

# FOSILNÍ SESUVY V NEOGENNÍCH MOŘSKÝCH JÍLECH NA SEVERU BRNĚNSKÉ AGLOMERACE – PODCENĚNÝ ASPEKT PRO ZALOŽENÍ OBYTNÝCH STAVEB

Underestimated aspect of the building foundations – paleo-landslides in Neogene marine clays in the north part of Brno city

Ivan Poul<sup>1,2</sup>, Oldřich Krejčí<sup>1</sup>, František Hubatka<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Česká geologická služba, Leitnerova 22, 658 69 Brno; e-mail: ivan.poul@geology.cz

<sup>2</sup> Vysoké učení technické v Brně, FAST, Ústav geotechniky, Veveří 95, 602 00 Brno

<sup>3</sup> Kolej Consult a servis s. r. o., Křenová 131/35, 602 00 Brno; e-mail: hubatka@kcas.cz

(24–32 Brno)

**Key words:** Landslide, Neogene, clay, weathering, georadar-sections, VES

## Abstract

*This text is focused mainly on landslide-affected clays and clayey soils taken from the Brno-Medlánky territory. The clays based on mechanical properties are in fact the most complicated types of soils. They are 3D expandable, unstable in volume, mostly with low level of bearing capacity and susceptible for landsliding. The Brno Neogene type of clay is overconsolidated and significantly anisotropic. Secondary anisotropy (tectonically and by landslides generated shear zones) reflects seriously the results of the mechanical tests. Geo-radar measurements and boreholes proved the landslide observations; the human-reactivated landslide in Medlánky was radiometrically dated to be older than 40 KY.*

## Úvod

Na s. okraji brněnské aglomerace v městské části Brno-Medlánky započala v první polovině roku 2005 výstavba rozsáhlého sídliště na půdě, která byla doposud využívána pouze pro zemědělské účely. Před zahájením stavby proběhly dvě etapy inženýrskogeologického průzkumu, během něhož geolog provedl pouze několik maloprofilových mělkých sond. Geolog v závěrečné zprávě vyhodnotil staveniště nesprávně druhou geotechnickou kategorií, doporučil plošné založení staveb a navrhl způsob svahování stavební jámy (Grünvald 2003). Projekt stavby vycházel tedy pouze z rozsahem nedostatečného a špatně provedeného průzkumu. Během provádění stavebních jam, určených pro hlubinné založení (navrhl projektant) a výstavbu suterénu, došlo vlivem podríznutí svahu ke vzniku relativně rozsáhlého sesuvu, který posléze ohrožoval výstavbu. Vlivem zplastizování zeminy došlo občasné až k sesutí zeminy z pod základových desek, čímž došlo k obnažení hlubinných základových konstrukcí. Vzniklý sesuv byl na doporučení projektanta stavby (nad probíhající výstavbou) sanován kotvenou pilotovou stěnou, sesouvající se zemina z pod základové spáry byla zadržena štetovou stěnou. Sesuv na staveništi v Medláncích se stal zajímavou „atrakcí“ pro stavební inženýry a geotechniky a současně se stal předmětem výzkumu Ústavu geotechniky FAST VUT v Brně a České geologické služby.

