

VZNIK SESUVU VE VYSOCEPLASTICKÝCH JÍLECH V BRNĚ- MEDLÁNKÁCH ANEB ÚLOHA INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉHO PRŮZKUMU V PROJEKCI

Ivan Poul^{1,2}

¹ iGeo – RNDr. Ivan Poul, Svat. Čecha 4, 693 01 Hustopeče, e-mail: istvan@igeo.cz

² Ústav geotechniky, FAST, VUT v Brně, Veveří 95, 602 00 Brno

1/ Úvod

Se svahovými deformacemi a sesuvy se člověk setkával odnepaměti. Sesuvy vzbuzovaly velký zájem odborníků jelikož se dříve zdálo, že vznikají náhle bez indikačních jevů a vždy si vybírají vysoké daně na lidských životech a majetku. Nyní se stále častěji stávají ohrožujícím faktorem nových výstaveb. Důvodů proč dochází ke vzniku sesuvů je mnoho. Nejdůležitějšími body pro téma předloženého článku jsou změna tvárnosti krajiny, nešetrné zásahy člověka do zeminy během výstavby a změny chemického složení atmosféry. Ke vzniku nových sesuvů, ale i k reaktivování stabilizovaných, dochází v době velkého růstu ekonomiky. Ve velkém se staví, na okrajích měst dochází k výstavbě budov na půdě, která byla prozatím využívána pouze pro zemědělské účely. V době rychlé výstavby bývá rozhodující co nejkratší termín dodání stavby a nízká cena. Kvalita je tak často až druhořadým faktorem. Obdobně je to s některými projekty, které mnohdy vznikají paralelně s postupující stavbou.

2/ Úloha inženýrskogeologického průzkumu

V soukromém sektoru závisí rozsah inženýrskogeologického průzkumu a finanční náklady do něho vložené většinou na projektantovi stavby, který má obvykle dodání stavebního průzkumu ve smlouvě (rozsah nebývá specifikován). Nyní se dostáváme k jádru věci. Projektující firma samozřejmě hodlá na projektu co nejvíce vydělat, proto pro účely průzkumu vyčlení pouze minimum financí, tak aby se vyhovělo smlouvě i stavebnímu úřadu. Z nedostatku financí vyplývá, že průzkum základové půdy je nedokonalý, mnohokrát založený na několika mělkých sondách. Geomechanické parametry potom vycházejí ze zatřídění zeminy dle normy ČSN 73 1001.

3/ Vznik sesuvu na staveništi

V městské části Brno-Medlánky započala na jaře roku 2005 výstavba rozsáhlého sídliště několikapatrových obytných souborů. Dva roky před výstavbou na zelené louce byl na místě budoucího staveniště proveden inženýrskogeologický průzkum. Staveniště se nachází v mírném svahu 1:9 – 1:12. Již z geologické mapy (Novák 1988) vyplývá, že budoucí staveniště je plánováno v místě výchozu vápnitých jíílů spodnobadenského (neogenního) stáří. Z geomechanického hlediska se jedná o vysoceplastické jíly F8 CH s mezí tekutosti vyšší než 80 %. Přesto inženýrský geolog v místě staveniště provedl pouze několik mělkých malopřůměrových vrtaných sond za účelem odběru porušených vzorků. O dva roky později byl proveden doprůzkum s ještě nižší vypovídající hodnotou. Na základě „odhadnutých“ parametrů doporučil geolog zakládání 5-patrových budov v několika liniích nad sebou plošně. Projektant stavby vytušil hrozící nebezpečí a založení staveb vyprojektoval hlubinné – na plovoucích pilotách spřažené důkladně armovanou základovou deskou.



Obr. 1: Situace na staveništi, během zemních prací došlo ke vzniku sesuvu ve zvětralých jílech (F7/F8)

Po započetí zemních prací v nižší linii (téměř paralelně s vrstevnicemi svahu) staveb došlo vlivem podkopání svahu ke vzniku plošného sesuvu (obr. 1-3). Sesuvné pohyby způsobily až „vytečení“ vysoceplastických jílu z pod základové spáry základové desky (obr. 3), současně došlo k obnažení hlubinných základových konstrukcí. Zemina, která „stékala“ do stavební jámy byla průběžně odstraňována. Aby nedošlo ke kompletnímu přemístění zeminy z podzákladí, byla níže po svahu pod realizovanými základovými konstrukcemi postavena štětovicová stěna „Larsen“. Nad konstrukcemi (na hranici s parcelami jiných vlastníků) započala stavba kotvené pilotové stěny, která měla zadržet sesouvající se zeminu. Z původní délky přibližně 30 m byla nakonec preventivně rozšířena na délku cca 200 m. I nadále však dochází na staveništi v Medlánkách k drobným svahovým pohybům; pilotová stěna (průměr pilot 600 mm, hloubka 5-18 m) zřejmě není správně dimenzovaná a na některých místech, kde prozatím stavba ještě nezapočala, se začíná trhat.

