

# Vznik sesuvu ve vysoce plastických jílech v Brně-Medlánkách

Sesuvy vzbuzovaly zájem odborníků od nepaměti, 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. Důvodem, proč dochází ke vzniku sesuvů, může být např. změna tvárnosti krajiny, nešetrné zásahy člověka do zeminy během výstavby nebo změna chemického složení atmosféry. Ke vzniku nových sesuvů, ale i k reaktivování stabilizovaných dochází v době rychlé výstavby. Staví se ve velkém, na okrajích měst dochází k výstavbě budov na půdě, která byla prozatím využívána pouze pro zemědělské účely.

## Úloha inženýrskogeologického průzkumu

V soukromém sektoru závisí většinou rozsah inženýrskogeologického průzkumu na projektantovi stavby, který se snaží minimalizovat finanční náklady. Nedostatek financí pak způsobuje, že průzkum základové půdy je nedokonalý a bývá založený na několika mělkých sondách. Geomechanické parametry často vycházejí jen ze zatřídění zeminy podle normy ČSN 73 1001.

## Vznik sesuvu na staveništi

V městské části Brno-Medlánky začala na jaře roku 2005 výstavba rozsáhlého sídliště několikapatrových obytných souborů. Dva roky před výstavbou byl na místě budoucího staveniště proveden inženýrskogeologický průzkum. Staveniště se nacházelo v mírném svahu 1 : 9 až 1 : 12. Již z geologické mapy (6) vyplynulo, že je plánováno v místě výchozu vápnitých jíllů spodnobadenského (neogenního) stáří. Z geomechanického hlediska se

jedná o vysoce plastické jíly (F8 CH) s vlhkostí na mezi tekutosti vyšší než 80 %. Přesto se v místě staveniště provedlo pouze několik mělkých malopřůměrových vrтанých 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 5patrových budov v několika liniích nad sebou plošně. Projektant stavby vytušil hrozící nebezpečí a založení staveb vyprojektoval jako hlubinné – na plovoucích pilotách spřažené důkladně armovalou základovou deskou.

Po zahájení zemních prací v nižší linii (téměř paralelně s vrstevnicemi svahu staveb) došlo vlivem podkopání svahu ke vzniku plošného sesuvu (obr. 1 až 3). Sesuvné pohyby způsobily vytečení vysoce plastických jíllů zpod základové spáry základové desky (obr. 3) a současně byly obnaženy hlubinné základové konstrukce. Zemina, která stékala do stavební jámy, byla průběžně odstraňována. Aby nedošlo ke kompletnímu přemístění zeminy z podzákladí, byla níže pod realizovanými základovými konstrukcemi postavena štětovnicová stěna Larsen. Nad konstrukcemi (na hranici s parcelami jiných vlastníků) byla postavena kotvená pilotová stěna, která měla zadržet sesouvající se zeminu. Z původní délky přibližně 30 m se nakonec preventivně rozšířila na délku cca 250 m. V současnosti však i nadále dochází na staveništi v Medlánkách k drobným svahovým pohybům. Pilotová stěna (s průměrem CFA pilot 600 mm, založená v hloubce 5 až 18 m) zřejmě nebyla správně dimenzovaná a na některých místech, kde stavba nebyla ještě zahájena, se začala trhat.



Obr. 1 Situace na staveništi; během zemních prací došlo ke vzniku sesuvu ve zvětralých vysoce plastických jílech.



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

## 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 18metrového vrtu bylo odebráno 20 neporušených vzorků určených k mechanickému testování. Svrchních 13 m jádra tvořil zvětralý jíl béžové barvy s častými drůzami sádrovce, od hloubky 13,4 m byl zastížen zdravý pevný neogenní jíl zelené barvy. Na základě geofyzikálního průzkumu georadarem (3) se zjisti-

la mocnost neogenních jílu větší než 30 m. Ve vrtném profilu byly zjištěny dvě smykové plochy. První fosilní smyková plocha se indikovala nálezem rozloženého dřeva (hloubka 17,0 m), druhá recentní byla rozpoznána díky náhlé litologické a barevné změně jílu. Pohřbené dřevo bylo radiometricky datováno. Jeho stáří bylo větší než 40 tisíc let.

Z výsledků laboratorních zkoušek vyplynulo, že s rostoucí hloubkou odběru se pevnost zeminy zvyšuje. Bylo provedeno několik zkoušek typu UU, při kterých se testovalo pět až sedm těles pro jeden výsledek. Totální úhel vnitřního tření s hloubkou nelineárně narůstal z hodnoty  $\pm 0^\circ$  (měkká konzistence, hloubka 3,5 m) až do  $11^\circ$  (pevná konzistence, hloubka 17,8 m). Velikost koheze rostla z hodnoty 100 do 170 kPa.

Se zvětšující se hloubkou odběru rostla také velikost pevnostních charakteristik v efektivních parametrech. Úhel vnitřního tření se mírně zvětšoval a jeho velikost se pohybovala v intervalu  $21^\circ$  až  $24^\circ$ . Velikost koheze se také zvětšovala výrazněji, avšak rozptyl hodnot byl 30 až 50 kPa.