## Geologická situace

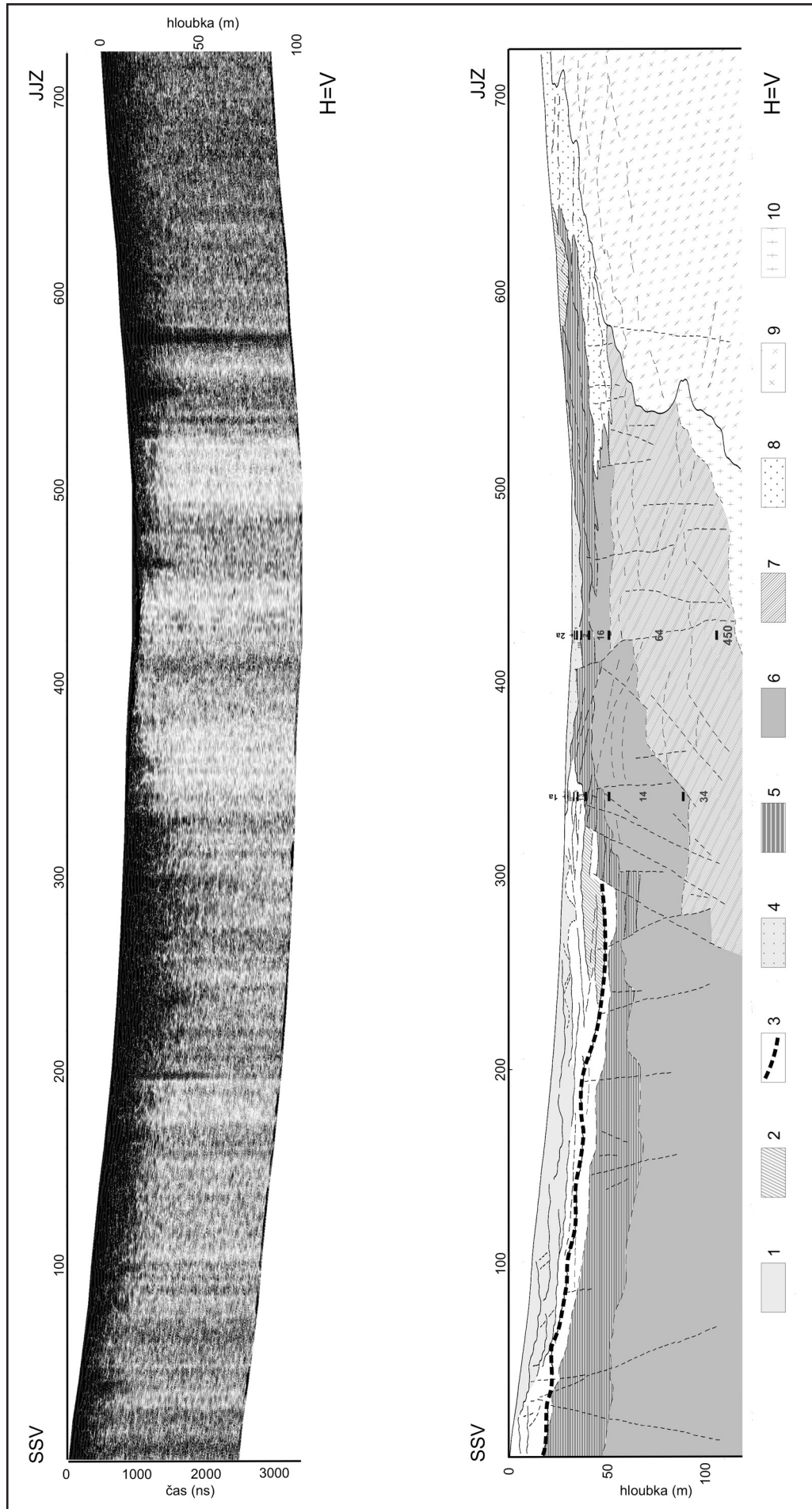
Geomorfologicky území leží na styku Brněnské kotliny a Řečkovicko-Kuřimského prolomu. Terén je mírně svažité (přibližně 1 : 10–1 : 12) uklánějící se směrem k Z k Medláneckému potoku, nadmořské výšky se pohybují v rozmezí 220–270 m n. m. Na základě mikropaleontologického rozboru je svah budován neogenními vápnatými jíly, tzv. „tégly“, spodnobadenského stáří (P. Tomanová

Petrová, ústní sdělení). Z provedených vrтанých sond vyplývá, že nejvrchnější vrstvy tvoří kvartérní pokryv ornice a spraše. Hluběji byly zastíženy zvětralé rezavo-šedé jíly, od hloubky přibližně 12 m pod povrchem leží šedo zelené jíly. Na základě provedených sond VES (vertikální elektrické sondování) je hlubší výplň Řečkovicko-Kuřimského prolomu zřejmě budována neogenními písky a pískovci v nadloží granitoidů brněnského masivu. Analogie písků a pískovců lze srovnávat se sedimenty z Černovické terasy na J Brna. Celkovou mocnost neogenních sedimentů lze z gravimetrických studií odhadnout na první desítky metrů (Šrámek, ústní sdělení).

