ ukazuje aplikaci observačního postupu při řešení hrozících nestabilit v labském údolí. Skalní řícení se v této oblasti vyskytují relativně hojně, viz kapitola 2.1.8. Observační přístup má rovněž tu výhodu, že umožňuje oddálit samotný sanační zásah, čímž poskytuje dostatek času pro, místy poněkud komplikovanější, koordinaci dvou hlavních investičních subjektů v této oblasti – Správy národního parku České Švýcarsko a ŘSD (Z. Zika, email, 14.4.2011 a např. http://www.decin.cz/2011/04/zpevneni-skaly-u-hrenska-prijde-na-30-milionu-park-zada-o-dotaci/).

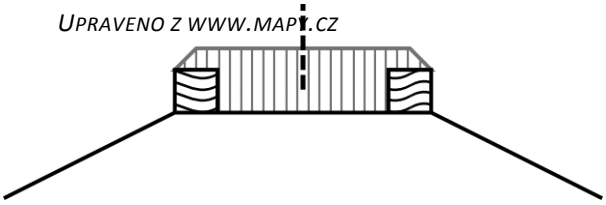
3.1.12. Jilešovice

Označení komunikace: Žel. úsek Ostarava Svinov – Opava východ
Lokalizace: km 272 u obce Jilešovice
Okres: Opava
Vedení nivelety: Na násypu
Geologické podmínky: štěrkový násyp s podpůrnými gabionovými zídkami
Popis problému: vychylování, deformace gabionových zídek
Období vzniku: r. 2005-2010
Problematické jevy: *II.C*
(*Kresta, 2007, Kresta, 2010*)

OBRÁZEK 45: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

V rámci elektrifikace železniční trati došlo, v úseku dlouhém přibližně 540 m u východního okraje obce Jilešovice, k úpravě tělesa železničního násypu. V rámci ní došlo k vybudování 1 m vysoké gabionové zídky ve vrchní části násypu (viz obr. 46) a to v následujících fázích:

I. Byly odtěženy konstrukční vrstvy až na zemní pláň násypu. Ta byla tvořena štěrkovitými zeminami třídy G2-G3, dle průzkumu dostatečně únosnými.
II. Na zemní pláň byla zbudována gabionová zídka výšky 1 m.
III. Mezi gabiony byly hutněny konstrukční vrstvy železničního spodku.
IV. Na ně a na gabiony bylo poté zbudováno roznášecí železniční štěrkové lože.



OBRÁZEK 46: ORIENTAČNÍ SCHÉMA ZACHYCUJÍCÍ TĚLESO NÁSYPU, REKONSTRUOVANÉ KONSTRUKČNÍ VRSTVY ŽEL. SPODKU A SVRŠKU (VERTIKÁLNÍ ŠRAFOU) A POLOHU GABIONŮ (VLNOVKOU). SCHÉMA NENÍ V MĚŘÍTKU. NA ZÁKLADĚ KRESTY, 2007.

Stavbu provázelo několik problémů. Během výstavby gabionů došlo k technologické nekázni, kdy gabiony, dle projetu skládané, byly kamením vysypány a až následně, na základě připomínek investora, ručně přeskládány. Dále začalo docházek k deformacím gabionové zídky a jejímu odchylování od vertikální osy. K prvním projevům deformací docházelo již během výstavby gabionové zídky, kdy byly

OBRÁZEK 47: POHLED NA DEFORMOVANOU GABIONOVOU ZÍDKU Z 15.5.2006. KRESTA, 2007

gabiony ponechány bez rubové opěry a zemní pláň mezi nimi byla využívána staveništní dopravou z dalších úseků stavby. K dalším deformacím docházelo během hutnění konstrukčních vrstev mezi gabiony. Poslední část deformací probíhala po dobudování trati během jejího provozu. Maximální horizontální odchylka na konci listopadu 2005 dosahovala 30 mm.

Na lokalitě bylo dále v období 11.2007 – 5.2010 realizováno geodetické měření na deseti bodech fixovaných na gabionové zídce a deseti bodech na svazích násypu. V tomto období proběhly nejprve 4 měření do 5.2008 a poté 2 měření s ročním intervalem (5.2009, 5.2010). Jako významné byly určeny deformace nad 20 mm v horizontálním a 5 mm ve vertikálním směru. Výsledky měření bylo možné shrnout následovně

- K významným horizontálním posunům gabionové zídky (20-45 mm) došlo v úseku km 272,137-272,279 a dále na konci úseku km 271,799. V těchto úsecích všechny body (s výjimkou dvou, jejichž pohyb byl anomální) vykazovaly přibližně lineární posun. Maximální posun dosáhl 45 mm
- Horizontální posuny na svazích pod gabiony se pohybovaly okolo nulových hodnot s výjimkou bodu v km 271,799, kde došlo k posunu až o 30 mm.
- Vertikální posuny se ukázaly bez větší souvislosti s horizontálními. Kromě bodu 271,799, kde došlo k přibližně linárnímu nárůstu poklesu gabionové zídky až na 13 mm a k poklesu bodu ve svahu pod zídkou o 5 mm (intenzita pohybu však byla v období 2009-2010 menší než v období 2008-2009), vykázaly narůstající výraznější deformace pouze dva body v úseku km 272,137-272,279 (průběh jejich deformací měl podobný tvar jako z km 271,799 a dosahoval 5, resp. 9 mm), v těchto místech už nicméně nedošlo k výraznějším posunům v bodech pod zídkou.

Jako další postup byl navržen pokračující monitoring a stanoveny hodnoty 100 mm pro horizontální a 50 mm pro vertikální deformaci s doporučením, že při překročení těchto hodnot je vhodné svah stabilizovat technickými prostředky. Měřící body byly také na konci měření zkontrolovány a shledány neporušenými.

Jako hlavní příčina deformací byl určen především nevhodný návrh gabionové zídky. Během výstavby byly gabiony ponechány bez zárubní opěry a nebyly ani nijak propojeny, proto byly vystaveny otřesům způsobeným dopravou na stavbě a otřesům během hutnění zemních vrstev mezi nimi. Chybějící provázání zídek pak zapříčinilo další deformace zídky v důsledku otřesů způsobených provozem na trati. Jistý vliv na nárůst deformací mohlo mít i výrazné tání po zimě 2009/2010.

Jako hlavní příčina bylo tedy stanoveno zanedbání dynamických účinků jak od pojezdu dopravy, tak od hutnících strojů a provozu železnice při návrhu konstrukce zemního tělesa.

Komentář autora: V tomto případě by bylo užitečné znát uchycení měřících bodů na gabionech, aby bylo možné posoudit, zda pozorované deformace nemohou souviset i s dodatečným zdeformováním gabionů či pouze vykláněním měřících bodů. Zpráva se však v tomto detailu odkazuje na jinou dílčí zprávu, kterou se mi již nepodařilo získat. Při sledování deformací se nicméně nabízí otázka, zda byla kontrola investora nad prováděním gabionů dostatečná a zda prováděcí firma nepoužila opět metodu sypání kameniva v úseku 272,137-272,279, což by mohlo vyústit ve větší deformace košů a tím i bodů v tomto úseku. Místem, zasluhujícím pozornost, je pak bod v km 271,799, kde docházelo k narůstajícím deformacím jak na gabionové zídce, tak ve svahu pod ní. Tato deformace by mohla teoreticky svědčit o začínajícím svahovém pohybu. Geodetické body byly nicméně na zídce rozmístěny v nepravidelných intervalech, nejbližší bod byl od potenciálně problematického vzdálený cca 150 m. Je otázkou, zda by v případě takto narůstajících deformací nebylo vhodné jeho okolí doplnit dalšími body, aby se tím vyloučil, případně potvrdil tento trend.

3.1.13. Košťálov

Označení komunikace: trať Pardubice - Liberec
Lokalizace: km 95,1 u obce Košťálov
Okres: Semily
Vedení nivelety: Na násypu
Geologické podmínky: Násyp z jílovitoprachovitého materiálu na svahu obdobného složení
Popis problému: Sesuv násypu a svahu pod ním
Období vzniku: 2.1.1975
Problematické jevy: ***II.A, V.B, (IX)***
(*Rybář, Pašek, 1975*)

Obrázek 48: Lokalizace řešeného případu. Upraveno z www.mapy.cz

2. ledna 1975 došlo poblíž železniční zastávky v obci Košťálov k prvnímu zaznamenání nestability železničního násypu. Sesuv přerušil provoz na trati a svým čelem přehradil koryto říčky Olešky. V ní se následně vzedmula hladina vody a způsobila zaplavení obytných domů, ležících v okolí potoka. K aktivaci sesuvu došlo po třech měsících anomálně intenzivních srážek, kombinovaných s převažujícími teplotami nad bodem mrazu. V prosinci před aktivací přesáhly srážky více než trojnásobně dlouhodobý průměr.

Postižený železniční násyp výšky až 11 m byl vybudován v r. 1857 se svahem o sklonu 35° na přirozeném svahu o sklonu 12-15°. Jeho těleso bylo tvořeno jílovoprachovitou zeminou, místy s drobnými úlomky jílovců, pískovců a dalších hornin. Charakteru sypaniny násypu odpovídal charakteru kvartérního pokryvu v jeho okolí. Koruna násypu byla tvořena kamenitou sypaninou o proměnlivé mocnosti 1 -3 m. Násyp dosahoval až 30 m nad úroveň říčky. Morfologie terénu i násypu je dobře patrná z obr. 51.

Předkvartérní podloží je v postiženém úseku tvořeno permskými červenými jílovci, prachovci, jílovitými pískovci, arkózovými pískovci, s obzory šedě zbarvených vrstev s polohami karbonátů, patřících pod vrchlabské vrstvy (*legenda ke geologické mapě 1 : 50 000, http://www.geologicke-mapy.cz/)*. Ve spodní části svahu převládají jílovce a prachovce, ve vyšších pak převažují spíše prachovité a jílovité pískovce. Nejvyšší partie svahu, již nad tělesem násypu, jsou tvořeny intruzivním tělesem melafyrů. Předkvartérní podklad je kryt deluviálními jílovitými a prachovitými hlínami, místy s výskytem větších úlomků horniny. Údolní niva řeky Olešky, nacházející se pod sesuvem, je tvořena písčitými štěrky, krytými holocenními hlinitopísčitými náplavy.

Obrázek 49: Pohled na odlučnou oblast sesuvu z 21.1.1975. Pašek, Rybář, 1975

Sesuv sám probíhal v několika fázích, které průběžně doprovázela provizorní sanační

opatření, směřující k zabezpečení provozu na trati. K první aktivaci sesuvu došlo 2.1.1975. Tento vzniklý sesuv měl rozměry přibližně 50 x 60 m a postihl jak stráň pod násypem, tak samotné těleso násypu. První sanační zásah spočíval v rychlém vybudování provizorního násypu 5,5 m proti svahu od stávajícího a přesunutí trati na něj. Tento zásah umožnil co nejrychlejší obnovení provozu na trati, avšak mohl svým přitížením ještě snížit stabilitu zemního tělesa. Zároveň s tím bylo zahájeno budování nového koryta Olešky ve větší vzdálenosti od paty svahu. Během ledna 1975 pak byla pozorována další aktivita sesuvu, rozšiřování odlučné oblasti a zrychlování jeho pohybu. Dne 21.1.1975 došlo k sesutí další části násypu v šířce přibližně 30 m. 10.2.1975 došlo k dalšímu pohybu sesuvu, dál již výraznější aktivita nebyla zaznamenána. Trať byla v druhé fázi přesunuta dočasně na mostní provizorium výše ve svahu, což umožnilo obnovení provozu až do provedení finální sanace.

Na lokalitě bylo odvrtáno dvanáct průzkumných vrtů ve dvou fázích. Během první fáze průzkumu, směřující k zjištění inženýrskogeologických podmínek pro provizorní sanaci, bylo realizováno sedm vrtů. Během druhé, směřující k určení podmínek a struktury samotného sesuvu, bylo provedeno pět ze sedmi navržených vrtů, které byly následně vystrojeny jako monitorovací. Bezpečnostní důvody nedovolily dopravu vrtné soupravy na samotné tělo sesuvu. Absence těchto vrtů znemožnila potvrzení hloubky smykové plochy sesuvu, která tak byla vyhodnocena na základě morfologie sesuvu. Celkový posun v odlučné oblasti činil 3-6 m. Na sesuvu také v několika místech

OBRÁZEK 50: POHLED NA ODLUČNOU OBLAST SESUVU A PROTILEHLÝ SVAH. Z 30.7.1975. PAŠEK, RYBÁŘ, 1975

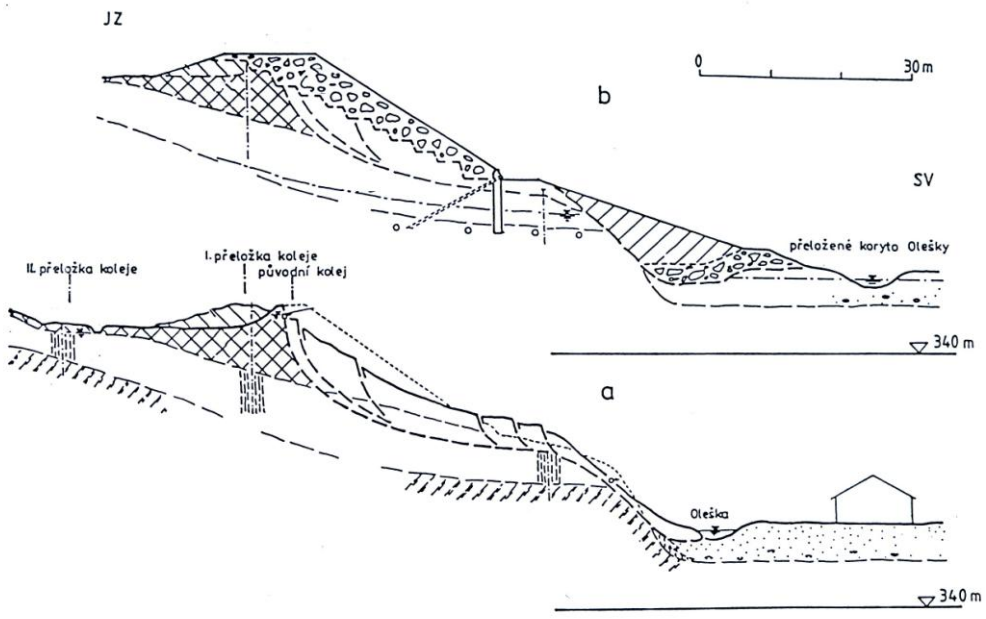
docházelo i po jeho uklidnění k vývěrům vody, linie výronů podzemní vody z odlučné oblasti byla na začátku ledna 1,5 m pod úrovní koruny násypu a postupně klesala.

Příčiny byly určeny následující:

- Celkově příliš strmé svahy násypu vzhledem k charakteru použité sypaniny a existence relativně prudkého svahu pod ním
- Od založení násypu došlo pravděpodobně ke zhoršení odtokových poměrů v okolí násypu. Dříve patrně existující drenážní systémy nebyly udržovány, případně byly poškozeny stavební a zemědělskou činností. Díky tomu nemohla voda rychle stékat do Olešky pod svahem a docházelo k jejímu vsaku a zvýšení hladiny podzemní vody
- Nadměrné srážky během října až prosince 1974, spojené s převažujícími teplotami nad bodem mrazu, způsobily zvýšení hladiny podzemní vody a infiltraci vody do násypu a s tím spojené snížení efektivní smykové pevnosti a také změnu konzistence jemnozrnných zemin
- Svůj vliv mohlo mít i dynamické přitížení od vlakové dopravy
- K dalšímu rozvoji pak přispěla kromě přechozích faktorů zvýšená infitrace do tělesa sesuvu skrze rozevírající se trhliny. Svůj vliv mohlo rovněž sehrát přitížení od provizorně vybudovaného násypu pro udržení provozu na trati

Po opětovném poklesu intenzity srážek na konci ledna 1975 došlo i k zastavení pohybů sesuvu. Sanace byly navrženy následovně (jejich finální provedení je patrné z obr. 51):

- Vybudování přitěžovací lavice z propustného materiálu při patě údolí
- Vybudování pilotové stěny při patě násypu. Tuto možnost *Pašek a Rybář, (1975)* v závěrečné zprávě uvádějí jako alternativu k přitěžovací lavici, nicméně z *Rybáře (2009)* vyplývá, že byly oba stabilizační prvky nakonec zkombinovány
- Odvodnění tělesa násypu a jeho podloží subhorizontálními drenážními vrty
- Obnovení povrchových drenážních systémů v oblasti nad svahem a tím umožnění rychlého odtoku srážkových vod
- Přebudování horních 3 m tělesa násypu a rekonstrukce jeho sesuté části



OBRÁZEK 51: (A): SITUACE V DANÉM ÚSEKU V LEDNU R. 1975, (B): STAV PO UKONČENÍ SANACÍ V SRPNU 1977. RYBÁŘ, 2009, UPRAVENO

Komentář autora: Tento případ ukazuje skupinu problémů, které vznikají na starých zemních tělesech, realizovaných bez inženýrskogeologického zhodnocení návrhu tělesa a posouzení stability. Zajímavý prvek tohoto případu je poukázání na změny odtokových poměrů v důsledku změny využití a údržby okolních pozemků během doby existence násypu, stejně jako na důležitost funkčnosti propustků u násypů, budovaných ve svahu.

3.1.14. Las Vegas

Označení komunikace: Cheyenne Avenue
Lokalizace: Las Vegas
Stát: Nevada, USA
Vedení vozovky: V úrovni terénu
Geologické podmínky: Prachovité a jílovité zeminy pod komunikací
Popis problému: Sufoze jemnozrnné frakce pod komunikací
Období vzniku: před r. 1999 - 2003
Problematické jevy: ***I.A, I.C, IX***
(*Boomhower et al., 2003*)

OBRÁZEK 52: LOKALIZACE POSTIŽENÉHO ÚSEKU CHEYENNE AVENUE. WWW.GOOGLEMAPS.COM, UPRAVENO

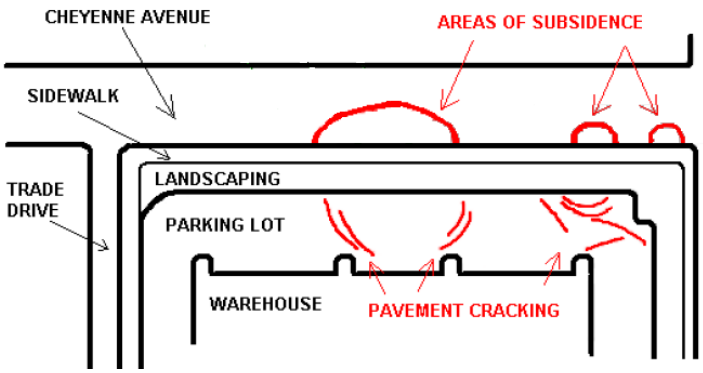
V r. 1999 byla na přibližně 80 m dlouhém úseku Cheyenne Avenue dokumentována porušení a deformace vozovky. Ta měla většinou charakter subsidencí, místy však také lehkých zdvihů. Těmi trpělo i blízké parkoviště (viz obr. 54). Poklesy byly také doprovázeny vznikem trhlin. Projevy subsidence byly však zaznamenány i v širším okolí řešeného úseku. Situace byla sanována nejdříve v r. 1999, poté následně v r. 2003. Následující text vychází z průzkumu a sanace, provedených v r. 2003.

OBRÁZEK 53: FOTOGRAFIE POSTIŽENÉHO ÚSEKU A VZNIKLÝCH DEFORMACÍ. BOOMHOWER, 2003.

Terén v oblasti spadá mírně směrem k východu. Hladina podzemní vody nebyla vrty do hl. 7,6 m zastižena. Oblast je celkově z hlediska podzemní vody značně deficitní a udržování víceméně stabilní hladiny podzemní vody pro zajištění stabilních odběrů z jímacích objektů vyžaduje rozsáhlé umělé infiltrace (*Las Vegas Country Management Program*).

Zemní pokryv v okolí je tvořen převážně dobře vytříděnými písky s výskytem prachovitých poloh, poloh jílů a štěrků. Vrty, provedené v jednom z postižených míst ukázaly výskyt neulehlých prachovitých a prachovitopísčitých zemin a také jílů tuhé až pevné konzistence. Zároveň v nich byla zastižena také vrstva neulehlého štěrku. Z vrtů byly odebrány vzorky, které prokázaly bobtnavost jílů. Vrty také ukázaly nehomogenní složení podloží komunikace a proměnlivost obsahu jednotlivých výše zmíněných složek.

Jako prvotní impulz vzniku porušení bylo určeno špatně těsnící vodovodní potrubí, vedené pod komunikací. Voda sufozí vyplavovala prach z prachovitých písků a způsobovala bobtnání jílovitých vrstev, které v jedné části komunikace způsobily zmiňovaný výzdvih vozovky. To bylo navíc usnadněno přítomností vrstvy štěrčíků, které svou vysokou propustností umožňovaly rychlejší šíření vody a poskytovaly ideální cestu pro odplavování prachovitého



OBRÁZEK 54: SYSTÉM TRHLIN, VZNIKLÝCH NA KOMUNIKACI. BOOMHOWER, D., PALMER, J., WEITZEL, D 2003

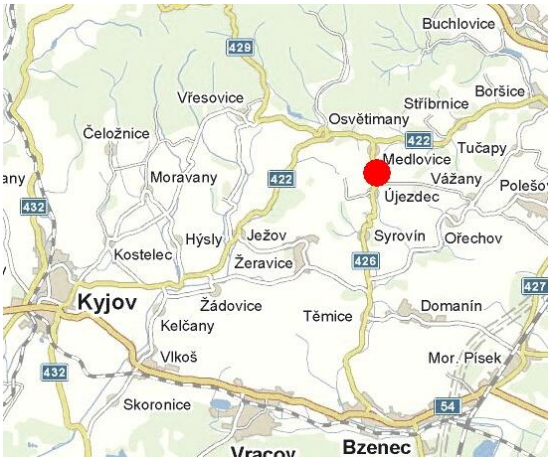
materiálu z okolí. Následkem prvotní sufoze a prvních poklesů byly trhliny ve vozovce, které dále zvyšovaly schopnost vsaku podzemní vody do podloží vozovky, obzvláště v kombinaci se stékáním vody z blízkých střech.

Situace byla sanována nejdříve v r. 1999 a to odtěžením podloží vozovky a jejím podložením těsnící fólií, s cílem odizolovat problematickou zeminu od vlivu povrchové vody. Zde popisované deformace se nacházely při okrajích dříve sanovaného úseku. Jako sanace v r. 2003 bylo navrženo buďto odstranění zeminy do hloubky cca 3 m a následné vložení izolační folie nebo odstranění zeminy do hloubky 1, 5 m a vložení geotextilie, která by následně byla u okrajů přetažena do hloubky 3 m. Není zmíněno, která metoda sanace byla nakonec vybrána, nicméně *Boomhower, D., Palmer, J., Weitzel, D., 2003* uvádí ukončení deformací po této sanaci.

Komentář autora: Určení příčiny deformací se zdá správné, přestože není zřejmé, jakým způsobem autoři posuzovali ulehlost zemin z (pravděpodobně vrtáním značně mechanicky porušeného) vzorku z vrtu. Pokud je tento předpoklad správný, pak je otázka, zda nemohlo docházet místy i k prosedání neulehlých prachovitých zemin po jejich zvlhčení. Zajímavá a zjevně kontraproduktivní je v tomto případě první sanace. Přestože Boomhower, D., Palmer, J., Weitzel, D. (2003) nezmiňuje charakter porušení, který k ní vedl, položení izolační vrstvy zřejmě pouze vedlo ke svedení vody k okraji této fólie a naopak ke koncentraci vody v této oblasti. Sporné je také automatické provedení sanace pouze v oblasti pod vozovkou, charakter trhlin na vozovce a na parkovišti totiž může ukazovat i k centru poškození pod pásem mezi komunikací a parkovištěm a k vytlačování zemin pod komunikací směrem do této oblasti.

3.1.15. Medlovice

Označení komunikace: II/426
Lokalizace: Mezi obcemi Újezdec a Medlovice
Okres: Uherské Hradiště
Vedení nivelety: V odřezu
Geologické podmínky: Horniny flyšového pásma
Popis problému: Rozšíření odlučné oblasti sesuvu do komunikace
Období vzniku: jaro 1981
Problematické jevy: ***IV, V.B***
(*Woznica, 1987*)



OBRÁZEK 55: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

Komunikace v zájmovém úseku probíhala v odřezu ve svahu o sklonu lehce přesahujícím 9°, orientovaném na východ. Nad komunikací se nacházela obdělávaná pole, pod komunikací spadal nevyužívaný svah až k Medlovickému potoku. Na jaře r. 1981 došlo po intenzivním tání k oživení proudového sesuvu pod komunikací a jeho rozšíření proti svahu. Odlučná plocha následně zasáhla a poškodila i komunikaci č. 426.

Geologické podloží v okolí zájmového úseku patří do račanské jednotky magurského flyše. V místech sesuvu je podloží dle *Woznicy (1987)* tvořeno soláňským souvrstvím, dle *geologické mapy 1 : 50 000 (www.geologicke-mapy.cz*) náleží ke zlínskému souvrství. Obě tato souvrství se nicméně skládají ze střídajících se vrstev pískovců, jílovců a slepenců, proto tento rozdíl není pro tento případ významný. Horniny jsou silně tektonicky zvrásněné. Skalní horniny byly zvětralé až navětralé do hloubky 4 - 6 m. Kvartérní pokryv byl tvořen svahovými jílovitými hlínami, jíly a písky. V odřezu komunikace byla v místě sesuvu pozorována ploše rozevřená synklinála (rozevření při povrchu

skalního podkladu činilo cca 35 m), procházející přibližně kolmo na komunikaci. Ta pravděpodobně usměrňovala proudění vody i v hlubších partiích svahu.

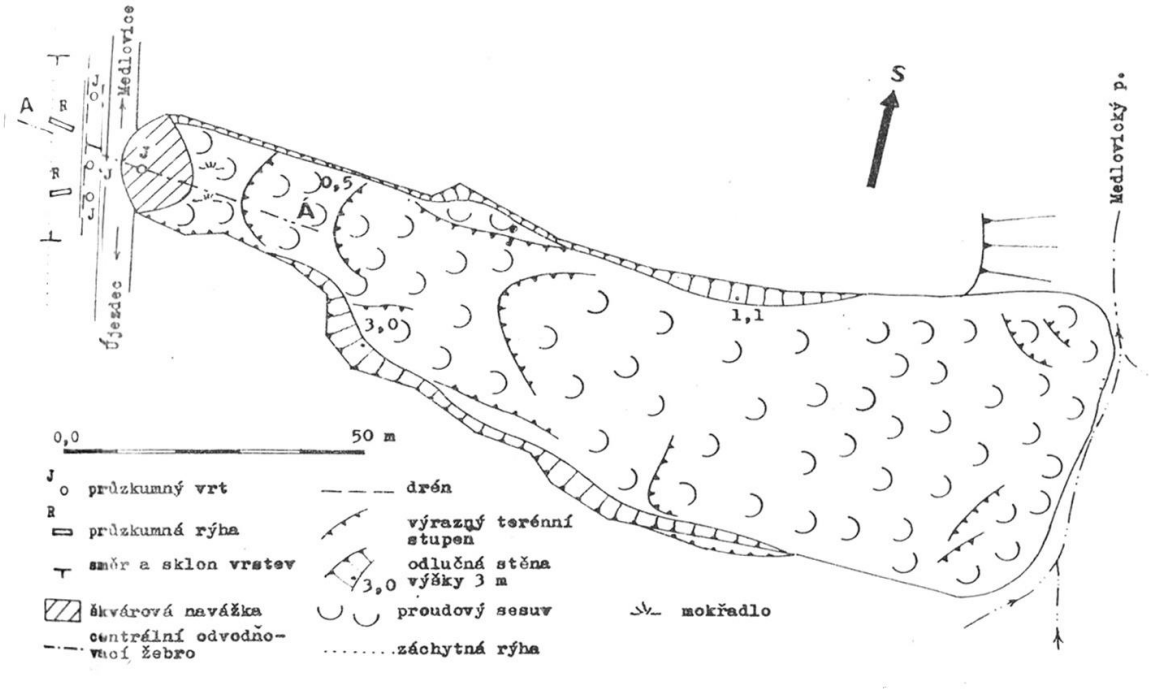
V okolí je registrováno značné množství sesuvů (*www.geofond.cz, registr sesuvů, 26.4.2011*), k poslednímu sanovanému sesuvu v blízkosti došlo v r. 2003 (*http://www.rszk.cz/stavby/prehled.htm)*. Zájmový proudový sesuv byl dlouhý 164 m a široký až 66 m. Smyková plocha byla určena na základě morfologie v hloubce 3-6,5 m. Komunikaci sesuv zasáhl v délce přibližně 20 m, jeho odlučná plocha zabíhala cca do poloviny komunikace. V odlučné oblasti došlo k pohybu o 10 - 15 m ve směru sklonu svahu, což odpovídá poklesu přibližně o 2 m. Čelo sesuvu zasáhlo do koryta Medlovického potoka, nicméně ho nepřehradilo. Na povrchu sesuvu byly patrné čtyři podkovově vyklenuté stupně, odpovídající stádiím propagace směrem ke komunikaci. Průzkumná díla byla vzhledem k limitovaným možnostem investora omezena na bezprostřední okolí komunikace a sestávala se z dvou strojních rýh a 4 vrtů.