4/ Analýza vzniklého problému

Další výzkumy, které nebyly financovány investorem stavby, měly za úkol zjistit proč na relativně mírném svahu dochází k sesuvům. V místě staveniště byl vyhlouben jeden průzkumný vrt pro detailní petrologický popis a odběr neporušených vzorků (z přibližně 18 metrového vrtu bylo odebráno 20 neporušených vzorků) určených k mechanickému testování. Svrchních 13 m jádra tvořil zvětralý jíl béžové barvy s častými drúzkami sádrovce, od hloubky 13,4 byl zastížen zdravý pevný neogenní jíl zelené barvy. Dle geofyzikálního průzkumu georadarem (Hubatka *in prepp*) je mocnost neogenních jílu větší než 30 m. Ve vrtném profilu byly zjištěny dvě smykové plochy (obr. 4). První fosilní byla indikována nálezem rozloženého dřeva (hloubka 17,0 m), druhá recentní je rozpoznatelná díky náhlé litologické a barevné změně jílu.

Z výsledků laboratorních zkoušek vyplývá, že se s rostoucí hloubkou odběru pevnost zeminy zvyšuje. Totální úhel vnitřního tření (zkoušky UU, testování 5-7 těles pro jeden výsledek) s hloubkou pomalu nelineárně narůstá z hodnoty $\pm 0^\circ$ (měkká konzistence, hloubka 3,5 m) až do 11° (pevná konzistence, hloubka 17,8 m). Velikost koheze roste z hodnoty 100 do 170 kPa. Se zvětšující se hloubkou odběru roste také velikost pevnostních charakteristik v efektivních parametrech. Úhel vnitřního tření se mírně zvětšuje; jeho velikost se pohybuje v intervalu 21° až 24° . Velikost koheze se zvětšuje výrazněji, avšak rozptyl hodnot je velký (30-50 kPa).



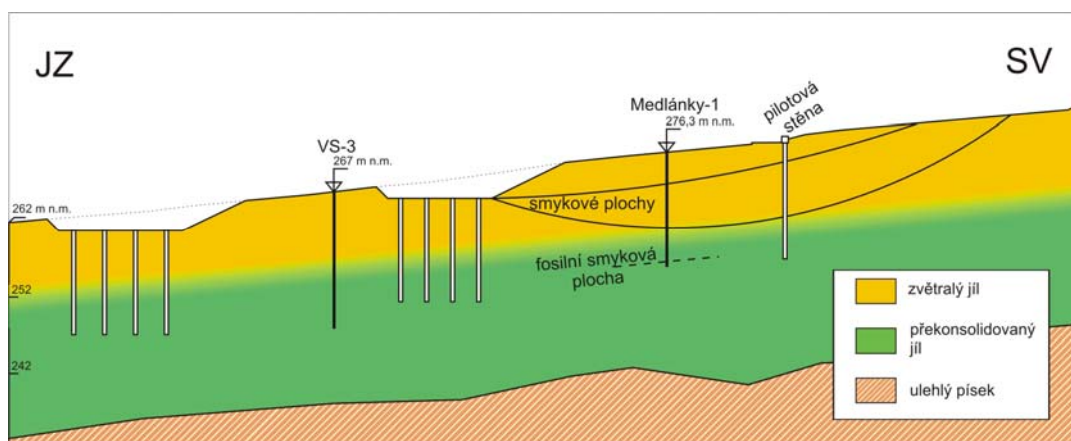
Obr. 2: Zátřhy sesouvající se zeminy byly patrné i výše po svahu na parcelách soukromých vlastníků



Obr. 3: Plastické jílly „odtekly“ zpod základové spáry, konstrukce zůstaly stát pouze na pilotách

Ve smykovém krabicovém přístroji byl testován vliv délky pohybu na smykové ploše na velikosti (pevnosti) úhlu vnitřního tření a velikosti koheze (hloubka odběru jílu 7,1 m). Pokles pevnosti jílu na smykové ploše v závislosti na délce posunu lze vyjádřit mocninnou funkcí. Původní pevnost neporušeného vzorku (při standardním testování dle ČSN 72 1030) je vyjádřena parametry o velikosti $\phi_{ef} = 22,5^\circ$, $c_{ef} = 39,1$ kPa. Při posunu na smykové ploše o 5 cm se pevnostní parametry snížily na 1/3.

Laboratorní rozbor podzemní vody (Fojtík 2005) prokázal abnormálně vysokou koncentraci síranových (2680 mg/l), hydrogenuhličitanových (800 mg/l) a volných vápníkových (530 mg/l) iontů. Z odebraných vzorků jílu byly prováděny i RTG difrakční analýzy. Nejnázornější příklady jsou z hloubek 3,5 m a 17,5 m (obr. 5). Z RTG analýz oproti předpokladům vyplývá, že se zastoupení jílových minerálů v profilu vrtu zásadně nemění. Mění se procentuální zastoupení karbonátů. V povrchových partiích nejsou karbonáty přítomny; v hloubce je jíl tvořen z 10-15 % karbonáty.



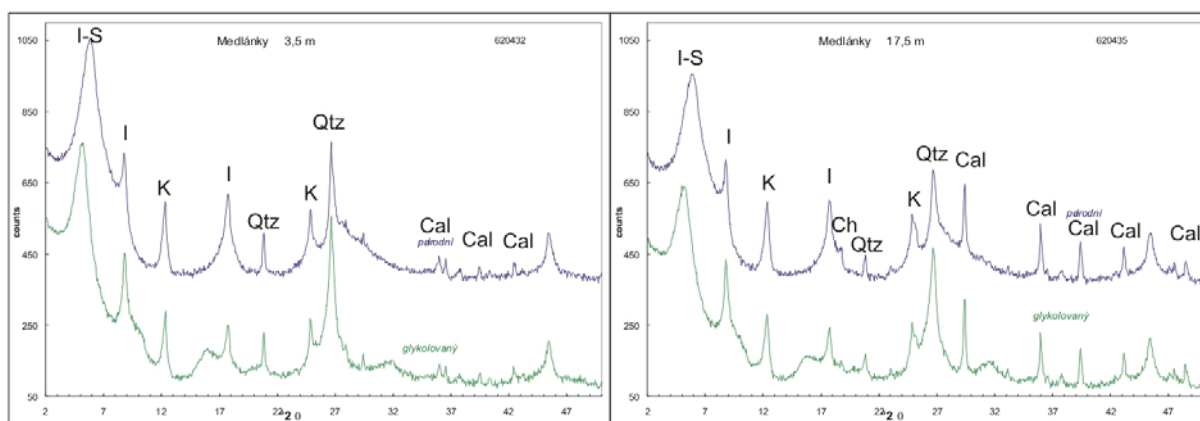
Obr. 4: Schematizovaný geologický řez staveništem, recentní smykové plochy protínají pouze zvětralý jíl

5/ Diskuse

Pevnostní charakteristiky zastižených zemín se na lokalitě Medláňky s narůstající hloubkou odběru výrazně mění. S hloubkou odběru zeminy narůstá vlhkost sedimentu. Zároveň se zřejmě vlivem cementace a dilatance na smykové ploše zvětšuje do hloubky úhel vnitřního

tření a koheze. Povrchové partie jsou chudé na karbonáty, často se zde však vyskytují drúzy sádrovce. Jíl z báze vrtu je oproti povrchu tvořen až z 15 % karbonáty. Při RTG stanovení zastoupení jílových minerálů nebyly zjištěny velké rozdíly mezi povrchem a hlouběji odebranými sedimenty.

Obnažené spodnobadenské jíly v povrchových partiích zvětrávají za úbytku karbonátů (současně mění svoji barvu). Karbonáty dříve tvořily cementační tmel mezi jednotlivými šupinkami fylosilikátů, čímž se zvyšovala pevnost jílu. Úbytek karbonátů na povrchu zkoumaného profilu lze vysvětlit pomalými krasovými procesy. Toto je způsobeno reakcí kalcitu s vodou; voda obsahuje rozpuštěné hydrogenuhličitanové ionty (Rovnaníková, ústní sdělení), které se do podzemní dostávají vsakem dešťové vody.



Obr. 5: Grafický záznam RTG analýz jílových minerálů a vyhodnocení semikvantitativní analýzy z Medlánek *Vysvětlivky*: I-S - illit-smektit, I – illit, K – kaolinit, Qtz – křemen, Cal – karbonát (kalcit)

V povrchových partiích (do 6 m) zkoumaného profilu byly zjištěny velké drúzy sádrovce, jejichž vznik lze vysvětlit reakcí síranových iontů obsažených ve vodě (vznikají oxidací pyritu) s ionty vápníku uvolněnými krasovými procesy z kalcitu. Vlivem krystalizace sádrovce dochází k potrhání jílu, neboť jeho molární objem je asi dvakrát větší než molární objem kalcitu (Linde 1994). Důležitým aspektem pro proces potrhání jílu je také velký krystalizační tlak sádrovce až 28,2 MPa (Heidingsfeld 1997), který zde několikanásobně převyšuje tlak z nadloží.

Trhlinami v jílu proniká do zeminného masívu dešťová voda, která způsobuje další zvětrávání sedimentu a bobtnání jílu. Při adsorpci vody na povrch šupinek klesá síla chemických vazeb mezi krystaly, což také mohlo zásadně ovlivnit pevnost sedimentu (Šimek *et al.* 1991). U jílu je smyková pevnost na existujících smykových plochách přibližně 2,5 x nižší než vrcholová (vlastní pozorování, Mencl 1966). Na smykové ploše již proběhla dilatance, jsou zde porušeny cementační vazby a obvykle zde dochází alespoň k drobnému prohnětení zeminy (Mencl 1966). U překonsolidovaných jílu vzniká dokonce na smykové ploše důsledkem dilatance sání podzemní vody, čímž dochází k bobtnání jílu a jeho změknutí. Dřevo nalezené v průzkumném vrtu Medláňky-1 v hloubce 17 m bylo evidentně pohřbeno během svahového pohybu a je podle ^{14}C datování starší než 40 000 let.

6/ Závěr

Sanovaný svah v Brně–Medláňkách je paleosesuv, který byl evidentně reaktivován nesprávně navrženými zemními pracemi. Stavba pilotové stěny si vyžádala investici několika desítek miliónů korun; na geologickém průzkumu investor ušetřil cca padesát tisíc Kč.

V povrchových partiích zeminného masivu dochází vlivem zvýšeného podílu CO₂ v atmosféře ke krasovění kalcitu a tím porušení cementačních vazeb mezi krystaly jílu. Reakcí volných iontů Ca²⁺ s SO₄²⁻ (+ 2H₂O) dochází ke vzniku sádrovce, jehož vysoký krystalizační tlak způsobuje potrhání jílu. Migrující voda v trhlinách způsobuje další zvětrávání, měknutí a tím i snížení pevnosti jílu. Dlouhodobým intenzivním zvětráváním jílové zeminy se postupně zhoršují původní stabilitní poměry do té míry až nastane sesutí svahu. Ke vzniku sesuvů docházelo v místě staveniště i v dávné minulosti (doložen je sesuv starší než 40 000 let). Jedná se o tedy kontinuální proces spojený s erozí neogenního jílu probíhající zřejmě již nedlouho po ústupu spodnobadenského moře před 16,5 miliony let. V současné době s přibývajícím zastoupením CO₂ v atmosféře se proces zvětrávání kalcitu urychluje.

7/ Literatura

- Fojtík, K. (2005): Brno – Nové Medlánky – obytný soubor – sanace sesuvu. — MS, K. Fojtík. Brno.
- Heidingsfeld, V. (1997): Fyzikální a chemická koroze stavebních materiálů. — *in* Kotlík, P. ed.: Voda – nepřítel památek, Sborník Stop, 9-12. Praha.
- Hubatka, F. (*in prepp*): Brno-Medlánky, průzkum sesuvu georadarem. — MS, Kolejconsult a servis s.r.o., Brno.
- Lide, D. R. (1994): CRC Handbook of Chemistry and Physics – 75th Edition. — CRC Press. Boca Raton, Ann Arnot, London, Tokyo.
- Mencl, V. (1966): Mechanika zemin a skalních hornin. — Academia. Praha.
- Novák, Z. (1988): Základní geologická mapa, Brno-sever, 24-324. — ÚÚG. Praha.
- Poul, I. a Štábl, S. (2006): Problémy svahových deformací při realizaci obytných budov v Brně – Medláncích. — Juniorstav 2006, 4, FAST VUT v Brně. 145-150.
- Šimek, J., Jesenák, J. Eichler, J. & Vaníček, I. (1991): Mechanika zemin. — SNTL. Praha.