## Geofyzikální měření

Georadarové měření bylo realizováno na třech profilech L0, L1 a L2 o celkové délce 1 158 m geofyzikálním radarem PULSE EKKO PRO kanadské firmy Sensors & Software při frekvenci 50 MHz, s rozstupem antén 4 m a prodlouženou dobou registrace 3 000 ns. Krok měření byl 0,5 m, počet měření (stack) na trasu byl 64. Naměřené výsledky na radarových profilech byly podrobeny zpracování v běžném režimu s použitím programového souboru EKKO View Deluxe. To zahrnovalo patřičné zesílení signálu, filtraci šumu, zjištění a zavedení skutečné rychlosti šíření signálu. Poté byly jednotlivé řezy vytištěny. Po revizi takto upravených terénních záznamů bylo provedeno nadstavbové zpracování dat, které zahrnovalo migraci, výpočet okamžitých fází (Hilbertovy transformace) a zavedení reliéfu terénu – topokorekce.

Pro převod časových radarových řezů na hloubkové byla zvolena průměrná hodnota rychlosti šíření elektromagnetických vln, která byla stanovena na základě měření CMP (společný reflexní bod) na lokalitě. Pro konstrukci hloubkových řezů byla na základě tohoto měření stanovena průměrná hodnota efektivních rychlostí 0,07 m/ns.



Obr. 1: Geofyzikální profil P0 přes nestabilní svah na novém sídlišti Brno-Medlánky, vrt Medlánky-1 je situován v místě nestabilního tělesa a), b) interpretace. Vysvětlivky: 1. vymezení stávajícího sesuvu, 2. vymezení staršího sesuvu, 3. báze sesuvných pohybů, 4. kvartér, 5. jíly (nízké odpory, baden), 6. písčité jíly (baden), 7. písky (vyšší odpory, baden), 8. deluviální komplex, 9. skalní podloží (metabazit), 10.) zvětraliny a svahoviny (předbadenské).

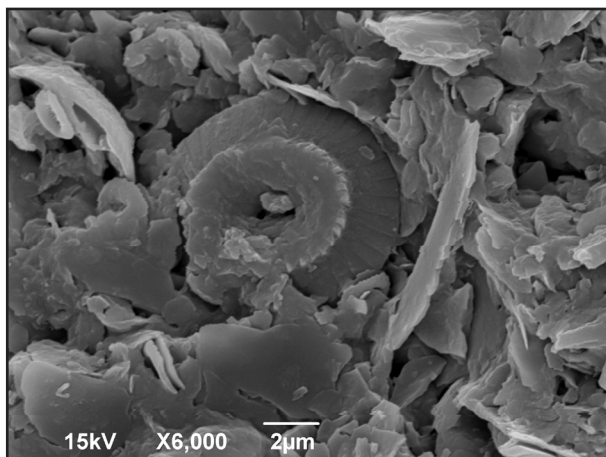
Fig. 1: Geophysical profile P0 across the non-stable slope (Brno-Medlánky), borehole Medlánky-1 can be found where the mass is unstable a), b) interpretation, key: 1. recent landslide, 2. fossil landslide, 3. shear zone, 4. Quaternary, 5. clays (low counteraction, Badenian), 6. sandy clays (Badenian), 7. sands (higher counteraction), 8. deluvial deposits, 9. bedrock (metabasite), 10. weathered rock deluvial deposits (before Badenian).

Tato rychlost odpovídá badenským jílům. Kvalita georadarových záznamů je velmi dobrá. Užitečný signál byl registrován minimálně do hloubek 30 m. Interpretace georadarových profilů byla zaměřena na primární vymezení georadarových facií a reflexních rozhraní, tj. na vymezení hlavních sesuvných struktur, hlavně pak na lokalizaci báze sesuvu. Pro vymezení hlubších struktur, okraje krystalinika a tektonických linií bylo využito zpracování v režimu okamžitých frekvencí. Na základě primární interpretace georadarových profilů byl sestaven geologicko-geofyzikální řez v měřítku 1 : 1 000/1 : 500, ve kterém je rozpracována vnitřní struktura zájmového sesuvného území (obr. 1).

Za účelem litologického zařídění georadarových facií byly odměřeny dvě sondy VES. Podmínky pro měření nebyly ideální, a tak je nutné výsledky brát jen jako orientační údaj. Podle měrných odporů, které se postupně zvyšují s hloubkou, se ukazuje, že v podloží badenských jílů (dle vrtného průzkumu sondy Medláanky-2 hlouběji než 25 m) se může nacházet písčité komplex, který může tvořit elevační strukturu.

### Geotechnické poměry

Pro získání geomechanických charakteristik byly autory příspěvku v místě staveniště v Medláankách provedeny dva inženýrsko-geologické vrty (Medláanky-1 a Medláanky-2). Vrt Medláanky-1 byl situován přímo na tělese sesuvu. Z petrologického popisu všech vrtů vyplývá, že přibližně svrchních 12 m je tvořeno pokryvem, který vznikl zvětráváním, sesouváním a přeplavováním obnažených partií spodnobadenských jílů. Tyto jíly jsou tvořeny převážně smíšeněvrstevným illit/smektitem, smektitem, illitem, kaolinitem, křemenem, živci a případně karbonáty, které jsou obsaženy zejména ve schránkách mikrofosilií (obr. 2)



Obr. 2: Karbonáty jsou vázány převážně na schránky drobných fosilních organismů, okolí tvoří krystalicity illit/smektitu (foto Škoda a Poul).

Fig. 2: Carbonates are mostly bound on the little fossil organisms' shells, illite/smectite crystals form surroundings (photo by Škoda and Poul).

a občasné sádrovcovými druhy (Poul – Koubová 2008). Dle normy ČSN 73 1001 lze neogénní zeminy zařadit jako F8 CV, dle ISO 14688-1 Cl, siCl a cFSi. Velký obsah expandabilních minerálů způsobuje typickou vlastnost

jílů – objemovou nestálost. Hluběji byly zastiženy typické šedo zelené jíly pevné konzistence, které lze zařadit dle ČSN 73 1001 jako F8 CV a od 22,3 m až na bázi vrtu Medláanky-2 (25,0 m) se jedná o zeminy F7 MV (hodnocené dle ISO 14688-1 Cl).

V profilu průzkumného vrtu Medláanky-1 bylo potvrzeno velké množství dílčích smykových ploch. Na některé z nich jsou vázány výskyty sádrovců. V profilu Medláanky-1 byly potvrzeny minimálně 3 významné smykové plochy. Vzhledem k tomu, že se jíla chová křehce a snadno se láme, nejedná se obvykle o plochu jedinou, ale o soubor více ploch, na kterých byl současně, či střídavě uskutečňován pohyb. Tyto smykové plochy zásadně ovlivňují smykovou pevnost jílů při smykových zkouškách. Ve vrtu Medláanky-1 byl v hloubce 17,0 m nalezen na staré smykové



Obr. 3: Pohřbené fosilní dřevo na smykové ploše vzniklé sesuvným pohybem svahu, vrt Medláanky-1, hloubka 17,0 m.

Fig. 3: Buried fossil wood on the shear zone created by downhill movement of the slope, borehole Medláanky-1, depth 17,0 m.

ploše úlomek téměř rozloženého dřeva (obr. 3), který byl radiometricky datován. Velmi zajímavým zjištěním je narůstání vlhkosti zeminy od povrchu směrem do podloží (23,4–38,7 %). Ve vrtu Medláanky-2 byly zjištěny smykové zóny 17,8–18,2 m (potvrzen další výskyt zuhelnatělého dřeva) a 24,5–25,0 m (Poul 2009). Dále bylo zjištěno, že během zvětrávání jílu dochází také k rozvolňování vazeb ve smíšeněvrstevném illit/smektitu a dochází k vyplavování  $K^+$ , tímto se zvyšuje poměr smektitu k illitu. Zvýšení obsahu smektitu způsobuje nárůst adsorbační kapacity vody do zeminy, snižování konzistence a současně smykové pevnosti jílu. Toto je patrné na nárůstu efektivního úhlu vnitřního tření (21–22°) a koheze (32–75 kPa) směrem do hloubky. V případě měření velikosti totálních smykových parametrů dochází vlivem existence fosilních smykových ploch k poklesům pórových tlaků během namáhání a výsledky vykazují hodnoty, které nelze ztotožňovat s moderním pojetím mechaniky zemín.

### Diskuze

Na lokalitě Brno-Medláanky byly provedeny dva studijní vrty: jeden v těle aktivního sesuvu, druhý na dočasně stabilním svahu. V tělese sesuvu byla zjištěna inverze nárůstu vlhkosti zeminy (narůstá směrem do hloubky v kontradikci s vrtem Medláanky-2), což může být způ-

sobeno prohnětením zeminy s vodou během sesuvného pohybu. Dřevo nalezené v průzkumném vrtu Medlanky-1 v hloubce 17 m bylo evidentně pohřbeno během svahového pohybu. Bylo nalezeno na fosilní smykové ploše a podle radiometrického datování je starší než 40 000 let. Z uvedeného vyplývá, že sesuv, který vznikl důsledkem nešetrného zásahu člověka, byl reaktivovaným fosilním sesuvem. Ze studia fotografií smykových ploch jílu pořízených pod elektronovým mikroskopem vyplývá, že pokud je jíl smykově porušen, dochází na ploše ke změně uspořádání krystalitů jílových minerálů. Současně zde dochází ke změně vlhkosti vlivem dilatačního chování a nasávání vody z okolí. Tato smyková plocha se nikdy úplně „nevyhojí“ a smyková pevnost je zde značně oslabená. Po smykových plochách potom mohou snadněji migrovat fluida, klesá konzistence zeminy a povrchová voda migrující v jílu způsobuje další zvětrávání.

### Závěr

Zkoumaný svah pod sídlištěm v Brně-Medlankách je evidentně paleosesuv, který byl reaktivován nesprávně navrženými zemními pracemi. Těleso sesuvu je dobře patrné na geofyzikálním profilu (obr. 1). V povrchových partiích jílového masivu dochází ke zvětrávání illit/smektitu za vzniku smektitu a snad i ke zvětrávání kalcitu, na jehož úkor krystalizuje sádrovec. Sádrovec je patrný zejména na fosilních smykových plochách. Smykové plochy mohou být způsobené fosilními svahovými deformacemi, mohou souviset s dozníváním alpínského vrásnění a nebo mohly vzniknout konsolidačními procesy. Migrující voda v trhlinách způsobuje další zvětrávání, měknutí a tím i snížení pevnosti jílu. Velký vliv na zvětrávání jílu a změny struktury má i promrzání. Dlouhodobým intenzivním zvětráváním jílové zeminy se postupně zhoršují původní stabilní poměry do té míry, až nastane sesutí svahu. Ke vzniku sesuvů docházelo v místě sídliště i v dávné minulosti (doložen je sesuv starší než 40 000 let). Jedná se tedy o kontinuální proces spojený s erozí neogenního jílu probíhající zřejmě již nedlouho po ústupu spodnoba-denského moře (16,5 Ma).

### Poděkování

*Rádi bychom poděkovali R. Škodovi za pomoc s prací na elektronovém mikroskopu.*

### Literatura

- Grünvald, Z. (2003): Inženýrsko geologický průzkum pro bytové domy Brno-Medlanky. – MS, HIG geologická služba. Brno.  
 Poul, I. (2009): Vliv mineralogického složení na mechanické chování zemin. – MS, disertační práce, FAST, VUT v Brně.  
 Poul, I. – Koubová, M. (2008): Mechanické vlastnosti překonsolidovaných jílu v brněnské aglomeraci. – *Sekurkon, Zakládání staveb*, 36, 137–142. Brno.