Hlavní příčiny byly určeny následující:

- Existence starého uklidněného sesuvu pod komunikací
- Synklinální uložení vrstev, které koncentrovalo podzemní vodu a po vrstvách jílovců jí svádělo do oblasti sesuvu
- Existence záchytné rýhy pro ornici mezi komunikací a polem nad ní, v níž docházelo po srážkách k infiltraci vody
- Snížená funkčnost starého drenážního příkopu komunikace
- Nedostatečná smyková pevnost jílovitých zemin po jejich zvodnění
- Intenzivní zvodnění masivu po jarním tání

Jako první zabezpečovací opatření byla odlučná oblast pod komunikací bezprostředně zasypána škvárovým kamenivem. Následující sanace byly určeny požadavkem provozovatele komunikace, který chtěl pouze zabezpečit komunikaci samu, bez dalších zásahů do tělesa sesuvu. Sesuv byl tedy sanován následovně:

- Přeložením komunikace do odřezu, provedeného hlouběji ve svahu, se svahem o sklonu 1:1,5
- Drenáží svahů odřezu pomocí drenážních žeber. V rámci toho měla být zrušena záchytná rýha nad odřezem
- Vybudováním drenážních žeber pod tělesem komunikace tak, aby zasahovala pod smykovou plochu sesuvu
- Dorovnáním sesutých hmot navážkou, její vyrovnání do sklonu 1:4
- Vyčištěním existujícího silničního drenážního příkopu ve zbytku úseku



OBRÁZEK 56 : SITUACE SESUVU U MEDLOVIC. WOZNICA, 1987

Komentář autora: Toto je další z případů kde komunikace sama není zřejmě příčinou sesuvného jevu, ale kdy došlo k rozšíření na ní takříkajíc „náhodou". Navržený způsob sanace však mohl skýtat několik úskalí. Prvním z nich je provedení povrchových drenážních prvků, ale bez hloubkového odvodnění zmíněné synklinální struktury. Druhé úskalí obnášel detail ve zprávě neuvedený, tj. jakým způsobem je nakládáno s vodou, vytékající z žeber nad a pod komunikací. Avšak vzhledem k tomu, že žádné zprávy nenasvědčují další aktivaci tohoto sesuvu, je možné předpokládat, že se jednalo pouze o rizika teoretická.

3.1.16. Most

Označení komunikace: Žatecká ulice, Most
Lokalizace: 50 m jižně od křižovatky s ulicí U lesíka
Okres: Most
Vedení nivelety: V úrovni terénu
Geologické podmínky: Antropogenní navážky v nadloží těžené uhelné sloje
Popis problému: Propad staré šachty
Období vzniku: r. 2003
Problematické jevy: ***VI***
(*Pichler, 2004*)

OBRÁZEK 57: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

Ke konci r. 2003 došlo v Žatecké ulici v Mostě ke vzniku propadu. Propad sám se nacházel v místech silničního příkopu a

komunikaci samu tak (spíše náhodou) nepostihl.

Podmínky propadu byly zkoumány provedením vrtů a rešerší dokumentace z těžby v oblasti. Kvartérní pokryv pod komunikací byl tvořen antropogenní navážkou, heterogenní směsí štěrku, betonu a dalších materiálů. Jeho mocnost v místě propadu byla přibližně 2 m, v jeho okolí místy dosahovala až 4 m. Pod navážkami vystupovaly terciérní jíly mosteckého souvrství (*geologická mapa 1 : 50 000, http://www.geologicke-mapy.cz*). V jejich horní části se nacházela 1-2 m mocná vrstva plastických jílů, které postupně přecházely v 5-6 m mocnou uhelnou sloj a následně do podložních zelenošedých jílů.

V okolí komunikace probíhala těžba uhlí až do r. 1959 v lomu Hrabák. V okolí komunikace byl ponechán ochranný pilíř, který byl nicméně porušen několika chodbami, spojujícími těžební úseky nalevo a napravo od pilíře. Způsob jejich likvidace nebyl z materiálů zřejmý. Bylo možné, že tyto šachty byly ponechány nezavalené. Pod komunikací zřejmě došlo i k vyražení jedné těžební chodby, její poloha nicméně ve starých důlních mapách nebyla vyznačena, další studium starých důlních dokumentací se ukázalo být bez jednoznačného závěru.

Vrtný průzkum, sestávající se z 31 vrtů, odhalil v okolí komunikace 3 dutiny. Hlavní dutina procházela při bázi uhelné sloje přibližně průběžně s niveletou komunikace. Výška této dutiny byla až 3,8 m, její strop v místech nejblíže propadu dosahoval 6 m pod úroveň nivelety komunikace. V hloubce 4,5 byly rovněž zastiženy 3 dutiny, vedoucí šikmo k ose komunikace. Hladina podzemní vody v místě propadu byla přibližně 4,5 m pod úrovní terénu. V rámci jednoho z vrtů byla provedena na místě propadliny také čerpací zkouška, která ukázala intenzivní přítoky vody, pravděpodobně ze zatopené šachty. Průzkum také ukázal dvě menší dutiny mimo osu komunikace. První z nich se nacházela při stropu uhelné sloje a dosahovala výšky do 1 m, jedna z možných příčin je zával staré šachty. Poslední se nacházela na hranici jílů a antropogenní navážky a její přítomnost nebyla vysvětlena.

Dutina pod komunikací byla následně sanována zaplavením směsí vody a elektrárenského popílku. Celkově bylo na toto spotřebováno 710 t směsi. Následně byla ještě v některých vrtech provedena tlaková injektáž.

Komentář autora: Zprávu se mi bohužel nepodařilo získat kompletní, proto zde není zmíněna metodika sanace povrchové části propadu. Na základě paralely s jinými podobnými případy se domnívám, že byl propad dosypán pískem či štěrkopískem a následně zainjektován, na něj vybudována železobetonová deska, přesahující okraji hranice propadu a na něj dosypáno zemní těleso a dobudována komunikace – tento postup by byl alespoň logický. Sporná je však v tomto případě volba průzkumné metody. Je otázkou, zda by namísto realizace 31 vrtů nebylo vhodnější použít nejdříve geofyzikální metody (mikrogravimetrie či mělká seismika) a vrty následně situovat do vytipovaných míst.

3.1.17. Praha - Trója

Označení komunikace: Ulice Nad Kazankou
Lokalizace: Praha - Trója
Okres: Praha
Vedení nivelety: V úrovni terénu (v obci)
Geologické podmínky: kvartérní štěrkopísky v nadloží jílů
Popis problému: Poklesy na komunikaci a okolní zástavbě
Období vzniku: 1977
Problematické jevy: ***IX***
(*Drozd, 1977, Drozd, 1996*)

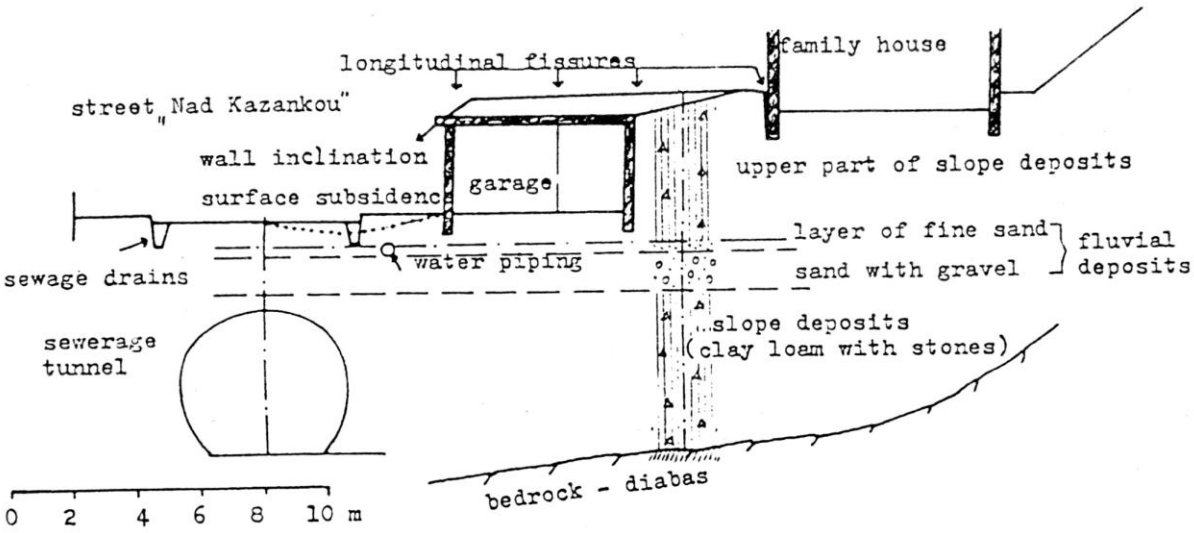
OBRÁZEK 58: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

V r. 1977 došlo k ulici Nad Kazankou v Praze – Trói ke vzniku poklesů na části komunikace, doprovázených vznikem podélných trhlin a také vznikem poruch na opěrných zdech okolních domů.

Ulice se nachází na mírném svahu, spadajícím k jihu, kde se svah postupně stává strmějším a spadá až k současné úrovni řeky Vltavy. Na jižní okraj komunikace navazují přímo rodinné domky, nad severním okrajem je terénní sklon vyrovnán vybudováním opěrných zdí (případně garáží, vybudovaných do svahu), nad nimiž pokračují pozemky rodinných domů.

Skalní podloží v oblasti je tvořeno černými ordovickými diabasy a pyroklastiky (*geologická mapa 1 : 50 000, www.geologicke-mapy.cz*). Ty jsou v zájmovém úseku překryty přes 6 m mocnou vrstvou deluviálních jílovitých hlín s výskytem větších úlomků podložní horniny. Na nich se nachází fluviální sedimenty, sestávající se z 1 - 2 m mocné vrstvy štěrkovitého písku, na níž leží relativně málo mocná vrstva jemného písku. Na nich byly uloženy konstrukční vrstvy komunikace a základové prvky okolních objektů.

V těchto podmínkách probíhala v r. 1977 pod komunikací ražba kanalizační stoky. Stoka měla podkovovitý profil s výškou 4,6 m a šířkou 5,2 m. Ražba probíhala vrstvou deluviálních jílovitých hlín, její strop probíhal 3 – 5 m pod úrovní komunikace. Štola byla zabezpečena hnanou výztuží, doplněnou korýtkovými ocelovými výztužemi, zapřenými o počvu šachty.



OBRÁZEK 59: PROFIL JEDNÍM POSTIŽENÝCH MÍST, UKAZUJÍCÍ SITUACI NA KOMUNIKACI, PROFIL VRTU I MÍSTO, KDE DOCHÁZELO K INFILTRACI VODY. OBRÁZEK JE ORIENTOVÁN SEVER (PRAVÁ STRANA) – JIH (LEVÁ STRANA). DROZD, 1996, UPRAVENO.

Jak probíhala ražba štoly, došlo ke vzniku deformací na komunikaci a v jejím okolí. Poruchy měly charakter mísovitých poklesů povrchu komunikace a sousedního chodníku, doprovázených vznikem trhlin. Kromě toho se objevovaly trhliny i na opěrných zdech podél severního okraje komunikace. Deformace byly patrné i na pozemcích za nimi a na schodech vedoucích k rodinným domům. Postupně docházelo k rozšiřování trhlin směrem k domům a ke zhoršování situace. Samotné domy poruchami postiženy nebyly. 5.11.1977 pak došlo k havarijní události, během níž došlo nejdříve k poškození jedné z vodovodních přípojek, k infiltraci značného objemu vody do horninového prostředí a následně ke vzniku průvalu do stoky uličního řádu a ke vzniku propadliny na komunikaci o celkovém objemu několika m^3.

Následný průzkum ukázal, že zatímco deluviální jílovité zeminy byly ve stěnách šachty většinou suché a pevné konzistence (pouze místy prosakovala voda ze stropu šachty), při jejich hranici se štěrkopísky byly zamokřené a měkké. Nadložní fluviální sedimenty byly silně zamokřené až zvodnělé. Průzkum výsledně ukázal následující příčiny a mechanismy:

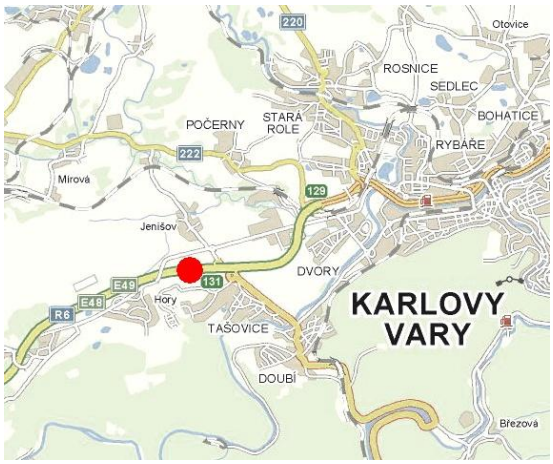
- Problematická stabilita ostění šachty. Voda kapající ze stropu byla odváděna strouhou v počvě šachty, její přítomnost nicméně zapříčinila rozmáčení povrchu a mírné zaboření ocelových výztuží. To bylo místy doprovázeno i vytlačováním zeminy do prostoru šachty. Tato zemina musela být pro zachování plynulosti provozu v šachtě průběžně odstraňována.
- To, v kombinaci s poklesy, vzniklými v důsledku samotné ražby, zapříčinilo opakovaná poškození vodovodních přípojek, vedoucích k rodinným domům. Z nich docházelo k únikům vody. Svůj vliv mohla mít i infiltrace z jímek u objektů nad komunikací.
- Štěrkopísky a jemné písky fungovaly jako kolektory, v nichž docházelo k akumulaci unikající vody a ke vzniku proudění. To způsobilo vyplavování jemnozrnné frakce z písčitých poloh směrem do šachty a následně subsidenci.

Ve výsledku byla poruchami postižena plocha více než 500 m^2 a z šachty bylo v důsledku tohoto vyplavování odvezeno přes 10 m^3 jemného písčitého materiálu.

Komentář autora: Tento případ ukazuje spíše problematiku tunelových staveb, deformace komunikace zde pouze kopírovaly deformace terénu. Je nicméně možné, že určitý vliv sehrálo přitížení od dopravy, vzhledem k poloze komunikace pravděpodobně spíše charakteru přitížení od malých automobilů. Zde je nicméně otázkou (na níž se mi nepodařilo nalézt odpověď), zda komunikace nebyla využívána pro dopravu výkopku ze štoly a zda tedy nemohlo mít dynamické zatížení od těžkých nákladních vozidel svůj vliv, například v podobě inicializace zmíněného průvalu.

3.1.19. R6 - Jenišov

Označení komunikace: R6 (dříve I/6)
Lokalizace: přibližně km 131,5, poblíž obce Jenišov
Okres: Karlovy Vary
Vedení nivelety: V zářezu
Geologické podmínky: Terciérní a kvartérní jíly
Popis problému: Sesuv svahů zářezu
Období vzniku: Zima 2005/2006 – Jaro 2006
Problematické jevy: ***III.A, V.B***
(Novotný, 2006)



Obrázek 60: Lokalizace řešeného sesuvu na R6. Upraveno z www.mapy.cz

Během výstavby zářezu komunikace R6 v zimě roku 2005 došlo k prvním projevům svahových pohybů. Zářez v řešeném úseku probíhal východozápadním směrem a dosahoval hloubky přibližně 10 m. Jeho svahy byly navrženy ve sklonu 1:2.

Zářez byl budován v okrajové části Sokolovské pánve. Zde se při povrchu nacházejí vulkanodetritická souvrství. Jedná se o šedé, šedomodré až šedozelené tufy a tufity, místy až tufitické jíly. V zářezu komunikace mimo nich vystupovaly rudohnědé až fialové vulkanodetritické polohy a málo mocné polohy s obsahem listové substance. Pánevní sedimentace byla ovlivněna periodickými poklesy na hlavních zlomových systémech, v důsledku nichž docházelo k četným dílčím pohybům. Ty byly během dokumentace svahů zářezu jasně viditelné (viz obr. 62). Nejvýraznější strukturou byl příkop, probíhající přibližně kolmo ke směru zářezu a oddělený od svého okolí šikmo probíhajícími plochami nespojitostí. Podle ohlazení těchto rozhraní bylo patrné, že podél nich muselo dojít v minulosti k pohybu. Následně byla prokázána další rozhraní, jdoucí rovnoběžně či šikmo k zářezu.

Obrázek 62: Pohled na vzniklý sesuv za konstrukcí biokoridoru. Novotný, 2006

K prvním projevům svahových pohybů došlo na jižním svahu zářezu v zimě r. 2005 v místech za betonovou konstrukcí biokoridoru. Od prosince

Obrázek 61: Pohled na S. stranu zářezu a její strukturní poměry. Plnou čarou jsou vyznačena ověřená rozhraní, přerušovanou neověřená. Novotný, 2006

2005 do března 2006 docházelo postupně k projevům sesouvání. Ohraničení sesuvu bylo pravidelné, zjevně omezené právě diskontinuitami, podél nichž docházelo k pohybu v minulosti. V březnu 2006 dosahoval pohyb v odlučné oblasti největšího ze sesuvů 1-1,5 m a čelo sesuvu se nasunulo na konstrukci biokoridoru. Kromě tohoto hlavního sesuvu došlo k několika dílčím sesuvům. Hloubka Smykové plochy všech těchto sesuvů byla odhadnutá na 1,5-2 m.

Jako příčiny byly určeny následující faktory:

- Svahy zářezu byly s ohledem na materiál (u nějž následně smykové zkoušky prokázaly Φ_{ef}=21,5° *(Novotný, 2006)*) příliš strmé
- Existující diskontinuity v zemině mohly fungovat jako oslabené zóny, na nichž mohlo docházet k poklesu smykové pevnosti, případně až k mobilizaci reziduální smykové pevnosti
- Během výstavby došlo na svazích zářezu ke vzniku smršťovacích trhlin, které mohly dále oslabit přípovrchovou část masivu. Kromě toho mohly tyto trhliny (i po jejich uzavření) fungovat jako propustnější polohy, usnadňující zvodnění masivu
- Během jarního tání docházelo k infiltraci vody do masivu a jeho zvodnění v přípovrchové zóně
- Svůj vliv mohla mít i severní orientace svahu a tím způsobené menší oslunění, jež vedlo k menšímu výparu z povrchu svahu a k akumulaci sněhu v zimních měsících

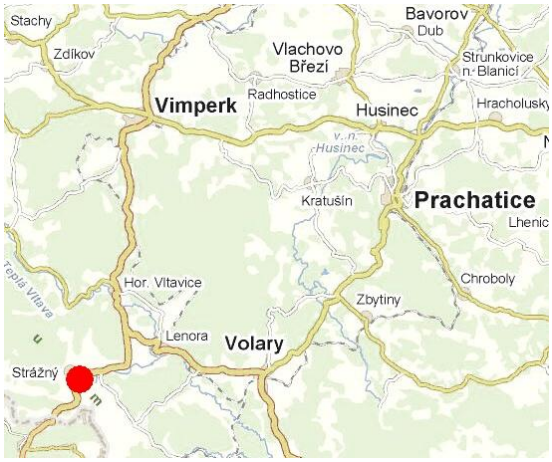
Jako sanační opatřená byla následně navržena drenážní žebra hloubky 2 m po celé délce zářezu, spojená s odtěžením sesutých hmot a jejich náhradou vhodnější zeminou (*Novotný, J., ústní sdělení*).

Komentář autora: V dotyčném místě došlo 26.-27.8.2010 ke vzniku dalšího sesuvu. Jeho aktivaci předcházely dva anomálně deštivé měsíce, kdy byl úhrn srážek oproti průměru více než dvojnásobný (ČHMÚ, e-mail, 7.9.2010). Následně došlo ke vzniku sesuvu, který svou částí zabíhal do dříve sanované oblasti a porušil i drenážní žebro. Bylo patrné, že žebro dosahovalo pouze hloubky 1 – 1,5 m. Odlučná oblast tohoto sesuvu byla tvořena převážně dvěma přibližně přímými plochami, ukloněnými oproti sobě cca o 120°. To by svědčilo o jejich strukturní predispozici, pravděpodobně o využití některých ze systému diskontinuit subparalelních se svahy zářezu. Zbytek zářezu při osobní prohlídce nevykazoval žádné známky nestability, je tedy otázkou, zda v tomto případě nemohla hrát roli i voda, vsakovaná na tělese biokoridoru.

OBRÁZEK 63: POHLED NA SESUV, VZNIKLÝ 26.-27.8.2010. FOTO Z 30.8.2010, Z ARCHIVU AUTORA

3.1.20. Strážný

Označení komunikace: I/4
Lokalizace: km 20.360 – 20.480, u obce Strážný
Okres: Prachatice
Vedení nivelety: Na násypu
Geologické podmínky: Rašelina
Popis problému: Výstavba násypu na rašelině
Období vzniku: Potenciální problém vyřešen modifikováním technologie výstavby
Problematické jevy: ***I.A, II.B***
(*Herle, 2004, Pupík, 1997*)



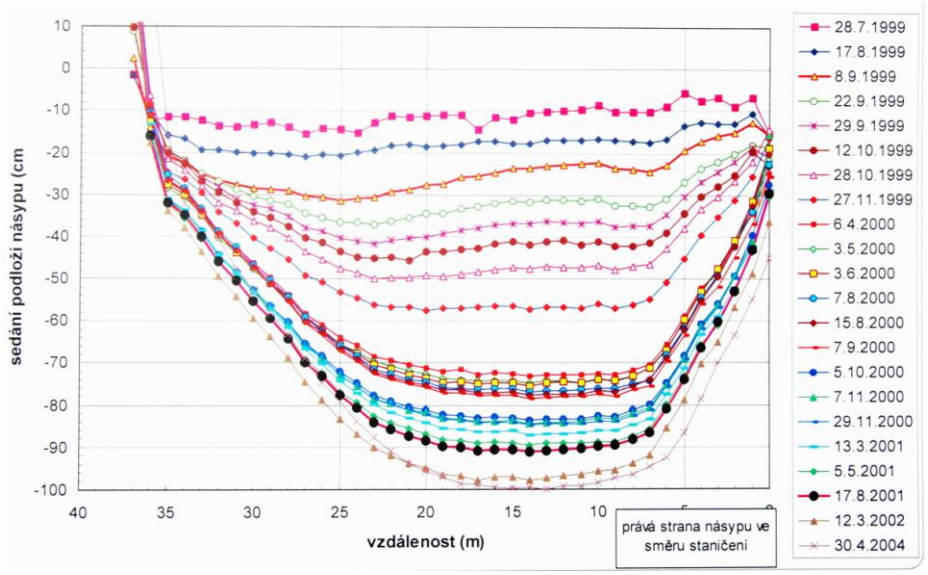
OBRÁZEK 64: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

V rámci výstavby obchvatu obce Strážný v letech 1999 - 2001 došlo k přeložení úseku komunikace I/4, spojující Prahu s Německem. V úseku se vyskytovalo několik násypů, z nichž jeden, v úseku km 20.360-20.480, procházel přes rašeliniště.

Z regionálně geologického hlediska leží zájmový úsek v oblasti krystalinika (*Matula, Pašek, 1986*) v centrální části šumavského moldanubika. Skalní podloží je zde tvořeno porfyrickým biotitickým granodioritem. Skalní podklad přechází do eluvia velmi proměnných mocností a následně do nepříliš mocného kvartérního pokryvu.

Rašeliniště, vyskytující se v zájmovém úseku vzniklo při dně údolí podél toků říčky Častá a Kořenského potoka. V zájmovém úseku dosahovala hloubka rašeliniště přibližně 2 (*Pupík, 1997)* až 3 m (*Herle, 2004)*. Pod ním se nacházela vrstva písčitého jílu, tuhého až pevného, místy přecházejícího do hlinitého písku. Hladina podzemní vody se nacházela v úrovni terénu (*Pupík, 1997*). Tentýž autor uvádí pro rašelinu následující vlastnosti: E_{oed}=0,4 MPa, Φ_{ef}=31-33°,C_{ef}=3-9 kPa, objemová vlhkost odebraného vzorku přes 81% (hmotnostní přes 400%).

V tomto prostředí měl být realizován násyp vysoký 5 m. Vzhledem k tomu, že oblast byla velmi špatně přístupná pro těžkou techniku, bylo navrženo vybudování násypu bez výměny podložní zeminy, resp. přímo na travní pokryv. Cílem byl tedy postup, zabraňující nerovnoměrnému sedání násypu při zachování technologické realizovatelnosti. Proto bylo zvoleno založení na roznášecím polštáři ze štěrkopísku, vyztuženém dvěma vrstvami tkaných polyesterových geotextilií. K realizaci byla z důvodu málo únosného podloží v první fázi použita ruční práce a malá mechanizace.



OBRÁZEK 65: POSTUPNÁ SUBSIDENCE NÁSYPU V PROFILU KOLMÉM NA JEHO OSU. HERLE, 2004.

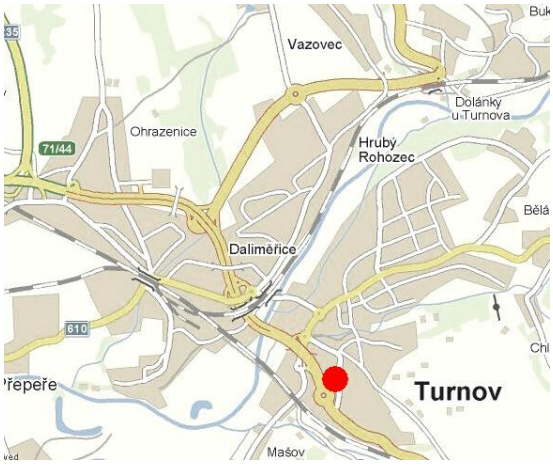
Násyp byl již od počátku výstavby měřen pomocí hydrostatické nivelace. Celkové sedání dosáhlo během prvních pěti let 990 mm. Část

z toho byla způsobena rozkladem travního drnu pod geotextilií, zbytek creepovým přetvářením rašeliny. Během posledních dvou let měření dosáhla deformace již jen 2 cm.

Komentář autora: Přestože tento případ neukazuje havarijní situaci, ukazuje případ problému, s nimiž se stavby mohou setkávat na rašelinných půdách. V tomto případě došlo v důsledku zatížení ke stlačení rašelinové vrstvy až o 30-50 % (záleží na tom, zda uvažujeme hloubku podloží dva nebo tři metry). Přestože komunikace jsou na rovnoměrné sedání relativně necitlivé, v tomto případě může být zvlášť rizikové místo, kde násyp prochází přes hranici rašelinného pokryvu a kde tedy potenciálně hrozí větší diference sedání, spojená ať už s poškozením násypu (2. m.s.) nebo s náhlou změnou výškového průběhu nivelety komunikace, způsobující problémy v dopravě (možné chápat jako 3. m.s.).