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). Původní pevnost neporušeného vzorku (při standardním testování podle ČSN 72 1030) byla vyjádřena parametry o velikosti  $\varphi_{ef} = 22,5^\circ$ ,  $c_{ef} = 39,1$  kPa. Při posunu na smykové ploše o 5 cm se pevnostní parametry snížily na 1/3.

Laboratorní rozbor podzemní vody (1) prokázal abnormálně vysokou koncentraci síranových (2 680 mg/l), hydrogenuhličitanových (800 mg/l) a volných vápníkových (530 mg/l) iontů. Z odebraných vzorků jílu byly prováděny i RTG difrakční analýzy. Nejnáznornější příklady byly z hloubek 3,5 m a 17,5 m. Z RTG analýz vyplynulo, že se zastoupení jílových minerálů v profilu vrtu zásadně neměnilo. Měnilo se pouze procentuální zastoupení karbonátů. V povrchových partiích nebyly karbonáty přítomny a v hloubce tvořily jíly z 10 až 15 % karbonáty.

## Diskuse

Pevnostní charakteristiky zastižených zemin se na lokalitě Medláňky s narůstající hloubkou odběru výrazně mění. U totálních parametrů mohl být nárůst pevnosti jílu vyvolán zvýšením zastoupení kalcitu a také změnou saturace.

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

V povrchových partiích (do 6 m) zkoumaného profilu byly nalezeny velké drúzy sád-



**Obř. 3** Ztekucený jíly „odtekly“ zpod základové spáry, konstrukce zůstaly stát pouze na pilotách.

rovce, jejichž vznik lze vysvětlit reakcí síranových iontů obsažených ve vodě s ionty vápníku uvolněnými krasovými procesy z kalcitu. Vlivem krystalizace sádrovce dochází k potrhání jílu, neboť jeho molární objem je dvakrát větší než molární objem kalcitu (4). Důležitým aspektem pro proces potrhání jílu je také velký krystalizační tlak sádrovce až 28,2 MPa (2), který zde několikanásobně převyšuje tlak z nadloží.

Trhlinami v jílu proniká do zemního masivu dešťová voda, která způsobuje další zvětrávání sedimentu a bobtnání jílu. Při adsorpci vody na povrch šupinek klesá síla chemických vazeb mezi krystaly, což také zásadně ovlivňuje pevnost sedimentu (8). Na smykové ploše již proběhla dilatance, jsou zde porušeny cementační vazby a dochází rovněž k drobnému prohnětení zeminy (5).

## Závěr

Sanovaný svah v Brně-Medláňkách je paleosesuv, který byl evidentně reaktivován nesprávně navrženými zemními pracemi a také použitím nepřesných mechanických parametrů pro statické výpočty. Chybné podklady dodal neodborně provedený inženýrsko-geologický průzkum.

V povrchových partiích zemního masivu dochází vlivem zvýšeného podílu  $\text{CO}_2$  v atmosféře ke krasování kalcitu, a tím k porušení cementačních vazeb mezi krystaly jílu. Reakcí volných iontů  $\text{Ca}^{2+}$  s  $\text{SO}_4^{2-}$  vzniká sádrovec, jehož vysoký krystalizační tlak zřejmě 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 stabilitní poměry tak, že nastane sesutí svahu. Ke vzniku sesuvů docházelo v místě staveniště i v dávné minulosti. Jedná se tedy o kontinuální proces spojený se zvětráváním a erozí neogenního jílu pro-

bíhající zřejmě od doby po ústupu spodnobadenského moře před 16,5 miliony let.

**TEXT:** RNDr. Ivan Poul

**FOTO:** autor

Autor je ředitelem firmy iGeo – RNDr. Ivan Poul.

## Literatura

- (1) Fojtík, K.: Brno – Nové Medláňky – obytný soubor – sanace sesuvu. Brno, 2005.
- (2) Heidingsfeld, V.: Fyzikální a chemická koroze stavebních materiálů. In: Kotlík, P. ed.: Voda – nepřítel památek. Sborník Stop, Praha, 1997.
- (3) Hubatka, F.: Brno-Medláňky, průzkum sesuvu georadarem. Kolečconsult a servis s. r. o., Brno.
- (4) Linde, D. R.: CRC Handbook of Chemistry and Physics – 75th Edition. CRC Press. Boca Raton, Ann Arnot, London, Tokyo, 1994.
- (5) Mencl, V.: Mechanika zemín a skalních hornin. Praha Academia: 1966.
- (6) Novák, Z.: Základní geologická mapa, Brno-sever. ÚÚG Praha, 1988.
- (7) Poul, I. – Štábl, S.: Problémy svahových deformací při realizaci obytných budov v Brně – Medláňkách. Juniorstav, VUT v Brně, FAST 2006.
- (8) Šimek, J., Jesenák, J., Eichler, J. & Vaníček, I.: Mechanika zemín. Praha SNTL: 1991.

## Annotation (názov článku po anglicky)

The Geotechnics and the Engineering Geology are important parts of the delivery of the construction project. In the west Europe are for these reasons set apart approximately 2 – 5 % of the construction price. This way does not work in our country at all. Due to the inaccurate soil research projects are oversized and make constructions extremely expensive. In the opposite side there can appear instability problems during the use of low safety factor calculations. Due to poorly accomplished geotechnical research appeared the problem which is being discussed in a following text.