## 1. Úvod

- Trolejbusová vozovna Brno - Komín - Situace širších vztahů č. 1 - 1 : 2.000 (SÚDOP Brno, s.r.o., 1993)
- Trolejbusová vozovna Brno - Komín - Koordinační situace č. 2 - 1 : 500 (SÚDOP Brno, s.r.o., 1993)
- Geometrický plán pro oddělení částí parcel (Geodezie, a.s., Brno, 1993)
- Brno - trolejbusová vozovna: Polohopisný a výškopisný plán 1 : 500 (Centroprojekt Zlín, a.s., 1994) - rematrice

Dalšími použitými podklady byly popisy vrtů poskytnuté Geofondem Praha vyhloubených v bezprostředním okolí staveniště vozovny a popis zastižených vrstev při hloubení hydrovrtu v rámci téže objednávky pod bodem 2.

V průběhu průzkumné činnosti po ukončení sondáže byly objednateli předány předběžné výsledky dopisem č.j. 214/94/3310 ze dne 30.11.1994. Další šetření potvrdilo správnost uváděných údajů, proto závěry předběžné zprávy nejsou v rozporu se závěry této zprávy.

## 2. Náplň průzkumných prací

Inženýrskogeologický průzkum byl prováděn s cílem založení komplexu objektů trolejbusové vozovny sestávající z administrativní budovy celkové výšky 21,8 m, situované v jižní části staveniště, plošně nejrozsáhlejších dvoupodlažních garáží (výšky 13,5 m) zabírající severovýchodní a střední část staveniště a menších dvoupodlažních objektů dílen a pomocných provozů v severozápadní části staveniště. Všechny objekty projektant uvažoval zakládat na širokoprofilové piloty O 120 cm.

Před započetím vlastního průzkumu byl vypracován Projekt geologickoprůzkumných prací, v němž byl specifikován druh a rozsah průzkumné činnosti. Ve zmíněném projektu bylo navrženo vyšetření sledu vrstev 6 jádrovými vrty hlubokými 20 m s odběrem neporušených, porušených a technologických vzorků zemin a vzorků vody pro laboratorní stanovení fyzikálních a mechanických vlastností zemin důležitých pro návrh založení objektů a zjištění eventuelní agresivity podzemní vody na stavební materiál. Projekt dále uvažoval s geodetickým zaměřením vyhloubených sond.

Jádrové vrty Ø 245 mm vyhloubila osádka vrtmistra p. Šimka z firmy GEOS Brno pojízdnou soupravou URB 2A do projektovaných hloubek s výjimkou vrtu v severovýchodní části staveniště označeného J2, který byl po prokazatelném zastižení skalního podkladu v hloubce 15,3 m ukončen. Technická zpráva o hloubení sond je zařazena jako příloha č. 7 této zprávy. Sondy byly sitačně i výškově zaměřeny měřickým oddělením a.s. Geotest Brno, jež podalo o výsledcích měření zprávu tvořící přílohu č. 8. Poloha sond by zakreslena do situace 1 : 500 (příloha č. 2).

Sondy byly dokumentovány zpracovatelem akce ihned po jejich vyhloubení. Popisy zastižených vrstev jsou uvedeny v příloze č. 3 - Dokumentace sond.

Laboratorní zkoušky odebraných vzorků zemin proběhly v laboratoři mechaniky zemin Geotestu Brno. Metodika zkoušek a jejich výsledky jsou obsaženy v příloze č. 5.

Zkrácený chemický rozbor vzorků podzemní vody se uskutečnil v hydrochemické laboratoři Geotestu Brno. Jeho výsledek uvádí příloha č. 6.

Z výsledků sondáže a po upřesnění makroskopického popisu zastižených vrstv zemin laboratorními zkouškami byly zkonstruovány schematické inženýrskogeologické řezy, které byly zařazeny do přílohy č. 4. Geotechnické vlastnosti zemin stanovené na základě laboratorních zkoušek jsou komentovány v kapitole č. 4 a zjištěné základové poměry v kapitole č. 5.

## 3. Geomorfologické a geologické poměry zájmového území

Zájmové území je situováno v rovinatém území údolní nivy řeky Svratky rozšiřující se v kotlinu. Území je téměř vodorovné - největší převýšení činí pouze 0,2 m ( s výjimkou nejjižnější části, kde je původní terén překryt vrstvou násypu na výšku 1 m). Staveniště vozovny se přimyká k úpatí výrazné elevace Palackého vrchu, jehož svahy při přechodu do údolní nivy jsou mírné - jsou zde vytvořeny ve sklonu cca 3 - 5°. Podle Geomorfologického členění ČSR (ČSAV - Geografický ústav Brno, 1970) náleží vyšetřovaný prostor do Lipovské vrchoviny, jež je dílčím podílem (podcelkem) orografického celku Bobravské vrchoviny - součástí podsoustavy Brněnské vrchoviny.

Předkvartérní podklad zájmového území tvoří především neogenní - tortonské vápnité jíly, které se nacházejí v celém rozsahu vyšetřovaného prostoru. Litologicky jde o zelenavě šedé a modrošedé, v povrchových partiích místy mramorované, většinou nepravidelně odlučné, v navětralém stavu drobně polygonálně rozpadané, často nevrstevnaté vápnité jíly s ojedinělými vlož-

kami jemného písku, případně obsahující ostrohranná štěrková zrna.

Podloží neogenních jílů bylo zastiženo pouze jedním vrtem v severovýchodní části staveniště v hloubce 10,3 m. Je tvořena krystalinikem - tmavou až černou bazickou horninou (diabas ?), jež tvoří pásmo v centrální části brněnského vyvřelého masivu. Skalní hornina je zde v povrchové vrstvě silně rozpukaná, takže se odlučuje v drobnějších nepravidelných úlomcích.

Kvarterní pokryv tvoří pleistocenní štěrky, jejichž zrna jsou většinou středně opracovaná, často však obsahují i zrna ostrohranná, což svědčí o relativně krátké transportní vzdálenosti. Obsahují místy hlinitou příměs. Báze vrstvy, respektive souvrství štěrku se nachází v hloubkách 8,3 - 10,0 m, přičemž její nejmenší hloubka je v severovýchodní části, západním a zejména jižním směrem se zvětšuje. Povrch vrstvy štěrků je prakticky vodorovný - nachází se v hloubce 4,9 - 5,0 m.

Štěrky jsou kryty holocenními náplavy - hlínami a hlinitými písky. Nejsvrchnější vrstvu tvoří ornice, která je vyvinuta je v malé mocnosti, a která plynule přechází do podložní vrstvy prachovité hlíny s menším obsahem organických součástí.

Antropogenní sedimenty - navážky se nacházejí v nevelkém rozsahu v nejjižnější části území. Jejich mocnost je cca 1 m a jsou tvořeny písčitým materiálem.

Z hlediska hydrogeologie se jedná o území se souvislou hladinou podzemní vody. Vodní kolektor tvoří vrstva štěrků. V důsledku existence málo propustných jemnozrnných sedimentů překrývajících tuto vrstvu je hladina podzemní vody mírně napjatá - po naražení vystupuje průměrně o 0,5 m. Celkem má ustálená hladina mírný sklon jižním až jihozápadním směrem, t.zn. směrem k řece Svratce vzdálené od zájmového území cca 400 m.

Podle chemického složení je podzemní voda středně mineralizovaná a tvrdá, s převažující přechodnou složkou tvrdosti. Její reakce je neutrální, agresivní oxid uhličitý není přítomen. Voda rovněž nevykazuje síranovou agresivitu na stavební materiál.

## 4. Geotechnické vlastnosti hornin

V prostoru staveniště bylo sondáží zjištěno několik geotechnicky odlišných typů hornin, jejichž vlastnosti byly určovány jednak přímým stanovením laboratorními zkouškami, jednak odvozením s použitím směrných normových hodnot na základě zatřídění zpřesněného výsledky laboratorních zkoušek popisných vlastností.

Hlíny - prachovité a písčité tvoří podstatnou část souvrství jemnozrnných zemin ve svrchní části půdního profilu. Nacházejí se v celém rozsahu staveniště. Na většině území jsou rozděleny vložkou hlinitých, resp. jílovitých písků do dvou vrstev. Svrchní prachovitá hlína podle svého granulometrického složení náleží do třídy F5 normy ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy a označuje se symbolem ML. Obsahuje příměs organických látek v množsví pod 2 %, což zmíněná norma považuje za zanedbatelné. Obsah organických látek se zvyšuje v povrchové zóně tvořící ornici, přechod do vrstvy ornice však je plynulý. Jejich vlhkost je ve svrchních polohách (do cca 2 m pod povrchem) nižší než mez plasticity, mají zde proto pevnou konzistenci. Spodní vrstva - převážně písčitá hlína (třída F4, CS) má konzistenci tuhou,výjimečně i měkkou. Pro geotechnické výpočty lze užít následující hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností této zeminy:

| | | |
|---|---|---|
| objemová hmotnost | $\rho$ | 1850 kg.m$^{-3}$ |
| modul přetvárnosti | $E_{def}$ | 5 MPa (4 MPa) |
| Poissonovo číslo | $\nu$ | 0,35 |
| totální soudržnost | $c_u$ | 50 kPa (30 kPa) |
| totální úhel vnitř. tření | $\varphi_u$ | 0° |
| efektivní soudržnost | $c_{ef}$ | 14 kPa |
| efektivní úhel vnitř. tření | $\varphi_{ef}$ | 25° |

Hodnoty v závorce platí pro zeminy s měkkou konzistencí.

ČSN 72 1002 Klasifikace zemin pro dopravní stavby zařazuje tyto zeminy do stejné třídy jako ČSN 73 1001, avšak do podskupiny označené symbolem $CS_1$. Popisované zeminy jsou namrzavé až nebezpečně namrzavé, podle vhodnosti pro silniční podloží se zařazují do skupin IV. a V. Z hlediska použití do násypových těles se jedná o zeminy vhodné.

Podle těžitelnosti náleží do 2. třídy, respektive do 3. třídy ČSN 73 3050 Zemní práce - podle konzistence (tuhé - pevné).

Hlinité písky (třídy S4 a S5 - SM, SC) tvořící vložku ve vrstvě hlin mají příznivější vlastnosti jak z hlediska zakládání staveb, tak i z hlediska silničních účelů. Jsou vlhké, pod hladinou podzemní vody vodou nasycené. Zpravidla jsou středně ulehlé. Jejich fyzikální a mechanické vlastnosti mají následující hodnoty:

| | | |
|---|---|---|
| objemová hmotnost | $\rho$ | 1850 kg.m$^{-3}$ |
| modul přetvárnosti | $E_{def}$ | 10 MPa |
| Poissonovo číslo | $\nu$ | 0,30 |
| efektivní soudržnost | $c_{ef}$ | 5 kPa |
| efektivní úhel vnitř. tření | $\varphi_{ef}$ | 28° |

Pro použití jako silniční podloží jsou vhodné (II. - V. skupina), avšak jsou namrzavé - je nutnou zamezit přístupu vody do této vrstvy. Jako násypový materiál jsou vhodné až velmi vhodné. Z hlediska těžitelnosti náleží do 2. třídy.

Štěrky tvořící souvislé souvrství v celém rozsahu zájmového území. Jejich zrnitostní složení však není jednotné - obsahují různé množství hlinitých a písčitých součástí, takže je norma zařazuje do tříd G3 (symbol G-F) nebo G2 (GP). Jsou ulehlé, poskytují proto velmi dobrou základovou půdu, což je dáno jejich příznivými vlastnostmi:

| | | |
|---|---|---|
| objemová hmotnost | $\rho$ | 1950 kg.m$^{-3}$ |
| modul přetvárnosti | $E_{def}$ | 100 MPa |
| Poissonovo číslo | $\nu$ | 0,25 |
| efektivní soudržnost | $c_{ef}$ | 0 kPa |
| efektivní úhel vnitř. tření | $\varphi_{ef}$ | 36° |

Při použití uvedených hodnot (zejména objemové hmotnosti) ve výpočtech je nutnou upozornit na skutečnost, že štěrky se v celém rozsahu staveniště nacházejí pod hladinou podzemní vody. Obsahují většinou zrna větších rozměrů, převážně nad 100 mm do 250 mm v objemu až 50%, jsou proto obtížně těžitelné - náleží do 4. třídy.

Neogenní jíly se nacházejí rovněž v celém rozsahu zájmového území. Jedná se o jemnozrnné zeminy, zpravidla s velmi vysokou plasticitou, zařazované do tříd F7 a F8 a označované symboly MV a CV (výjimečně F6 CI). Jejich vlhkost je blízká jejich mezi plasticity, proto zjištěný stupeň konzistence se pohyboval v mezích 0,93 - 1,07, charakterizující tuhou až pevnou konzistenci. Uvedené skutečnosti podmiňují jejich vlastnosti důležité pro návrh zakládání objektů:

| | | |
|---|---|---|
| objemová hmotnost | $\rho$ | 2100 kg.m$^{-3}$ |
| modul přetvárnosti | $E_{def}$ | 7 až 12 MPa |
| Poissonovo číslo | $\nu$ | 0,40 |
| totální soudržnost | $c_u$ | 50 kPa |
| totální úhel vnitř. tření | $\varphi_u$ | 3° |
| efektivní soudržnost | $c_{ef}$ | 10 kPa |
| efektivní úhel vnitř. tření | $\varphi_{ef}$ | 18° |

Modul přetvárnosti se zvětšuje s přibývající hloubkou. Hodnotu 7 MPa doporučujeme používat do hloubek 14 m, od této úrovně hodnotu vyšší.

Stupeň konzistence neogenních jílů zde nepřesahuje hodnotu 1,2 , náleží proto do 3. třídy těžitelnosti.

Skalní podklad zjištěný pouze jediným vrtem v severovýchodní části zájmového území tvoří pevné, avšak intenzivně rozpukané skalní horniny. Náleží do třídy R2 s velkou až velmi velkou hustotou diskontinuit, přičemž typ jejich procesu přetváření a porušování je křehký. Do geotechnických výpočtů lze zavádět objemovou hmotnost hodnotou $\rho$ = 2.800 kg.m$^{-3}$, modul přetvárnosti $E_{def}$ = 1.000 MPa a Poissonovo číslo $\nu$ = 0,2. Jsou velmi nesnadno rozpojitelné, náleží proto do tříd 6 až 7 v závislosti na stupni prostoupení plochami diskontinuity.

## 5. Základové poměry

Geologický profil v zájmovém území znázorněný ve schematických inženýrskogeologických řezech konstruovaných podle výsledků sondovacích prací (viz příloha č. 4) sestává ze tří základních souvrství - jemnozrnných fluviálních sedimentů, hrubozrnných fluviálních sedimentů a jílového předkvarterního podkladu. Tato souvrství mají výrazně odlišné geotechnické vlastnosti, proto poskytují základovou půdu rozdílné kvality.

Zakládání do souvrství jemnozrnných sedimentů - hlin prachovitých a písčitých a hlinitých písků přichází prakticky do úvahy jen pro stavby dočasného charakteru (zařízení staveniště) a pro nenáročné stavby trvalé (ve smyslu ČSN 73 1001). Vzhledem k tomu, že jednotlivé vrstvy jsou uloženy přibližně vodorovně a hladina podzemní vody bude ležet trvale pod úrovní základové spáry (za předpokladu zakládání do minimální hloubky 1,2 - 1,5 m), lze základové poměry považovat za jednoduché. Při návrhu založení nenáročných staveb norma připouští postup podle zásad 1. geotechnické kategorie - stanovení výpočtového namáhání základové spáry s použitím hodnot tabulkové výpočtové únosnosti uváděných v normě. Zeminy pevné konzistence v stejných úrovních lze zatížit maximálně 150 kPa, avšak vzhledem ke zhoršení geotechnických vlastností hlouběji uložených vrstev je nutno překontrolovat, aby přitížení vyvolané tíhou stavby v hloubce 3 m nepřestoupilo 80 kPa. Tuto podmínku lze splnit u základů šířky menší než 1,5 m, u širších základů je nutno kontaktní napětí přiměřeně snížit. Uvedené hodnoty platí i pro navržené staveniště včetně jeřábové dráhy s předpokládanou hloubkou uložení 0,7 m pod úrovní původního terénu.

Při plošném zakládání náročných staveb do této vrstvy je nutno postupovat podle zásad 2. resp. 3. kategorie, t.j. podle mezních stavů. Výpočtové namáhání základové spáry je nutno stanovit pro I. mezní stav - únosnost - výpočtem s použitím hodnot geotechnických vlastností uvedených v kapitole 4 a překontrolovat navržené založení výpočtem pro II. mezní stav - sedání.

Hrubozrnné fluviální sedimenty tvoří souvrství o mocnosti 3,30 m - 5,30 m. Jedná se o hrubozrnné štěrky s proměnným obsahem jemnozrnných příměsí. Celkově představují únosnou základovou půdu vhodnou zejména pro opření prvků hlubinného založení, především pilot i větších profilů. Profil pilot je však třeba volit s ohledem na mocnost tohoto souvrství. Požadavek projektanta, aby štěrky měly mocnost alespoň 4 m nutnou pro užití širokoprofilových pilot O 120 cm není splněn ve východní části staveniště sondované vrty J2 a J4, jak je patrno z přiložených inženýrsko-geologických řezů.

Pro zakládání plošné jsou štěrky méně vhodné vzhledem k vysokému horizontu podzemní vody vystupující až do výšky 2 - 3 m pod úrovní terénu. Přítoky do stavební jámy (se dnem v minimální hloubce cca v 5 m) budou značné a budou obtížně zvládnutelné čerpáním.

Podložní neogenní jíly lze užít rovněž pro zakládání, a to pro vetknutí širokoprofilových pilot v místech s nedostatečnou mocností nadložních štěrků vzhledem k užitému průměru. Hloubka zakotvení však bude velká v důsledku přenášení zatížení do masivu jílů pláštěm pilot (piloty plovoucí). Kratší délky pilot bude možno použít v okolí vrtu J2, kde je možné je opřít o skalní podklad.

Podzemní voda v prostoru staveniště není agresivní na stavební materiál. Přesto doporučujeme u konstrukcí přicházejících do trvalého styku s podzemní vodou, zejména v souvrství štěrků, aspoň primární ochranu - užití odolných druhů cementů při přípravě betonu základových konstrukcí. Podzemní vodu lze rovněž užít jako vodu záměsovou. Zdrojem vody pro tento účel může být vyhloubený hydrovrt HV 1 v bezprostřední blízkosti staveniště, jehož vydatnost je v současné době vyšetřována.

## 6. Závěr

Uskutečněný inženýrskogeologický průzkum měl za cíl vyšetřit základové poměry území uvažovaného pro výstavby trolejbusové vozovny v Brně - Komíně a stanovit podmínky pro realizaci jejího založení.

Účel průzkumu byl splněn - byl odkryt půdní profil sestávající ze tří výrazně odlišujících se geotechnických typů a současně byly stanoveny fyzikální a mechanické vlastnosti nutné pro návrh založení. Nejúnosnějším geotechnickým typem je souvrství štěrků, jehož nosnost však není v celém rozsahu staveniště dostatečná pro užití širokoprofilových pilot 120 cm. Při užití uvedeného typu prvků hlubinného zakládání je nutno upřesnit mocnost a průběh zmíněné vrstvy dalšími 3 - 4 sondami hloubenými přes celou tloušťkou zmíněné vrstvy.

I v případě jiného způsobu zakládání doporučujeme další geotechnickou spolupráci, a to jak ve fázi projektové přípravy, tak i při vlastním provádění projektového záměru.

Babičová

Prověřila: Ing. Eva Babičová, výrobní oborový manažer