3.1.21. Turnov

Označení komunikace: Ulice Výšinka
Lokalizace: Nad parkovištěm nákupního areálu
Okres: Semily
Vedení nivelety: Přibližně v úrovni terénu
Geologické podmínky: Jíly s polohami písků a štěrkopísků
Popis problému: reaktivace uklidněného sesuvu výstavbou objektu pod komunikací
Období vzniku: r. 2004 - 2005
Problematické jevy: ***IX, III.A, V.B***
(*Novotný et al., 2006*)



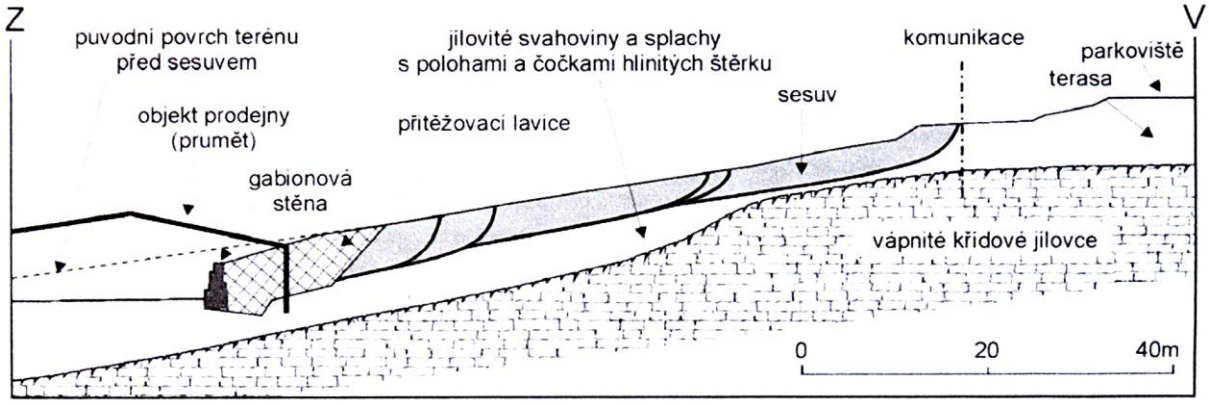
OBRÁZEK 66: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

V r. 2004 došlo k porušení povrchu komunikace v ulici Výšinka. Komunikace v daném místě prochází přibližně v úrovni terénu, resp. na nízkém násypu při vrchní části svahu o sklonu 7 -10°. V kritickém úseku délky přibližně 30 m došlo během r. 2004 ke vzniku otevřené trhliny a k poklesu části komunikace. Porušení vzniklo v důsledku retrogresivního rozšíření dočasně uklidněného sesuvu, reaktivovaného během výstavby nákupního centra přibližně 60 m pod komunikací.

OBRÁZEK 67: UKÁZKA TRHLIN V ULICI VÝŠINKA. OBECNÍ STRÁNKY MĚSTA TURNOV

V zájmovém území se předkvartérní podklad vyskytuje v hloubce 4 - 9,5 m a je tvořen křídovými vápnitými jílovci až slínovci, přecházejícími až v jílovité prachovce, při svém povrchu rozložené na plastické jíly a slíny, místy prachovité až jemně písčité. Na ně v horní části svahu nasedají sedimenty terasy Jizery charakteru hlinitých a jílovitých štěrků a písků se štěrkem. Ty zde dosahují mocnosti cca 4 m. Ve svahu v místech vzniku sesuvu byla průzkumem určena původní splachová deprese. Ta byla vyplněná splachovými a svahovými sedimenty, především jíly, vzniklými transportem jílovitého eluvia. Do nich byly zavlečeny hrubozrnné sedimenty z terasy Jizery. Ty vytvářely ve splachových sedimentech nepravidelné čočky i souvislé polohy v mocnosti řádově decimetry až metry. V místě této deprese se nacházel toho času uklidněný sesuv.

Z hydrogeologického hlediska se v prostředí vyskytovaly dvě nezávislé zvodně. První byla



OBRÁZEK 68: PROFIL SESUVEM NAD AREÁLEM LIDL. POSTIŽENÁ KOMUNIKACE JE V PRAVÉ ČÁSTI. NOVOTNÝ, 2006

vázaná na puklinové systémy křídových hornin a je pro tento případ nedůležitá. Druhá byla vázaná na kvartérní sedimenty a to především na sedimenty terasy a jejich rozvlečené polohy ve svahu.

V tomto prostředí byla ve spodní části zahájena výstavba obchodního centra, jejíž částí bylo vybudování odřezu o maximální hloubce 8 m, s plánovaným zabezpečením svahů gabionovou zdí. Navzdory k tomu, že byla přítomnost splachové deprese identifikována, byl zářez vyhlouben během jediné fáze a v plné hloubce. Následkem odtěžení paty uklidněného sesuvu došlo k jeho aktivaci a jeho postupnému rozšíření až do tělesa komunikace. Situace byla řešena vybudováním přitěžovací lavice z lomového kamene, před níž byla postavena gabionová zeď. Následný průzkum situace prokázal problematičnost zabezpečení odřezu gabiony, rozvoj trhlin v oblasti za dosud nemonitorovaným úsekem gabionové zdi a pokračující pohyb tělesa sesuvu. Ten se pak projevoval rovněž na zmíněné komunikaci. Situace byla monitorována a následně řešena, především s důrazem na problém gabionové zdi a nákupního centra. Porušení silnice bylo sanováno její rekonstrukcí a oddělením silničního tělesa od hmot sesuvu zbudováním pilotové stěny. Toto opatření se ukázalo jako postačující a po jeho provedení došlo k zastavení deformací. Nestabilita gabionové zdi byla řešena výměnou zásypu za gabionovou zdí s jejím současným vyztužením ocelovými mřížemi. Sesuvný svah samotný sanován nebyl. Následující měření na jaře r. 2006 ukázala vznik dalších trhlin za gabionovou zdí (které se následně ukázaly mít původ v nedostatečně zhutnělém zásypu, *Novotný, J., ústní sdělení, 26.7.2011*) a stálý, pomalý pohyb sesuvu.

Komentář autora: V tomto případě je pravděpodobné, že komunikace byla zasažena spíše jen náhodou jevem, vyvolaným výstavbou jiné stavby. Je nicméně možné, že i přitížení od dopravy mohlo sehrát svůj vliv v rozšíření sesuvu až do komunikace. Samotné řešení problému komunikace jejím odizolováním od nesanovaných hmot sesuvu se jeví poměrně účinné, přestože se nabízely i jiné možnosti, například vybudování vyztuženého zemního tělesa pod komunikací. V rámci zjišťování dalších informací jsem se pokusil zjistit následný vývoj situace. Provozovatel již zmíněného obchodního domu byl ohledně poskytování informací striktní, proto jsem se spojil se dvěma místními obyvateli - s Mgr. Stuchlíkem (majitelem objektu ležícího cca 20 m od sesuvu na téže straně ulice) a pí. Klečkovou (majitelkou domu ležícího přes silnici od sesuvu). Z těchto rozhovorů vyplynuly další zajímavé detaily, v materiálu nezmíněné. V oblasti čela sesuvu docházelo v minulosti k vývěru pramenů (Stuchlík, J., e-mail, 28.4.2011), což potvrzuje nepříznivé hydrogeologické podmínky území. V blíže nespecifikovaném okolí sesuvu dochází a také v minulosti docházelo (dle obou místních obyvatel) k četným poruchám objektů, přestože toto může být způsobeno i výstavbou objektů na spraších, které se zde také vyskytují (geologická mapa 1 : 50 000, www.geologicke-mapy.cz) a jejich prosedáním. V období bezprostředně před aktivací také (Stuchlík, J. e-mail, 28.4.2011) došlo během

noci k poruše vodovodní přípojky a únikům vody do horninového prostředí. Tento únik mohl trvat až 12 h.
Žádným z tázaných nebyla v oblasti od r. 2006 do května 2011 zaznamenána žádná další sanační činnost, probíhalo pouze pravidelné sledování měřících přístrojů, instalovaných ve svahu (pí Klečková, ústní sdělení, 20.4.2011), je tedy pravděpodobné, že nedošlo k opětovnému zhoršení situace, alespoň ne až k havarijnímu stavu.

3.1.22. Vráž – Bavoryně

Označení komunikace: D5
Lokalizace: úsek Vráž – Bavoryně
Okres: Beroun
Vedení nivelety: Na násypu
Geologické podmínky: Násyp tvořen úlomky břidlic
Popis problému: Špatné technické provedení násypu
Období vzniku: Zima-jaro 1983
Problematické jevy*: II.C, I.C, II.B*
(Libus, 1983)

OBRÁZEK 69: PRAVDĚPODOBNÁ LOKALIZACE ŘEŠENÉHO ÚSEKU. UPRAVENO Z www.mapy.cz *DLE LIBUSE (1983) A ŘSD (2006)*

V zájmovém úseku došlo k poruchám násypu během roku 1983, v období mezi dokončením konstrukčních vrstev vozovky a zprovozněním komunikace, konkrétně v době dokončování asfaltového krytu. Sypanina, z níž byl násyp budován, byla tvořena především střípkovitě rozpadavými úlomky jílovitých břidlic charakteru poloskaních hornin.

Poruchy měly charakter podélných trhlin při okrajích koruny násypu a v okrajových částech vozovky, místy se trhliny rozšířily až ke středu násypu. Během dvou měsíců sledování dále docházelo k jejich rozšiřování a prohlubování a k naklánění odtržených partií ve směru spádnice svahu. Svahy násypu byly neupravené a docházelo na nich k postupně sílícím výronům vody a ke vzniku erozních rýh. Z koruny násypu byly provedeny kopané sondy, které ukázaly nedostatečně zhutněnou povrchovou vrstvu o mocnosti až 2 m, místy se špatně zhutněné polohy vyskytovaly i hlouběji a na četných místech docházelo k drobným výronům vody a k výskytům jílových poloh měkké konzistence.

Jako možné příčiny poruch byly stanoveny následující možnosti:

- V rámci výstavby násypu docházelo prokazatelně místy k dosypávání boků násypu volným shrnováním z jeho koruny bez dalšího zhutnění. K tomu na stavbě prokazatelně docházelo.
- Do násypu byla ukládána a hutněna zemina s podstatně nižší či vyšší vlhkostí, než na kterou bylo hutnění dimenzováno. V důsledku toho se nepodařilo zeminu dostatečně zhutnit a vznikly polohy s vyšší pórovitostí, které byly saturovány vodou ať už přímo během hutnění nebo následně. Nesprávná vlhkost mohla být způsobena ať už nesprávným dlouhodobým skladováním zeminy na zemníku, či delšími prodlevami mezi uložením zeminy a jejím zhutněním.
- Zemina měla požadovanou vlhkost, ale byla nedostatečně hutněna. To mohlo být způsobeno nedostatečným počtem pojezdů hutnícího stroje nebo nedodržením potřebné maximální tloušťky vrstvy.

O kterou z posledních dvou zmíněných příčin se jednalo, nebylo v tomto případě rozhodnuto. Bylo nicméně prokázáno, že docházelo k místy značným časovým prodlevám mezi navezením vrstvy zeminy a jejím zhutněním. V obou případech se však jednalo o technologickou nekázeň.

Situace byla sanována výměnou a přehutněním zemin jak pod tělesem vozovky, tak na svazích násypu.

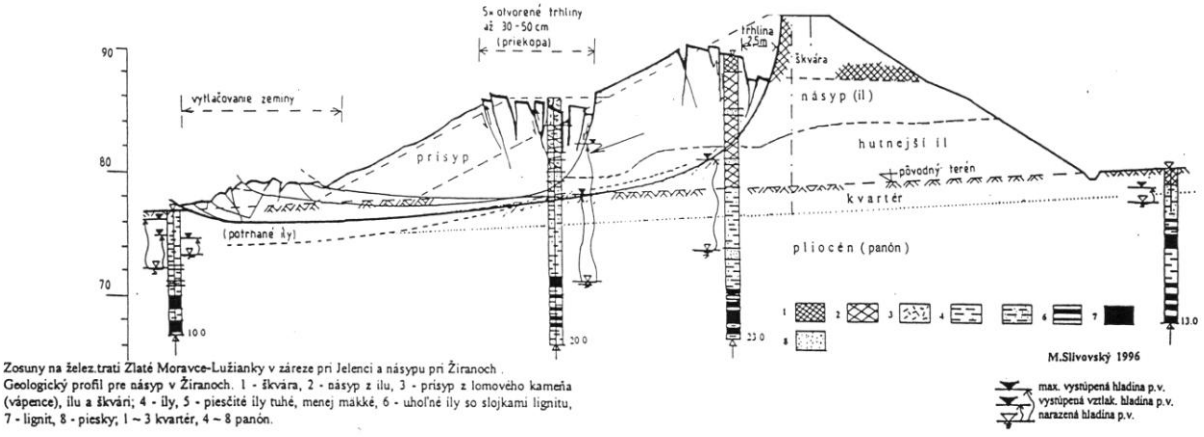
Komentář autora: Vliv technologické nekázně je v tomto případě zřejmě neoddiskutovatelný. Přestože na závěr zprávy nebylo rozhodnuto o příčině, indicie (špatně zhutněná zemina tvořící nepravidelné polohy a prokázané prodlevy mezi pokladem zemní vrstvy a jejím zhutněním, kdy byla zemina vystavena atmosférickým vlivům) nasvědčují spíše variantě nesprávné vlhkosti hutněné sypaniny.

3.1.23. Zlaté Moravce – Lužianky

Označení komunikace: Žel. trať Zlaté Moravce - Lužianky
Lokalizace: Nedaleko obce Žirany
Okres: Nitra, Slovenská republika
Vedení tratě: Na násypu
Geologické podmínky: Násyp z jílovitých zemin na jílovitém podloží
Popis problému: Sesuv násypu
Období vzniku: r. 1995
Problematické jevy: *II.A*
(*Amman et al., 1996*)

OBRÁZEK 71: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

Trať Zlaté Moravce – Lužianky byla postavena na konci 30. let 20. století. Trať byla budována ve spěchu, vyvolaném komplikovanou geopolitickou situací. Zřejmě především z tohoto důvodu byla trať navržena bez větší rozvahy ve velmi nepříznivých inženýrskogeologických podmínkách. V zájmovém úseku vystupují na povrch terciérní pliocénní lakustrinní jíly tzv. uhoľné série. Ty jsou tvořeny komplexem zelených až šedých písčitých jílů s vápnitými a lignitovými slojkami. V zájmovém úseku byl až 15,5 m vysoký násyp vybudován patrně přímo na těchto jílech v místě mírně ukloněného terénu. Vzhledem k problémům se stabilitou násypu byl na straně orientované po svahu následně vybudován přitěžovací přísyp ze směsi jílu, kameniva a škváry o přibližně poloviční výšce oproti násypu.



Zosuny na železnici trati Zlaté Moravce-Lužianky v zárezu pri Jelenci a násypu pri Žiranoch .
Geologický profil pre násyp v Žiranoch. 1 - škvára, 2 - násyp z ilu, 3 - prísyp z lomového kameňa (vápence), ílu a škvári; 4 - íly, 5 - piesčité íly tuhé, menej mäkké, 6 - uhoľné íly so slojkami lignitu, 7 - lignit, 8 - piesky; 1 ~ 3 kvartér, 4 ~ 8 panón.

OBRÁZEK 70: PROFIL SESUTÝM NÁSYPEM U OBCE ŽIRANY S VYZNAČENÝMI PROFILY PROVEDENÝCH VRTŮ. AMMAN ET AL., 1996

V úseku vedeném přes tyto jíly, úseku Žirany – Slažany, docházelo k sesuvům a dalším inženýrskogeologickým poruchám již od fáze výstavby, a to jak přímo na vedení trati a jejích zemních tělesech, tak v jejím okolí. Zde zmiňovaný sesuv byl jedním z nich.

Porušený úsek měl délku přibližně 80 m. V rámci průzkumu porušení bylo analyzováno velké množství vzorků, především podložních jílů. Zkoušky určily jejich smykové parametry následovně: Vrcholové Φ=18°, reziduální Φ=6-8°, $C_{reziduální}$ pro normálně konsolidované vzorky velmi blízké nule. Sami autoři připouští extrémně nízké hodnoty těchto veličin, které však odpovídaly sklonům přirozených svahů okolí sesutého úseku. Hladina podzemní vody se pod násypem nacházela relativně blízko povrchu. Způsob porušení včetně geologického složení a sondovacích vrtů nejlépe vystihuje obr. 71.

Situace byla řešena kompletním přebudováním násypu a to následujícím způsobem:

- Pod novým násypem byly zbudovány pískové piloty hloubky až 8,5 m
- Na ně byla vybudována geobuňková konstrukce z mřížoviny TENSAR, vyplněná drceným kamenivem
- Na ně byl budován samotný násyp z průběžně hutněné vápencové skrývky

Komentář autora: K tomuto případu sesuvu se mi nepodařilo zjistit analýzu spouštěcích faktorů, přestože jimi dle mého názoru pravděpodobně bylo zvýšené množství srážek či porušení určitého drenážního prvku v násypu. V tomto případě je pravděpodobné, že sesuv začal v přísypu (který obsahoval jak jílovitý materiál, tak zřejmě propustnější polohy škváry a kameniva, a tím umožňoval snadnější provlhčení jílů). Zajímavé je v tomto případě rovněž samotné vybudování násypu z jílovitých zemin na ukloněném jílovém podloží s nízkými pevnostními parametry a úrovní hladiny podzemní vody přibližně v úrovni terénu a jeho existence po dobu téměř 70 let.

3. 2. Příklady dokumentované autorem

V této části je uvedeno 7 případů mnou dokumentovaných. Je použita stejná forma jako u příkladů rešeršních, uvedených v kapitole 3.1. Ve výběru těchto případů sehrála částečně roli i náhoda – problémy na komunikacích bývají v řadě případů bezprostředně sanovány a potenciální reakční doba je tak místy velmi krátká. Navzdory tomu jsem se pokusil zdokumentovat případy různého charakteru. Zdrojů informací o výskytu případů byla řada: upozornění od známých, případně od odborníků z praxe, vlastní pozorování během jízd po českých silnicích, server *http://www.dopravniinfo.cz/*, upozorňující na uzavírky na komunikacích, ale i méně tradiční zdroje typu webových stránek Rádia FM, z něhož jsem získal informace o případu uvedeném v kap. 3.2.6.

Rozsah dokumentace jsem přizpůsoboval charakteru poruch a mým technickým možnostem – v některých případech dokumentace obnášela pouze zakreslení a vyfotografování jevu, spojené s rozhovory s místními, to vše realizované během jediné návštěvy, v jiných případech jsem se na lokalitu vydával opakovaně a průzkum zahrnoval rovněž provádění zarážených sond a podobně. Bohužel jsem neměl možnost na lokalitě provést detailnější sondovací práce typu vrtů či hlubších kopaných sond, proto rozsah zde uváděných příkladů odpovídá spíše stádiu předběžného průzkumu.
Ve dvou případech byla snaha opřít můj úsudek o matematický model. Detaily modelu jsou uvedeny v kapitole 4., ve zde zmíněných případech uvádím pouze implikace, vzešlé z modelů.

3.2.1. Brandýsek

Označení komunikace: Slánská ulice
Lokalizace: Obec Brandýsek, před odbočkou ulice Višňová
Okres: Kladno
Vedení nivelety: Na násypu
Geologické podmínky: Násyp tvořený slíny a jíly
Popis problému: Sesuv násypu
Období vzniku: Jaro 2011
Problematické jevy: ***II.A, V.B***

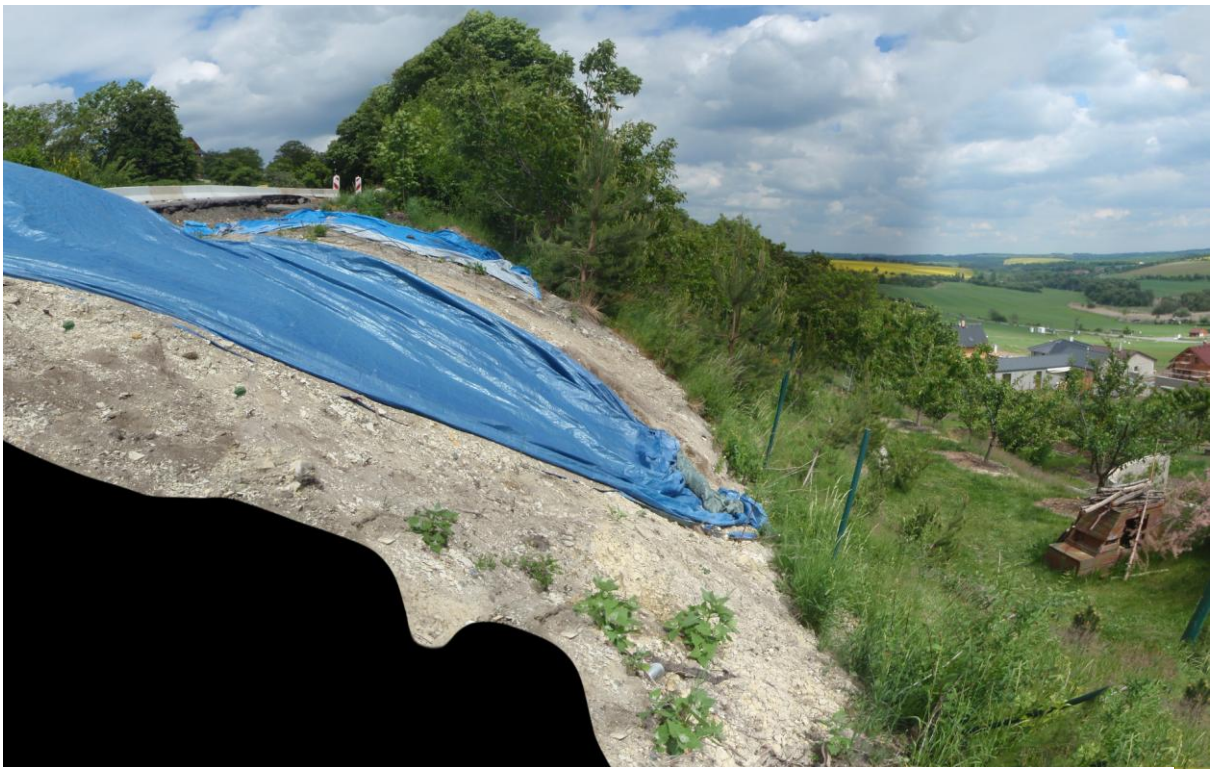
OBRÁZEK 72: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

V zájmovém úseku prochází ulice Slánská v relativně příkrém svahu, který se nad komunikací postupně zmírňuje a přibližně po 100 m přechází v plochý vrchol, který je zemědělsky využíván. V oblasti nad komunikací se nachází několik chat, pod komunikací se nachází zahrada rodinného domu. Na ní je sklon svahu vyrovnán systémem zárubních zídek a dílčích svahů, mezi nimiž jsou využívané dílčí plošiny. Mezi silnicí a spodní zahradou se nachází svah vysoký 4 m, dosahující sklonu přibližně 30° (viz obr. 73). Druhý okraj komunikace navazuje bezprostředně na parcely chat nad komunikací, mezi nimi a komunikací je vedena drenážní strouha. Detailní morfologie okolí byla ve výsledku natolik změněna stavební činností, že veškeré informace o původní morfologii terénu bylo nutné čerpat z ústních sdělení místních.

Horninové prostředí je v zájmové oblasti tvořeno prachovitými slínovci (opukami) Bělohorského souvrství (*geologická mapa 1 : 50 000, www.geologicke-mapy.cz*). Pod nimi se nacházejí křemenné pískovce korycanských vrstev, tvořící jediný výchoz na zájmovém místě a to západně od sesuvu v úrovni spodní části svahu pod komunikací. Průběh rozhraní pískovců a slínovců nebylo možné určit, nicméně dle údajů majitele spodní zahrady pískovce zapadají relativně prudce směrem k východu a sesuv tak neovlivňují (což bylo rovněž potvrzeno J. Tomáškem z firmy, která na lokalitě realizovala vrt v době po mé druhé návštěvě lokality –*Tomášek, J., ústní sdělení, 20.5.2011*). V jejich podloží se nacházejí vrstvy kladenského souvrství (*geologická mapa 1 : 50 000, http://www.geologicke-mapy.cz*), ty však již nebyly v zájmovém místě pozorovány a pravděpodobně na něj rovněž nemají vliv.

Po období tání na jaře r. 2011 došlo dle místních obyvatel poblíž zatáčky v ulici Slánské ke vzniku sesuvu. Na širokém pásu nad zahradou byly patrné náznaky určité formy svahového pohybu (zahradní sloupky byly pod svahem lehce vykloněné, byly na nich nahrnuté travní drny a svah byl krytý opukovou sutí, zatímco starší satelitní snímky (*www.mapy.cz*) ukazují na svazích zelený travní pokryv), nicméně vzhledem k tomu, že nebyla vidět žádná odlučná oblast, je pravděpodobné, že se jednalo pouze o sesouvání humózního pokryvu či povrchové vrstvy, jejíž odtěžení nepoznamenalo morfologii terénu. Kromě tohoto pohybu však došlo i ke vzniku výrazného sesuvu v přilehlé části násypu.

Tvar sesuvu je patrný z obr. 75. Hlavní tělo sesuvu dosahovalo šířky přibližně 15 m, nicméně bylo patrné jeho další rozšiřování směrem k východu. Sesuv byl prozatímně sanován odtěžením horní části sesutých hmot a tělesa komunikace, díky čemuž není možné určit míru posunu v odlučné ploše. Vrchní část sesuvu byla také zakryta plachtami proti infiltraci srážkové vody. Při druhé návštěvě došlo k posunu jedné z plachet, pod ní byla přibližně uprostřed odtěžené plochy vidět trhlina rozevřená až na 5 cm. Zároveň byla v čele sesuvu vybudována dvě krátká drenážní žebra, která byla svedena do drenážního příkopu, vyplněného kamennou sypaninou a vedeného mimo postiženou oblast. Z morfologie sesuvu bylo zřejmé, že jej pravděpodobně tvoří dvě nezávislé smykové plochy. První probíhala celou výškou svahu, při pohybu podél ní došlo k posunu zahradních sloupků ve spodní části



OBRÁZEK 73: BOČNÍ POHLED NA SESUV Z 16.5.2011

svahu, přičemž jejich vyklonění bylo minimální. Druhá zřejmě probíhala v menší hloubce, ústila právě nad zahradními sloupky (kde bylo patrné nasunutí zeminy) a díky ní vznikla trhlina ve vrchní části sesutých hmot. Dle majitele horního objektu i po provedení tohoto prozatímního opatření dochází k poklesávání odlučné oblasti. To bylo potvrzeno během druhé návštěvy, kdy byl přibližně po měsíci vizuálně patrný posun o cca 10-30 cm.

Dle rozhovoru s majiteli obou sousedících objektů jsou svahy v dotyčné oblasti často postihovány sesuvy, registr svahových pohybů toto nicméně nepotvrzuje. Dle rozhovorů s místními dochází vždy v období tání a silných dešťů k prudkému zvednutí hladiny podzemní vody a k jejím výronům při povrchu. Vzhledem k tomu, že majitel spodního objektu má (dle svých slov) vodu ve studni v hloubce přibližně 20 m, je pravděpodobné, že se jedná spíše o prosycení povrchových vrstev a vznik dílčích zavěšených zvodní, případně o dešťový ron. Dle slov majitele objektu nad komunikací dochází v těchto případech rovněž k přítokům vody do jeho sklepa (v hloubce cca 1-1,5 m). Majitel objektu pod komunikací rovněž zmínil vývěry několika pramenů z čela sesuvu bezprostředně po sesutí násypu, což vysvětluje vybudování drenážních žeber.

Dle majitele spodního pozemku byla komunikace v sedmdesátých letech výrazně rozšiřována, její niveleta byla zvýšena a od té doby bývala opakovaně opravována. Porovnáním nejnovější fotomapy a fotomapy z r. 2002 - 2003, kdy dům ještě nestál (*www.mapy.cz*) naznačuje, že v důsledku výstavby domu možná také došlo ke zpříkření svahu pod komunikací. Toto odpovídá ústním sdělením místních obyvatel, prokazatelně jsem to však nemohl ověřit.

Na lokalitě jsem provedl tři kopané sondy hloubky 0,5 m a několik zarážených sond. Dvě kopané a tři zarážené sondy byly provedeny s cílem ověřit složení násypu mimo těleso sesuvu, další kopaná sonda a dvě zarážené byly provedeny s cílem ověřit složení tělesa sesuvu. Výsledky sond je možné shrnout následovně:

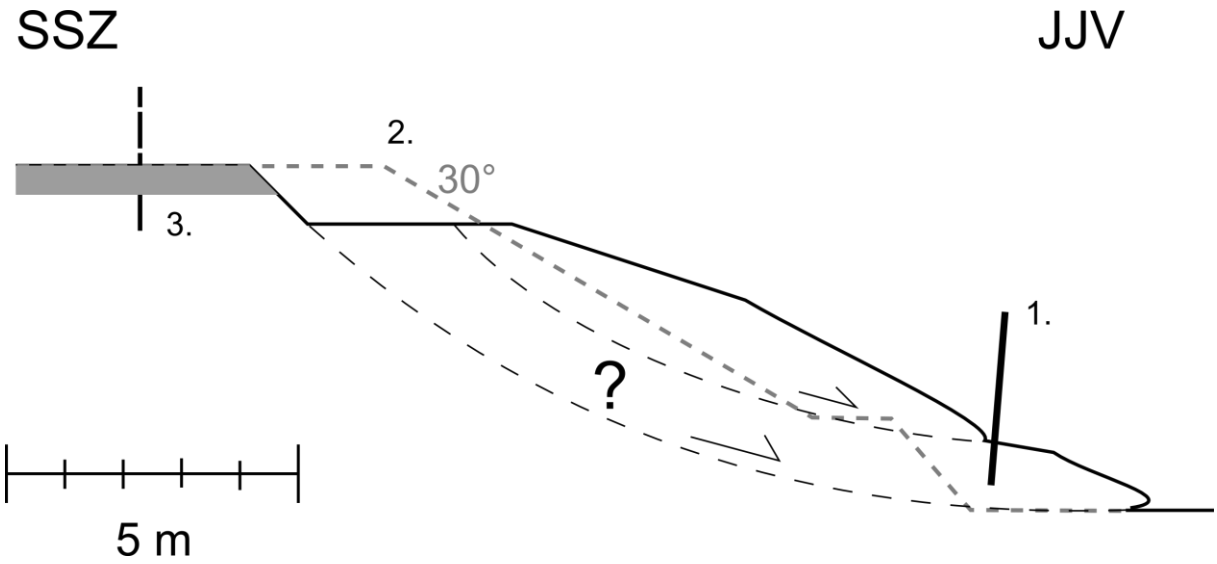
- Celá komunikace je pravděpodobně postavena na násypu a to včetně části ve svahu. V sondě provedené ve svahu bezprostředně nad komunikací se v hloubce 50-100 cm vyskytovaly částečně zetlelé kusy větviček a kůry.
- Násyp byl pravděpodobně zbudován ze směsi slínovců a jílovců a jejich eluvií. V sondách se vyskytovaly jak polohy žlutookrového prachovitého jílu s občasným výskytem tvrdých poloh (pravděpodobně úlomků opuky), tak polohy šedohnědého až tmavohnědého jílu s velmi proměnlivým podílem zvětralých úlomků horniny. Obecně platilo, že stupeň rozložení úlomků a jejich vlhkost rostly směrem do podloží.

- Sondy v sesutých hmotách ukazovaly na jejich vyšší vlhkost.
- Nejpevnější a nejméně zvětralé horniny byly zastiženy v sondě, provedené z odlučné oblasti směrem pod komunikaci. V ní byly zachyceny při povrchu suché a tvrdé slínovce, které postupně přecházely v prachovité jíly.

OBRÁZEK 74: POHLED NA AKUMULAČNÍ OBLAST SESUVU Z 19.4.2011 . TEČKOVANĚ JSOU ZVÝRAZNĚNY LINIE ZAHRADNÍCH SLOUPŮ A HRANICE DÍLČÍ LAVIČKY, KTERÉ DLE MAJITELE ZAHRADY BYLY PŮVODNĚ PŘÍMÉ.

Příčiny problému je tedy dle mého názoru možné shrnout následovně:

- Materiál násypu: Původně zřejmě štěrkovoprachovitá slínovcovo-jílovcová sypanina degradovala na slíny, tedy na jílovoprachovitou karbonátovou zeminu, případně byl násyp z tohoto materiálu částečně přímo vybudován. Její výskyt byl ověřen do 1 m pod povrchem.
- Sklon svahů násypu: Sklon svahů násypu je vzhledem k tomuto materiálu pravděpodobně příliš strmý. Pro rozhodnutí, zda byl násyp takto již vybudován či zda byl jeho sklon zvýšen vybudováním domu pod násypem, nebyl dostatek prokazatelných podkladů, přestože indicie svědčí spíše pro druhou možnost.
- Nepříznivé hydrogeologické a hydrologické podmínky: Rozdílné informace o hloubce podzemní vody v jímacím objektu a krátkodobém přípovrchovém zvodnění mohou vypovídat o tom, že se v oblasti kromě hlubokého oběhu podzemní vody vyskytují (alespoň po srážkách) přípovrchové zvodně, zřejmě oddělené od podloží nepropustným eluviem slínovců a jílovců. Ty pak protékají až k násypu, kde dochází po srážkách ke vzedmutí hladiny podzemní vody a tím k poklesu pevnostních parametrů jílů.



Obrázek 75: Řez sesuvem v nejpostiženějším místě. Smyková plocha byla odhadnuta na základě morfologie. Zde je nutné poznamenat, že výškový rozdíl v horní hranici odlučné oblasti neodpovídá zcela posunu, neboť horní část sesutých hmot byla zjevně odtěžena. Skutečný posun v této oblasti tak není možné určit. Vysvětlivky: (1) posunuté a lehce vykloněné zahradní sloupky; (2) Znázorněn profil, měřený ve stejném svahu cca 5 m Z od sesuvu; (3) konstrukční vrstvy komunikace a znázorněná její osa. Přerušovaně jsou znázorněny smykové plochy, odhadnuté z morfologie.

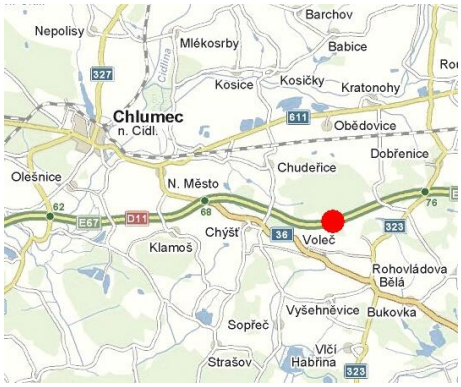
Pro sanaci sesuvu se nabízí řada možností. Kromě rozdílů ve výsledném stupni stability a finančních nákladech mohou představovat rozdílné zásahy jak do soukromé parcely pod komunikací, tak do provozu na samotné komunikaci (komunikace slouží jako příjezdová cesta k části obce Brandýsek a potenciální objízdná trasa by dosahovala délky cca 10 km – *určeno odhadem z www.mapy.cz*):

I. Prosté zmírnění sklonu svahu. Tato metoda by však vyžadovala zásah do parcely domu pod komunikací a zmenšení velikosti zahrady, což by zřejmě narazilo na nesouhlas majitele domu.
II. Provedením příčných žeber ve svahu. Žebra by musela jít pod smykovou plochu (na základě morfologie sesuvu tedy do hloubky vyšší než 2 m, tuto hloubku by však bylo nutné ověřit). Realizace tohoto způsobu by znamenala zřejmě nejmenší zásah do provozu na komunikaci a do parcely pod ní i nejmenší objem stavebních prací, na druhou stranu by výsledné zlepšení stability bylo pravděpodobně nejmenší ze zde uvedených. Případně by byla možná kombinace této metody a metody č. III
III. Odtěžením sesutých hmot a části komunikace a zbudováním opěrné (gabionové) zídky v patě svahu. Svah by byl následně zbudován nad ní v menším sklonu.
IV. Vybudováním pilotové stěny s převázkou podél koruny svahu (okraje komunikace) a s následným dohutněním zásypu pod komunikací.
V. Přebudováním tělesa komunikace jako vyztuženého zemního tělesa. Realizace této metody by si však vyžádala zřejmě nejdelší uzavírku na komunikaci a pravděpodobně i značný zásah do okolních parcel – pokud by nebyl možný pohyb stavebních strojů po komunikaci, bylo by nutné využít pro tento účel zahrady chat nad ní či rodinného domu pod ní.

Přestože některé metody se zdají výhodnější než jiné, pro detailnější rozhodnutí by bylo třeba podrobnějšího geologického průzkumu, zjištění mechanických parametrů násypu, ověření jednotlivých metod stabilitním výpočtem a samozřejmě také zohledněním ekonomického faktoru.

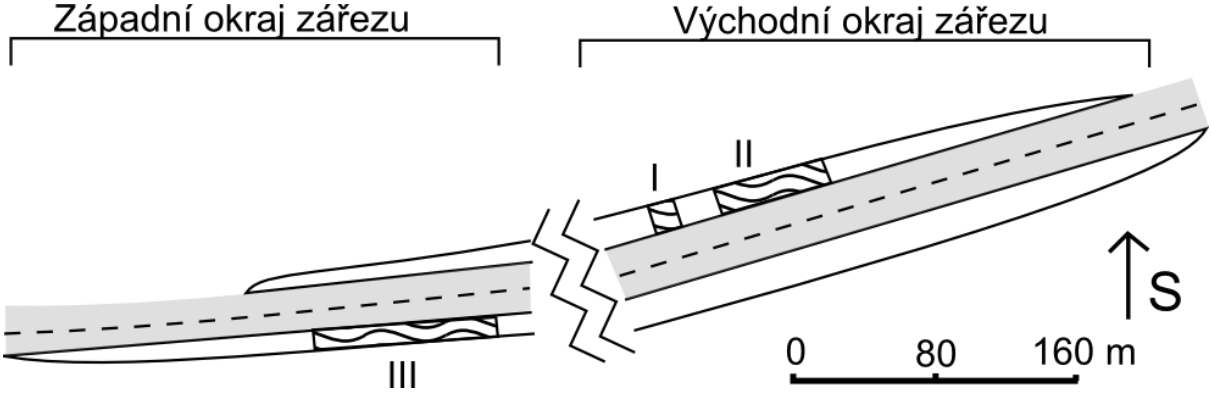
3.2.2. D11 - Voleč

Označení komunikace: Dálnice D11
Lokalizace: Km 72.-73., poblíž obce Kasaličky
Okres: Pardubice
Vedení nivelety: V zářezu
Geologické podmínky: Kvartérní nivní prachovité štěrkopísky nasedající na eluvium slínovců charakteru jílů
Popis problému: Sesouvání svahů zářezu
Období vzniku: Léto 2010, aktivita již předtím
Problematické jevy: ***III.A, V.B***



OBRÁZEK 76: LOKALIZACE POSTIŽENÉHO ÚSEKU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

V zájmovém úseku prochází dálnice zářezem hlubokým 6 - 8 m a dlouhým cca 1 km, orientovaným přibližně směrem východoseverovýchod – západojihozápad. Jeho svahy jsou provedeny ve sklonu 1:2. Oblast náleží do geologického regionu křídových pánví, v podloží se vyskytují křídové vápnité slínovce a jílovce Březenského souvrství



OBRÁZEK 77: ORIENTAČNÍ MAPKA, UKAZUJÍCÍ VÝSKYT ZDE ŘEŠENÝCH SVAHOVÝCH DEFORMACÍ (VLNOVKOU) VE ZMIŇOVANÉM ZÁŘEZU. ŠEDĚ JE VYZNAČENA NIVELETA DÁLNICE. MAPKA ZACHYCUJE POUZE OKRAJOVÉ ČÁSTI Z VÍCE NEŽ 1 KM DLOUHÉHO ZÁŘEZU, VYZNAČENY JSOU PRO JEDNODUCHOST POUZE SVAHY ZÁŘEZU – V MÍSTECH, KDE KONČÍ, PŘECHÁZÍ NIVELETA NA NÁSYP. LOKALIZACE SESUVŮ JE POUZE PŘIBLIŽNÁ. PODKLAD BYL VYTVOŘEN NA ZÁKLADĚ LETECKÉ MAPY Z WWW.MAPY.CZ

v klasickém vývoji (*geologická mapa 1 : 50 000, http://www.geologicke-mapy.cz/*). Nad nimi se nachází slínovcové eluvium charakteru plastických jílů, tímto eluviem prochází i niveleta dálnice (*Sloboda, 1995*). Kvartérní pokryv je v daném místě tvořen několika typy zemin (*Werkmann a Tomášek, 2009)*:

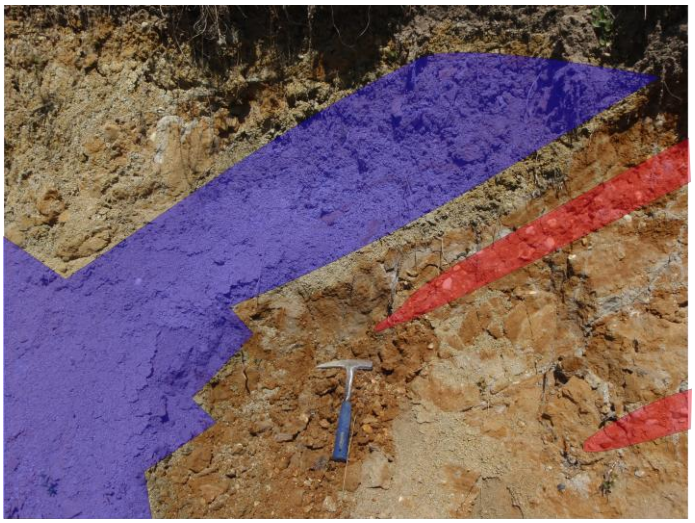
- Fluviální až deluviofluviální štěrkopísky
- Fluviální až deluviofluviální jílovité písky, které místy přechází až v písčité jíly
- Deluviální až deluviofluviální jíly, vzniklé krátkým transportem podložních jílů.

V rámci štěrkovitých poloh se vyskytují křemenné valouny až do průměru 10 cm, hojně byl pozorován výskyt valounů do průměru 3 cm.

V zájmovém zářezu došlo ke svahovým pohybům již během roku 2009, tyto byly dokumentovány *Wekmannem a Tomáškem (2009)* a v době mých návštěv lokality byly již sanovány kamenným záhozem. Mnou dokumentované pohyby vznikly pravděpodobně během srážkově anomálně bohatého léta roku 2010.

V zářezu se vyskytovaly dva typy svahových deformací, lokalizovaných ve dvou oddělených částech zářezu. U západního okraje zářezu docházelo k sesouvání humózní vrstvy, u východního okraje zářezu došlo ke vzniku dvou hlubších sesuvů. Tyto části budou dále v textu rozebrány odděleně.

Werkmann a Tomášek, 2009 i *Sloboda 2009* zmiňují vysokou proměnlivost složení kvartérního pokryvu. To bylo na lokalitě potvrzeno, především v odlučných oblastech sesuvů ve východní části byla patrná jeho vysoká laterální i horizontální variabilita a to jak v rámci decimetrů (kde místy dochází k častým střídáním jílovitých a písčitých poloh), tak v rámci desítek metrů. Zatímco v odlučné oblasti sesuvu I vystupovaly relativně homogenní jílovité písky až štěrkopísky a jíly byly kvartérní sondou odhaleny až v hloubce, odpovídající přibližně 3 m od původního povrchu, v odlučné oblasti sesuvu II se vyskytovaly především jíly, vystupující často až k původnímu povrchu a proložené polohami červených písků. Jejich hranice byly často ukloněné a zazubené., viz obr. 78.



OBRÁZEK 78 – UKÁZKA GEOLOGICKÉHO PROFILU V ODLUČNÉ PLOŠE V SESUVU. SPODNÍ HRANICE OBRÁZKU JE ROVNOBĚŽNÁ S HORIZONTÁLOU. MODŘE JSOU ZVÝRAZNĚNY DELUVIÁLNÍ JÍLY, ČERVENĚ VALOUNOVITÉ POLOHY. NEZVÝRAZNĚNÝ JE JÍLOVITÝ PÍSEK S PROMĚNLIVÝM PODÍLEM JÍLOVÉ FRAKCE

Východní okraj zářezu (sesuvy I a II). V této části, kde dosahuje zářez hloubky přibližně 8 m, došlo ke vzniku dvou oddělených sesuvů, širokých 10 m (sesuv I), resp. 70 m (sesuv II), oddělených 30 m širokým neporušeným pásem. Při poslední návštěvě (26.5.2011) jsem pak zaznamenal výskyt dalšího sesuvu v této oblasti, cca 50-70 m západně od sesuvu I.

OBRÁZEK 79: SITUACE U V OKRAJE ZÁJMOVÉHO ÚSEKU 9.11.2010. ZLEVA SESUV I A SESUV II. Z ARCHIVU AUTORA A A. PACHOLÍKOVÉ.

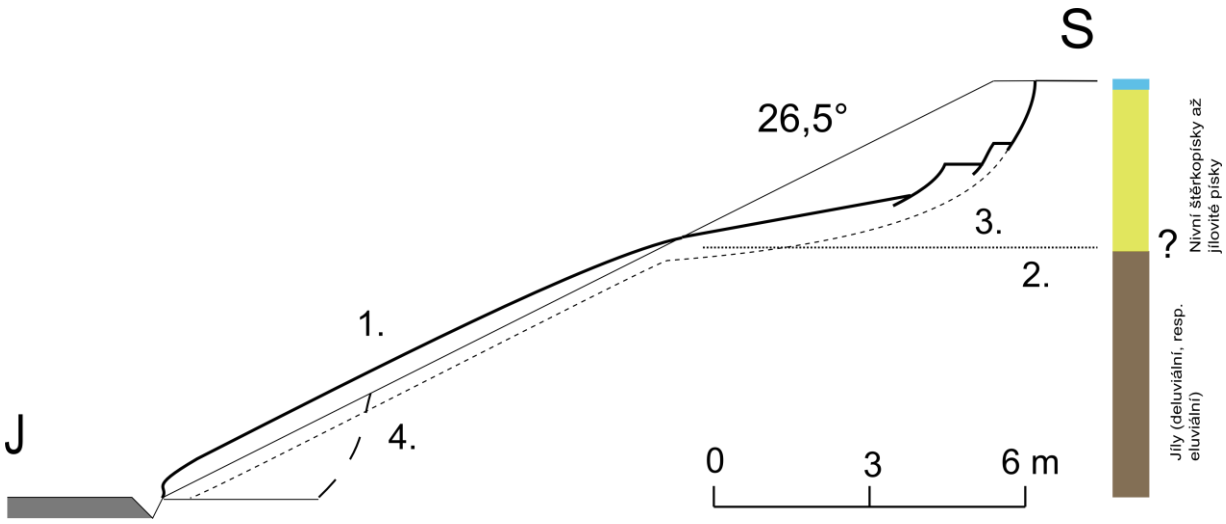
Sesuv I dosahoval šířky 10 m a měl relativně pravidelný tvar. Posun v odlučné stěně dosahoval cca 1,8 m. Morfologii sesuvu ukazuje obr. 81. V rámci průzkumu sesuvu I jsem provedl několik zaražených kvartérních sond. Určitá forma sondovacího díla byla provedena i správcem dálnice, neboť během mé návštěvy 25.5.2011 byla odtěžena pata svahu, kde došlo k odkrytí cca 2 m vysokého profilu. Z těchto sondovacích prací vyplynula jak pravděpodobná hranice jílů a jílovitých písků až štěrkopísků, tak pravděpodobný mechanismus sesuvu. Ve spodní části svahu byly jíly překryty 20-40 cm mocnou vrstvou hrubozrnnějšího materiálu a v patě svahu nebyl patrný žádný výskyt smykové plochy. Písky měly při hranici s jíly zvýšenou vlhkost, stejně tak jako jíly pod nimi (které byly obvykle měkké konzistence). Sonda provedená v sesuvu pak ukázala při hranici jílů a písků vrstvu cca 40 cm mocnou, kde docházelo k častému střídání obou těchto materiálů. Jíly ve spodní části svahu byly zavlhlé a tuhé konzistence.

Sesuv II dosahoval šířky 70 m. Pokles v odlučné stěně činil až 3 m, přestože bylo zřejmé, že došlo k dalším dílčím posunům pod ní a tedy že maximální posun bude ještě větší. Nad sesuvem se vyskytovalo několik menších bezodtokých depresí, o zvýšené vlhkosti svědčila i vlhkomilná vegetace. Z jeho morfologie bylo patrné, že se jednalo o kombinaci dílčích sesuvů, směrem k západu se velikost posunu zvětšovala a při západním okraji docházelo až k vyklánění a vyjíždění „bloků zeminy“ a vytvoření rozevřených trhlin hloubky až 1 m a šířky prvních decimetrů. Právě v odlučné oblasti tohoto sesuvu byla patrná značná variabilita kvartérního pokryvu. Ta byla také zřejmě důvodem komplikovaného vývoje sesuvu. Přibližný profil částí, v níž došlo k největšímu posunu je ukázán na obr. 83.

OBRÁZEK 80: POHLED NA SESUV I, 9.11.2011. Z ARCHIVE AUTORA A A.PACHOLÍKOVÉ

Na vzniku sesuvu se dle mého názoru podílely následující nepříznivé faktory:

- Hydrogeologický režim: V kvartérním pokryvu může docházet k relativně výraznému kolísání hladiny podzemní vody v závislosti na infiltraci. Jílovité eluvium tvoří nepropustné podloží, nad nímž může v období intenzivních srážek či oblevy docházet k rychlému vzedmutí hladiny

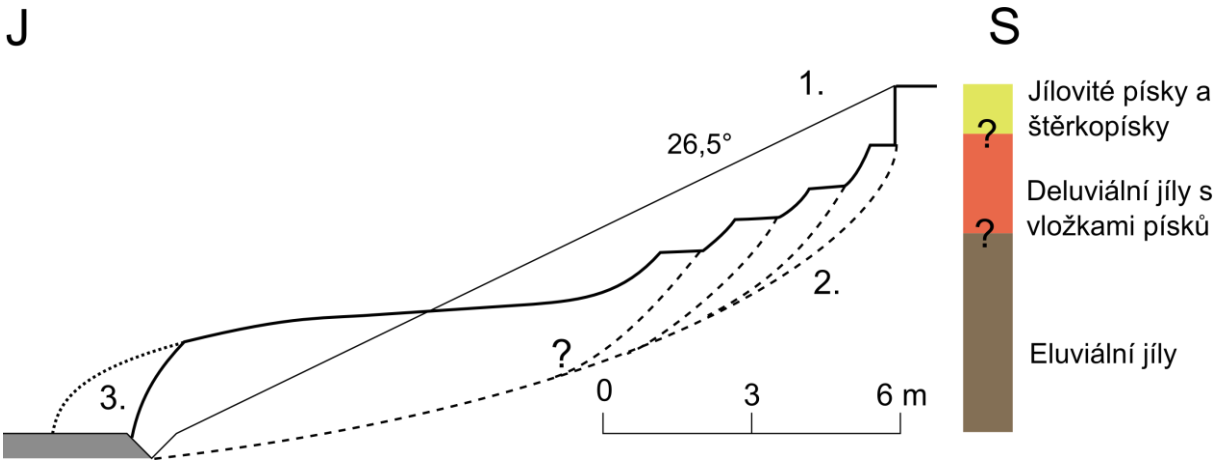


OBRÁZEK 81: PROFIL SESUVEM I. (1): MORFOLOGIE SESUVU, MĚŘENÁ NA PODZIM R. 2010. (2) HRANICE PÍSKŮ A JÍLŮ, URČENÁ Z KVARTÉRNÍCH SOND. ZDA SE JEDNALO O JÍLY DELUVIÁLNÍ ČI ELUVIÁLNÍ NEBYLO MOŽNÉ URČIT. (3): SMYKOVÁ PLOCHA, ODHADNUTÁ Z MORFOLOGIE. (4): ODTĚŽENÉ ČELO SESUVU, DOKUMENTOVANÉ DNE 26.5.2011.

OBRÁZEK 82: POHLED NA ČELO SESUVU II

podzemní vody. Určitou roli mohou mít i ukloněné polohy deluviálních jílů, které mohou směrovat tok podzemní vody a vést k lokální koncentraci přítoků, případně k vytváření dílčích zavěšených zvodní.

- Svahy jsou při daných geologických podmínkách a zahrnutí hydrogeologických podmínek navrženy příliš strmě.
  - Písky, ač zdánlivě bezproblémové, jsou samy značně proměnlivé a vytvářejí jak hrubozrnnější a relativně propustnější polohy, tak polohy jílovitější, které však mají menší úhel vnitřního tření a mohou být náchylné na změny konzistence. Při zvednutí hladiny podzemní vody v píscích dochází rovněž ke snížení jejich efektivní smykové pevnosti.



Obrázek 83: Profil sesuvem II. Plná čára odpovídá naměřenému povrchu terénu; (1): Původní sklon svahu. (2): smyková plocha a dílčí posuny – odhadnuté z morfologie. Rozsah jílů s vložkami písků byl odhadnut na základě jeho rozsahu v okolí tohoto profilu. Vzhledem k již zmíněné vysoké laterální proměnlivosti však nebylo možné určit jejich přesný rozsah v odlučné oblasti v daném profilu. (3): v této oblasti bylo čelo odtěženo. Původní dosah čela nebylo v terénu možné určit, proto je vyznačen spíše symoblicky

  - Funkce jílů je v tomto bodě otázkou. Ač by se na první pohled mohly zdát být nejrizikovějším faktorem (úhel vnitřního tření pravděpodobně výrazně menší než sklon svahu), nemusí jím nezbytně nutně být. V případě sesuvu I došlo zřejmě pouze k sesutí zvodnělých jílovopísčitých hmot a hranice jílů sloužila spíše jako „kluzná plocha“, zatímco sesuv II zřetelně postihl i samotné jíly. Pro ověření vlivu zvodnění na vznik konkrétní podoby smykové plochy byl následně vystavěn matematický model. Dále jsou uvedeny některé hypotézy, více o samotném modelu a jeho výsledcích je pak v kapitole 4.2.
    - Je pravděpodobné, že jílovité eluvium samotné není trvale zvodnělé. Jako nezvodnělé pak může díky své kohezi působit krátkodobě stabilně.
    - Pakliže dochází pouze lokálně k vytvoření zvodní nad jejich hranicí, vstupuje do hry nízká hydraulická vodivost jílů, v důsledku níž může docházet pouze k nasycení (a tím snížení konzistence a poklesu pevnostních parametrů) pouze při hranici s písky a při povrchu svahu. V tomto bodě se tedy jako krajně rizikové jeví polohy jílů s vložkami písků. Na druhou stranu se zde může uplatňovat vliv, zmíněný *Novotným (2006)*, tedy zvýšení propustnosti povrchových vrstev v důsledku smršťovacích trhlin. V současné době je povrch svahu pokryt humózním pokryvem, který toto riziko částečně snižuje. K jejich vzniku však mohlo dojít také během výstavby zářezu. Vzhledem k tomu, že se mi informace o harmonogramu výstavby nepodařilo dohledat, tak toto zůstává spekulací.
- Ve svahu ani nad ním není provedeno žádné odvodnění. Nebyl nijak zajištěn odvod srážkové vody z oblasti nad svahem (jedinou ochranou byla zídka z betonových profilů), podél západního okraje zářezu se navíc nad svahy vyskytovala pole a vozová cesta, tedy prostředí umožňující snadnou infiltraci vody do propustných vrstev. Na tuto skutečnost bylo upozorněno i *Werkmannem a*

Tomáškem (2009) a byla doporučena náprava, která však zjevně nebyla v době autorovy dokumentace realizována.

Západní okraj zářezu: Převážně ke sjíždění humózní vrstvy docházelo na úseku dlouhém přibližně 100 m (v mapce značeno jako „III“) v místech, kde zářez dosahoval hloubky cca 6 m. V tomto úseku se vyskytovaly 3 oddělené svahové pohyby, při koruně svahu bylo nicméně patrné další zatrhávání humózního pokryvu a rozšiřování pohybů do míst dosud nepostižených. Charakter pohybů se mírně různil. U jednoho měl pohyb charakter sjíždění humózní vrstvy po kontaktu s podložím a její akumulaci ve spodní části (viz obr. 84), u druhého spíše podobu mělkého stékání promísené povrchové vrstvy, zasahující však až do podloží. Ve všech případech se však jednalo o mělký pohyb, zasahující povrchovou humusovou vrstvu a maximálně pouze málo mocnou vrstvu podloží. Tyto pohyby byly vždy doprovázeny drobným sesuvem rotačního či rotačně planárního charakteru, vzniklým při koruně svahu. Na všech třech místech byla také na smykové ploše patrná opakovaná aktivace pohybu (část plochy již byla porušená dešťovou erozí a zarostlá prvními rostlinami, pás pod ní stále vykazoval čerstvou striaci). V obnažených smykových plochách zde vystupovaly především šedohnědé jíly, zda se jednalo přímo o neporušené eluvium slínovců či o eluvium rozvlečené během kvartéru nešlo určit. Místy byl nicméně patrný i nesouvislý výskyt poloh okrových štěrkopísků a jílovitých písků. Jejich poloha měla při první návštěvě (po několika dnech beze srážek) na povrchu stále kašovitou konzistenci, což svědčí o zřejmé dotaci těchto poloh podzemní vodou.

OBRÁZEK 84: POHLED NA JEDNO Z MÍST POSTIŽENÝCH SJÍŽDĚNÍM HUMÓZNÍHO POKRYVU, 16.10.2010.

Kromě faktorů, zmíněných v případě hlubokých sesuvů se zde zřejmě uplatňuje namrzavost jílovitých zemin, proti níž je svah chráněn pouze cca 50 cm mocným humusovým pokryvem (přestože se jako minimální nezámrzná hloubka na našem území bere hloubka 80 cm). Přestože se z pohledu namrzání obvykle považují za rizikovější prachovité zeminy z důvodu jejich vyšší hydraulické vodivosti (*Drozd K., ústní sdělení*), propustné písčité polohy mezi jíly mohou do těchto poloh přivádět vodu a tím jejich namrzavost zvyšovat.

Dosavadní průběh sanací spočíval vždy v odtěžení sesutých hmot a jejich nahrazení kamenným záhozem. Odvodňovací příkopy, navržené během předchozích sanací (*Werkmann a Tomášek, 200*9), nebyly minimálně při jižním okraji zářezu realizovány. Vzhledem k množství vznikajících sesuvů je rovněž pravděpodobné, že by bylo výhodnější ve svahu provést plošnou sanaci preventivního charakteru. Vzhledem k tomu, že zabezpečení stability svahů zářezu zmírněním jejich sklonu je nepravděpodobné z důvodu problémů, souvisejících s dalším záborem půdy, je pro sanaci obou typů porušení svahů klíčové alespoň odvedení podzemní vody ze svahů, například drenážními žebry,a zabráněním přítoků srážkové vody z oblasti nad svahem drenážním příkopem.

3.2.3. Drahotuše

Označení komunikace: Hranická Ulice
Lokalizace: Obec Hranice IV - Drahotuše
Okres: Přerov
Vedení nivelety: V úrovni terénu (v obci)
Geologické podmínky: Regionálně sprašové hlíny, zásyp neznámé povahy
Popis problému: Poklesy vozovky v místech průběhu kanalizace
Období vzniku: 2008 - 2009
Problematické jevy: ***I.A***

OBRÁZEK 85: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

Hranická ulice prochází přibližně ve směru východoseverovýchod-západojihozápad obcí Drahotuše u Hranic na Moravě. Silnice, krytá kamennou dlažbou, prochází rovinatým terénem a je obklopena zástavbou rodinných domků. Mezi nimi a vozovkou vede podél severního okraje chodník se zámkovou dlažbou, podél jižního okraje nejdříve přibližně 5m široký pás trávy, jež u východního okraje mizí.

Komunikace byla postižená četnými lineárními poklesy, dosahujícími velikosti až 10 cm a vytvářejícími 3 hlavní systémy. První systém probíhal rovnoběžně s komunikací po celé její délce při její hranici s chodníkem a měl šířku 1-2 m. Tato linie byla již v době dokumentace na několika místech vyspravena provizorními vyrovnávacími asfaltovými záplatami. Druhá linie vybíhala od krajnice při východním okraji a vozovku kose protínala. Třetí systém se sestával z několika poklesů kolmých na komunikaci a převážně ve východní části propojoval vždy výjezdy do dvorů okolních domů. Tyto poklesy měly rovněž šířku 1,5 – 2 m. V místech, kde tyto linie protínaly zámkovou dlažbu chodníku, se i na ní vyskytovaly hojně mísovité či protáhlé poklesy. Důsledkem bylo snížení bezpečné průjezdní rychlosti a efektivní zúžení vozovky na jeden průjezdný pruh. Podél všech těchto poklesů byly rozloženy kanálové poklopy a na vozovce byla vizuálně patrná jiná, méně obroušená dlažba. Vše potvrdil rozhovor se starousedlíky i webové stránky Hranic na Moravě (*http://www.mesto-hranice.cz*), dle kterých byla v obci v dokumentované ulici kopána roku 2008 dešťová kanalizace. Z výpovědí místních vyplynulo, že výkopy byly přibližně 3 m hluboké a že byly hutněny výbušným pěchem, neboli „žabkou“. Je zřejmé, že příčinou je v tomto případě špatné zhutnění zásypu kanalizace a jeho následná

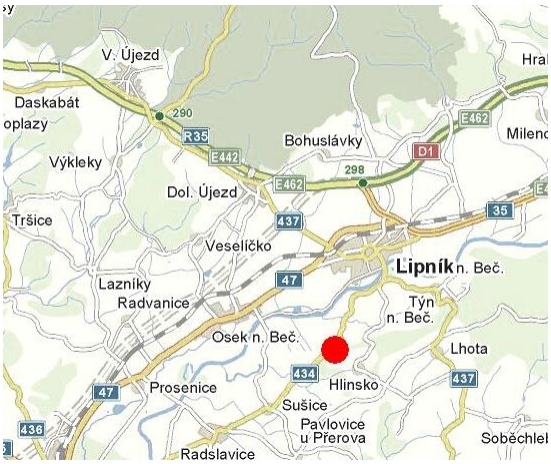
OBRÁZEK 86: POHLED NA POSTIŽENÉ ÚSEKY ZE ZVÝRAZNĚNÍM PRŮBĚHŮ DEFORMACÍ.

konsolidace během provozu. Zda byla prvotní příčinou špatná vlhkost sypaniny, malý počet pojezdů „žabky“ či přílišná tloušťka hutněných vrstev nebylo bez provedení dalších průzkumů možné určit.

Pro sanaci poruch by bylo třeba nejdříve zjistit, zda je již dodatečná konsolidace zeminy ukončena a tedy provést odběr vzorků z kopaných sond, provést zkoušky dle Proctor Standart a následně srovnat objemové hmotnosti zeminy v zásypu s touto hodnotou. Na tyto testy by šly případně navázat penetrační zkoušky. Pokud bude zemina již zkonsolidovaná, mohla by následná sanace spočívat pouze v rekonstrukci tělesa vozovky na původní navrženou úroveň. Pokud by hrozilo další dosedání zásypu, bylo by nutné v místě poruch zeminu vyměnit či alespoň vykopat a přehutnit aktivní zónu vozovky a až následně rekonstruovat její povrch.

3.2.4. Nové Dvory - Sušice

Označení komunikace: II/434
Lokalizace: 1 km za obcí Nové Dvory směrem na Šušici
Okres: Přerov
Vedení nivelety: Násyp, místy kombinovaný s odřezem
Geologické podmínky: Násyp ze štěrkopískové sypaniny na svahu tvořeném karbonskými klastiky
Popis problému: Porušení okraje násypu
Období vzniku: Neznámé
Problematické jevy: I.A, II.B



OBRÁZEK 87: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

Zájmový úsek se nachází na severně orientovaném svahu za obcí Nové Dvory poblíž Lípníka nad Bečvou. Komunikace je vedena na násypu, na nějž z jižní strany navazuje zalesněný svah, ze severní strany spadá násyp až na úroveň nivy řeky Bečvy (viz obr. 89). V proměnlivé vzdálenosti od jeho paty se pak nachází zavlažovací kanál sousedícího pole. Skalní podloží v okolí je tvořeno břidlicemi, prachovci a drobami moravického souvrství (*geologická mapa 1 : 50 000, http://www.geologicke-mapy.cz/).*

OBRÁZEK 88: SITUACE NEJVÍCE POSTIŽENÉHO ÚSEKU.

Násyp dosahuje výšky 4 – 6 m, se svahem o proměnlivém sklonu (převažuje 30°), porostlým stromy, náletovými keři a ostružiním. Provedená kopaná sonda hloubky 0,5 m ukázala, že násyp je tvořen písčitým štěrkem, s vysokým podílem ostrohranných úlomků (protokol ze zrnitostní analýzy, provedené firmou Arcadis Geotechnika je uveden v rámci

příloh).

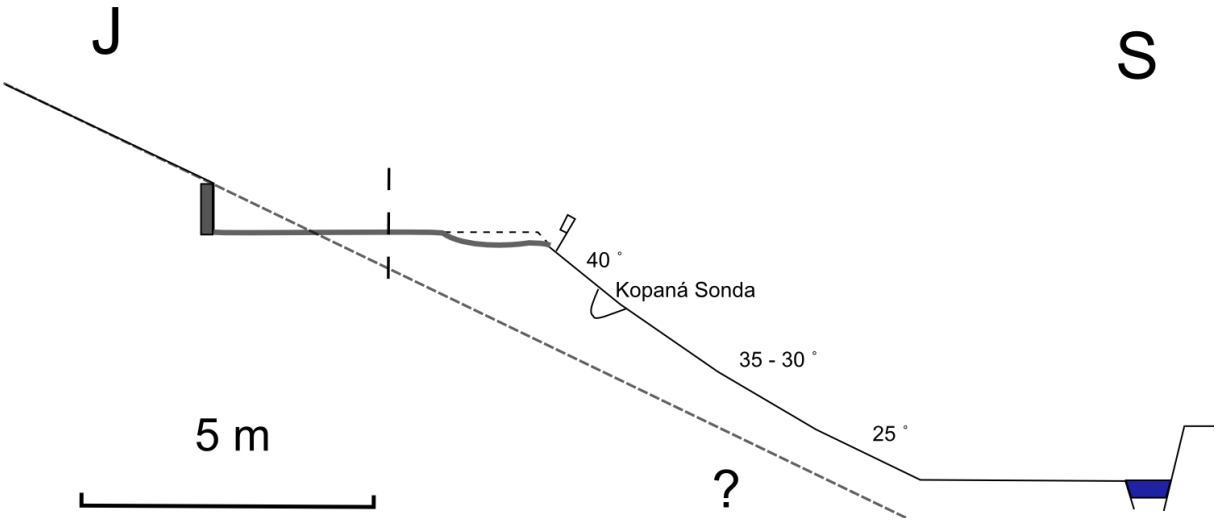
Komunikace je v daném místě široká přibližně 6 m a její strana přivrácená ke svahu je místy vedená v odřezu, hlubokém až 1 m a zajištěném zárubní zídkou z volně skládaných kamenů. Ve zbytku úseku vozovka ve svah plynule přechází a je od něj oddělena pouze drenážním příkopem, v celé jeho délce zaneseným napadaným listím.

Ke vzniku poruch v zájmovém úseku došlo záhy poté, co začala být komunikace využívána pro dopravu kameniva z blízkého lomu Podhůra (*Novotná, E., e-mail, 15.1.2011*). Poruchy v zájmovém úseku měly charakter prasklin v okrajové části vozovky a poklesů krajnice. Kromě toho se zde vyskytovalo 5 výrazně více postižených s řadou společných znaků:

- Porušení zabíhala cca 180-200 cm do vozovky, jejich vnitřní okraje byly obvykle přibližně přímé.
- Jejich ohraničení bylo poměrně zřetelné a pravidelné; tyto úseky byly odděleny úseky postiženými minimálně či téměř vůbec (maximálně lehké trhliny podél krajnice)
- Porušení měla charakter šíťových, případně rozvětvených trhlin (dle *TP 82*)
- Podél trhlin docházelo k poklesům. Na některých úsecích zřejmě docházelo i k bočnímu pohybu, jeho velikost se mi však nepodařilo změřit.
- Délka postižených úseků se vždy pohybovala okolo 20 – 30 m
- Maximální naměřený pokles činil 10 cm, běžně dosahoval 5 cm
- Deformace byly doprovázeny vykloněním svodidel, v nejvíce postiženém úseku až o 30°

OBRÁZEK 90: JEDEN Z VÍCE POSTIŽENÝCH ÚSEKŮ NA KOMUNIKACI.

Situace byla již hrubě popsána ve zjednodušené projektové dokumentaci k dosud nerealizovaným opravám úseku (*Balcar, 2004*), jež však popisuje situaci velmi zevrubně. Tato zpráva určuje jako hlavní příčinu nedostatečnou tuhost tělesa



OBRÁZEK 89: PROFIL NEJVÍCE POSTIŽENÝM MÍSTEM V RÁMCI ZKOUMANÉ LOKALITY I S VYZNAČENÍM KOPANÉ SONDY, PROVEDENÉ ZA ÚČELEM OVĚŘENÍ STAVBY NÁSYPU.

vozovky a nedostatečné vyčištění drenážních prvků. Na svahu jsem zaměřil tři profily, dva v místě porušení a jeden v neporušeném úseku mezi nimi. V obou výrazně postižených úsecích vykazovaly horní partie svahu výrazné zpříkření oproti neporušenému profilu. Na druhou stranu v jiných úsecích toto zpříkření zřejmě nebylo (v tomto případě byl svah silně porostlý ostružiníkem, což znemožnilo podrobnější měření).

Je zřejmé, že primární příčinou vzniku těchto poruch je zvýšení provozu těžkých vozidel na úroveň, na níž nebyla vozovka dimenzována (což konstatuje i *Balcar, 2004*). Tomu nasvědčuje jednak období zniku poruch, dále jejich charakter, jehož příčina může být dle *TP 82* mj. „nedostatečně únosné podloží či únava asfaltové vrstvy způsobená zvýšenou intenzitou provozu, na níž nebyla vozovka dimenzována“. Vysoký provoz nákladních vozů byl pozorován i během dokumentace na lokalitě a činil pohyb v daném úseku rizikovým. Otázkou je však mechanismus porušení. Pravděpodobně nejefektivnější by v tomto případě, kdy se jedná o komplikované cyklické zatěžování, zřejmě byly předchozí empirické zkušenosti a analogie s podobnými případy (*Vaníček a Vaníček, 2008*). Pro orientační určení mechanismu porušení byl vytvořen matematický model formy parametrické studie, jehož detaily jsou rozebrány v kapitole 4.1.

S jeho pomocí je tedy možné určit následující pravděpodobné příčiny a mechanismy:

- Navzdory prvotním odhadům nedochází podél koruny násypu ke vzniku smykové plochy. Konkrétní dosah a směr deformace v podloží záleží silně na přesných mechanických vlastnostech materiálu a jeho zhutnění. Obecně se dá říci, že deformace způsobuje prostou dodatečnou konsolidaci materiálu násypu a boční deformace v horní části násypového svahu.
- Vyklenutá svodidla ukazují, že k určitému bočnímu pohybu v koruně násypu dochází. Model však rovněž ukazuje, že vznik pozorovaného zvýšeného sklonu násypu v jeho v horní části v důsledku deformací je nepravděpodobný. Přestože k podobnému jevu dojít může, jeho velikost nemůže za reálných podmínek dosáhnout pozorovaných hodnot. Toto zpříkření je tedy pravděpodobně z větší části konstrukčního původu, ať už v důsledku rozšiřování násypu dosypáním jeho koruny (*Novotný, J., Král, J., ústní sdělení*) či přímo původní konstrukce. Platí tedy zřejmě opačná implikace, tedy že ke vzniku výrazných deformací dochází především v místech, kde je svah násypu příkřejší.
- Svůj vliv na vznik deformací mohlo mít i nedostatečné zhutnění koruny násypu. Důvodem může být jak technologická nekázeň, tak vybíjení hutnící energie do boků násypu. Potvrzení nebo vyvrácení by však vyžadovalo další průzkum, alespoň ve formě penetračních zkoušek.
- Otázkou je také vliv vody na vznik těchto jevů, především role drenáže a systému propustků. Tato otázka je těžko zodpověditelná z důvodu neexistence dokumentace týkající se umístění propustků (*Novotná, E., ústní sdělení, 11.1.2011*). Při obhlídce lokality bylo v úseku s drenážním příkopem nalezeno jedno ústí propustku, tedy vertikální betonová skruž o průměru 30 cm. Ta byla silně zanesena, nad ní se pak nacházela geotextilie, díky jejímuž protržení vrstvou nečistot došlo k odhalení ústí. Na koruně násypu naproti tomuto zanesenému ústí se pak nacházel jeden z více postižených úseků o délce 20 m. Ve zbytku úseku nebyla pozorována žádná drenáž ani jakékoli opatření, odvádějící vodu stékající ze svahu nad komunikací. Z tohoto důvodu je možné, že srážková voda může fungovat jako eskalovací faktor. Voda stékající po deštích ze svahu nad komunikací a z plochy komunikace může provlhčovat krajnici a tím usnadnit její deformaci. Zároveň může docházet ke vsaku do trhlin, které jsou podél krajnice prakticky v celém úseku. Postupné rozšiřování trhlin a pokles dané části pak může tento efekt dále umocnit.
- Vliv blízkého kanálu a případných hlubších deformací pravděpodobně neexistuje, neboť výskyt oddělených porušení nekorespondoval s průběžně se měnící vzdáleností kanálu od paty násypu. To bylo rovněž potvrzeno modelem.

3.2.5. R7 – Brandýsek

Označení komunikace: R7
Lokalizace: Zářez km 13,2-14
Okres: Kladno
Vedení nivelety: V zářezu
Geologické podmínky: Zvětrávající slínovce (opuky)
Popis problému: Sesouvání slínovcových zvětralin
Období vzniku: Neznámé
Problematické jevy: ***III.A, III.B***

Obrázek 91: Lokalizace řešeného úseku. Upraveno z www.mapy.cz

V km 13,2-14 prochází dálnice R7 zářezem hloubky až 18 m. Zářez byl orientovaný přibližně západoseverozápad-východojihovýchodním směrem, jeho dno, totožné s niveletou dálnice se svažovalo směrem k východojihovýchodnímu okraji. Morfologie terénu je patrná z obr. 92. Po obou stranách zářezu bylo území využíváno pro zemědělskou činnost.

V zářezu vystupovaly především žlutošedé až bělavé slínovce až jílovce, místy výrazně prachovité (opuky), patřící k bělohorskému souvrství, pod nimiž se nachází pískovce korycanských vrstev (*geologická mapa 1 : 50 000, http://www.geologicke-mapy.cz).* Výskyt obou těchto typů byl v zářezu patrný, přestože korycanské pískovce vycházely pouze v nejníže položené (východní) části zářezu. Zároveň se v zářezu vyskytovaly šedobílé až zelenavé slínovce, které se obvykle nacházejí při bázi bělohorského souvrství (*Chlupáč et al., 2002*). Jejich přechod do slínovců není na svahu viditelný, nicméně několik zarážených kvartérních sond, provedených ve svahu ukázalo značné rozdíly v jejich přípovrchovém zvětrávání. Zatímco u opuk v horní části svahu dosahovala mocnost zvětralin řádově prvních desítek centimetrů, po nichž sonda narazila na tvrdší horninu a nebylo možné ji zatlouct, v místech výskytu slínovců se relativně pevnější a suchá hornina vyskytovala právě při povrchu, ale směrem do podloží přecházela ve vlhké plastické jíly. Ty byly sondou ověřeny až do hloubky 1 m, což byl maximální dosah sondy.

Obrázek 92: Morfologická situace v okolí řešeného zářezu. Červeně je znázorněna nejvýraznější deformace, zkoumaná níže. Z www.mapy.cz, *upraveno*

Obrázek 93: Ukázka prvního typu deformací v zářezu. 19.4.2011

Svah zářezu byl přibližně v polovině jeho výšky rozdělen bermou širokou 3 m, nad ní svah dosahoval generelního sklonu 35°, pod ní byl svah o něco prudší a dosahoval sklonu přibližně 40°. Bermou byl zjevně původně veden odvodňovací příkop. Místy byly patrné jeho zbytky, které však obvykle po pár metrech mizely, byly zanesené suchou travou a během

druhé návštěvy (po několika dnech sucha) se v nich stále držela stojatá voda. Spodní 4 m zářezu byly pokryty kamenným zásypem. V naprosté většině plochy zářezu byl povrch tvořen zvětralinami slínovců, přecházejícími od rozsucených bloků velikosti až 20 cm (tyto bloky se vyskytovaly téměř výhradně ve vrchní části svahu) přes převažující a charakteristický štěrk, tvořený tenkými, ostrohrannými plátky slínovců až po šedobílou prachovitou zeminu s drobnými úlomky horniny. Toto podloží bylo volně porostlé travou. V místech výchozů pískovců se vyskytoval i menší porost bříz, ve spodní části kmenu prohnutých, tedy svědčících o svahových pohybech charakteru plouzení.

V zářezu se vyskytovalo několik charakterů svahových deformací:

- Sesouvání jemné povrchové vrstvy. Jednalo se o nesouvislé skluzy prachovité zeminy a úlomků, obvykle o mocnosti do jednoho decimetru, které překrývaly travnatý podrost. K těmto drobným nestabilitám dochází náhodně po celém svahu, a ač samy nepředstavovaly ohrožení celkové stability, mohly představovat rizikový prvek, neboť travnatý pokryv pod nimi odumírá a ztrácí svou stabilizační funkci (viz obr. 93).
- Mělké plošné sesuvy. Ty se vyznačovaly nepravidelnou smykovou plochou, zabíhající do hloubek prvních decimetrů. Jejich šířka obvykle dosahovala prvních metrů. Tyto sesuvy vytvářely pouze nevýrazné akumulační oblasti. K těmto sesuvům docházelo v největší míře pod hranou bermy, kde zasahovaly její okraj (viz obr. 95).
- Pravidelně omezený mělký sesuv podle rotační smykové plochy. V tomto případě již došlo k vývoji pravidelné odlučné a akumulační oblasti. Přestože se na svahu vyskytoval pouze jeden takový aktivní sesuv, svou akumulační oblastí přímo ohrožoval komunikaci, proto mu zde bude věnována větší pozornost. Na několika místech byla morfologicky patrná i existence starých, již zarostlých sesuvů.

OBRÁZEK 94: DRUHÝ TYP SVAHOVÝCH DEFORMACÍ V ZÁŘEZU, 19.4.2011

Na severní straně zářezu byla při východním okraji sanována cca 200 m dlouhá spodní část svahu. Sanace byla provedena zřejmě s použitím Reno® matrací, kombinovaných s kamenným záhozem. Je proto pravděpodobné, že k výše zmíněným deformacím docházelo i v této části svahu.

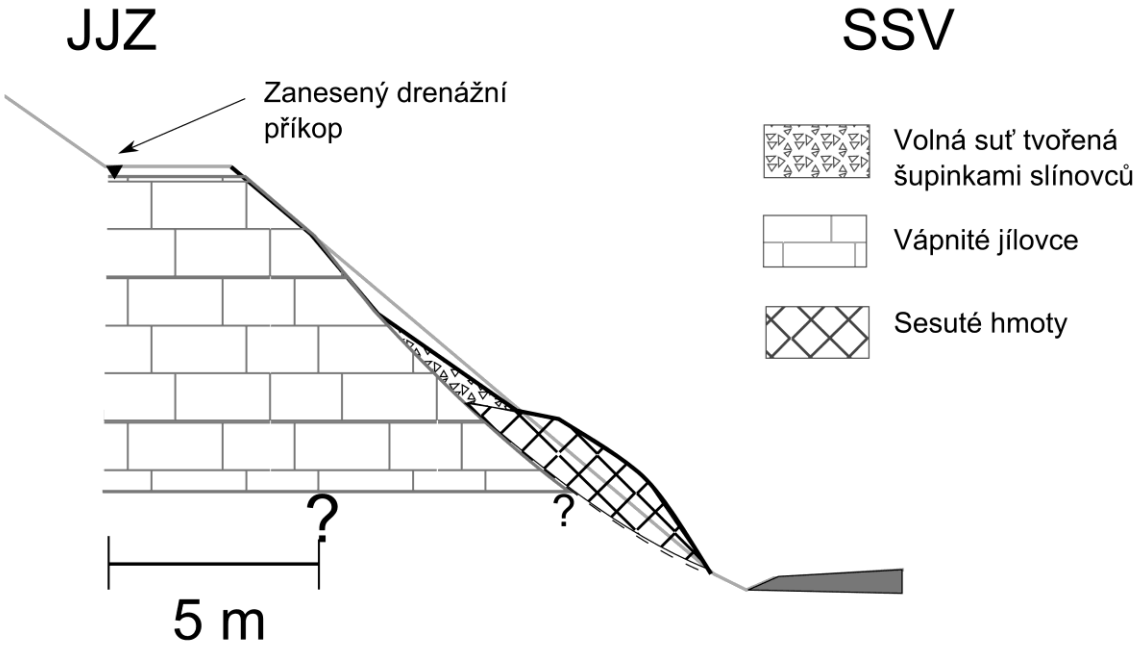
OBRÁZEK 95: POHLED NA NEJVĚTŠÍ SESUV V ZÁŘEZU. 19.4.2011

Již zmíněný sesuv se nacházel v km 13,5 přibližně v místech, kde zářez dosahoval své maximální hloubky. Maximální šířka sesuvu dosahovala 13 m a od okraje odlučné oblasti po spodní okraj akumulační

dosahoval výšky 10 m. Hloubka smykové plochy se dle morfologie sesuvu nacházela pravděpodobně v hloubce cca 1 m. Nad sesuvem se nacházel jeden z úseků se zaneseným příkopem, který měl dříve zřejmě drenážní funkci, v době dokumentace měl však již pouze funkci infiltrační, neboť zadržoval srážkovou vodu. Při druhé návštěvě, 16.5.2011, bylo jeho okolí porostlé vysokou, vlhkomilnou travou. Profil sesuvem ukazuje obr. 96.

V rámci průzkumu sesuvu jsem provedl cca 0,5 m hlubokou kopanou sondu a tři zarážené sondy hloubky 1 m. Dvě sondy byly provedeny pro porovnání i v horní části svahu nad bermou. Kopaná sonda i kvartérní sondy v místě sesuvu ukázaly výskyt šedobílých až zelenavých jílovců. Jílovce v oblasti sesuvu měly v přípovrchových, suchých partiích podobu relativně pevné a suché horniny (kterou však bylo možné bez problémů rukou rozebírat na drobné střípkovité úlomky). V hloubce nepřesahující 50 cm již přecházela v tmavohnědé plastické jíly, jejichž provápnění značně kolísalo (reakce s HCl byla proměnlivá, od intenzivní po žádnou). Sondy v horní části svahu ukázaly přítomnost opuk, které v horních partiích zvětrávají na jíl, ale do podloží během prvních pár decimetrů přechází v pevnější horninu a jsou silně provápnělé (silná reakce s HCl).

Důležitým místem tohoto sesuvu byl osypový kužel pod odlučnou plochou, vzniklý vypadáváním šupin jílovců z odlučné oblasti. Akumulace vznikla volným gravitačním osypem materiálu a při vnějším zatížení byla nestabilní, proto je možné předpokládat, že sklon takto vytvořeného svahu odpovídá efektivnímu úhlu vnitřního tření slínovcových úlomků. Sklon svahu dosahoval 30°, což je méně než byl sklon svahů zářezu. Je pravděpodobné, že prachovitá zemina, vzniklá dalším zvětráváním těchto úlomků bude mít efektivní úhel vnitřního tření ještě nižší.



OBRÁZEK 96: PROFIL NEJVÝRAZNĚJŠÍ SVAHOVOU DEFORMACÍ VE ZKOUMANÉM ZÁŘEZU. SMYKOVÁ PLOCHA BYLA ODHADNUTÁ Z MORFOLOGIE SESUVU. V HORNÍ ČÁSTI JSEM POZOROVAL SLÍNOVCE. HORNINOVÉ PROSTŘEDÍ VE SPODNÍ ČÁSTI JSEM NEMĚL MOŽNOST OVĚŘIT, MŮŽE BÝT TVOŘENO SLÍNOVCI NEBO JIŽ PÍSKOVCI PERUCKÝCH VRSTEV.

Příčiny nestability je tak možné shrnout následovně:

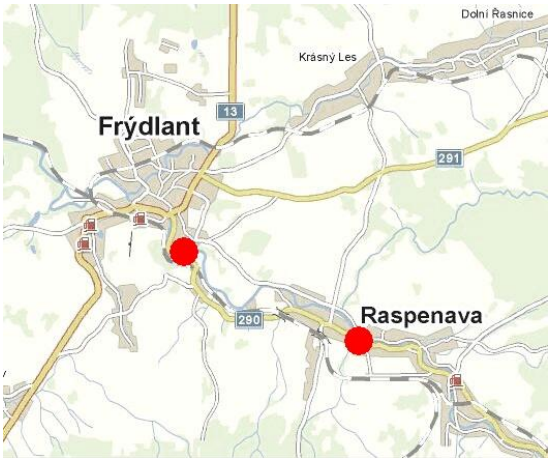
- Zvětráváním písčitých slínovců vzniká rozvolněná povrchová vrstva, tvořená střípkovitými šupinami horniny, které se dále rozpadají na písčitojílovitou zeminu. Na místě bylo ukázáno, že tato suť má efektivní úhel vnitřního tření přibližně 30°, prachovitá zemina bude mít zřejmě ještě méně. To je méně, než je provedený sklon svahu.

- Písčitojílovitá zemina má tendence vytvářet při povrchu svahu málo propustnou vrstvu, díky čemuž během srážek pravděpodobně dochází k zvodnění povrchové prachovito-úlomkové vrstvy a vzniku dešťového ronu. Jílovce ve spodní části svahu se pak rozpadají na jíl, tento rozpad má hloubkový dosah minimálně jednoho metru. Pro jíly je sklon 40° příliš strmý a při jejich zvodnění dochází k jejich sesouvání.
- Svah není nijak odvodněn. Drenážní příkop bermy je zanesený a berma tak funguje jako infiltrační oblast pro vody, stékající z horní části svahu. Nad svahem se nachází rovinatý terén, zemědělsky využívaný, na němž pravděpodobně v období srážek dochází k výrazným inlitracím.
- Po překrytí travního pokryvu sesutými úlomky a zeminou dochází k jeho odumření a ten tak ztrácí svou stabilizační a ochrannou funkci.
- Svůj vliv může mít i severoseverovýchodní orientace svahu, kvůli které je svah minimálně osluněný a povrchové vrstvy tedy mohou být přirozeně vlhčí.
- Vliv může mít i promrzání slínů. Jedná se o jílovito-prachovitou a tedy potenciálně namrzavou zeminu. Pro tento vliv může svědit fakt, že hloubka smykové plochy největšího sesuvu byla okolo 1 m, což přibližně odpovídá hloubce dosahu promrzání.

Na závěr je nutné dodat, že zde popisované problémy silničního zářezu byly autorem pozorovány i v širším okolí zájmového zářezu v místech, kde zářezy procházejí prachovitými slínovci. Některé zářezy byly postiženy i ve výrazně větší míře než zde dokumentovaný, charakter poruch byl přesto tentýž.

3.2.6. Raspenava - Frýdlant

Označení komunikace: Fučíkova ulice; Hejnická ulice
Lokalizace: Vozovka vedoucí obcí Raspenava; Silnice vedoucí pod Frýdlanským zámkem
Okres: Liberec
Vedení nivelety: Na opěrné zdi, vedoucí vedle říčky
Geologické podmínky: Opěrné zdi, uložené na převážně na potočních sedimentech a držící antropogenní navážky.
Popis problému: Eroze základů opěrných zdí
Období vzniku: 15.8.2010
Problematické jevy: ***VII***



OBRÁZEK 97: LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ

Během povodní v létě roku 2010 došlo na Liberecku ke vzniku celé řady problémů nejen inženýrskogeologického rázu. Jedním z hojně se vyskytujících problémů bylo zborcení opěrných zdí u silnic vedoucích podél rozvodněných toků. Z těchto případů jsem blíže zdokumentoval dva příklady, oba dva podél toku řeky Smědá. Intenzita povodní na tomto toku převýšila úroveň stoleté vody, v některých místech i velmi výrazně (*Kremsa, 2010*).

OBRÁZEK 98: ZBORCENÁ ZEĎ POD FRÝDLANSKÝM ZÁMKEM.

OBRÁZEK 99: ZBORCENÁ OPĚRNÁ ZEĎ V RASPENAVĚ.

V prvním případě došlo k zborcení opěrné zdi u kostela v obci Raspenava. Opěrná zeď byla v postiženém místě vysoká cca 4 m, hloubka říčky Smědá byla v době dokumentace, tedy 3.10.2010, přibližně 1 m, což dle místních odpovídalo normálnímu stavu. Během povodně pak, dle výpovědí místních i známek na okolních budovách, dosahovala voda zhruba 1 m nad opěrnou zeď. Ke zhroucení zdi došlo dle místních záhy po povodni. V postiženém úseku o délce 10 m se před povodní komunikace lehce rozšiřovala a zabíhala tak do koryta, kde svým tvarem ještě zvětšila ohyb konkávního břehu. Po opadnutí vody a následnému kolapsu opěrné zdi došlo k sesutí zemního tělesa pod vozovkou v šířce zabírající rozšíření úseku a jeden dopravní pruh komunikace. Způsob založení opěrné zdi nebylo možné zjistit vzhledem k tomu, že potřebná dokumentace nebyla Obecním Úřadem Raspenava nalezena (*Obecní Úřad Raspenava, ústní sdělení, 5.10.2010*) a v době osobní prohlídky byl základ zavalen sesutými hmotami. Nicméně s přihlédnutím k nepřítomnosti výrazných betonových prvků ve zřícené suti a k metodě založení ve druhém případu je možné očekávat, že byla zeď založena na kamenné zídce, mělce vetknuté do dna.

V době dokumentace byla situace řešena provizorním přemostěním ocelovou konstrukcí (viz Obr. 99). Zemní těleso pod komunikací nebylo zabezpečeno nijak a jeho svahy byly ponechány téměř kolmé, což však představovalo značné riziko pro budovu kostela, ležící první metry od tohoto úseku.

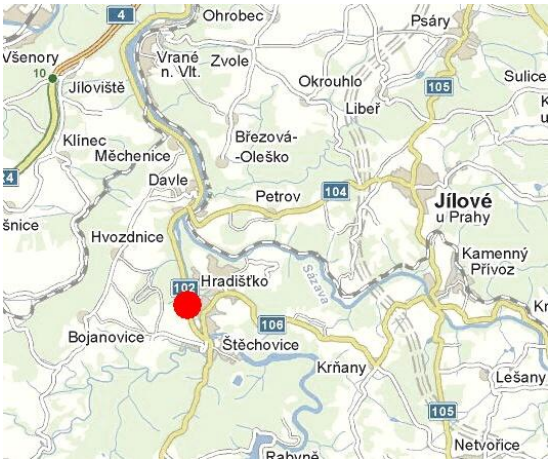
K druhému případu došlo několik kilometrů od případu prvního, v místech, kde říčka Smědá obtéká čedičové těleso pod Frýdlandským Zámkem. Postižený úsek měl v tomto případě délku téměř 100 m a v nejširším místě byla komunikace přerušena prakticky v celé šíři. Stejně jako první případ se tento nacházel na konvexním břehu táhlého ohybu říčky, tedy v místě, kde při zvýšení průtoku dochází k největšímu nárůstu rychlosti toku. Dle výpovědí místních dosahovala voda během povodně těsně nad úroveň opěrné zdi, tedy cca 3-4 m nad běžný stav vody. Ve dně potoka i ve svahu pod komunikací vystupovaly v několika místech ruly, na povrchu silně zvětralé. V tomto případě bylo patrné, že zeď byla založena na betonovém soklu, pravděpodobně pouze lehce vetknutém do dna. Jeho zbytky byly v několika místech uloženy spolu s naplaveným materiálem. Mělké založení bylo

také pravděpodobně prvotní příčinou pádu opěrné zdi. Při náhlém zvýšení toku došlo pravděpodobně k odnosu materiálu pod základem a k pádu zdi, následná erozivní činnost toku způsobila zbytek škod.

Oba výše zmíněné případy ukazují příklady poškození mělkých základů během enormního zvýšení intenzity sousedícího toku. Přestože na základě dvou případů není možné učinit závěr, že nejvíce ohroženy jsou především úseky podél konvexních břehů ohybů toků, je logické, že podél těchto tzv. nárazových břehů, bude docházet k největšímu nárůstu erozivních schopností řeky a potenciálně tedy k odnosu materiálu pod základovými prvky, případně přímo k poškození opěrných konstrukcí. Těmto škodám by tedy jistě mohlo být zabráněno založením břehových zdí hlouběji do podloží například metodou pilot. Dle ČSN 73 6133 se nicméně mají komunikace dimenzovat na stavy stoleté vody, obě poškození však vznikla při průtocích tento stav převyšujících. Zda by stávající konstrukce nevyhověla i při nižším stavu je tak otázkou.

3.2.7. Štěchovice - Davle

Označení komunikace: II/102
Lokalizace: úsek Štěchovice - Davle
Okres: Praha-západ
Vedení nivelety: Odřez
Geologické podmínky: Jílovité břidlice a prachovce
Popis problému: Opadávání a vyjíždění vrstev, vývěry podzemní vody, špatný stav zabezpečení stěn
Období vzniku: Opakovaně
Problematické jevy: ***III.B, IV***



Obrázek 100: *LOKALIZACE ŘEŠENÉHO PŘÍPADU. UPRAVENO Z WWW.MAPY.CZ*

Zájmový úsek silnice č. 102, dlouhý cca 300 m, se nachází mezi obcemi Davle a Štěchovice, přibližně 500 m od Štěchovic. V celém úseku Strnady – Štěchovice dochází k projevům nestability skalních stěn od času jeho výstavby, kdy *Záruba-Pfefferman (1931)* dokumentoval postupnou progresi skalních řícení v místech, nacházejících se právě uprostřed mnou dokumentované lokality. Po něm se geologickou stavbou a stabilitní situací tohoto úseku zabývala i celá řada dalších autorů, např. *Svatoš, 1960, Nautilus, 1991, Zvelebil, 2007 a Vaníček et al., 2009,* detailněji se pak jinému úseku věnoval např. *Olišar, 2009*. Přesto je dle mého názoru tento zářez zajímavou ukázkou souhry nepříznivých geologických poměrů a problematicky navržených sanačních opatření.

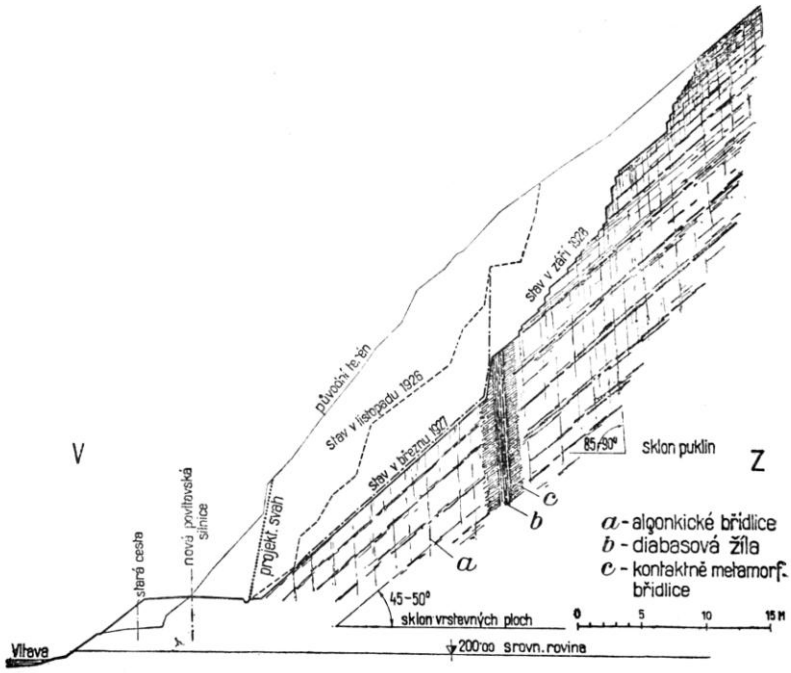
V zájmovém úseku je komunikace vedena při patě údolí podél levého břehu řeky Vltavy. Komunikace je vedena částečně v odřezu, částečně na opěrné zdi, jenž pod silnicí spadá k řece. Nad

OBRÁZEK 101: POHLED NA ZKOUMANÝ SKALNÍ ODŘEZ. Z ARCHIVU FIRMY STRIX CHOMUTOV, MGR. TICHÝ, 20.5.2011, UPRAVENO

stěnou odřezu pokračuje prudký svah. Ten je porostlý stromy a pokrytý nestabilní sutí, mající tendenci sjíždět při sebemenším zatížení a při zvodnění po intenzivních deštích. V horní části pak ve svahu vystupují skalní výchozy, mající jak podobu skalních ploten a drobných skalních stupňů, tak i oddělených skalních bloků (některé byly při prohlídce dne 26.5.2011 označeny čísly, zřejmě po mapování svahů, následujícím po řícení v blízké části svahu – viz kapitola 3.1.7.). Sama stěna odřezu je hojně porostlá náletovými břízkami a dalšími dřevinami. Odřez probíhá přibližně severojižním směrem a dosahuje hloubky až přes 10 m. Ve stěně vystupují prachovce a břidlice štěchovické skupiny (*geologická mapa 1: 50 000, http://www.geologicke-mapy.cz/)*. Ty jsou ukloněny přibližně na východojihovýchod až jih pod úhlem 40-50°. Břidlice jsou dále výrazně porušeny dalšími systémy diskontinuit, dělícími horninu na větší či menší bloky, které pak po vrstevnatosti vyjíždějí na komunikaci. Přestože jsem měl snahu průběh diskontinuit podrobněji změřit, místa, kde byl jejich průběh jasně patrný, nebyla z úrovně komunikace dosažitelná. Pokus o prostup stěnou pomocí lezeckých technik rovněž selhal z technických důvodů (Pohyb v nestabilní suti nad svahem způsoboval drobné sesuvy, které místy pronikaly mezerami pod záchytnými ploty na samotnou stěnu a dále na komunikaci, na níž probíhal běžný provoz. Kromě toho měl autor obavy z případných pádů bloků, uvolněných během slanění). Veškeré snahy o použití této metody tak skončily hned v počátcích a přinesly pouze osobní pozorování odlučné plochy drobného skalního řícení o objemu několika desítek $dm^{3,}$ spolu s několika zbývajícími nestabilními skalními úlomky.

OBRÁZEK 102: POHLED NA ČÁST SKALNÍHO ODŘEZU, TMAVÁ MÍSTA UKAZUJÍ MÍSTA VÝVĚRŮ PODZEMNÍ VODY, V TOMTO MÍSTĚ BYLO ZA SVODIDLY NALEZENO NEJVÍCE ÚLOMKŮ. ARCHIV AUTORA

Dle ústních sdělení obyvatel Davle dochází k drobným řícením ze stěny poměrně často a komunikace bývá obvykle několikrát do roka částečně uzavřena z důvodu spadaného kamení. K tomu dochází převážně během oblevy a po větších deštích.



OBRÁZEK 103: GEOLOGICKÝ PROFIL PORUŠENÝM SVAHEM PŘI VÝSTAVBĚ SILNICE U ŠTĚCHOVIC. ZÁRUBA-PFEFFERMAN (1931) IN MENCL, ZÁRUBA (1957).

V několika místech ve spodní části stěny vyvěrá podzemní voda, především podél diskontinuit paralelních s vrstevnatostí, které bývají při povrchu lehce rozevřené. To vytváří problémy především během zimy, kdy na stěně vznikají ledopády, zamrzající voda následně rozevírá pukliny a navíc dochází k akumulaci vody za promrzlými a tedy nepropustnými puklinami a ke zvyšování hydrostatického tlaku.

OBRÁZEK 104: UKÁZKA JEDNÉ Z PUKLIN, Z NÍŽ NA STĚNĚ VYTÉKÁ VODA (4.1.2011)

Při osobních prohlídkách byly často patrné zbytky opadaných kamenů v prostoru mezi svodidly vozovky a stěnou, výskyt většiny z nich odpovídal místům s vývěry ve skále.

Stěna odřezu byla již v době dokumentace sanována a to následujícím způsobem:

- Určité části stěny byly osazeny kotvami, mezi nimiž byla natažena geomříž Armatex G®.
- Mezi horní stěnu odřezu a pokračující svah byly umístěny železné sloupy, mezi nimiž byla natažena ocelová lana a pletivo a jež byly dalším pletivem spojeny přímo se skalní stěnou.

OBRÁZEK 105: UKÁZKA JEDNOHO Z MENŠÍCH VYJETÍ BLOKŮ PODÉL VRSTEVNATOSTI (4.1.2011)

Zabezpečení stěny má nicméně při současném návrhu a geologických podmínkách spornou funkčnost a je patrné, že zabezpečení není ani příliš udržované. Geotextilie, pevně přikotvená ke stěně zadržuje uvolněné bloky a vytváří tak určité „kapsy“, jež však hrozí protržením a mohou vést k jednorázovému mohutnému opadu na vozovku. V jednom místě je také patrné, že byla mříž prořízntuta vyjetím většího bloku s ostrými hranami, jaké se ve stěně mohou tvořit. Místo s největšími vývěry podzemní vody není zabezpečeno vůbec a zde proto dochází k volnému opadu bloků. U zadržovací bariéry nad svahem pak dochází k rozpletení vazby ochranné bariéry s pletivem vyplňujícím prostor mezi hlavní bariérou a nerovným skalním povrchem a vzniká tak mezera, kterou může suť nad svahem propadávat dále na vozovku, což se také děje.

Hlavní problematické faktory tedy jsou:

- Geologická stavba: plochy vrstevnatosti jsou ukloněny směrem do zářezu a dochází zde tedy k jejich „podříznutí“. Vzhledem k jejich relativně strmému sklonu (40-50°) a kombinaci s dalšími systémy diskontinuit pak dochází k vyjíždění uvolněných bloků.
- Hydrogeologické podmínky: je zřejmé, že ve stěně dochází v obdobích se zvýšenou infiltrací na několika místech k vývěrům podzemní vody podél puklin. Ty také v zimě zamrzají a diskontinuity dále rozevírají.
- Zanedbaná údržba zabezpečení: vznikajícími mezery mezi spodním pásem pletiva a napojením dochází k propadávání suťovitého materiálu ze svahu nad defilé. To je umocněno značnou nestabilitou suti (během osobní prohlídky, realizované obvykle v suchém počasí docházelo i navzdory maximální opatrnosti k uvolňování bloků pouhou chůzí, mnohé tyto bloky na svahu pokračovaly v pohybu i déle než 10 m).
- Návrh zabezpečení svahu: Přestože tento jev není doposud problémem, použití geomříže se v tomto případě nejeví jako vhodné z důvodů zmíněných výše. Kromě toho není mříží zabezpečen celý svah, ale pouze některé jeho části.
- Kromě toho jsou na lokalitě ostatními autory (např. *Zvelebil (2007) a Vaníček et al. (2009))* zmiňovány problémy s hrozícími pády skalních bloků. Tito autoři označují i cca 2 m vysokou zábranu proti opadávání bloků jako nedostatečnou. Pro detailnější informace o této části doporučuji čtenáři nahlédnout do zmíněných zpráv.

Návrh řešeni situace: Řešení situace je komplikováno faktem, že se zářez nachází v oblasti ochranného území ještěrky zelené a obecné a jakékoli projekty tak musí postupovat zvláštní schválení na krajském úřadě (*Městský úřad Davle – ústní sdělení*). Z tohoto důvodu není možné uvažovat komplexnější zabezpečení stěny nebo alespoň nejkritičtějších míst spojených s vývěry podzemní vody, například formou zárubní zdi. I tak se nicméně nabízí v zásadě dvě varianty sanačních opatření. Obě na úvod vyžadují očištění stěny od náletové vegetace a spravení napojení pletiva na mříž nad horní hranou zářezu. První z následujících variant spočívá v instalaci zavěšeného pletiva „pasivním způsobem“ (*Olišar, 2010*), drženého u stěny vertikálně pověšenými zatíženými dráty, zavěšenými ze sloupů již instalovaných podél koruny odřezu. Výhodou této metody by byla její snadná údržba, resp. by nedocházelo k akumulacím uvolněných bloků, zachycených za sítí. Na druhou stranu nemusí být taková mříž postačující k zachycení větších bloků horniny (*Novotný, J., ústní sdělení*). Druhá varianta spočívá v „aktivním způsobu instalace“ (*Olišar, 2010*), tedy přichycení drátěné sítě ke stěně kotvami či svorníky tak, aby co nejvíce kopírovala její morfologii. V obou případech by také bylo vhodné stěnu nadále kontrolovat, především po období tání či výrazných srážek.

4. Matematické modely

V rámci dokumentace dvou lokalit se vyskytly nejasnosti ohledně mechanismů porušení, respektive celkové stability svahů na lokalitě. Z těchto důvodů byly vystavěny následující matematické modely. Modely byly vytvořeny v programu PLAXIS 2D, k němuž jsem získal přístup v rámci licence Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze.

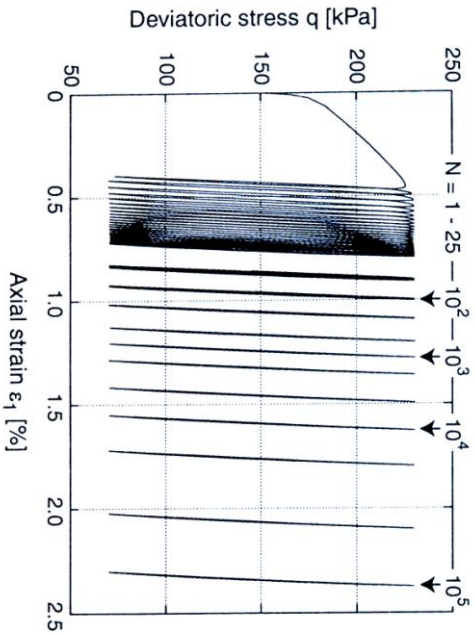
4. 1. Matematický model násypu na lokalitě Nové Dvory - Sušice

V rámci terénní dokumentace byly dokumentovány poklesy komunikace na lokalitě Nové Dvory - Sušice (viz kapitola 3.2.4.). Příčina těchto deformací byla s největší pravděpodobností zvýšená intenzita pohybu těžkých nákladních vozidel v daném úseku v důsledku dopravy kameniva z blízkého lomu. Vzhledem k omezeným možnostem průzkumu na lokalitě jsem nemohl ověřit samotný mechanismus porušení – resp. zda dochází ke vzniku plastického přetvoření, či zda dochází k vytvoření smykové plochy a posunům po ní. Vzhledem k těmto pochybnostem jsem se rozhodl ověřit situaci matematickým modelem.

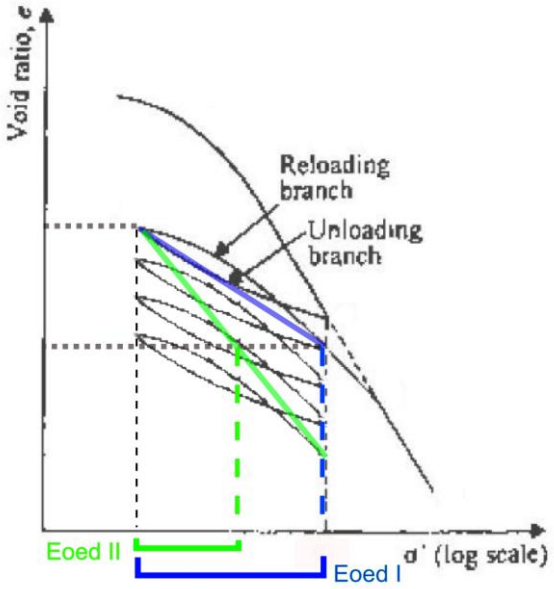
4. 1. 1. Cíle a vstupní data modelu

- Cíle modelu:
  - Ověřit mechanismus porušení násypu a rozhodnout, zda dochází k vytvoření smykové plochy, plastickému přetváření či dodatečné konsolidaci násypu
  - Zjistit, zda příkřejší sklon, pozorovaný v horní části nejvíce postiženého úseku, může být důsledkem deformací na komunikaci
- Vstupní data:
  - *Geometrie svahu.* Pro její stanovení bylo využito dvou profilů, zaměřených na lokalitě. Zároveň bylo pozorováno vyhnutí svodidel (viz obr. 88 a obr. 90), z čehož je možné odhadnout charakter pohybu zeminy v místech jejich založení. Změna geometrie byla také jedním ze sledovaných parametrů.
  - *Materiál násypu*. Množství odebraného vzorku postačovalo pouze na provedení zrnitostní analýzy (Provedené laboratoří firmy Arcadis Geotechnika a.s., protokol ze zkoušky je uveden v přílohách jako *příloha č. 1*)
  - Velikost deformací, pozorovaných na komunikaci
- Základní neznalosti a následné aproximace:
  - *Chování konstrukčních vrstev komunikace a jejich skladba*. V rámci průzkumu na lokalitě nebyla z bezpečnostních důvodů provedena kopaná sonda při okraji komunikace. Proto bylo v modelu použito zjednodušení, kdy jsou konstrukční vrstvy zanedbány a tvar deformací komunikace odráží tvar deformace podloží.
  - *Mechanické vlastnosti materiálu*. Mechanické charakteristiky byly pro model převzaty z normy *ČSN 73 1001*. Přestože je tato norma již neplatná a k normovým charakteristikám v ní uvedených jsou vznášeny četné námitky, poskytuje tato norma dostupný rámec pro přiřazení mechanických parametrů materiálu pouze na základě zrnitostní analýzy. Proto z této normy byly převzaty parametry soudržnost, efektivní úhel vnitřního tření, poissonovo číslo a objemová hmotnost (dále jen C, Φ, ν a γ). Úhel dilatance (neboli ψ) byl převzat z manuálu programu Plaxis *(Brinkgreve, 2002)*.
  - *Zhutnění materiálu.* Přestože tento bod teoreticky patří rovněž pod mechanické vlastnosti, je natolik významný, že je zde uveden odděleně. Na zhutnění materiálu přímo závisí řada veličin. Z nich nejvýznamnější pro výpočet mechanismu deformace jsou Φ a E. Φ však rozhoduje primárně o tom, zda těleso je nebo není stabilní, terénní dokumentace však známky kolapsu tělesa samotného neprokázala a počítání stupně stability nebylo předmětem tohoto modelu. Klíčovou pro výpočet mechanismu deformace se tak ukazuje velikost Youngova modulu E. Použitá velikost jeho hodnoty je však ovlivněna dvěma výraznými faktory:

- Původní hodnota E. Hodnoty Youngova modulu (byť přibližné) pro daný materiál nebyly známy, proto byly použity hodnoty modulu přetvárnosti a to ze dvou zdrojů: Již neplatná norma *ČSN 73 1001* předepisuje pro zeminy třídy G3 G-F hodnotu modulu přetvárnosti E_{def}= 80 -100 MPa. Proto byla užita hodnota průměrná, tedy 90 MPa. Druhým zdrojem byly v době psaní práce platné normy *ČSN 73 6133 a TP 170,* resp. extrapolace platnosti v nich uvedených zásad do minulosti, byť výstavba komunikace probíhala v době, kdy *ČSN 73 6133* ještě nebyla v platnosti. *ČSN 73 6133* stanovuje požadavky na hodnotu modulu přetvárnosti z druhého zatěžovacího cyklu zatěžovací zkoušky E_{def2} na zemní pláni v hodnotách 30, 45, resp. 60 MPa (v závislosti na třídě komunikace). *TP 170* pak stanovuje poměr E_{def} z druhého a z prvního zatěžovacího cyklu E*def2*/E*def1*<2,5. Proto byly varianty z ČSN 73 6133 modifikovány na hodnoty 12 – 24 MPa.
- „Změny" E vlivem uvažování cyklického zatěžování. Cyklické zatěžování je v rámci mechaniky zemin hojně řešenou problematikou, jíž se věnuje řada autorů (mezi jinými. *Hyodo et al., 1991, Di Prisco a Zambelli, 2003, Neimunis, et al., 2005* a další). Zároveň je však problematikou značně komplexní a sám program PLAXIS 2D její zahrnutí v základní verzi neumožňuje. Užití případných jiných modelů by vyžadovalo komplexní znalost chování zkoumané zeminy. Proto bylo v rámci modelu využito zjednodušení, kdy je výsledek cyklického zatěžování modelován jediným zatěžovacím cyklem. Jak je vidět z obr. 107, při uvažování integrace více zatěžovacích cyklů do jediné deformace však dochází při stejném $\Delta\sigma$ k výrazně větší deformaci a tedy k poklesu „teoretického" Youngova modulu. Dalším problémem v tomto případě je, že míra vzniklé deformace není lineáně závislá na počtu zatěžovacích cyklů. Ve výsledku tedy dochází kvůli nutnosti aproximace cyklického chování jedním



OBRÁZEK 106: UKÁZKA CYKLICKÉHO ZATĚŽOVÁNÍ. NA VERTIKÁLNÍ OSE JE DEVIÁTOROVÉ NAPĚTÍ, NA SVISLÉ JE NALEVO VYZNAČENO OSOVÉ PŘETVOŘENÍ, NAPRAVO JE NAZNAČEN POČET ZOBRAZENÝCH ZATĚŽOVACÍCH CYKLŮ. WICHTMANN, 2005



OBRÁZEK 107: UKÁZKA MECHANISMU CYKLICKÉHO ZATĚŽOVÁNÍ A JEHO VLIVU NA OEDOMETRICKÝ MODUL (KTERÝ JE VŠAK V PŘÍMÉM VZTAHU S YOUNGOVÝM A I PRO NĚJ PLATÍ ZÁVISLOST ZDE UVEDENÁ). NA VERTIKÁLNÍ OSE JE VYNESENA PÓROVITOST. NA HORIZONTÁLNÍ JE PAK VYNESENO σ V LOGARITMICKÉM MĚŘÍTKU. E_{OED} I A E_{OED} II UKAZUJÍ ROZDÍL MEZI OEDOMETRICKÝMI MODULY, POČÍTANÝMI Z 1 A 4 ZATĚŽOVACÍCH CYKLŮ (KDE INTERVAL NA VERTIKÁLNÍ OSE JE ROVEN JEDNÉ). B.M.DAS, 2008, UPRAVENO

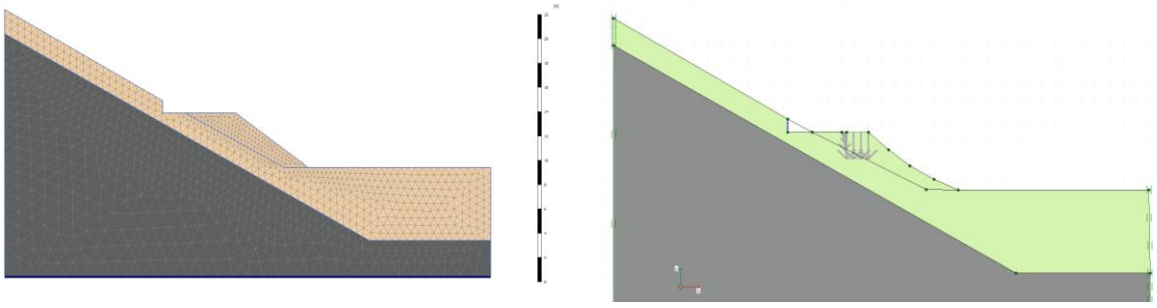
zatěžovacím cyklem k poklesu „teoretického“ Youngova modulu, míra tohoto poklesu je však stěží určitelná. Proto je velikost Youngova modulu hlavním zkoumaným parametrem tohoto modelu.

- Hloubka skalního podloží a ostatní geomateriály na lokalitě. Kopanou sondou bylo ověřeno pouze složení násypu. Bylo patrné, že svah nad komunikací byl pokryt deluviálními zeminami s občasným výskytem balvanů, pod nimi se vyskytovalo skalní podloží. Hloubka skalního podloží byla následně aproximována rovnoběžně se svahem, probíhajícím nad komunikací v hloubce 1 m pod povrchem. Jeho parametry byly odhadnuty z normy *ČSN 73 1001* a zatřídění dle geologické mapy 1 : 50 000 (www.geologicke-mapy.cz). Přítomnost nivních sedimentů pod násypem byla zanedbána a byl použit stejný materiál jako pro samotný násyp. Přestože v obou případech je relevance užitých parametrů sporná, model sám ukázal, že vliv deformací nezasahuje významně do takové hloubky a proto jejich přítomnost mohla ovlivnit pouze deformace násypu během výstavby – což však již není předmětem zkoumání tohoto modelu. Použité parametry proto nemusí být relevantní, ale nijak výrazně nemohou ovlivnit výsledky modelu.

4. 1. 2. Metodika výstavby modelu

Model byl vystavěn v následujících krocích:

1. Geometrie úlohy: Pro ni bylo užito dvou profilů, zaměřených v terénu, jednoho se svahy násypu v uniformním sklonu 30°, druhého kde sklon postupně klesal ze 40° na 25°. O prvním profilu bude dále mluveno jako o „geometrii 1“, o druhém jo o „geometrii 2“.



Obrázek 108: Ukázka modelované geometrie úlohy. Levý obrázek ukazuje násyp s uniformním sklonem svahu („geometrie 1“) , pravý násyp s děleným sklonem svahu („geometrie 2“). Výstup z programu Plaxis 2D

2. Vlastnosti materiálu: Zdroj jednotlivých údajů již byl zmíněn, použité parametry jsou uvedeny v tab. 2. Velikost Youngova modulu E byla průběžně měněna a byla zkoumána reakce modelu na tyto změny. Parametr Φ_{ef} (°) byl změněn z původně uvažovaných 37° po zjištění, že v případě geometrie 2 vycházel stupeň stability blízký 1. Vzhledem k tomu, že v těchto případech nebyl uvažován vliv případné podzemní vody, bylo pravděpodobné, že stupeň stability musí být vyšší a tedy že Φef musí mít vyšší hodnotu. Hodnotu C_{ef} uvádí zdrojová norma jako rovnou nule, hodnota 0,2 však byla užita na základě doporučení, uvedném v manuálu PLAXIS 2D (*Brinkgreve, 2002*), kde užití hodnoty 0 může vyústit v numerické problémy při řešení úlohy.

Tabulka 2: Použité parametry v rámci modelu

Objemová tíha (kN/m3)	19
C_{ef} (kPa)	0,2
Φ_{ef} (°)	39
ν	0,25
ψ (°)	30

3. Fáze modelu: V rámci modelu bylo užito několika fází výpočtu:
   I. Stav před výstavbou násypu. Tou byl samotný svah bez tělesa násypu.

II. Výstavba násypu. Během této fáze bylo přidáno těleso násypu a odebrána zářezová část ve svahu. Při této fázi byla rovněž předepsána nulová deformace v místech opěrné zídky jako simulace jejího účinku.

III. Deformace tělesa. Během této fáze byla předepsána deformace na krajních 2 m koruny zářezu. Deformace byla v prvních 180 cm (směrem od hrany násypu) rovna 10 cm, v intervalu 180-200 pak lineárně klesala na nulu.

4. V rámci modelu bylo výše zmíněným způsobem počítáno celkem 9 variant – 6 pro geometrii č. 1 a 3 pro geometrii č. 2. Mezi variantami byla měněna velikost parametru E. Sledována byla deformace, a to jak její tvar formou deformace geometrické sítě, tak absolutní velikost deformace a velikost její horizontální složky. Tyto obrazové výstupy jsou uvedeny v příloze č. 2.

TABULKA 3: PŘEHLED JEDNOTLIVÝCH MODELOVANÝCH VARIANT.

Číslo varianty:	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Použitá geometrie:	1	1	1	1	1	1	2	2	2
Hodnota E (Mpa):	90	24	12	3	1,8	0,18	24	1,8	0,18

4. 1. 3. Závěry na základě vytvořeného modelu

Z výsledků modelu vyplývá, že k vytvoření smykové plochy pod komunikací nedochází. Průběh deformace pak závisí především na deformačním modulu, ostatní parametry v tomto případě mají až druhotnou roli. Samotná deformace pak zřejmě rovněž není důvodem pro zaznamenaný příkřejší sklon vrchní části svahu v nejvíce postiženém místě – resp. model takovéto zpříkření ukazuje, avšak pouze pro vysoké hodnoty E, jež však jsou v tomto případě nerealistické. Realitě nejblíže se zdá varianta 4, kdy dochází podél hrany násypu k posunu cca 13 cm.

4. 2. Model sesuvů na lokalitě D11 – Voleč

V rámci terénní dokumentace jsem dokumentoval sesuvy na dálnici D11 poblíž obce Voleč. Součástí dokumentace bylo vytvoření profilů vzniklými sesuvy na základě jejich morfologie. Vzhledem k omezeným možnostem při průzkumu lokality se ukázalo jako užitečné sestavit matematický model svahů daného zářezu a na jeho základě ověřit domnělý tvar smykových ploch sesuvů a jejich mechanismus.

4. 2. 1. Cíle a vstupní data modelu

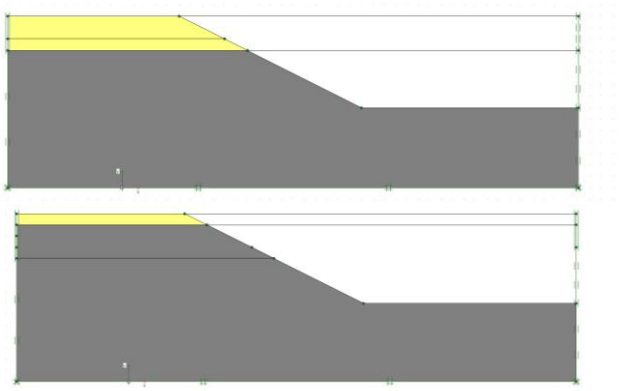
K dispozici byly dvě předchozí geologické zprávy z lokality: *Sloboda, 1995* vypracoval v rámci předběžného průzkumu souhrnnou zprávu z celého úseku, zatímco *Werkmann a Tomášek, 2009* zpracovali závěrečnou zprávu týkající se sesuvů, vzniklých v řešeném zářezu během r. 2009. Pro obě tyto zprávy bude místy v následujícím textu použit souhrnný výraz *„Zdroje“*. Tato druhá zpráva rovněž obsahuje matematický model, kde byl počítán stupeň stability pro kruhové smykové plochy pomocí Bishopovy metody.

- Cíle modelu:
    - Ověřit stupeň stability svahů zářezu

- Ověřit mechanismus zvodnění a závislost vývoje různých způsobů porušení svahu na něm
- Ověřit kritické faktory, hrající roli ve vývoji svahových deformací

- Vstupní data a aproximace:
  - *Geometrie úlohy*. Výška a sklony svahu vychází přímo z měření na lokalitě. Sklon svahu je tedy modelován jako 1:2, výška svahu je 8 m.
  - *Geologická skladba*. Horninové prostředí je charakterizováno dvěma základními jednotkami:

I. Slínovcové eluvium charakteru jílů. To se vyskytuje ve spodní části svahu a zasahuje i pod úroveň nivelety. Jeho horní hranice je přibližně známa jak z terénní dokumentace (kde byla pravděpodobně zastižena dvěma kvartérními sondami), tak ze *zdrojů*. Z*droje* nicméně uvádějí její proměnlivost, proto není možné vyloučit určité rozdíly oproti uvažovanému modelu.



OBRÁZEK 109: DVĚ POUŽITÉ VARIANTY GEOLOGICKÉ SKLADBY PROSTŘEDÍ. ŠEDĚ JSOU VYZNAČENY ELUVIÁLNÍ A DELUVIÁLNÍ JÍLY, ŽLUTĚ FLUVIÁLNÍ A DELUVIOFLUVIÁLNÍ SEDIMENTY

TABULKA 4: PARAMETRY DVOU ZÁKLADNÍCH TYPŮ ZEMIN V ŘEŠENÉM ÚSEKU. MODŘE JSOU VYZNAČENA DATA, ZÍSKANÁ Z MANUÁLU PROGRAMU PLAXIS 2D (BRINKGREVE, 2002), ZELENĚ DATA, ZÍSKANÁ Z JIŽ NEPLATNÉ ČSN 731001 (WERKMANN, TOMÁŠEK, 2009 TYTO PARAMETRY NEUVÁDĚJÍ, PROTO BYLY TYTO ÚDAJE VZATY PRO SROVNÁNÍ). DÁL V TEXTU JSOU NÁSLEDUJÍCÍ SADY PARAMETRŮ UVÁDĚNY VŽDY JMÉNY AUTORŮ PŘÍSLUŠNÝCH DAT. V PŘÍPADECH UVÁDĚNÍ „REDUKOVANÝCH VARIANT" SE VŽDY JEDNÁ O VARIANTY, KDE BYLO UVAŽOVÁNO C_{EF} BLÍZKÉ NULE.

		Jílovité eluvium (F8 CH)	Fluviální jíl.písek (S4 SM)
Sloboda, 1995	Objemová tíha (kN/m3)	20,3	20,4
	C_{ef} (kPa)	11	0
	Φef (°)	22	29
	ν	0,4	0,3
	Edef (Mpa)	3	15
	ψ	0	0
		Jílovité eluvium (F8 CH)	Fluviální jíl.písek (S5)
Werkmann, Tomášek, 2009	Objemová tíha (kN/m3)	20,5	18,5
	C_{ef} (kPa)	18	6
	Φef (°)	18	28
	ν	0,4	0,35
	Edef (Mpa)	2,5 (měkký); 4(tuhý)	4-12
	ψ	0	0

II. Fluviální a deluviofluviální sedimenty. Ty nasedají na slínovcové eluvium a vystupují až téměř k povrchu, resp. ve svrchní části přechází v půdní profil. Více je

zmíněno v kapitole 3.2.2. Problémem této části prostředí je její značná variabilita. Přestože v této variabilitě možná tkví jedna z příčin vzniku svahových pohybů, není tuto trojrozměrnou variabilitu možné v programu přímo modelovat. Bylo použito zjednodušení, kdy na lokalitě byly uvažovány dva, resp. tři hlavní typy zemin: jílovité písky a eluviální jíly (případně jejich transportované části, jenž však dle *Slobody, 1995* mají stejné mechanické parametry), do úvah v případě modelu sesuvu č. II byla rovněž uvažována pozorovaná vrstva promísení jílů s písky – pro popis jejího chování byly nicméně využity parametry předchozích dvou zemin.

- *Parametry geomateriálů.* Vzhledem k tomu, že odběr vzorků a jejich rozsáhlejší laboratorní zpracování přesahovalo rámec této práce, byly využity mechanické parametry, zmíněné ve *Zdrojích,* viz tab. 3. Mezi těmito skupinami parametrů je několik výraznějších rozdílů. Kromě zatřídění jílovitých písků (S4 proti S5) a jejich rozdílné objemové hmotnosti je mezi *zdroji* hlavní rozdíl v parametrech jílů. Úhel vnitřního tření se značně liší (22° proti 18°), stejně tak jako hodnota soudržnosti. Ta je však v případech uvažování zvodnělých jílů, kdy dochází k vymizení kapilárního sání v zemině a ke změně konzistence, nerealistická. Proto byla v modelech v případě zvodnění jílů soudržnost redukována a uvažována blízká nule.

- Metodika. Formou parametrické studie bylo zkoumáno několik variant profilů svahů. Rozdíly mezi nimi spočívaly v:
  - Hloubce rozhraní mezi jílovitými písky a jíly. Zde bylo cílem namodelovat podmínky, pozorované v místě sesuvu I a II.
  - Vlivu podzemní vody. To se týká jak výšky hladiny podzemní vody nad nepropustným (jílovitým) podložím, tak způsobu zvodnění jílů ve spodní části svahu – modelovány byly jak případy úplného zvodnění, tak případy zvodnění přípovrchové zóny jílů.
  - Parametry zemin. Kromě zohlednění variací mezi oběma *zdroji* bylo cílem aproximovat změnu konzistence zemin v dosahu zvodnění a s nimi spojený pokles soudržnosti. Problematika poklesu soudržnosti v závislosti na stupni saturace je značně komplexní a svým rozsahem přesahuje rámec této práce (více se této problematice věnuje např. *Ng a Menzies, 2007),* proto byly uvažovány pouze dva stavy – stav „původní“, kde jsou užity parametry ze *zdrojů* a stav zvodnělý, kdy dochází v důsledku vymizení kapilárního sání k poklesu soudržnosti na hodnoty blízké nule.

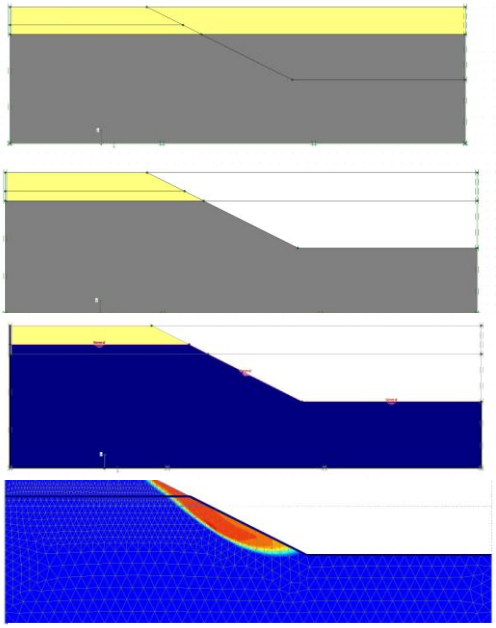
4. 2. 2. Metodika výstavby modelu

Výpočet modelu se sestával z několika fází:

I. Stav před výstavbou zářezu. V tomto případě byla uvažována homogenní stavba, horizontálně uložené vrstvy a horizontální povrch terénu. Hladina podzemní vody v této fázi nebyla uvažována. Byly uvažovány dvě základní stavby geologického prostředí, lišící-se v mocnosti jílovitých písků.

II. Výstavba zářezu. V této fázi bylo modelováno vytvoření zářezu samotného. Hladina podzemní vody v této fázi nebyla uvažována. Na jejím konci byl počítán stupeň stability pro obě uvažované geometrie v nezvodnělém stavu.

III. Zavedení vlivu zvodnění. Byly uvažovány různé mechanismy zvodnění. Ve zvodnělých vrstvách byly změněny pórové tlaky tak, aby odpovídaly



Obrázek 110: Ukázka jednotlivých fází výpočtu (odshora Fáze I až IV).

uvažované volné hladině, zároveň s tím byly nahrazeny parametry zeminy pod úrovní podzemní vody jejich redukovanými variantami. Stupeň stability nebyl v této fázi sledován, neboť vždy došlo ke kolapsu zemního tělesa, což svědčilo o stupni stability menším než 1.

IV. Hlavním sledovaným parametrem byl přírůstek deformace, který ohraničuje oblast, kde zemina zkolabovala, a tedy ukazuje smykovou plochu vznikajícího sesuvu.

Grafické výstupy modelu včetně specifik jednotlivých variant jsou uvedeny v příloze č. 3.

4. 2. 3. Závěry na základě vytvořeného modelu

Na základě výsledků modelů bylo možné formulovat několik závěrů:

- V případě neredukovaných parametrů a suchého svahu vychází stupeň stability výrazně větší v případě *Werkmanna a Tomáška, 2009* – FS>1.5 – zatímco v případě dat ze *Slobody (2005)* se stupeň stability pohybuje v rozmezí FS=1.1 - 1.2. Pakliže je uvažováno zvodnění a užití redukovaných parametrů v důsledku zvodnění, dochází v obou případech ke kolapsu, tedy FS<1.
- Smykové plochy, vyplývající z obou skupin dat, se místy značně rozcházejí, místy jsou výsledky relativně podobné. Případný rozdíl je zřejmě způsoben především rozdílem ve Φ_{ef}.
- Při uvažování zvodnění celého masivu až do určité výšky se objevují hlubší rotační smykové plochy. Při uvažování zvodnění pouze v přípovrchové vrstvě jílů ukazuje model spíše vznik mělkých smykových ploch, omezených převážně na zvodnělou zónu.
- Z porovnání se smykovými plochami, odhadnutými z morfologie vyplývá, že mechanismu sesuvu II odpovídá spíše zvodnění jílů v celé jejich mocnosti.
- Tvar smykové plochy sesuvu I tak, jak byl odhadnut na základě morfologie sesuvu, z modelu přímo nevyplynul, nicméně výstupy z variant č. 3 a 5 se mu blíží a odpovídají zvodnění přípovrchové vrstvy jílů.
- Z výše zmíněného vyplývá paradox, že sesuvy I a II předpokládají zcela jiný způsob zvodnění jílovitého podloží (plné vs. přípovrchové). Tvar ostatních sesuvů, pozorovaných v zářezu (dokumentované *Werkmannem a Tomáškem (2009)* i poslední, pozorovaný během terénní dokumentace během jara 2011) nasvědčuje spíše druhému mechanismu. Důvodů pro toto může být několik, jako nejpravděpodobnější se však jeví změna složení geologického prostředí, nepostihnutá během vlastního průzkumu (například hlubší dosah zóny promísených jílů a písků) či vliv třetí dimenze sesuvu, v modelu nezohledněný.

5. Závěr

Cílem této práce bylo shromáždit dostupné příklady inženýrskogeologických problémů, vyskytujících se na silnicích a železnicích (především v rámci České republiky) a dále je zpracovat, podpořit vlastnoručně zdokumentovanými případy a na jejich základě sestavit určitou typologii těchto problémů. Jak bylo zmíněno v úvodní části, poruchy je možné členit dle příčiny, mechanismu a projevu. Přestože by bylo zdánlivě nejlogičtější založit členění pouze na jednom z těchto bodů, z důvodu přehlednosti jsem zvolil určitou kombinaci členění dle příčiny a mechanismu tak, aby pokud možno odpovídalo na otázku „co je potřeba během stavby brát v potaz“ či „v čem může být problém“.

V rešeršní části jsem se snažil sesbírat případy napříč navrženým členěním a demonstrovat na nich jednotlivé problémy. To se ne zcela povedlo, v práci chybí zejména příklad problematického určení těžitelnosti hornin, detailněji či porušení komunikace prorůstáním kořenových systémů. Příčin absence těchto případů je několik. První z nich je, že řada případů se obejde bez podrobnějších geologických zpráv (a existující materiály popisují často pouze část celé problematiky, kde zbývající údaje bývají velmi obtížně dohádatelné), případně se řeší operativně a bez vzniku jakékoli dokumentace. Tyto materiály (pokud existují) pak nebylo možné zpracovat do konceptu prostředí-projev-příčina-sanace, použitého v této práci. Druhým problémem byly ekonomicko-právní důvody. Přestože jsem získal ústní cestou např. informace o případech, kdy došlo k problémům s určováním těžitelnosti hornin či s krystalizací ettringitu, jednalo se o případy s právními či ekonomickými důsledky a z tohoto důvodu se mi nepodařilo ke vzniklým materiálům získat přístup. Na druhou stranu se mi v této části z pozice studenta podařilo získat přístup k řadě případů a zpráv, jinak z nařízení investora (ŘSD, resp. SŽDC) blokovaných a tím pro odbornou veřejnost prakticky nedostupných.

Ve třetí části jsem se pokusil zdokumentovat několik případů vlastními silami. V tomto případě byla jejich skladba založena stejně tak na náhodě jako na cíleném výběru. Zřejmě nejčastějšími inženýrskogeologickými problémy na komunikacích jsou porušení krajnice v důsledku nízké únosnosti aktivní zóny a nedostatečné tuhosti tělesa komunikace a mělké sesuvy v silničních odřezech. Na druhou stranu pakliže dojde ke vzniku závažnějšího problému, tento bývá obvykle poměrně rychle sanován (alespoň provizorně) což znemožňuje další dokumentaci. Vzhledem k tomu, že jsem neměl možnost omezit během mé dokumentace provoz na komunikaci, byla dalším problémem bezpečnost a to jak na straně autora, tak na straně účastníků dopravního provozu (s tímto jsem se potýkal například při průzkumu lokality Štěchovice – Davle či lokality Nové Dvory - Sušice). Přesto se mi podařilo sesbírat i některé příklady jevů, jež jsem nezískal v rámci rešeršní činnosti, týká se to především případu nedostatečně zhutnělého zásypu po rekonstrukci inženýrských sítí.

V závěrečné fázi byly vytvořeny dva matematické modely. V obou případech byl hlavním problémem dostatek a kvalita vstupních dat, modely měly proto za účel poskytnout přibližnou odpověď na určitou otázku spíše než modelovat celkově chování daného prostředí.

Spektrum témat v této práci řešené je velmi široké a přechází od stabilitních řešení zemních a skalních masivů přes problematiku konsolidace až po hydrogeologii a místy se dotýká až geochemie. Z důvodu nezbytného omezení délky bylo proto možné o jednotlivých tématech pojednat pouze do značně omezené hloubky a volba co vypustit byla stejně důležitá jako volba co zahrnout. Musím proto připustit, že ve zpracování tohoto tématu by si zcela jistě počínal lépe člověk, pohybující se v oblasti dopravních staveb delší dobu a mající za sebou desítky řešených případů. To se pak týká především případů, dokumentovaných mnou osobně, kde zkušenosti s podobnými případy umožňují větší nadhled a intuitivnější přístup k problému.

Seznam použitých zkratek

CBK=Cementobetonový kryt
ČR = Česká Republika
ČGS = Česká Geologická Služba
m.s.=Mezní stav
ŘSD=Ředitelství silnic a dálnic
SÚS = Správa a údržba silnic
SŽDC= Správa železniční a dopravní cesty

Prohlášení

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

Praha, červenec 2011
Lukáš Janků

6. Použitá literatura

ARBANAS, Ț., BENACM, Č., GROŠIĆ, M., MOČIBOB, T. (2006): *Instability Phenomena in the Čabranka Valley, Croatia,* CD sborník XIII. Danube-European Conference on Geotechnical Engineering

AMMAN, P., BUCHER, F., SLIVOVSKÝ, M., DRUSA, M., GRÓF, V. (1996): *Geotechnické hodnotenie plyocénnych ílov v podloží železničnej trati Zlaté Moravce – Lužianky*, Sborník z konference: Geotéchnické problémy líniových stavieb -2. Geotechnická konferencia s medzinárodnou účasťou, Slovenská technická univerzita Bratislava, Bratislava, str.5-12

BALCAR, P. (2004): *Zpráva na opravu silnice II/434 Sušice - Nové Dvory (zjednodušená projektová dokumentace),* MS – Zjedonušená projektová dokumentace, Správa Silnic Olomouckého Kraje, Olomouc

BARTÁK, J. (1999): *Havárie východního portálu tunelu Hřebeč*, sborník Zakládání staveb – 27. Konference, Brno, str. 116-120

BOHÁTKOVÁ, L. (2007): *Sanace sesuvu na silnici I/35 u tunelu Hřebeč a jeho komplexní monitoring*, Geotechnika 3/2007, str. 31-35, ISSN 1211-913X

BOUŠKA, M. (2011): *Závěrečná zpráva geotechnického posouzení deformací náspu a železničního mostu SO 76 38 04 v km 443,692*, MS – Závěrečná zpráva, Acradis geotechnika, České Budějovice, č.z.: 11 0057 - 051

BRINKGREVE, R., B., J,. (2002): *Plaxis, Fine Element Code for Soil and Rock Analyses, 2D – Version 8*, A.A.Balkema publishers, Tokyo. ISBN: 90-5809-508-8

BŘEZINA, S., STACH, J. (1997): *Závěrečná zpráva IG průzkumu a zpráva o provedení havarijních sanačních opatření, ČD, DDC sanace sesuvu v km 31,400 - 31,625 žel. trati Valašské Meziříčí - Vsetín,* MS - závěrečná zpráva, Geofond , GF P093520

BOTLÍKOVÁ, T. (2009): *Případy inženyrskogeologických Problémů rodinných domů a obdobných malých staveb*, MS – Diplomová práce, Univerzita Karlova v Praze

BOOMHOWER, D., PALMER, J., WEITZEL, D. (2003): *Geotechnical repport Cheyenne avenue mistress,* Nevada department of Transportation, dostupné online na https://208.75.222.95/uploadedFiles/NDOT/Publications/Geotechical_Reports/geo2006004_Report.pdf [18.6.2011]

BUTTERWORTH, J.A., MACDONALD, D.M.J., BROMLEY, J., SIMMONDS, L.P., LOVELL, C.J., MUGABE, F. (1999): *Hydrological processes and water resources management in a dryland environment III: Groundwater recharge and recession in a shallow weathered aquifer*, Hydrology and Earth System science, str. 345 - 352

DAS, B, M. (2008): *Advanced Soil Mechanics, third edition*, Taylor & Francis, Oxon. ISBN 0-203-93584-5

DI PRISCO, C., ZAMBELLI, C. (2003): *Cyclic and dynamic mechanical behaviour of granular soils: experimental evidence and constitutive modelling*, European Journal of Environmental and Civil Engineering 7/2003, str. 881 – 910, ISSN: 1964-8189

DROZD, K. (1977): *Zpráva o sledování poruch při ražbě stoky F v Praze v Tróji*, MS – Závěrečná zpráva, Geofond, GF P027785

DROZD, K. (1996): *Failures on construction due to subsurface erosion – roofing and piping*, Sborník Proceedings of the Sixth International Conference on Lessons from structural failure, Telč, str. 52-57

DUFKA, D., TICHÝ, P., SUKOVÁ, J. (2011): *Informace k akci Strnady – Štěchovice*, MS poskytnutý Mgr. Tichým, Chomutov, 2011

FELT, E., J. (1953): *Influence of soil volume change and vegetation on highway engineering*, Twenty-Sixth Annual Highway Conference of the University of Colorado, dostupné online na http://www.cement.org/bookstore/download.asp?mediatypeid=1&id=6&itemid=DX001 [3.5.2011]

HÁJOVSKÝ, J., HORÁK, V., PĚGŘIMOČ, P. (1999): *Studie autooxidačních procesů – akce D47, stavba 47091 Hrušov-Bohumín, km 158.100 – 158.600, podrobný GTP,* VVUÚ, MS – Závěrečná zpráva, Ostrava-Radvanice

HERLE, V. (2004): *Zpráva o výsledcích monitoringu sedání podloží násypu silnice I/4 u obce Strážný postaveného na geotextiliemi vyztužené bázi na rašelině*, *Geosyntetika a lehké materiály v tělese pozemních komunikací – Projekt výzkumu a vývoje Ministerstva dopravy ČR č. 1F45B/025/120*, MS – Archiv Arcadis Geotechnika, Stavební geologie – Geotechnika a.s.*,* Praha,

HERLE, V. (2006): *Dlouhodobé chování vyztužených zemních konstrukcí*, Presentace z konference Geosyntetika v dopravní infrastruktuře, 31.leden 2006 - Praha, 1.únor 2006 – Brno, dostupné online na http://www.igs.cz/igs-seminare/herle-2006.pdf [8.6.2011]

HOEK, E., BRAY, J. (2005): *Rock Slope Engineering, 4th edition*, The Institute of Mining and Metallurgy and E. Hoek and J. W. Bray, ISBN: 978-0-203-49908-5

HYODO, M., MURATA, H., YASUFUKU, N., FUJI, T. (1991): *Undrained cyclic shear strenth and residual shear strain of saturated sand by cyclic triaxial test,* Soils and founations, vol.31, str.60-76, ISSN 0038-0806

CHMELAŘ, J. (2004): *Hydrogeologické zhodnocení průzkumného vrtu Me-2, Mitrovice*, závěrečná zpráva, GEOTECH, Nové Město na Moravě, MS, Geofond, GF P108076

CHLUPÁČ, I., BRZOBOHATÝ, R., KOVANDA, J., STRÁNÍK, Z. (2002): *Geologická minulost České republiky*, Academia, Praha, ISBN: 80-200-1914-0

JANKŮ, L. (2008): *Inženýrskogeologické problémy dopravních staveb*, MS - bakalářská práce, Univerzita Karlova – přírodovědecká fakulta, Praha, GF P120839

JÄGER, O., KESSL, J. (2008): *Režimní pozorování hladiny podzemních vod 12/2007-11/2008; Dálnice D3, Stavba 0305-II Nová Hospoda – Mezno*, MS - závěrečná zpráva, AQH s.r.o., Praha

KARLÍN, P. (2010): *Monitoring sedání podloží násypů dopravních staveb*, MS - bakalářská práce, Univerzita Karlova, Praha

KAUN, M., LUXEMBURK, F. (2002); *Pozemní komunikace 30*, Vydavatelství ČVUT, Praha, ISBN 80-01-02486-5

KREMSA, J. (2010): *Souhrnná zpráva o povodni v srpnu 2010 v oblasti povodí Horního a středního Labe a na vlastním toku Labe v oblasti povodí Ohře a Dolního Labe (7.8. - 9.8.2010)*, MS, Povodí Labe, státní podnik Hradec Králové , Hradec Králové, dostupné online na http://www.pla.cz/planet/public/dokumenty/zpravy_vhd/Zprava%20o%20povodnove%20situaci%2008-2010%20-%20text_cast.pdf [4.2.2011]

KRESTA, F. (2005): *Příčiny sedání zásypu bývalého odkaliště Lhotka v trase dálnice D47*, Geotechnika v urbanizovanom prostredí, Bratislava, MS poskytnutý F. Krestou

KRESTA, F. (2007): *Elektrizace traťového úseku vč. PEÚ žst. Ostrava Svinov – žst. Opava východ - Stanovisko Stavební geologie – Geotechniky a.s. k deformacím gabionové zdi v Jilešovicích,* MS – závěrečná zpráva, Stavební Geologie – Geotechnika a.s., Ostrava

KRESTA, F. (2009): *Dálnice D47, stavba 4708.2 Ostrava Rudná – Hrušov – posouzení příčin vertikálních deformací násypu v km 150.330 – 151.090,* MS Závěrečná zpráva, Arcadis-Geotechnika, Ostrava

KRESTA, F. (2010): *Elektrizace traťového úseku vč. PEÚ žst. Ostrava Svinov – žst. Opava východ Vyhodnocení geodetického měření pohybu gabionových stěn v Jilešovicích*, MS Stavební Geologie – Geotechnika a.s., Ostrava

KRESTA, F. (2011): *Použití ocelářské strusky a dalších vedlejších produktů hutní výroby železa v zemním tělese pozemních komunikací*, Silniční Obzor 1/2011, str. 7-14, ISSN 0322-7154

KRESTA, F., HERLE, V. (2011): *Výhody a rizika při použití druhotných materiálů v pozemních komunikacích,* Druhotné a recyklované materiály v zemním tělese pozemních komunikací – stručné obsahy přednášek ze semináře pořádaného 23. Února 2011 v Kongresovém centru hotelu Olšanka, Arcadis, Praha, str. 44-50

KROPÁČEK, A. (1999): *Obnova povodněmi poškozených železničních tratí v okrese Šumperk*, Geotechnika 2/1999, str. 39 – 42, ISSN 1211-913X

KUBÁT, B., TÝFA, L. (2003): *Železniční tratě a stanice*, Skripta, Vydavatelství ČVUT, Praha, ISBN 80-01-02782-1

KUČERA, P. (2009): *Založení násypů dálnice D8 na málo únosném podloží v prostoru plaviště Úžín*, Silnice Železnice 2/2008, dostupné online na http://www.silnice-zeleznice.cz/UserFiles/files/SZ/2009/s_208_p.pdf [3.5.2011]

KUPLÍK, V. (2005): *Vliv vegetace na podzákladí a stabilizaci terénů, Stromy a stavební objekty, založené na jílovitých zeminách*, Sborník Konference Stromy a jejich vliv na stavby, Malenovice, str. 166-171

LIBUS, J. (1983). *Dálnice D5 Vráž-Bavoryně, Geotechnické sledování stavby násypu v km 9,2 – 10,0*, Stavební geologie, Praha, MS – závěrečná zpráva, GF P043298

MATULA, M., PAŠEK, J. (1986): *Regionálna Inžinierska Geológia ČSSR*, SNTL – nakladatelství technické Literatury, Praha

MENCL, V., ZÁRUBA; Q. (1957): *Inženýrská geologie, druhé, doplněné vydání,* Nakladatelství československé akademie věd, Praha

MENCL, V., ZÁRUBA; Q. (1969): *Sesuvy a zabezpečování svahů*, Nakladatelství Academia, Praha

MINE SUBSIDENCE ENGINEERING CONSULTANTS (2007): *Mine Subsidence Damage to Building Structures*, Chatswood, dostupné online na http://www.minesubsidence.com/index_files/files/Mine_Subs_Damage_to_Bldg_Structures.pdf, [3.5.2011]

NAUTILUS, AGENTURA PRO POZNÁNÍ ZEMĚ (1991): *Ohledání skalních svahů nad silnicí ve Vraném n.V.*, MS, Praha

NEŠVARA, P., SEKYRA, Z., (1999): *Obecné zásady sesuvů směřujících ke stabilizaci sesuvů*, SG Geotechnika a.s., Praha. Dostupný online: http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/obecne_zasady_1/$FILE/OOHPP-Stabilizace_sesuvu_Text-20080820.pdf [29.7.2011]

NG, C., W., W., MENZIES, B., (2007): *Advanced unsaturated soil mechanics and engineering*, Taylor & Francis, ISSN: 0016-8505

NIEMUNIS, A., WICHTMANN, T., TRIANTAFYLLIDIS, TH. (2004): A high-cycle accumulation model for sand, Computers and geotechnics, vol.32, str. 245-263, ISSN: 0266-352X

NICHOL, D., FARMER, I., W., (1998): *Settlement over peat on A5 at Pant Dedwydd Nera Cerrigydruidonm North Wales*, Engineering Geology 50, str. 229 - 307

NICHOL, D., GRAHAM, J., R., (2001): *Remeditaion and monitoring of higway across an active landslide at Trevor, North Wales, Engineering geology 59*, str. 337-348

NOVÁK, V. (2010): *Prosedavé zeminy v ČR*, MS - bakalářská práce, Univerzita Karlova, Praha

NOVOTNÁ, I., (2011): *Stručné informace o sesuvu na D8 ve staničení 85,170 – 85,200,* MS - osobní poznámky, email, 31.1.2011

NOVOTNÁ, I., ZÁRUBA, J.(2008): *Sesuvy svahů ve výsypkách při stavbě dálnice D8 u Ústí nad Labem*, Silnice a železnice, http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/sesuvy-svahu-ve-vysypkach-pri-stavbe-dalnice-d8-u-usti-nad-labem/, [21.2.2011]

NOVOTNÝ, J. (2006): *Podcenění negativního vlivu strukturních poměrů Sokolovské pánve na stabilitu svahu – příklad výstavby silnice I/6 západně od Karlových Varů,* Geotechnika 4/2006, ISSN 1211-913X, str. 3-9

NOVOTNÝ, J. (2009): *Obtíže inženýrskogeologického průzkumu v žulových masívech*, Sborník 1. Národní inženýrskogeologický kongres s mezinárodní účastí, Ostrava, str. 25 - 28

NOVOTNÝ, J., ZÁRUBA, J., ŠTÁBL, S., ROUT, J. (2006): *Stabilitní situace při výstavbě nákupního areálu na svahu*, Geotechnika 2006, Stupava, Slovensko, str. 143 - 148

OLIŠAR, P. (2009): Systém *hodnocení rizik skalního řícení RHRS na příkladu skalního řícení Strnady (údolí Vltavy)*, MS - Bakalářská práce, Masarykova Univerzita v Brně, Brno

OLIŠAR, P. (2010): *Přehled sanačních metod, eliminujících skalní řícení a jejich limitní podmínky aplikace (rešerše k diplomové práci)*, MS – Rešerše k diplomové práci, Masarykova Univerzita v Brně, Brno, dostupné online na http://is.muni.cz/th/211432/prif_m/DP_Reserse_Olisar.pdf [1.8.2011]

PARÁK, T. (2003): Vyztužení *násypů na poddolovaném území pomocí kolejových roštů*, Sborník Zakládání Staveb – 31. konference se zahraniční účastí, Brno, str. 123-128

PASEKA, A., BAŽANZ, Z. (2005): Stromy *a stavební objekty, založené na jílovitých zeminách*, Sborník Konference Stromy a jejich vliv na stavby, Malenovice, str.72-81, ISBN: 978-80-7357-360-7

PICHLER, E. (2004): *Realizace sanace starého důlního díla pod silnicí Žatec-Most u čepiroh*, MS - Závěrečná zpráva, Výzkumný ústav pro hnědé uhlí

PLÁŠEK, O., ZVĚŘINA, P., SVOBODA, R., MOCKOVČIAK, L. (2004): *Železniční stavby – železniční spodek a svršek*, Akademické Nakladatelství CERM, Brno, ISBN: 80-214-2621-7

PŇOVSKÝ, T. (2006): *Zhodnocení inženýrskogeologických poměrů výstavby halových objektů jihovýchodně od Prahy*, MS – Diplomová Práce, Univerzita Karlova, Praha

POSPÍŠIL, K. (2007): *Cementobetonové vozovky – nové technologie výstavby, rekonstrukcí a oprav, včetně srovnání AB a CB technologií, vazba na povrchové vlastnosti, dlouhodobé sledování*, Centrum dopravního výzkumu, v.v.i., Divize dopravní infrastruktury a životního prostředí, Brno. MS – project č. 1F55B-090-120, dostupný v infobance Ministerstva Dopravy na http://www.mdcr-vyzkum-infobanka.cz/DownloadFile/3858.aspx [15.6.2011]

PUPÍK, V. (1997): *Zpráva o doplňkovém průzkumu v trase přeložky silnice I/4 – Strážný, okres Prachatice*, MS – závěrečná zpráva, Stavební geologie – Geotechnika a.s. Praha, České Budějovice, č.ú.: 970268-051, Archiv Arcadis - geotechnika

RŮŽIČKA, J. (2011): *Znalecký posudek, Posouzení stability horninového masivu v místech havárie – skalního řícení, ke kterému došlo dne 13.1.2011 v 16.15 hod a 17.1.2011 v 7.10 hod. návrh opatření pro obnovení provozu svah nad silnicí II/102 Davle – Štěchovice*, Láz, MS poskytnutý Strix Chomutov

RYBÁŘ, J. (1999a). *Rozbor zvýšeného výskytu svahových deformací v České republice v červenci 1997*, Geotechnika 2/1999, str. 7 – 14, ISSN 1211-913X

RYBÁŘ, J. (1999b): *Vliv klimatu na vývoj sesuvů a jiných nebezpečných svahových deformací*, Sborník přednášek Geotechnické dny 1999, ČKAIT, str.36–45, Praha

RYBÁŘ, J. (2009): *Studijní list 24*, MS - materiály k přednášce Regionální Inženýrská Geologie, Univerzita Karlova, Praha
RYBÁŘ, J., PAŠEK, J. (1975): Sesuv železničního násypu v Košťálově (Zpráva o inženýrskogeologickém výzkumu), Geologický ústav Československé akademie věd, Praha, MS – Závěrečná zpráva, GF P024720

RYŠÁVKA, J., ALDORF, J., KAŠPAR, L. (2009): *Vybrané problémy regionálních tratí*, Inžinierske stavby/Inženýrské stavby, 6/2009, str. 43-45

ŘSD (2006): *Dálnice D5 – Praha – Plzeň – Německo, Informační leták,* Ředitelství Silnic a Dálnic ČR, http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/0/6AF6A5870F8FA363C12571EF004BE411/$file/D5.pdf [14.12.2010]

ŘSD (2010a): *Dálnice D3, Rychlostní silnice R3, Praha-Tábor-České Budějovice-Rakousko, stav k 10/2010, Informační leták*, Ředitelství Silnic a Dálnic ČR, dostupné online na http://www.rsd.cz/rsd/rsd.nsf/0/157B933E729868B8C12577C000465653/$file/RSD_D3_10_10.pdf, [9.4.2011]

ŘSD (2010b): Rychlostní *silnice R6 Praha - Pavlov, Informační leták, stav k 10/2010*, Řiditelství silnic a dálnic ČR, dostupné online na http://www.rsd.cz/catalog/Stavime-pro-vas/Prehled-staveb/pdf085/$file/r6-praha-pavlov.pdf [20.6.2011]

ŘSD (2011): Přehledy *z informačního systému o silniční a dálniční síti ČR - stav k 1.1.2011*, Ředitelství Silnic a Dálnic ČR, dostupné online na Http://www.rsd.cz/sdb_intranet/sdb/download/prehledy_2011_1_cr.pdf [20.6.2011]

SEYČEK, J., LUŠTINCOVÁ, L., (2005): *Škodlivé působení stromů na stavby v jílovitých půdách*. Geotechnika 3/2005, str. 16 – 20, ISSN 1211-913X

SLOBODA, J. (1995): *Dálnice D 11 - stavba 1105 Chýšť - Hradec Králové, předběžný inženýrskogeologický průzkum*, závěrečná zpráva*,* GHE, Ostrava, MS GF P084633

SVATOŠ, A. (1960): *Zpráva Průzkum stability svahů ve Vraném n.Vlt*, MS – závěrečná zpráva, Geologický průzkum, n.p. Praha, Závod stavební geologie, Praha

SVOBODA, P. (2007): *Sanace násypů dopravních staveb*, Inženýrské stavby 2/2007, str. 24-26, ISSN:1335-0846

SŽDC (2003): *Organizace železnice a železniční síť v ČR*, Správa železniční a dopravní cesty, státní organizace, dostupné online na http://provoz.szdc.cz/portal/Show.aspx?oid=185800 [4.4.2011]

ŠEFRNA, M. (2006): *Průzkum a zabezpečení starého důlního díla – „Propad Abertamy" v k.ú. Abertamy v okrese Karlovy Vary*, MS – Závěrečná zpráva, SG Geotechnika, Geofond GF P115857

ŠILAR, J., PAČES, T., DOVOLIL, M., SARGA, K. (1983): *Všeobecná hydrogeologie*, Skripta, Univerzita Karlova v Praze, Praha

TOMÁŠEK, J. (2002): *Dálnice D3 Praha - Tábor, úsek D3 - 0305/II Nová Hospoda – Mezno*, závěrečná zpráva, SGS Středočeská Geologická Společnost, Praha, MS P107122

TOMÁŠEK, J. (2010): *Svrčinovec – Skalité - Silnice I/12 v km 1,400 – 6,075 – dynamické penetrační sondování*, MS – Závěrečná zpráva, 4G Consite, Praha, archiv 4G Consite

VANÍČEK, I., HRUBÝ, V., CHAMRA, S., JIRÁSKO, D. (2009): *Posouzení geotechnických rizik v souvislosti s havarijním stavem skalního masivu a nebezpečím sesuvu na komunikaci II/102 v úseku Strnady – štěchovice*, MS – Závěrečná zpráva, České Učení technické v Praze, Fakulta stavební, Praha

VANÍČEK, M., VANÍČEK, J. (2007): *Aplikace geotextilií a gemoříží s velmi malým protažením*, Prezentace k příspěvku na konferenci Nové trendy ve využití geosyntetik, 30.leden 2007 – Praha, 31.leden 2007 – Brno, dostupné online na http://www.igs.cz/igs-seminare/vanicek-2007.pdf [1.6.2011]

VANÍČEK, M., VANÍČEK, I. (2008): Earth Structures in Transport, Water and Environmental Engineering, Springer, ISBN: 9781402039638

WERKMANN, M., TOMÁŠEK, J.(2009): *STAVBA D11 05-1 – posouzení svahových pohybů, Inženýrskogeologický posudek*; MS – Závěrečná zpráva, 4G Consite, Praha

WICHTMANN, T. (2005): *Explicit accumulation model for non-cohesive soils under cyclic loading*, MS – doktorandská práce, Ruhr-Universität Bochum, ISSN 1439-9342

WOZNICA, L. (1987): *Průdový sesuv na silnici mezi Medlovicemi a Újezdcem v okresu Uherské Hradiště*, Sborník příspěvků VM 80, Československá vědeckotechnická společnost, Znojmo, str.61-66

ZÁRUBA-PFEFFERMANN, Q. (1931): *O stabilitě svahů nad povltavskou silnicí u Stěchovic a Vraného*, Technický obzor, XXXIX. Praha

ZAVORAL, J., KURKA, J. (2008): *Sanace skalního objektu P31 nad silnicí Děčín – Hřensko*, Inženýrské stavby 3/2008, str. 46-48

ZVELEBIL, J. (2007): *Rekognoskace rizika ohrožení silnice II/102 mezi Strnady a Štěchovicemi řícením skalních bloků a projektová studie k jeho odstranění*, Česká geologická služba, Praha, SOG-441/230/2007

ZVELEBIL, J. (2010a): *Upozornění na bezprostředně nestabilní skalní objekty ohrožující chodník a silnici I/62 na pravém břehu Labe v obci Hřensko*, MS, Hřensko

ZVELEBIL, J. (2010b): *Zpráva o aktuální stabilitní situaci na lokalitě Lomová Stěna nad státní silnicí I/62 ve Hřensku ke dni 21.12.2010*, MS – Závěrečná zpráva, Z Geokonzult s.r.o, Zdiby

ZVELEBIL, J., RYBÁŘ, J. (1978): *Skalní řícení nad státní silnicí Děčín – Hřensko*, dílčí zpráva o inženýrskogeologickém výzkumu, MS, Praha, MS P026473

XEIDAKIS, G., PANAGIOTIS, K., TSIRAMBIDES, A. (2004). *Road construction on swelling soils: the case of Styrmi Soils, Rhodope, Thrace, Northern Grece*, Bulletin of engineering geology and enviroment, volume 63, str. 93 – 101, ISSN 1435-9529

ČESKÁ GEOLOGICKÁ SLUŽBA – GEOFOND, GEOLOGICKÝ MAPOVÝ SERVER: http://www.geofond.cz/mapsphere/MapWin.aspx?M_WizID=24&M_Site=geofond&M_Lang=cs -

DOLNÍ ŽLEB COMPANY: http://dolnizlebcompany.com/ [3.1.2011]

DOPRAVNÍINFO.CZ, JEDNOTNÝ SYSTÉM DOPRAVNÍCH INFORMACÍ PRO ČR: http://www.dopravniinfo.cz/ [průběžně]

GEOLOGICKÉ A GEOVĚDNÍ MAPY: http://www.geologicke-mapy.cz [průběžně]

GOOGLE – APLIKACE GOOGLEMAPS: http://www.googlemaps.com [průběžně]

INFORMAČNÍ SYSTÉM MASARYKOVY UNIVERZITY: www.is.muni.cz *[4.2.2011]*

LAS VEGAS VALLEY GROUNDWATER MANAGEMENT PROGRAM: http://www.lasvegasgmp.com/html [13.4.2011]

PŘÍRODAKARLOVARSKA.CZ: http://prirodakarlovarska.cz/clanky/804-v-mape-vidi-doly-pod-mestem [18.10.2010]

RÁDIO FM – SEVERNÍ ČECHY, http://www.hitradiofm.cz/, [28.10.2010]

ŘEDITELSTVÍ SILNIC ZLÍNSKÉHO KRAJE – PŘEHLED VÝZNAMNÝCH INTESTIČNÍCH STAVEM ŘSZK REALIZOVANÝCH V LETECH 2002 – 2005, *http://www.rszk.cz/stavby/prehled.htm [20.6.2011]*

SEZNAM.CZ – MAPOVÁ APLIKACE: http://www.mapy.cz [průběžně]

STAVBY KARLOVARSKÉHO KRAJE – OPTIMALIZACE TRATI PLANÁ – CHEB: http://stavby.karlovarska.net/stavba.php?ID=200719 [20.5.2011]

STRÁNKY MĚSTA HRANICE: http://www.mesto-hranice.cz [31.10.2010]

STRÁNKY MĚSTA DĚČÍN: http://www.decin.cz [5.4.2011]
http://www.decin.cz/2011/04/zpevneni-skaly-u-hrenska-prijde-na-30-milionu-park-zada-o-dotaci/ [10.5.2011]

STRÁNKY MĚSTA TRUTNOV:
http://www.turnov.cz/modules/fotogalerie/fotogalerie.html?op=zobraz_galerii&galerie=10 [24.6.2011]

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ - FAKULTA STAVEBNÍ – MATERIÁLY K PŘEDMĚTU SILNICE A DÁLNICE II - PŘEDNÁŠKA Č.3, http://www.fce.vutbr.cz/PKO/0M3/predn3/prednaska3.htm [7.5.2011]

VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T.G.MASARIKA – PROHLÍŽEČKA ZÁPLAVOVÝCH ÚZEMÍ, http://www.dibavod.cz/70/prohlizecka-zaplavovych-uzemi.html [7.5.2011]

6.1. Seznam použitých norem a TP

(zde uvedený seznam norem a TP shrnuje normy a TP, použité pro vypracování práce, tedy ty, jež byly autoru přístupné. Nemusí nezbytně nutně zahrnovat jejich nejnovější novelizace v době psaní práce, tím méně po jejím dokončení).

TP 62 - Katalog poruch vozovek s cementobetonovým krytem, Centrum dopravního výzkumu, 2010

TP 82 - Katalog poruch netuhých vozovek, PavEx Consulting s.r.o., 2010

TP 93 - Návrh a provádění staveb pozemních komunikací s využitím popílků a popelů, ARCADIS Geotechnika, a.s., 2011

TP 94 – Úprava zemin, ARCADIS Geotechnika, a.s., 2009

TP 131 - Zásady pro úpravy silnic včetně průtahů obcemi, CityPlan spol, s.r.o.

TP 138 - Užití struskového kameniva do pozemních komunikací, VUT Brno, fakulta stavební, 2011

TP 170 - Navrhování vozovek pozemních komunikací, Vysoké učení technické v Brně, fakulta stavební, České vysoké učení technické v Praze, fakulta stavební, Stavby silnic a železnic, a.s., ODS – Dopravní stavby Ostrava, a.s.

TP 176 - Hlušinová sypanina v tělese pozemní komunikace, ARCADIS Geotechnika, a.s. , 2011

TP 210 - Užití recyklovaných stavebních demoličních materiálů do pozemních komunikací, VUT Brno, fakulta stavební, 2011

ČSN EN 1997-1 (73 1000): Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1: Obecná pravidla, 2006

ČSN 73 3050 - Zemné práce. Všeobecné ustanovenia – v době psaní práce již neplatná

ČSN 73 1001 - Zakládání staveb. Základová půda pod plošnými základy – v době psaní práce již neplatná

ČSN 73 6133 - Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací