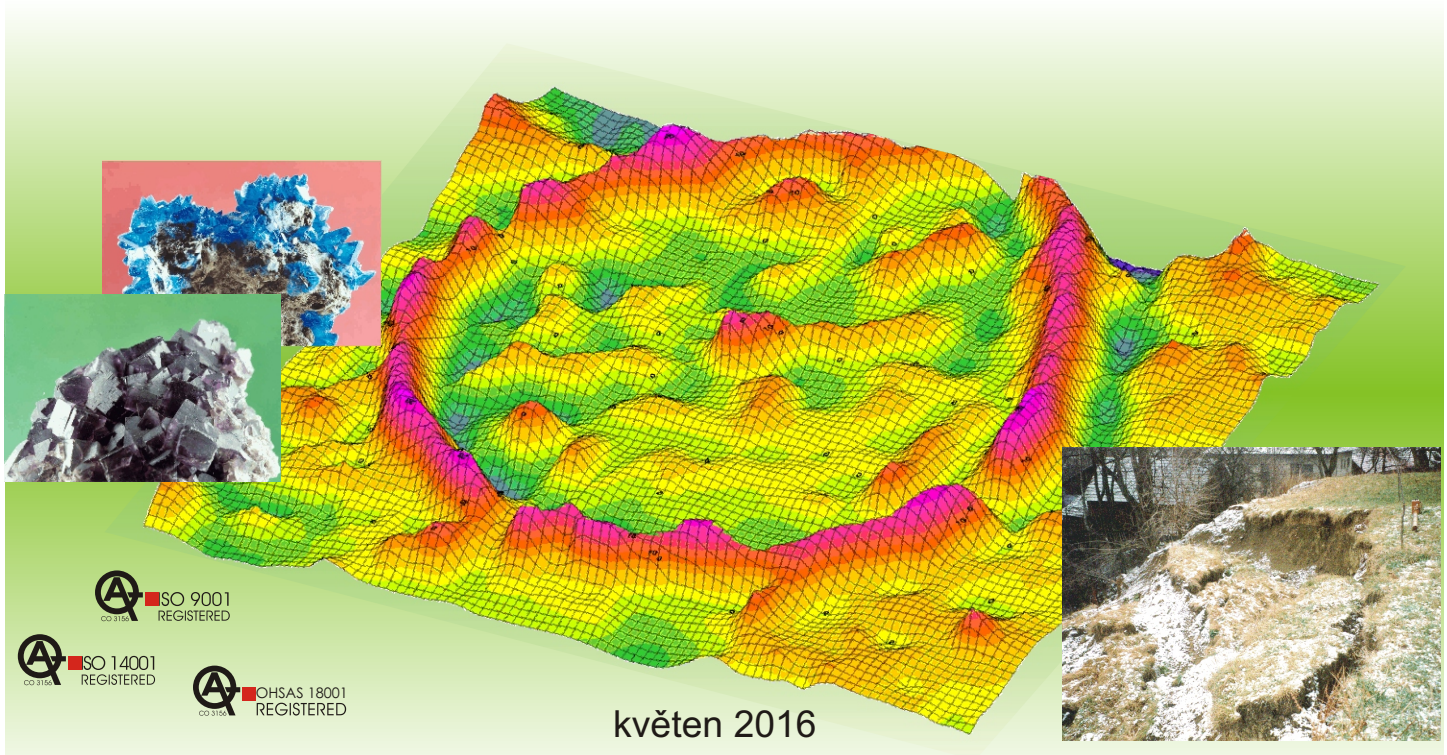


PRODLOUŽENÍ TT Z OSOVÉ KE KAMPUSU MU V BOHUNICÍCH
1. ETAPA
IG A HG PRŮZKUM

Závěrečná zpráva



květen 2016

GEODRILL s.r.o., Bělohorská 2115/6, 636 00 Brno, tel.: +420 544 525 240, fax: +420 549 273 293, e-mail: info@geodrill.cz

Zaveden integrovaný systém řízení ČSN EN ISO 9001:2009, ČSN EN ISO 14001:2005 a ČSN OHSAS 18001:2008

Objednatel: METROPROJEKT Praha a.s.
I.P. Pavlova 1768/2, 120 00 Praha 2
IČ: 45271895 DIČ: CZ45271895

Zpracovatel: GEODRILL s.r.o.
Bělohorská 2115/6, 636 00 Brno
IČ: 46994971 DIČ: CZ46994971
Telefon: 00420 544 525 240
Fax: 00420 549 273 293
Email: info@geodrill.cz
Internet: www.geodrill.cz

Vedoucí projektu: Mgr. Pavel Machů
Vedoucí zpracování: Mgr. Pavlína Frýbová

Název zakázky:

PRODLOUŽENÍ TT Z OSOVÉ KE KAMPUSU MU V BOHUNICÍCH

1. ETAPA

IG A HG PRŮZKUM

Závěrečná zpráva

Číslo zakázky objednatele: 6733 /MP K60
Číslo zakázky zpracovatele: 1286/15
Evidenční číslo Geofondu ČR: 186/2016

Autoři: Mgr. Pavel Machů, Mgr. Petr Vlček,
Mgr. Pavlína Frýbová, Mgr. Radka Drápalová

Spolupracovali: Bc. Pavel Kubíček

Odpovědný řešitel: Mgr. Petr Vlček ……
razítko a podpis

Schválil: Ing. Markéta Hrubanová ……
razítko a podpis

Výtisk číslo:

BRNO, květen 2016

ROZDĚLOVNÍK

Tato zpráva je vyhotovena v 7 výtiscích a obsahuje 77 stran textu, 44 tabulek, 15 souborů grafických, tabulkových a textových příloh.

Výtisk č. 1 - 4	METROPROJEKT Praha a.s.
Výtisk č. 5	Česká geologická služba
Výtisk č. 6 a 7	GEODRILL s.r.o.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Fyzikální symboly

w_n	[%]	vlhkost zemin
w_L	[%]	vlhkost na mezi tekutosti
w_P	[%]	vlhkost na mezi plasticity
I_P	[%]	číslo plasticity
I_C	[1]	stupeň konzistence
ν	[1]	Poissonovo číslo
β	[1]	součinitel pro převod mezi modulem přetvárnosti a edometrickým modulem
ρ_n	[Mg·m^{-3}]	přirozená objemová hmotnost zeminy
ρ_d	[Mg·m^{-3}]	objemová hmotnost suché zeminy
ρ_s	[Mg·m^{-3}]	zdánlivá hustota pevných částic
γ_s	[kN·m^{-3}]	měrná tíha zeminy
γ_n	[kN·m^{-3}]	objemová tíha zeminy
E_{def}	[MPa]	modul přetvárnosti základové půdy
c_{ef}, (c_u)	[kPa]	efektivní (totální) soudržnost zeminy
φ_{ef}, (φ_u)	[°]	efektivní (totální) úhel vnitřního tření zeminy
w_{opt}	[%]	optimální vlhkosti pro hutnění
$\rho_{d\,max}$	[Mg·m^{-3}]	maximální objemová hmotnost suché zeminy
R_{dt}	[kPa]	tabulková výpočtová únosnost

Hydrogeologické symboly

k_f	[m·s^{-1}]	filtrační součinitel
T	[m^2·s^{-1}]	součinitel transmisivity

Chemické symboly

Ca	vápník
Cl^-	chloridy
Fe	železo
$CHSK_{Mn}$	chemická spotřeba kyslíku manganistanem
K	draslík
Mg	hořčík
Mn	mangan
Na	sodík
NH_4^+	amonné ionty
NO_2^-	dusitany
NO_3^-	dusičnany
pH	reakce vody
SO_3^-	siřičitany
SO_4^{2-}	sírany
ZCHR	základní chemický rozbor

Zkratky

Bpv	Balt po vyrovnání (výškopis)
č. h. p.	číslo hydrologického pořadí
ČZK	čerpací zkouška
GT	geotechnický typ
HDZK	hydrodynamická zkouška
HG	hydrogeologický (é)
HPV	hladina podzemní vody
IG	inženýrsko-hydrogeologický (é)
k. ú.	katastrální území
m n. t.	metrů nad terénem
m od OB	metrů od odměrného bodu
m p. t.	metrů pod terénem
m n. m.	metrů nad mořem
MP MŽP	Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí
NH	naražená hladina
OB	odměrný bod
p.t.	pod terénem
PZ	pojezdové zhlaví
S-JTSK	Jednotná trigonometrická síť Křovákova (polohopis)
SZK	stoupací zkouška
TT	tramvajová trať
UH	ustálená hladina

OBSAH str

ÚVOD 8
1 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ 10
2 PROJEKTOVANÉ PRŮZKUMNÉ VRTY 11
3 METODIKA A PŘEHLED PROVEDENÝCH PRACÍ 12
3.1 Přípravné práce 12
3.2 Rešeršní práce 12
3.3 Geodetické práce 13
3.4 Vrtné práce 13
3.5 Vzorkovací práce 14
3.5.1 Odběr vzorků zemin 14
3.5.2 Odběr vzorků podzemní vody 15
3.6 Laboratorní práce 16
3.6.1 Laboratorní zkoušky zemin a hornin 16
3.6.2 Laboratorní rozbory podzemní vody 17
3.7 Rekognoskace lokality a měření hladin podzemní vody 17
3.8 Hydrodynamické zkoušky 18
3.9 Vyhodnocovací práce 18
4 PŘÍRODNÍ POMĚRY 19
4.1 Geomorfologické poměry 19
4.2 Hydrologické poměry 19
4.3 Klimatické poměry 20
4.4 Geologické poměry 22
4.4.1 Předkvartérní podloží 22
4.4.2 Kvartérní sedimenty 23
4.5 Hydrogeologické poměry 23
4.6 Svahové nestability 25
5 ÚZEMÍ SE ZVLÁŠTNÍ OCHRANOU 25
6 VÝSLEDKY REŠERŠNÍCH PRACÍ 25
6.1 Vrtná prozkoumanost 25
6.2 Rešeršní část geologie 27
6.3 Orientační určení GT vlastností neogénních jílů pro předběžné výpočty 32
7 VÝSLEDKY TERÉNNÍCH A LABORATORNÍCH PRACÍ 35

7.1 Souřadnice aktuálně realizovaných vrtů 35
7.2 Výsledky terénní rekognoskace 35
7.3 Zastižené geologické poměry 36
7.4 Výsledky laboratorních zkoušek zemin 39
7.5 Výsledky laboratorních zkoušek hornin 45
7.6 Zatřídění zemin z hlediska jejich dalšího použití 45
7.7 Geotechnické zhodnocení vlastností sprašových zemin 48
7.8 Geotechnické vlastnosti zastižených zemin 50
7.8.1 Navážka (GT 1) 50
7.8.2 Eolické a deluvioeolické sedimenty (GT 2a) 51
7.8.3 Fosilní půdy (GT 2b) 53
7.8.4 Neogenní jíly (GT 3a) 54
7.8.5 Neogenní písky (GT 3b) 56
7.8.6 Neogenní pískovce – lavice pískovců (GT 3c) 57
7.9 Zastižené hydrogeologické poměry 58
7.10 Výsledky měření hladin podzemní vody 60
7.11 Výsledky hydrodynamických zkoušek 61
7.12 Výsledky laboratorních rozborů podzemní vody 62
7.12.1 Kvalitativní parametry podzemní vody 62
7.12.2 Zhodnocení agresivity vodního prostředí 63
8 GEOTECHNICKÉ ZHODNOCENÍ PODMÍNEK V TRASE TUNELU 65
8.1 GT úsek č. 1: km 0,000 – 0,055 65
8.2 GT úsek č. 2: km 0,055 – 0,400 (±Δ) 66
8.3 GT úsek č. 3: km 0,400 (±Δ) – 0,600 (±Δ) 67
8.4 GT úsek č. 4: km 0,600 (±Δ) – 0,668 68
8.5 GT úsek č. 5: km 0,668 – 0,788 68
8.6 GT úsek č. 6: km 0,788 – 0,900 69
ZÁVĚR 70
DOPORUČENÍ DALŠÍCH PRACÍ 74
LITERATURA 75

SEZNAM TABULEK

str

Tabulka č. 1 Identifikační údaje průzkumných vrtů z KN ... 11
Tabulka č. 2 Přehled oslovených subjektů v rámci přípravných prací ... 12
Tabulka č. 3 Přehled realizovaných vrtů ... 13
Tabulka č. 4 Vystrojení HG vrtů ... 14
Tabulka č. 5 Konečné parametry HG vrtů k 25.4.2016 ... 14
Tabulka č. 6 Odebrané vzorky zemin ... 15
Tabulka č. 7 Odebrané vzorky podzemní vody ... 15
Tabulka č. 8 Přehled provedených laboratorních zkoušek zemin a hornin ... 17
Tabulka č. 9 Parametry hydrodynamických zkoušek ... 18
Tabulka č. 10 Geomorfologické začlenění zájmového území ... 19
Tabulka č. 11 Charakteristiky klimatické oblasti T2 ... 20
Tabulka č. 12 Průměrná měsíční teplota vzduchu ze stanice Brno – Žabovřesky za období 1987–2009 ... 20
Tabulka č. 13 Průměrný měsíční úhrn srážek ze stanice Brno – Žabovřesky za období 1987–2009 ... 21
Tabulka č. 14 Měsíční úhrn srážek ze stanice Brno – Žabovřesky a jejich klasifikace dle Réthlyho ... 21
Tabulka č. 15 Litofanie miocénních sedimentů ve výkopu na ul. Netroufalky ... 30
Tabulka č. 16 Fyzikální a indexové vlastnosti neogenního jílu na území města Brna [4] ... 32
Tabulka č. 17 Parametry smykové pevnosti neogenního jílu na území města Brna [4] ... 32
Tabulka č. 18 Geotechnické charakteristiky neogenních jílů [15] ... 33
Tabulka č. 19 Geotechnické charakteristiky jílů [14] ... 34
Tabulka č. 20 Souřadnice aktuálně realizovaných vrtů ... 35
Tabulka č. 21 Přehled sond s hloubkami geologických rozhraní ... 38
Tabulka č. 22 Základní charakteristiky odebraných vzorků zemin ... 39
Tabulka č. 23 Výsledky rozborů neporušených vzorků zemin ... 41
Tabulka č. 24 Výsledky rozborů neporušených vzorků zemin ... 42
Tabulka č. 25 Hodnoty E_{oed} a E_{def} pro celkové intervaly napětí ... 42
Tabulka č. 26 Filtrační součinitel k_f [m.s^{-1}] a propustnost hornin ... 43
Tabulka č. 27 Výsledky laboratorních rozborů technologických vzorků zemin ... 45
Tabulka č. 28 Shrnutí laboratorních zkoušek hornin ... 45
Tabulka č. 29 Zařazení zemin z hlediska vhodnosti pro podloží dle normy 73 6133 ... 46
Tabulka č. 30 Vyhodnocení parametrů sprašových zemin ... 49
Tabulka č. 31 Schematický přehled vrstevního sledu geotechnických typů (GT) ... 50
Tabulka č. 32 Geotechnické charakteristiky jílovitých zemin GT 2a ... 52
Tabulka č. 33 Geotechnické charakteristiky hlinitých zemin GT 2b ... 53
Tabulka č. 34 Geotechnické charakteristiky hlinitých zemin GT 3a ... 55
Tabulka č. 35 Geotechnické charakteristiky štěrkovitých zemin GT 3b ... 56
Tabulka č. 36 Geotechnické charakteristiky hornin GT 3c ... 58
Tabulka č. 37 Hladiny podzemní vody v aktuálně realizovaných vrtech ... 59
Tabulka č. 38 Hladiny podzemní vody v archivních vrtech ... 59
Tabulka č. 39 Vývoj hladiny podzemní vody ve vystrojených vrtech ... 60
Tabulka č. 40 Charakteristické údaje hydrodynamických zkoušek ... 61
Tabulka č. 41 Vypočtené parametry zvodněného horninového prostředí ... 62
Tabulka č. 42 Agresivita podzemní vody na beton dle ČSN EN 206 ... 63
Tabulka č. 43 Agresivita podzemní vody na ocel dle ČSN 03 8375 ... 64
Tabulka č. 44 Rozdělení trasy na dílčí GT úseky ... 65

SEZNAM OBRÁZKŮ

str

Obrázek č. 1 Vývoj srážek za období 2011 až 2015 22
Obrázek č. 2 Mapa hydrogeologické rajonizace 24
Obrázek č. 3 Mapa svahových nestabilit 25
Obrázek č. 4 Výřez z mapy vrtné prozkoumanosti 26
Obrázek č. 5 Situace archivních HG vrtů v okolí zájmového území 26
Obrázek č. 6 Situace archivních sond v okolí zájmového území 27
Obrázek č. 7 Lokalizace výkopu na ulici Netroufalky v Brně 28
Obrázek č. 8 Detail kontaktu granodioritů brněnského masivu a sedimentů miocénu v jižní stěně rýhy 29
Obrázek č. 9 Erozivní kontakt miocénních písků a sprašových hlín, severní stěna rýhy 29
Obrázek č. 10 Vrstevní sled rozšíření jednotlivých litofacií a strukturní data ve výkopu na ulici Netroufalky 31
Obrázek č. 11 Situace použitých archivních zpráv 33
Obrázek č. 12 Oblast vymezená obalovými křivkami zrnitosti GT 1 51
Obrázek č. 13 Oblast vymezená obalovými křivkami zrnitosti GT 2a 52
Obrázek č. 14 Oblast vymezená obalovými křivkami zrnitosti GT 2b 54
Obrázek č. 15 Oblast vymezená obalovými křivkami zrnitosti GT 3a 55
Obrázek č. 16 Oblast vymezená obalovými křivkami zrnitosti GT 3b 57

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Přehledná situace zájmového území
Příloha 2 Podrobná situace s lokalizací průzkumných vrtů
Příloha 3 Geologická situace zájmového území
Příloha 4 Geologická dokumentace vrtných prací
Příloha 5 Fotodokumentace vrtných jader a vystrojených vrtů
Příloha 6 Přehled archivních vrtů realizovaných v zájmovém území
Příloha 7 Geologická dokumentace archivních vrtů
Příloha 8 Podélný geotechnický řez
Příloha 9 Protokoly laboratorních zkoušek zemin
Příloha 10 Metodika laboratorních zkoušek zemin
Příloha 11 Porovnání výsledků laboratorních rozborů podzemní vody s legislativními předpisy
Příloha 12 Protokoly laboratorních rozborů podzemní vody
Příloha 13 Hydrodynamické zkoušky
Příloha 14 Technická zpráva vrtných prací
Příloha 15 Technická zpráva geodetických prací

ÚVOD

Na základě smlouvy o dílo č. 6733 /MP K 60 uzavřené dne 19.1.2016 mezi společnostmi METROPROJEKT Praha a.s. (objednatel) a GEODRILL s.r.o. (zpracovatel), byla vypracována tato závěrečná zpráva v rámci zakázky „Prodloužení TT z Osové ke Kampusu MU v Bohunicích – 1. Etapa. Inženýrsko-geologický a hydrogeologický průzkum“.

Předmětem zakázky je inženýrsko-geologický a hydrogeologický průzkum projektovaného prodloužení tramvajové trati v úseku Osová – Netroufalky (od zastávky „Osová“ po Fakultní nemocnici s poliklinikou v Brně–Bohunicích). Podstatná část projektované trati je vedena v tunelu.
Výsledky průzkumu budou sloužit pro potřeby DUR novostavby této tramvajové trati.

Cílem průzkumu je získání informací o inženýrsko-geologických a hydrogeologických poměrech, včetně ověření agresivity podzemní vody, v celém traťovém úseku projektované stavby.

Níže je prezentován stručný přehled hlavních provedených prací, vyhodnocených v předkládané zprávě. Jejich podrobný popis je uveden níže v kapitole 3:

- vypracování projektu průzkumných prací
- rešerše archivních prací z předmětné lokality
- ověření výskytu inženýrských sítí a zajištění vstupů na pozemky pro vrtné práce
- geodetické vytyčení průzkumných vrtů
- realizace 10 průzkumných IG vrtů (S1 až S10) v trase tramvajové trasy o celkové metráži 147 bm (včetně rezervy 20 m)
- vystrojení vhodných IG vrtů PVC pažnicemi pro trvalé sledování vývoje HPV o celkové metráži 47 bm
- hydrodynamické zkoušky pro ověření hydraulických parametrů horninového prostředí (ve 2 vystrojených vrtech)
- laboratorní zkoušky vzorků zemin odebraných z vrtných jader, pro stanovení indexových vlastností a geotechnických parametrů
- laboratorní rozbory podzemní vody pro ověření agresivity na stavební konstrukce
- rekognoskace HG objektů (archivních vrtů a studní) a měření hladin podzemní vody v přilehlém okolí projektované trati
- zhodnocení všech získaných informací v závěrečné zprávě, včetně vypracování podélného geotechnického profilu

Pro vypracování průzkumu předal objednatel následující podklady:

- Aktualizovaná situace projektované trasy se zákresem průzkumných vrtů S1 až S10 (sit_tram_kampus_52.dwg; z 15.2.2016)
- Aktualizovaný podélný profil trasy projektované tramvajové trati (podelnak_kampus_52_prac.dwg; z 15.2.2016)
- Katastrální situace lokality (612006.dwg a 612014.dwg; ze 14.10.2015)
- Vyjádření vlastníků a správců dopravní a technické infrastruktury k existenci stávajících sítí (stav_site_CB.dwg; z 12.1.2016; a soubory ve formátu pdf)

- VYSKOČIL, P. *Prodloužení TT z Osové ke Kampusu MU v Bohunicích – 1. etapa. Úvodní údaje a průvodní zpráva.* Praha: METROPROJEKT Praha a.s., 2016. (001 A. Průvodní zpráva.doc; z 20.5.2016)

Dle § 2 zákona č. 62/1988 Sb. v platném znění druh realizovaných prací představuje zjišťování a ověřování inženýrsko-geologických a hydrogeologických poměrů území, zejména pro účely územního plánování, dokumentace a provádění staveb včetně stabilizace sesuvných území a dle § 3 vyhlášky č. 369/2004 Sb. v platném znění realizované práce odpovídají etapě orientačního inženýrsko-geologického průzkumu, resp. dle ČSN EN 1997 předběžného geotechnického průzkumu.

1 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Předmětem stavby je výstavba prodloužení tramvajové trati (TT) v celkové délce cca 900 m, a to odbočením ze stávající trati v místě zastávky „Osová“ (Brno, sídliště Bohunice) s konečnou úvratí v zastávce „Nemocnice Bohunice“ v prostoru před Fakultní nemocnicí s poliklinikou v Brně–Bohunicích.

Součástí stavby je také vyvolaná úprava stávající tramvajové trati v délce 230 m a úpravy místních komunikací, doplnění pěších vazeb a rozsáhlé přeložky inženýrských sítí. Na trati jsou dvě nové zastávky s pracovními názvy „Jihlavská“ a „Nemocnice Bohunice“. Stávající zastávka „Osová“ bude posunuta přibližně o 130 m blíže k centru Brna.

Stavba je umístěna na území městských částí Brno–Bohunice a Brno–Starý Lískovec. Novostavba tramvajové trati začíná dvoukolejným rozvětvením v místě tramvajové zastávky „Osová“ v Bohunicích na stávající tramvajové trati do Starého Lískovce. Nová tramvajová trať je vedena v hloubeném tunelu přes Mikuláškovo náměstí, vykříží ulice Labská a Jihlavská. V koncovém úseku je trať vedena v souběhu s ulicí Netroufalky ve východní poloze, s ukončením úvratí v prostoru před Fakultní nemocnicí s poliklinikou Brno.

Po odbočení ze stávající trati nová trať prvních 130 m klesá ve sklonu 4‰ , a to z důvodu co nejmenšího vyčnívání stropu tunelu nad stávající terén a také z důvodu zabránění nekontrolovaného vyjetí tramvaje z tunelu na stávající trať. Dále trať stoupá ve sklonu 65‰ až k zastávce „Jihlavská“, která je umístěna ve sklonu 12‰. Křížením s ulicí Jihlavská trať klesá ve sklonu 9,6‰, aby se dostala na výškovou úroveň stávající trolejbusové zastávky „Nemocnice Bohunice“, kde je trať ukončena.

Celková délka dvoukolejného tunelu je 650 m. Jižní portál tunelu je umístěn hned za křížením s ulicí Okrouhlá. Severní portál je křížením s ulicí Jihlavská. V podzemí je umístěna zastávka „Jihlavská“ – v hloubce 8 m, což vyžaduje instalaci eskalátorů a výtahu. Tunel je hloubený s hloubkou v rozmezí 6 až 11 m. Předpokládá se technologie výstavby s použitím podzemních pilotových stěn. Nejdříve budou vybudovány podzemní stěny a strop tunelu a následně bude vykopána zemina. Tato technologie je preferována s ohledem na menší zátěž obytného území výstavbou. V tunelu je uvažována pevná jízdní dráha. Tunelová roura bude zpětně zasypána a nový terén ozeleněn.

Tramvajová trať je v celé délce navržena segregovaně od ostatní dopravy, veškerá křížení s místními komunikacemi a pěšími trasami mimo konečnou zastávku jsou navrhována mimoúrovňově.

Stavba se nachází na volných plochách v zastavěném území. Dosavadní využití pozemků jsou převážně zeleň, silnice a ostatní komunikace.

V úseku mezi ulicemi Okrouhlá a Labská převládá v okolí stavby obytná zástavba. V úseku mezi ulicemi Labská a Jihlavská je v současnosti nezastavěné rozvojové území. V úseku mezi ulicí Jihlavská až na konec stavby jsou v okolí stavby významné veřejné instituce Fakultní nemocnice Brno a Univerzitního kampusu MU Brno a rozvíjející se nákupní centrum Campus Square [16].

Z hlediska správního členění předmětné území náleží do:

- katastrálního území: Bohunice kód 612006
  Starý Lískovec kód 612014
- obce: Brno kód 582786
- kraje: Jihomoravského kód CZ 062

Topograficky je zájmové území zobrazeno na listu základní mapy ČR 24-34 Brno v měřítku 1:50 000, listu základní mapy ČR 24-342 Brno-sever v měřítku 1:25 000 a listu 24-34-04 v měřítku 1:10 000.

Přehledná situace zájmového území je patrná z přílohy 1, podrobná situace s lokalizací průzkumných vrtů je zobrazena v příloze 2.

2 PROJEKTOVANÉ PRŮZKUMNÉ VRTY

Návrh situování průzkumných vrtů S1 až S10 dodal objednatel. Průzkumné vrty byly situovány v ose projektované tramvajoví trati, tak aby byla přibližně rovnoměrně pokryta celá projektovaná trasa.

Oproti návrhu objednatele byly z dispozičních důvodů zřetelně posunuty vrty S1 a S6. Vrt S1 byl původně situován u opěrné zdi, necelý 1 m od vozovky, na ulici Vltavská, poblíž nadchodu pro pěší. Z dispozičních a bezpečnostních důvodů byl posunut o cca 15 m severně, do travnaté plochy, u sběrného dvora a parkoviště při ulici Vltavská.

Vrt S6 byl původně situován do prostoru střeženého oploceného parkoviště, v nezastavěné zóně mezi ulicemi Labská a Jihlavská. Z dispozičních důvodů byl posunut o cca 18 m západně, téměř bezprostředně za oplocení parkoviště, do travnaté plochy.

Identifikační údaje průzkumných vrtů S1 až S10 dle dat KN shrnuje tabulka č. 1. Souřadnice a nadmořské výšky vrtů jsou uvedeny v tabulce č. 20, parametry průzkumných vrtů uvádí tabulka č. 3.

Tabulka č. 1 Identifikační údaje průzkumných vrtů z KN

Vrt	p. č.	k. ú.	LV	Způsob využití	Druh pozemku	Způsob ochrany	Vlastník (– spravuje)
S1	2785/2	Starý Lískovec	10001	zeleň	ostatní plocha	není evidován	Statutární město Brno
S2	2731/1	Starý Lískovec	10001	ostatní komunikace	ostatní plocha	není evidován	Statutární město Brno
S3	2785/1	Starý Lískovec	10001	zeleň	ostatní plocha	není evidován	Statutární město Brno
S4	2787	Starý Lískovec	10001	zeleň	ostatní plocha	není evidován	Statutární město Brno
S5	2798/1	Starý Lískovec	10001	zeleň	ostatní plocha	není evidován	Statutární město Brno
S6	1684/21	Starý Lískovec	10001	jiná plocha	ostatní plocha	není evidován	Statutární město Brno
S7	1681/3	Starý Lískovec	9	jiná plocha	ostatní plocha	není evidován	ČR – FN Brno
S8	1681/3	Starý Lískovec	9	jiná plocha	ostatní plocha	není evidován	ČR – FN Brno
S9	1681/3	Starý Lískovec	9	jiná plocha	ostatní plocha	není evidován	ČR – FN Brno
S10	1681/119	Starý Lískovec	9	zeleň	ostatní plocha	není evidován	ČR – FN Brno

Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, 602 00 Brno-město
Fakultní nemocnice Brno, Jihlavská 340/20, 625 00 Brno-Bohunice

3 METODIKA A PŘEHLED PROVEDENÝCH PRACÍ

3.1 Přípravné práce

V úvodní fázi průzkumu byly projektované práce v souladu s § 7 zákona č. 62/1988 Sb. v platném znění zaevidovány u České geologické služby.

Byl vypracován Projekt geologických prací [8], který byl v souladu s § 6 zákona č. 62/1988 Sb. v platném znění předán ke schválení na Krajský úřad Jihomoravského kraje.

Dále byly zajištěny vstupy na pozemky dotčené vrtnými pracemi. V místech projektovaných vrtů byl ověřen výskyt inženýrských sítí a v případě střetů s nimi byl v terénu vytyčen jejich průběh (Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., E.ON).

V souladu s § 9a zákona č. 62/1988 Sb. v platném znění byly provedeny ohlašovací povinnosti. Přehled provedených činností a oslovených subjektů v přípravné fázi průzkumu shrnuje tabulka č. 2.

Tabulka č. 2 Přehled oslovených subjektů v rámci přípravných prací

Činnost	Subjekt	Č.j./datum
evidence geologických prací	Česká geologická služba - Geofond, Kostelní 26, 170 06 Praha 7	186/20016
žádost o vyjádření k projektové dokumentaci	Krajský úřad Jihomoravského kraje, Žerotínovo náměstí 3, 601 82 Brno	JMK 35554/2016
oznámení zahájení geologických prací	MČ - Brno, Starý Lískovec, Oderská 4, 625 00 Brno	2.3.2016
žádost o povolení vstupu na pozemky	Fakultní nemocnice Brno, Jihlavská 340/20, 625 00 Brno-Bohunice	26.2.2016
žádost o povolení vstupu na pozemky	Magistrát města Brna, Majetkový odbor, Malinovského náměstí 3, 601 67 Brno	MMB/0075670/2016
žádost o povolení vstupu na pozemky	MČ - Brno, Starý Lískovec, Oderská 4, 625 00 Brno	MCBSLI/01408/16/Ovš/96/3/Kap
žádost o povolení vstupu na pozemky	Magistrát města Brna, Odbor správy majetku, Husova 3, 601 67 Brno	11.3.2016
žádost o povolení vstupu na pozemky	Brněnské komunikace a.s., Renneská třída 787/1a, 639 00 Brno	2.3.2016
žádost o souhlas ke zvláštnímu užívání veřejné zeleně	MČ - Brno, Starý Lískovec, Oderská 4, 625 00 Brno	MCBSLI/01408/16/Ovš/96/3/Kap
oznámení užívání veřejného prostranství	MČ - Brno, Starý Lískovec, Oderská 4, 625 00 Brno	22.3.2016
vytyčení inženýrských sítí ve správě Bvak	Brněnské vodárny a kanalizace, a.s., Hybešova 254/16, 657 33 Brno	15.3.2016
vytyčení inženýrských sítí ve správě E.ON	E.ON Servisní, s.r.o., F.A. Gerstnera 2115/6, 370 49 České Budějovice	23.3.2016

3.2 Rešeršní práce

V úvodní fázi průzkumu byly rovněž provedeny rešeršní práce. Byly získány informace o geologických a hydrogeologických poměrech na lokalitě, prostudovány archivní podklady související s projektovanou stavbou, a další dostupné informační zdroje, týkající se vrtné prozkoumanosti, přírodních podmínek, využití a ochrany dotčeného území.

Rešeršní část průzkumu byla dle smlouvy o dílo objednateli odevzdána v elektronické podobě k 29.1.2016. Nicméně výsledky rešerší jsou také součástí předkládané zprávy.

3.3 Geodetické práce

Místa projektovaných průzkumných vrtů S1 až S10 byla geodeticky vytyčena. Měřičské práce provedl 22.2.2016 Ing. Aleš Čech v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Technická zpráva geodetických prací tvoří přílohu 15.

Po tomto vytyčení byla ještě provedena drobná korekce v situování vrtů S1, S3, S4 a S7. Důvodem posunu byly střety s inženýrskými sítěmi a lepší přístupnost pro vrtnou soupravu – podrobně viz tabulka č. 20.

3.4 Vrtné práce

V rámci předkládaného průzkumu bylo v termínu 22.3.–12.4.2016 realizováno 10 průzkumných vrtů o celkové metráži 135,8 bm, z toho 4 vrty byly vystrojeny pro pozorování vývoje HPV, jako hydrogeologické pozorovací – viz tabulka č. 3.

Tabulka č. 3 Přehled realizovaných vrtů

Vrt	Datum	Hloubka			Typ	Likvidace vrtu	Realizace
		Projekt (m p. t.)	Skutečnost (m p. t.)	Vystrojení (m p. t.)			
S1	22.3.2016	6,0	12,8	12,4	HG	vystrojen	Hyndaga; GEODRILL
S2	1.4.2016	16,0	16,0	-	IG	zához	URB 2,5; GeoVank
S3	4.4.2016	20,0	20,0	-	IG	zához	URB 2,5; GeoVank
S4	4.4.2016	16,0	18,0	-	IG	zához	URB 2,5; GeoVank
S5	5.4.2016	20,0	20,0	19,0	HG	vystrojen	URB 2,5; GeoVank
S6	5.-6.4.2016	20,0	20,0	19,0	HG	vystrojen	URB 2,5; GeoVank
S7	11.4.2016	10,0	10,0	10,0	HG	vystrojen	Hyndaga; GEODRILL
S8	12.4.2016	9,0	9,0	-	IG	zához	Hyndaga; GEODRILL
S9	12.4.2016	7,0	7,0	-	IG	zához	Hyndaga; GEODRILL
S10	12.4.2016	3,0	3,0	-	IG	zához	Hyndaga; GEODRILL
rezerva	-	20,0	-	-	-	-	-
celkem	-	147,0	135,8	60,4	-	-	-

Vrty S1 a S7 až S10 byly realizovány firmou GEODRILL s.r.o. vrtnou soupravou Multidrill Hyndaga na podvozku Mazda BT 50 4×4. Použití této soupravy bylo voleno s ohledem na omezené dispoziční možnosti, zvláště u vrtů S7 až S9, situovaných v travnatém pásu poblíž chodníku a stožárů trolejového vedení, na ulici Netroufalky. Tyto vrty byly hloubeny rotační jádrovou technologií jednoduchými jádrovkami s TK průměru 156 a 137 mm, bez použití výplachu.

Ostatní hlubší vrty (S2 až S6) prováděla firma GeoVank, spol. s r.o. K vrtání bylo v tomto případě použito soupravy URB 2,5 na podvozku nákladního automobilu ZIL. Vrtáno bylo obdobnou technologií, avšak vrtným průměrem až 245 mm. V nesoudržných polohách bylo použito manipulační ocelové pažení průměru 152 mm.

Technické zprávy vrtných prací tvoří přílohu 14.

Vrtné jádro z každého vrtu bylo průběžně ukládáno do vzorkovnic a dokumentováno. Po pořízení fotodokumentace, odběru vzorků zemin a podzemní vody, změření ustálené HPV, byla většina vrtů likvidována dusaným záhozem. Přebytečné vrtné jádro bylo likvidováno odvozem do sběrného dvora na ulici Vltavská.

Vrty S1, S5, S6 a S7 byly vystrojeny pro trvalé pozorování vývoje hladiny podzemní vody; s výjimkou vrtu S7 zastihly podzemní vodu. Vrt S7 byl vystrojen i přes absenci výskytu podzemní vody, aby také severní část projektované tramvajové trati disponovala pozorovacím objektem pro případ výskytu např. extrémních srážek, nebo intenzivního tání sněhové pokrývky v jarním období, respektive v období, kdy se dají očekávat vyšší úrovně podzemní vody. Podzemní voda byla zastižena také vrtem S2, nicméně od jeho vystrojení bylo upuštěno z důvodu výskytu vystrojeného vrtu S1 ve vzdálenosti necelých 25 m jižně a z důvodu omezeného rozpočtu pro vystrojovací práce.

Pozorovací (HG vrty) byly vystrojeny trubkami PVC DN 110 mm. V aktivní části vrtů jsou vystrojovací trubky opatřeny příčnou štěrbinovou perforací. Výstroj vrtů nezasahuje nad terén, po dohodě s MČ Brno – Starý Lískovec byla ukončena v úrovni terénu. Vrty byly opatřeny pojezdovým litinovým zhlavím s hydrantovým poklopem. Obsyp vrtů byl proveden praným filtračním štěrkem frakce 4–8 mm, přípovrchová část mezikruží byla zajílována a pojezdové zhlaví vrtů bylo zabetonováno. Vrtné jádro bylo odvezeno k likvidaci do výše uvedeného sběrného dvora na ulici Vltavská. Parametry HG vrtů shrnují tabulky č. 4 a 5.

Tabulka č. 4 Vystrojení HG vrtů

Vrt	Výstroj				Obsyp		Zhlaví
	Materiál	Průměr (mm)	Rozsah (m)	Funkce	Rozsah (m)	Materiál	
S1	PVC	110	0,0-6,4	plná	0,0-0,5	beton	pojezdové hydrantové šoupě
			6,4-10,4	perforace	0,5-2,5	jílování	
			10,4-12,4	plná/kalník	2,5-12,4	kačírek 4/8	
S5	PVC; na dně víčko	110	0,0-9,0	plná	0,0-0,5	beton	pojezdové hydrantové šoupě
			9,0-17,0	perforace	0,5-2,0	jílování	
			17,0-19,0	plná/kalník	2,0-19,0	kačírek 4/8	
S6	PVC; na dně víčko	110	0,0-5,0	plná	0,0-0,5	beton	pojezdové hydrantové šoupě
			5,0-13,0	perforace	0,5-2,0	jílování	
			13,0-19,0	plná/kalník	2,0-19,0	kačírek 4/8	
S7	PVC; na dně víčko	110	0,0-4,0	plná	0,0-0,5	beton	pojezdové hydrantové šoupě
			4,0-8,0	perforace	0,5-2,0	jílování	
			8,0-10,0	plná/kalník	2,0-10,0	kačírek 4/8	

Tabulka č. 5 Konečné parametry HG vrtů k 25.4.2016

Vrt	Hloubka (m od OB)	OB-ter. (m n. t.)	OB
S1	12,04	0,00	vrch PZ
S5	18,89	0,00	vrch PZ
S6	18,46	0,00	vrch PZ
S7	10,02	0,00	vrch PZ

3.5 Vzorkovací práce

3.5.1 Odběr vzorků zemin

Pro ověření inženýrsko-geologických charakteristik horninového prostředí a klasifikaci základních litologických typů bylo odebráno celkem 46 vzorků zemin a 1 vzorek horniny. Z toho 20 vzorků porušených, 25 vzorků neporušených a 1 technologický vzorek. Rozsah odběrů shrnuje tabulka č. 6.

Tabulka č. 6 Odebrané vzorky zemin

Vrt	Datum	Porušený (P)	Neporušený (N)	Technologický (T)	Horninový (H)	Celkem z vrtu
		ks	ks	ks	ks	ks
S1	22.3.2016	1	4	0	0	5
S2	1.4.2016	4	3	0	0	7
S3	4.4.2016	2	3	0	0	5
S4	4.4.2016	2	3	0	0	5
S5	5.4.2016	1	4	0	0	5
S6	5.-6.4.2016	7	2	0	1	10
S7	11.4.2016	1	2	0	0	3
S8	12.4.2016	0	3	0	0	3
S9	12.4.2016	2	1	0	0	3
S10	12.4.2016	0	0	1	0	1
celkem	-	20	25	1	1	47
projekt	-	17	26	1	0	44

Vzorky zemin a hornin byly odebrány po dokumentaci geologického profilu z vrtného jádra. Porušené vzorky zemin byly odebrány v dostatečném množství a kvůli zachování původní vlhkosti uloženy do zdvojeného igelitového sáčku; mezi sáčky byl vložen identifikační štítek vzorku. Neporušené vzorky byly odebrány tenkostěnným trubkovým vzorkovačem do plastových nebo ocelových pouzder. Dále byly uloženy do igelitového sáčku s identifikačním štítkem vzorku. Technologický vzorek byl odebrán do igelitového pytle, v množství cca 20 kg. Jako horninový vzorek byl odebrán cca 15 cm válec pískovce z vrtu S6.

Dle ČSN EN ISO 22475-1 „Geotechnický průzkum a zkoušení – Odběry vzorků a měření podzemní vody – Část 1: Zásady provádění“ byly všechny porušené vzorky zemin získány jednoduchým jádrovákem bezvýplachovou technologií, v kategorii B a třídě kvality 3; neporušené vzorky zemin získány tenkostěnným trubkovým vzorkovačem, v kategorii A a třídě kvality 1–2.

Místa odběru vzorků byla volena tak, aby byla dokumentována každá důležitá litologická poloha ve vrstevním sledu.

3.5.2 Odběr vzorků podzemní vody

Pro ověření kvalitativních parametrů podzemní vody v prostoru projektované tramvajové trati byly odebrány celkem 4 vzorky podzemní vody na laboratorní rozbory. Rozsah vzorkování shrnuje tabulka č. 7.

Tabulka č. 7 Odebrané vzorky podzemní vody

Vrt	Datum	Podzemní voda (V)	Odběr	Rozbor
		ks		
S1	22.3.2016	1	statický	ZCHR, agresivita beton/ocel
S2	1.4.2016	1	statický	ZCHR, agresivita beton/ocel
S5	5.4.2016	1	statický	ZCHR, agresivita beton/ocel
S6	6.4.2016	1	statický	ZCHR, agresivita beton/ocel
celkem	-	4	-	-
projekt	-	4	-	-

Vzorky byly odebrány ze všech vrtů, kde byla zastižena podzemní voda. Vzorkování bylo realizováno po odvrtání, respektive po vystrojení vrtů, ve statickém režimu vzorkovacím válcem.

Vzorky podzemní vody byly odebrány v souladu s ČSN EN ISO 22475-1 „Geotechnický průzkum a zkoušení – Odběry vzorků a měření podzemní vody – Část 1: Zásady provádění“.

3.6 Laboratorní práce

3.6.1 Laboratorní zkoušky zemin a hornin

V akreditované Laboratoři mechaniky zemin a hornin GEODRILL s.r.o. byly na vzorcích zemin stanoveny hodnoty původní vlhkosti, indexové vlastnosti a byl proveden zrnitostní rozbor v souladu s platnými technickými normami. Výpočtem byly stanoveny hodnoty stupně konzistence a filtračního součinitele. Dále byla stanovena zdánlivá hustota pevných částic pomocí pyknometru dle ČSN CEN ISO/TS 17892-3 a objemová hmotnost zeminy dle ČSN EN ISO 17892-2. Byly zjištěny potřebné parametry pro zatřídění zemin dle normy ČSN EN ISO 14688-2 „Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřiďování zemin – Část 2: Zásady pro zatřiďování“ a ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“.

Na neporušených vzorcích zemin byly v akreditované Laboratoři mechaniky zemin a hornin společnosti GEODRILL s.r.o. určeny deformační charakteristiky přímým měřením stlačitelnosti dle ČSN CEN ISO/TS 17892-5, s přitížením voleným na základě geostatického napětí v hloubce odběru.

Dále byly na neporušených vzorcích zjištěny hodnoty parametrů efektivní smykové pevnosti (c_{ef} a φ_{ef}) pomocí krabicové smykové zkoušky dle ČSN CEN ISO/TS 17892-10.

Na vybraných neporušených vzorcích byly v akreditované laboratoři společnosti UNIGEO a.s., zjišťovány parametry totální smykové pevnosti (c_u a φ_u) pomocí nekonsolidované neodvodněné triaxiální zkoušky, která byla prováděna dle ČSN CEN ISO/TS 17892-8.

Na odebraných vzorcích skalních hornin byly v akreditované Laboratoři mechaniky zemin a hornin firmy GEODRILL s.r.o. stanoveny hodnoty pevnosti v prostém tlaku metodou drcení při bodovém zatížení (point load test) na úlomcích hornin σ_c (MPa). Pro výpočet byla použita metodika dle Metodiky laboratorních zkoušek v mechanice zemin a hornin, část III - mechanika hornin, ČGÚ, Praha 1987.

Technologické vzorky zemin byly přepraveny do akreditované laboratoře společnosti UNIGEO a.s., kde na nich byla zjišťována hodnota maximální objemové hmotnosti při optimální vlhkosti zkouškou zhutnitelnosti zeminy Proctor-standard dle ČSN 72 1015, která byla doplněna poměrem únosnosti zeminy stanoveným zkouškou CBR_{sat} podle ČSN EN 13286-47. Výsledek zkoušky Proctor-standard je vyjádřen maximální objemovou hmotností suché zeminy ρ_{dmax}, které zemina dosáhne normovou zhutňovací energií při optimální vlhkosti w_{opt}.

Kompletní laboratorní protokol s výsledky zkoušek je obsahem přílohy 9. Podrobná metodika laboratorních zkoušek je uvedena v příloze 10.

Rozsah provedených laboratorních zkoušek zemin a hornin shrnuje tabulka č. 8.

Tabulka č. 8 Přehled provedených laboratorních zkoušek zemin a hornin

Vrt	indexy	edometr	smyk	triaxiál	PS, CBR	pevnost
	ks	ks	ks	ks	ks	ks
S1	5	1	3	0	0	0
S2	7	2	1	0	0	0
S3	5	1	1	1	0	0
S4	5	1	1	1	0	0
S5	5	1	2	1	0	0
S6	9	1	1	0	0	1
S7	3	0	1	1	0	0
S8	3	2	1	0	0	0
S9	3	1	0	0	0	0
S10	1	0	0	0	1	0
celkem	**46**	**10**	**11**	**4**	**1**	**1**
projekt	44	10	12	4	1	0

3.6.2 Laboratorní rozbory podzemní vody

Vzorky podzemní vody byly analyzovány v laboratořích ALS Czech Republic, s.r.o., která je držitelem osvědčení Zkušební laboratoř akreditovaná ČIA pod č. 1163.

Ve všech odebraných vzorcích byl proveden základní chemický rozbor vody (ZCHR) a stavební rozbor, tj. stanovení agresivity na beton a ocel.

Kompletní laboratorní protokoly s výsledky jsou obsahem přílohy 12. Porovnání stanovených výsledků s relevantními předpisy, tj. s Metodickým pokynem Ministerstva životního prostředí ČR Indikátory znečištění z ledna 2014, s vyhláškou č. 5/2011 Sb., v platném znění, o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod, dále s ČSN EN 206 „Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda“ a s ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“, je prezentováno v příloze 11.

3.7 Rekognoskace lokality a měření hladin podzemní vody

Cílem rekognoskace území bylo získání přehledu o zájmovém území. Rekognoskace byla provedena v průběhu vytyčovacích a vrtných prací. Pozornost byla věnována především výskytu archivních hydrogeologických vrtů a studní, které mohou být využity pro režimní sledování hladiny podzemní vody v zájmovém území.

Měření hladin podzemní vody bylo realizováno v aktuálně realizovaných vystrojených průzkumných vrtech S1, S5, S6 a S7. Měření probíhala nepravidelně jak v průběhu vrtání, tak po jeho ukončení, v období od 22.3.2016 do 13.5.2016. Výsledky měření jsou shrnuty v tabulce č. 39. K měření byl použit elektrokontaktní hladinoměr G20 výrobce NPK Europe Mfg.

3.8 Hydrodynamické zkoušky

Pro orientační ověření hydraulických parametrů horninového prostředí byly 21.–22.4.2016 realizovány hydrodynamické ověřovací zkoušky ve vrtech S1 a S5. V souladu s projektem a požadavky objednatele byly provedeny dvě HDZK. Hydrodynamické zkoušky byly provedeny v souladu s ČSN 73 6614 „Zkoušky zdrojů podzemní vody".

Základní parametry HDZK shrnuje tabulka č. 9. Dokumentace hydrodynamických zkoušek jsou prezentovány v příloze 13.

Tabulka č. 9 Parametry hydrodynamických zkoušek

Čerpaný objekt	Datum	Trvání ČZK/SZK [hod:min]	Čerpané množství Q [l.s^{-1}]	Pozorovací objekty
S1	21.4.2016	0:30/2:00	0,041-0,081	S5, S6
S5	22.4.2016	0:37/3:00	0,033-0,065	S1, S6

Hydrodynamické zkoušky ve vrtech S1 a S5 byly provedeny metodou neustáleného proudění s využitím pozorovacích objektů; vrty S5 a S6 v případě čerpání vrtu S1; vrty S1 a S6 v případě čerpání vrtu S5; vzdálený vrt S7 byl měřen pouze kontrolně.

K čerpacím zkouškám bylo použito čerpadlo ROB-2 (Malyš). Sací koš čerpadla byl vždy umístěn v kalníku, u dna vrtu, aby horninové prostředí nebylo ovlivňováno sáním čerpadla. Jako zdroj energie sloužila elektrocentrála. Odpadní potrubí o celkové délce 50 m bylo vždy zaústěno do nejbližší kanalizační vpusti. Změny hladiny podzemní vody v průběhu čerpací a stoupací zkoušky byly měřeny pomocí elektrokontaktního hladinoměru G20 výrobce NPK Europe Mfg. Čerpané množství bylo kontrolováno objemovým měřením do kalibrované nádoby o objemu 10 l.

3.9 Vyhodnocovací práce

Všechny projektované práce byly koordinovány a vyhodnocovány osobou s odbornou způsobilostí v oboru inženýrská geologie a hydrogeologie.

Pro zpracování dat a vyhotovení předkládané závěrečné zprávy byly využity programy Microsoft®Word 2007, 2010, Microsoft®Excel 2007, 2010, AutoCAD LT2010, pro vyhodnocení zrnitostních křivek zemin program Soilab 3.42 a pro tvorbu geologických profilů databázový program gdBase v5.

4 PŘÍRODNÍ POMĚRY

4.1 Geomorfologické poměry

Z hlediska geomorfologického členění [2] [18] řadíme širší okolí zájmového území k jednotkám dle níže uvedené tabulky č. 10.

Tabulka č. 10 Geomorfologické začlenění zájmového území

	zájmové území
SYSTÉM	Hercynský
PROVINCIE	Česká vysočina
SUBPROVINCIE	Česko-moravská
OBLAST	Brněnská vrchovina
CELEK	Bobravská vrchovina
PODCELEK	Lipovská vrchovina
OKRSEK	Kohoutovická vrchovina

Zájmové území má jednotné taxonomické členění. Představuje východní okraj Brněnské vrchoviny poblíž kontaktu s Dyjsko-svrateckým úvalem, který je již součástí Vněkarpatských sníženin, respektive provincie Západní Karpaty.

Lipovská vrchovina tvoří střední část Bobravské vrchoviny. Jedná se o soustavu hřbetů, hrástí, sníženin a prolomů. Je tvořena vyvřelinami brněnského plutonu a malými ostrůvky prvohorních usazenin, ve sníženinách jsou neogenní a kvarterní sedimenty. V oblasti brněnské sídelní aglomerace je povrch značně přemodelovaný antropogenní činností.

Kohoutovická vrchovina tvoří východní část Lipovské vrchoviny. Představuje vrchovinu, budovanou žulami, granodiority a diority brněnského plutonu, na nichž spočívají spodnodevonské pískovce a slepence, miocénní a kvarterní sedimenty. Ve střední části Kohoutovické vrchoviny se nacházejí plošiny, jejichž okraje jsou rozřezány údolími vodních toků. Objevují se zde kryoplanační terasy [3].

Terén zájmového území je významně antropogenně ovlivněn.

4.2 Hydrologické poměry

Zájmové území je dle hydrogeologického členění [17] součástí povodí III. řádu s č. h. p. 4-15-01 (Svratka po Svitavu). Severní část zájmového území je odvodňována tokem Svratky, povodím IV. řádu s č. h. p. 4-15-01-1530-0-00. Jižní část zájmového území je odvodňována tokem Leskavy, povodím IV. řádu s č. h. p. 4-15-01-1580-0-00.

4.3 Klimatické poměry

Zájmové území se nachází v teplé klimatické oblasti T2 [13]. Charakteristiky této oblasti jsou přehledně uvedeny v tabulce č. 11.

Tabulka č. 11 Charakteristiky klimatické oblasti T2

	T2
Letní období	dlouhé teplé a suché
Přechodné období	velmi krátké s teplým až mírně teplým jarem i podzimem
Zimní období	krátké, mírně teplé, suché až velmi suché, s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky

Dle Atlasu podnebí ČR [1] dosahuje průměrná roční teplota vzduchu v zájmovém území 8 až 10 °C. Průměrný roční úhrn srážek činí 450 až 550 mm. Průměrný roční úhrn referenční evapotranspirace přesahuje 700 mm, tudíž průměrná roční vláhová bilance lokality je deficitní, deficit překračuje 200 mm.

Nejbližší klimatologická stanice, která dlouhodobě sleduje klimatické poměry, se nachází v Brně - Žabovřeskách. Roční chod teplot za období 1987–2009 je patrný z následující tabulky č. 12. S průměrnou roční teplotou 9,9 °C patří lokalita k teplejším oblastem našeho území. Ve vegetačním období dosahuje průměrná teplota 16,6 °C, v období vegetačního klidu 3,2 °C. Nejvyšší dlouhodobá průměrná teplota v ročním chodu teplot připadá na červenec (20,5 °C), nejnižší na leden (-0,6 °C).

Tabulka č. 12 Průměrná měsíční teplota vzduchu ze stanice Brno – Žabovřesky za období 1987–2009

Měsíc	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Roční**
Průměrná teplota (˚C)	**-0,6**	1,2	4,6	10,5	15,6	18,6	**20,5**	19,9	14,7	9,6	4,3	0,2	
Průměrná teplota během ročních období (˚C)	Jaro (3–5) 10,2			Léto (6–8) 19,7			Podzim (9-11) 9,5			Zima (12–2) 0,3			**9,9**
Průměrná teplota během vegetace (˚C)	Vegetační období (4–9) 16,6						Nevegetační období (10–3) 3,2						

Průměrný roční chod srážek za období 1987–2009 ve stejné klimatologické stanici je patrný z tabulky č. 13. Roční chod srážek je rozkolísaný. Průměrný roční dlouhodobý úhrn v zájmovém území činí 522,6 mm. Největší díl srážek připadá na letní měsíce květen až srpen, kdy v každém jednotlivém měsíci spadne min. 10,0 % ročního úhrnu. V tomto období je však největší výpar, běžně překračuje hodnotu 325 mm [1].

Z měsíčních srážkových úhrnů nejvíce srážek spadne v červnu (73,1 mm), nejméně pak v lednu (23,8 mm). Na vegetační období (duben až září) připadne 65,3 % srážek (341,3 mm). Z hlediska tvorby a doplňování zásob podzemní vody má největší význam nevegetační období (říjen až březen), kdy je úhrn srážek podstatně menší (4,6–6,6 %), kladná vláhová bilance je dosažena díky omezené evapotranspiraci a současnému tání sněhové pokrývky.

Tabulka č. 13 Průměrný měsíční úhrn srážek ze stanice Brno – Žabovřesky za období 1987–2009

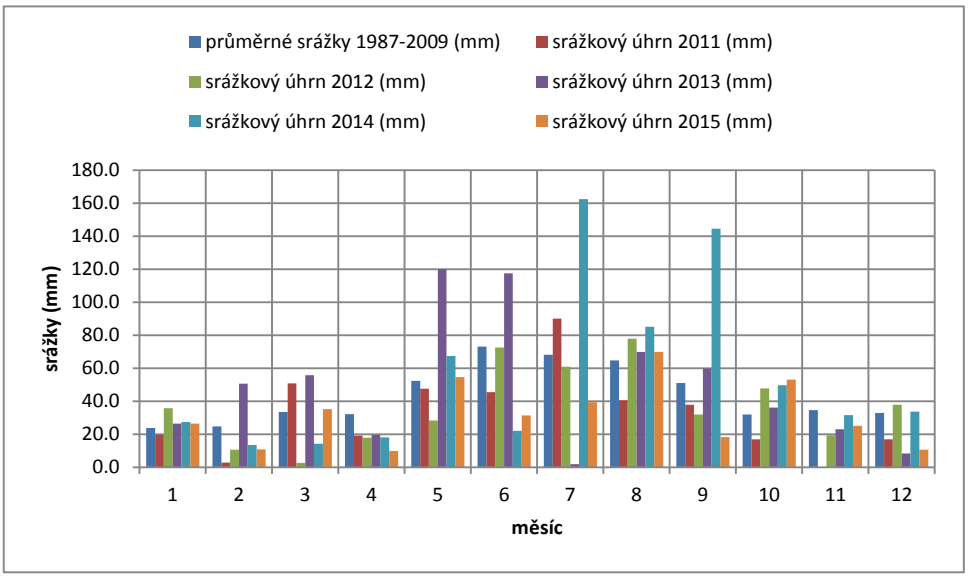
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Roční
Průměrné srážkové úhrny (mm)	**23,8**	24,7	33,4	32,1	52,3	**73,1**	68,1	64,7	51,0	31,9	34,6	32,9	**522,6**
v % ročního normálu	4,6	4,7	6,4	6,1	10,0	14,0	13,0	12,4	9,8	6,1	6,6	6,3	
Průměrné srážkové úhrny během ročních období (mm)	Jaro (3–5) 117,8			Léto (6–8) 205,9			Podzim (9-11) 117,5			Zima (12–2) 81,4			
v % ročního normálu	22,5			39,4			22,5			15,6			
Průměrné srážky během vegetace (mm)	Vegetační období (4–9) 341,3						Nevegetační období (10–3) 181,3						
v % ročního normálu	65,3						34,7						

Vývoj srážek v klimatologické stanici Brno – Žabovřesky v období 2011 až 2015 je patrný z tabulky č. 14 a obrázku č. 1. Současně je zde prezentováno i srovnání s Réthlyho klasifikací dle období 1987–2009. Grafické srovnání měsíčních úhrnů za výše uvedené období s dlouhodobými údaji 1987–2009 je patrné z níže vyobrazeného grafu.

Tabulka č. 14 Měsíční úhrn srážek ze stanice Brno – Žabovřesky a jejich klasifikace dle Réthlyho

Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Rok
Průměrné srážkové úhrny 1987–2009 (mm)	**23,8**	24,7	33,4	32,1	52,3	**73,1**	68,1	64,7	51,0	31,9	34,6	32,9	**522,6**
Srážkové úhrny 2011 (mm)	19,5	2,9	50,9	19,2	47,5	45,5	**90,0**	40,6	37,8	16,9	**0,0**	16,9	387,7
v % daného období	5,0	0,7	13,1	5,0	12,3	11,7	23,2	10,5	9,7	4,4	0,0	4,4	-
v % měsíčního normálu	81,9	11,7	152,4	59,8	90,8	62,2	132,2	62,8	74,1	53,0	0,0	51,4	74,2
Klasifikace dle Réthlyho 2011	N	SS	VV	S	N	S	V	S	S	S	SSS	S	SS
Srážkové úhrny 2012 (mm)	35,7	10,6	**2,7**	17,9	28,4	72,6	60,9	**77,9**	32,0	47,8	19,4	37,8	443,7
v % daného období	8,0	2,4	0,6	4,0	6,4	16,4	13,7	17,6	7,2	10,8	4,4	8,5	-
v % měsíčního normálu	150,0	42,9	8,1	55,8	54,3	99,3	89,4	120,4	62,7	149,8	56,1	114,9	84,9
Klasifikace dle Réthlyho 2012	V	SS	SSS	S	S	N	N	N	S	V	S	N	S
Srážkové úhrny 2013 (mm)	26,5	50,6	55,8	19,5	**120,0**	117,4	**1,8**	69,9	59,7	36.1	23.0	8,4	**588,7**
v % daného období	4,5	8,6	9,5	3,3	20,4	19,9	0,3	11,9	10,1	6,1	3,9	1,4	-
v % měsíčního normálu	111,3	204,9	167,1	60,7	229,4	160,6	2,6	108,0	117,1	113,2	66,5	25,5	112,6
Klasifikace dle Réthlyho 2013	N	VVV	VV	S	VVV	VV	SSS	N	N	N	S	SS	V
Srážkové úhrny 2014 (mm)	27,3	**13,4**	14,3	18,0	**67,4**	22,1	**162,4**	**85,1**	144,5	49,6	31,5	33,7	669,3
v % daného období	4,1	2,0	2,1	2,7	10,1	3,3	24,3	12,7	21,6	7,4	4,7	5,0	-
v % měsíčního normálu	114,7	54,3	42,8	56,1	128,9	30,2	238,5	131,5	283,3	155,5	91,0	102,4	128,1
Klasifikace dle Réthlyho 2014	N	S	SS	S	V	SS	VVV	V	VVV	VV	N	N	VV
Srážkové úhrny 2015 (mm)	26,4	**10,9**	35,2	9,8	**54,7**	31,3	39,4	69,9	18,2	53,1	25,1	10,7	384,7
v % daného období	6,9	2,8	9,1	2,5	14,2	8,1	10,2	18,2	4,7	13,8	6,5	2,8	-
v % měsíčního normálu	110,9	44,1	105,4	30,5	104,6	42,8	57,9	108,0	35,7	166,5	72,5	32,5	73,6
Klasifikace dle Réthlyho 2014	N	SS	N	SS	N	SS	S	N	SS	VV	S	SS	SS

Obrázek č. 1 Vývoj srážek za období 2011 až 2015



V období 2011 až 2014 byla patrná vzestupná tendence ročních srážkových úhrnů; od 387,7 do 669,3 mm. Srážkový úhrn za rok 2015 (384,7 mm) byl téměř stejný jako v roce 2011.

Dle Réthlyho klasifikace se období 2011 až 2014 se vyvíjelo od srážkově velmi suchého roku 2011, přes suchý a vlhký rok 2012 a 2013, až k velmi vlhkému roku 2014. Rok 2015 byl opět srážkově velmi suchý.

4.4 Geologické poměry

Pro charakteristiku geologických poměrů bylo použito geologické mapy ČR list 24-32 Brno a list 24-34 Ivančice v měřítku 1:50 000 [10].

Z regionálně-geologického hlediska se zájmové území nachází na hranici dvou jednotek. Jedná se o Český masiv a Karpatskou předhlubeň. Český masiv je zde reprezentován regionem brunovistulikum a jednotkou brněnský masiv. Karpatská předhlubeň je součástí periferních alpsko-karpatských pánví v předpolí flyšových jednotek. Nachází se v podloží vněkarpatských sníženin. Z regionálně geologického hlediska náleží širší okolí zájmového území východnímu okraji Českého masívu, zde reprezentovaného dílčí jednotkou – brněnský masiv, do kterého z jihovýchodu zasahují výběžky karpatské předhlubně soustavy Západních Karpat.

4.4.1 Předkvartérní podloží

Horniny brněnského masivu budují předkvartérní a předterciérní podloží. Brněnský masiv je různorodým komplexem hornin, na jehož stavbě se podílí především magmatické horniny. Je kadomským krustálním blokem (mikrokontinentem) při jeho západním okraji varisky přepracovaným. Výskyt metamorfitů se projevuje především v oblastech ovlivněných tlakovými projevy a metastatickými přeměnami. Brněnský masiv je významnou geologickou jednotkou probíhající v generelním směru SSV–JJZ. Je protáhlým tělesem přibližně trojúhelníkového tvaru. Na západní hranici se noří pod sedimenty Boskovické brázdy. Na jihovýchodě až východě je masív překryt neogenními sedimenty karpatské předhlubně. Jeho

hranice vůči okolním celkům jsou většinou tektonické. Horniny brněnského masivu jsou tektonicky značně porušeny a rozčleněny v řadu ker, vzájemně vertikálně posunutých. Převládají v něm hlavně různé typy granodioritů. Rozmanitost ve složení granodioritů je částečně ovlivněna i hloubkou obnažení a množstvím a kvalitou pohlcených zbytků jejich pláště.

Stáří brněnského masívu je prekambrické, transgredují na něj jak devonské, tak nověji zjištěné kambrické uloženiny. Na základě radiometrických měření byl stanoven interval možného stáří těchto hornin na 560–600 mil. let.

Brněnský masív byl během třetihor zaplaven mořem. Neogenní sedimenty se zachovaly dodnes v tektonických sníženinách a skalních rozsedlinách. Tyto sedimenty náleží karpatské předhlubni, která je součástí periferních alpsko-karpatských pánví a na území ČR tvoří systém vzájemně paralelních podélných předhlubní. Vlastní stavba předhlubně byla tektonicky podmíněna zejména systémem dříve založených zlomů, orientovaných ve směru SV–JZ a SZ–JV, které se uplatňovaly v různém stadiu vývoje této pánve a představovaly rozhodující faktory při formování její morfologie. Pánev je vyplněna mořskými molasovými sedimenty egeru až badenu a leží přímo na krystaliniku, paleozoiku nebo mezozoiku. Marinní sedimenty jsou zde reprezentovány pelitickou facií vápnitých jílů s vysokou až velmi vysokou plasticitou (tégly).

Koncem spodního badenu došlo k ústupu mořské sedimentace a území se stalo definitivně souší. Celá oblast se klenbovitě zvedla a došlo k dalším dílčím výškovým diferenciacím krystalinického podkladu.

Po ústupu moře byly terciérní sedimenty vystaveny erozi a rozplavením těchto sedimentů bylo mnohde odkryto skalní podloží brněnského masivu. Na přelomu pliocénu a spodního pleistocénu se začaly vytvářet svahové sedimenty, jejichž zrnitostní a materiálové složení je závislé na morfologii místa vzniku a petrografickém složení podložních předkvartérních hornin.

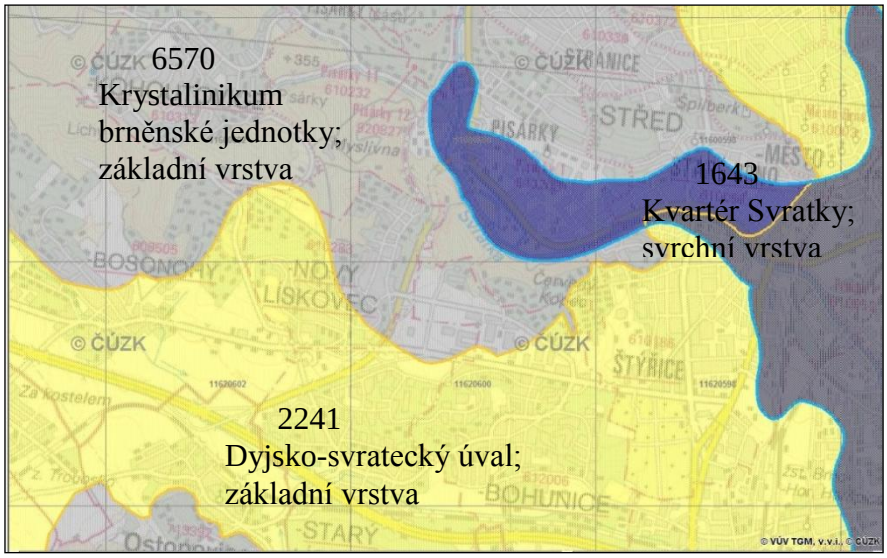
4.4.2 Kvartérní sedimenty

Ve svrchním pleistocénu se ukládaly eolické sedimenty ve formě spraší a sprašových hlín, které místy obsahují klastickou příměs. Při úpatí svahů se ukládaly deluviální kamenité, hlinito-kamenité až písčito-hlinité sedimenty místy s eolickou příměsí. V holocénu se ukládaly smíšené deluviofluviální sedimenty včetně výplavových kuželů. Podél vodotečí v místech, která jsou inundovaná za vyšších vodních stavů, se usazovaly nivní hlinité, písčité a štěrkovité sedimenty. Místy se vyskytují antropogenní uloženiny ve formě skládek a navážek.

4.5 Hydrogeologické poměry

Dle hydrogeologické rajonizace [11] [17] se zájmové území nachází na rozhraní dvou hydrogeologických rajonů – viz obrázek č. 2. Jižní část zájmového území náleží k hydrogeologickému rajónu č. 2241 „Dyjsko-svratecký úval“. Severní část zájmového území náleží k hydrogeologickému rajonu č. 6570 „Krystalinikum brněnské jednotky“. Celá oblast náleží do povodí Dunaje. Na zájmové lokalitě jsou pro daný záměr z hydrogeologického hlediska hlavní neogenní a kvartérní sedimenty rajónu č. 2241.

Obrázek č. 2 Mapa hydrogeologické rajonizace



Neogenní sedimenty jsou charakteristické častými litofaciálními změnami v horizontálním i vertikálním směru, vytvářejí z hydrogeologického hlediska systém velmi nepravidelně se střídajících izolátorů (jíly) a průlinových vrstvových kolektorů (písky, štěrky). Neogenní jíly jsou velmi slabě až nepatrně propustné a z hydrogeologického hlediska tvoří poloizolátor až izolátor, zatímco písky a štěrky jsou obvykle vysoce propustné, plní funkci průlinového kolektoru. Spraše a sprašové hlíny bývají suché, pouze při bázi ojediněle zvodněné. Jejich hydraulické vlastnosti jsou na rozhraní průlinového kolektoru a regionálního izolátoru.

V celé ploše rozšíření hydrogeologického masivu (rajon č. 6570) převažuje puklinový kolektor s proměnlivým podílem průlinové porózity v pásmu připovrchového rozpojení a rozpukání hornin. Oběh podzemní vody probíhá převážně v tomto připovrchovém pásmu. Hlubší oběh je možné očekávat u tektonicky porušeného masivu především v dosahu propustnějších poruchových zón. Hloubka oběhu je dána pozicí místní erozní báze. Hladina podzemní vody je většinou volná a sleduje konformně terén. K infiltraci dochází prakticky v celé ploše výchozové části hydrogeologického masivu v závislosti na míře propustnosti kvartérních sedimentů.

Mocnost neogenního komplexu je značně proměnlivá. Neogenní jíly představují ve většině případů svým složením nepropustné podloží kvartérních sedimentů. Jen v místech, kde na neogenní písky nasedají přímo mírně až silně propustné kvartérní sedimenty, dochází k vytvoření jednotné zvodně.

Zvodnění teras závisí především na jejich poloze vůči místní erozní bázi. Bazální souvrství údolní nivy (štěrkopísky a písky) tvoří vlastní kolektor, povodňové hlíny pak představují stropní izolátor spodního propustného souvrství.

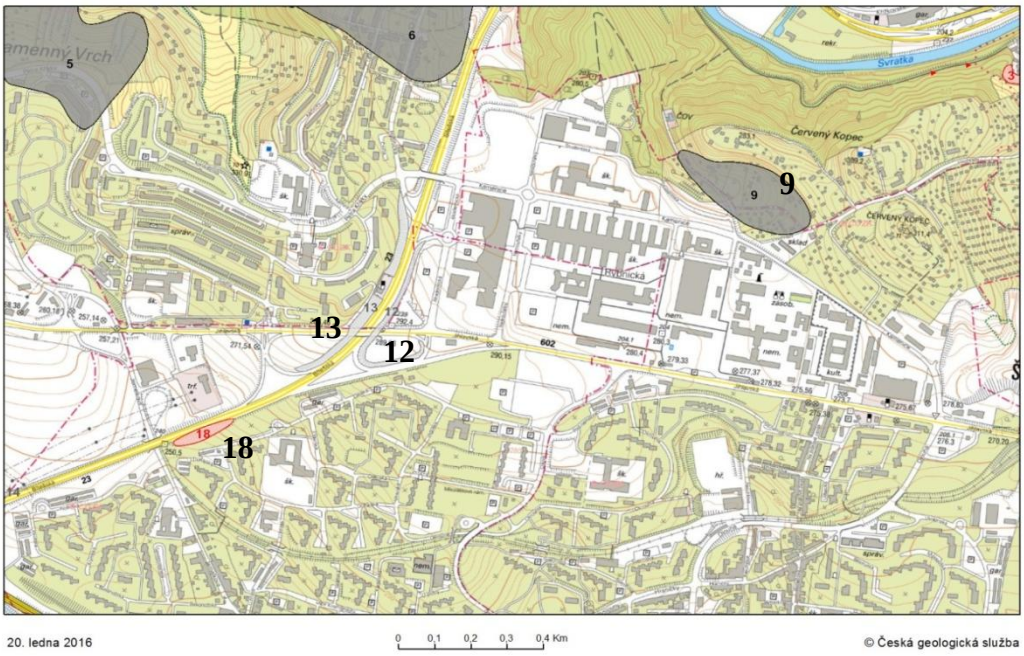
Dle hydrogeologické mapy ČR list 24-32 Brno v měřítku 1:50 000 [19] podzemní voda v zájmovém území vykazuje zhoršenou kvalitu (voda III. kategorie).

Podzemní voda se v zájmovém území pohybuje dle závislosti na morfologii terénu buď na jih, nebo na sever od rozvodnice, kterou z větší části kopíruje ulice Jihlavská.

4.6 Svahové nestability

Dle registru svahových nestabilit se v širším okolí zájmové lokality nachází 4 svahové nestability, které spadají do kategorie plošných sesuvů přírodního původu s délkou nad 50 m. Sesuvy č. 12 a 13 jsou zařazeny jako uklidněné, sesuv č. 9 je zařazen jako dočasně uklidněný a sesuv č. 18 je zařazen jako aktivní. Jejich lokalizace je patrná z níže uvedeného obrázku č. 3 [21].

Obrázek č. 3 Mapa svahových nestabilit



5 ÚZEMÍ SE ZVLÁŠTNÍ OCHRANOU

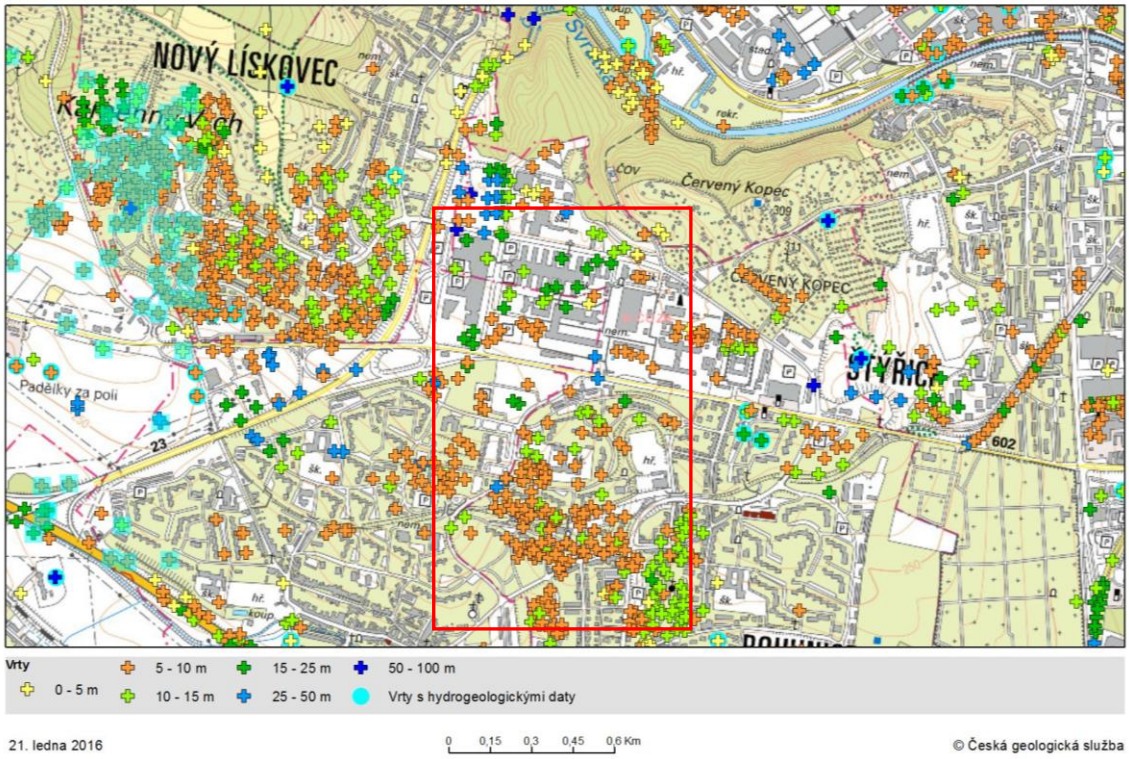
Zájmové území není součástí velkoplošného ani maloplošného zvláště chráněného území (dle § 14 zákona č.114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, v platném znění) [18], není součástí Chráněné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV – dle § 28 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění), není součástí ochranných pásem vodních zdrojů (dle § 30 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění), není ani součástí záplavového území (dle § 66 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, v platném znění) [17].

6 VÝSLEDKY REŠERŠNÍCH PRACÍ

6.1 Vrtná prozkoumanost

V širším okolí zájmového území se nachází velké množství vrtných objektů. Pro rešeršní potřeby byla vybrána oblast znázorněná na níže uvedeném obrázku č. 4. Ve vybraném polygonu se nachází 252 vrtných objektů. Jedná se především o vrty ložiskového průzkumu a inženýrsko-geologické vrty. Chronologický seznam vrtných objektů je uveden v příloze 6 a je řazen od nejstaršího vrtného objektu k nejmladšímu [19].

Obrázek č. 4 Výřez z mapy vrtné prozkoumanosti



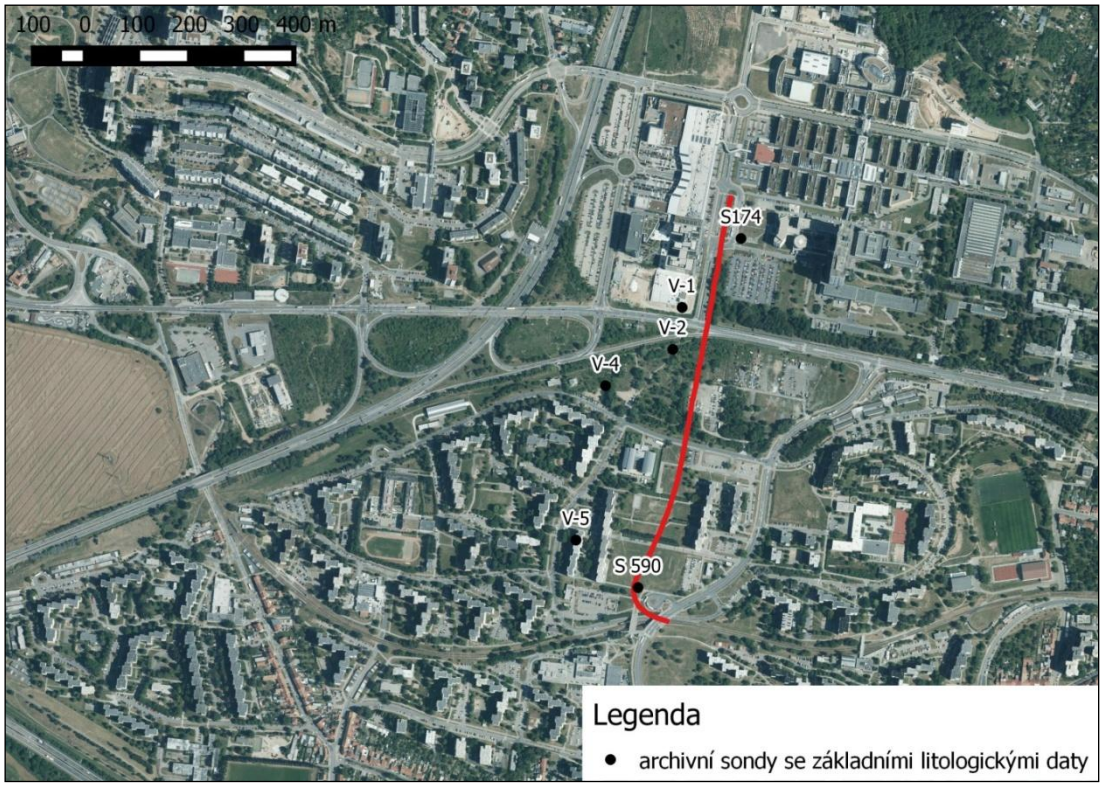
Nejbližších 13 hydrogeologických vrtů je vzdálených v okruhu cca 1000 m od pomyslného středu zájmového území – viz obrázek č. 5 [19]. Jejich seznam je součástí přílohy 6.

Obrázek č. 5 Situace archivních HG vrtů v okolí zájmového území



Reprezentativní archivní vrty pro projektovanou TT jsou zakresleny v obrázku č. 6, jejich parametry jsou uvedeny v příloze 7.

Obrázek č. 6 Situace archivních sond v okolí zájmového území



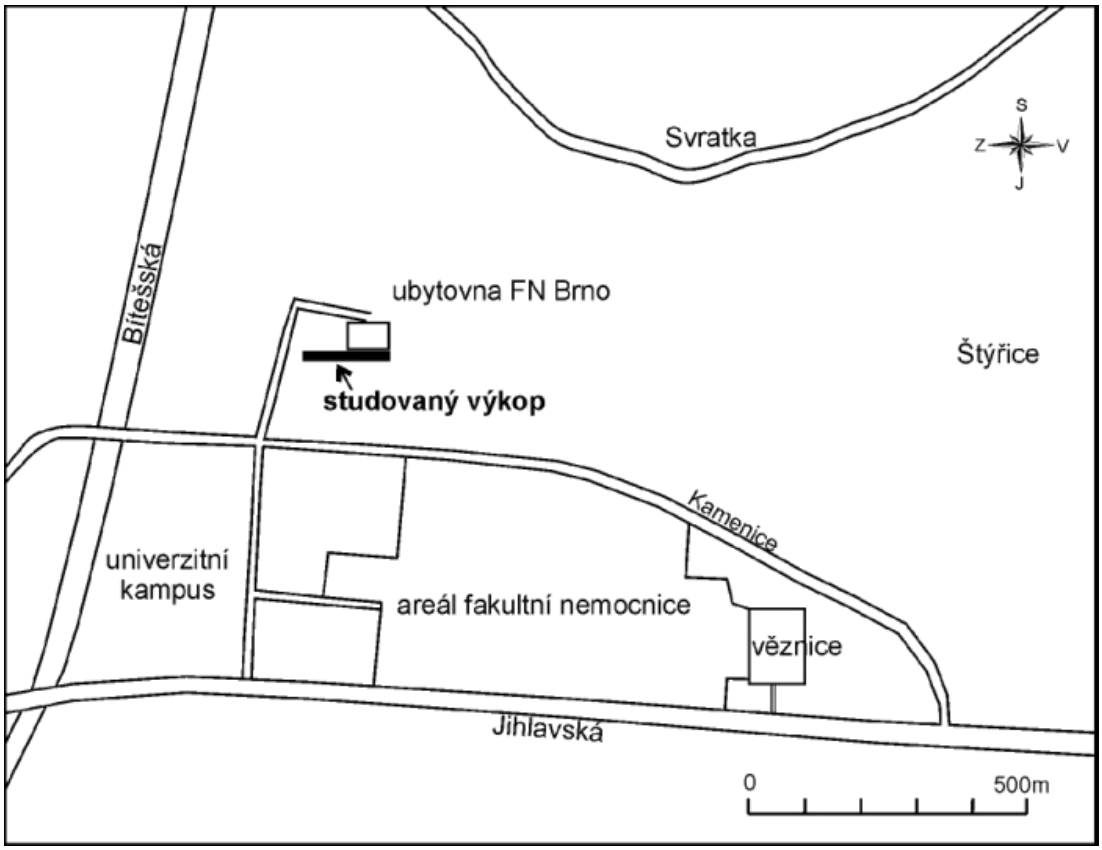
6.2 Rešeršní část geologie

Na souřadnicích -601150,254 -1162187,579 byla v roce 2007 provedena studie miocénních sedimentů. Tato studie by mohla přinést nové informace o podloží severní části zájmové lokality.

Jedním z produktů intenzivní stavební činnosti v městě Brně je krátkodobá existence řady umělých terénních odkryvů, které mohou přinést některá nová data do mozaiky poznání geologického vývoje této oblasti. V prostoru Bohunické plošiny byly tak odkryty sedimenty, které se litologicky výrazně liší od neogenních sedimentů popsaných v nejbližším okolí nálezu (Hrádek 1989, Hrádek et al. 1989, Krystek 1983, Pálenský 1991).

Při rozsáhlých výkopech pro kanalizaci, hloubených v červnu roku 2006, v prostoru budoucího univerzitního kampusu, byly poblíž ubytovny Fakultní nemocnice Brno (Netroufalky 1) zastiženy miocénní sedimenty (obrázek č. 7).

Obrázek č. 7 Lokalizace výkopu na ulici Netroufalky v Brně

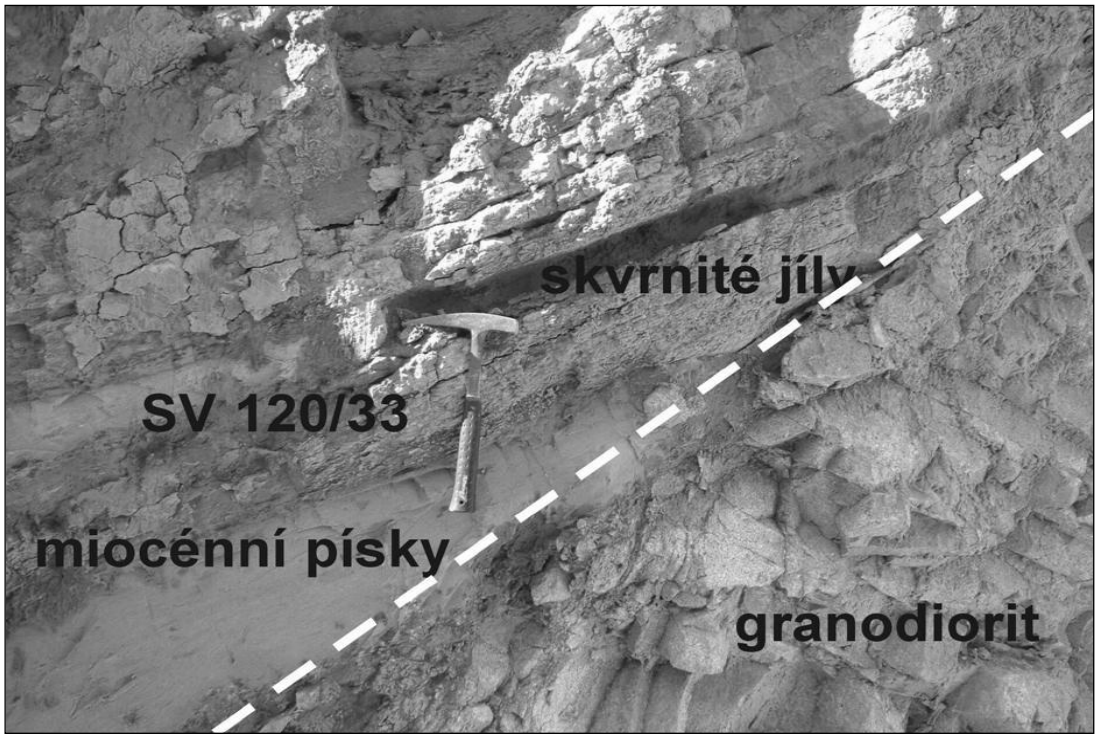


Koordináty odběrového bodu jsou N=49°10´45,8´´ a E=16°34´09,7´´, nadmořská výška je 275 m n. m. Stavební rýha orientovaná přibližně rovnoběžně s ulicí Kamenice zastihla od Z k V nejprve světlehnědé navětralé středně zrnité biotitické granodiority brněnského masivu přímo pod půdním pokryvem, jehož mocnost nepřevyšovala 30 cm. Dále k V podložní krystalinikum rychle klesalo s úklonem generelně k VSV a výkop zastihl transgresní styk se slídnatými nevápnitými písky miocénu lavicovitě se střídající se zelenými, rezavě skvrnitými nevápnitými jíly.

Nejvyšší partie tělesa neogenních sedimentů byla tvořena několik metrů mocnými jíly. Kontakt granodioritu a miocénních sedimentů byl ostrý, bez vyvinutých zvětralin (obrázek č. 8). Ostrohranné klasty granodioritu o průměru do 10 cm se nacházely pouze v bazální vrstvě sedimentů. Neogenní sedimenty byly proměnlivě vápnité. Rezavé skvrny byly tvořeny vápnitými písky.

Na ploškách mezi jílovci a písky byla změřena vrstevnatost SV=120/15–33. Dále k V je v píscích vyvinuto zřetelné šikmé zvrstvení, úklony do 30° k JV. Celková zjištěná mocnost miocénních sedimentů je do 15 metrů, jejich svrchní hranice je zřejmě erozivní a směrem k V na ně nasedají sprašové hlíny (obrázek č. 9).

Obrázek č. 8 Detail kontaktu granodioritů brněnského masivu a sedimentů miocénu v jižní stěně rýhy



Obrázek č. 9 Erozivní kontakt miocénních písků a sprašových hlín, severní stěna rýhy



Těleso miocénních sedimentů vyplňuje nepravidelnou depresi v horninách brněnského masivu, na což ukazují další zemní práce. Tvar sedimentárních těles byl ovlivněn reliéfem krystalinického podloží. Ve směru jeho sklonu dochází často k naduřování, případně vykliňování jednotlivých těles miocénních sedimentů. Konkávní průběh hranice řady písčitých těles umožňuje tyto sedimenty interpretovat jako valy případně „hummocky".

Úklon vrstevních ploch se směrem do nadloží a do centra deprese výrazně snižuje. Lze sledovat lokální progradaci („transgresi") sedimentů na nepravidelný reliéf krystalického podloží.

V rámci miocénních sedimentů bylo vyčleněno 5 litofacií (tabulka č. 15). Vrstevní sled, rozšíření jednotlivých litofacií a strukturní data jsou prezentována na obrázku č. 10.

Tabulka č. 15 Litofanie miocénních sedimentů ve výkopu na ul. Netroufalky

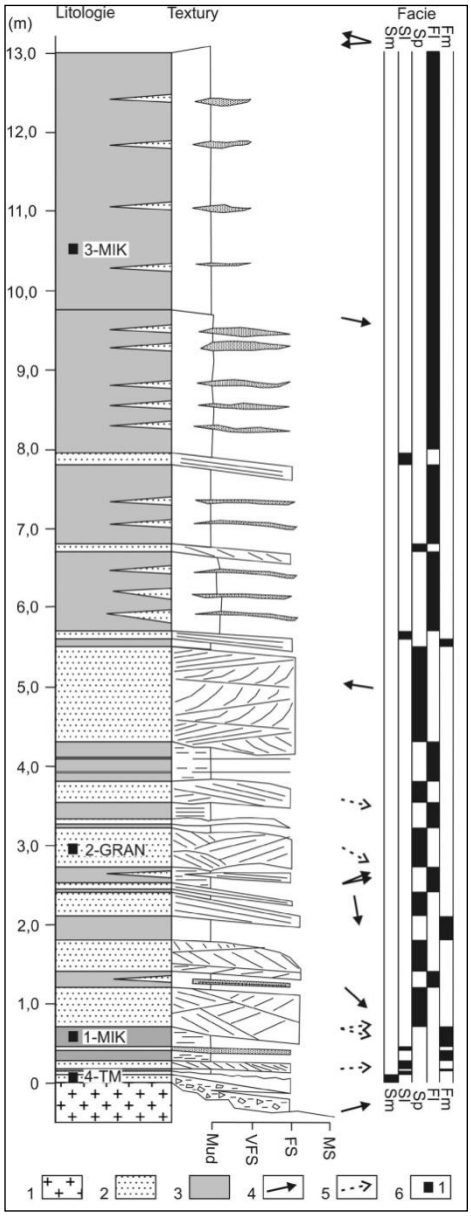
Facie	Popis
SM	Zelenavě hnědý až šedohnědý slabě až silně jílovitý jemnozrnný písek, nevápnitý s ostrohrannými klasty granitoidů (Φ do 10 cm)
SL	Rezavě skvrnitý zelenošedý jemnozrnný písek horizontálně laminovaný, občas přítomny intraklasty zelenohnědého jílu (Φ do 3 cm)
SP	Zelenavě šedý jemnozrnný až střednozrnný písek, šikmo zvrstvený. Dominuje planární šikmé zvrstvení s angulárním a tangenciálním průběhem lamin, vzácněji přítomno zvrstvení korytovité. Mocnost jednotlivých setů se pohybuje klem 10 cm. Báze je často erozní s konkávním či planárním průběhem. Svrchní hranice planární či mírně konvexní. Písek je vytříděn. Slabě vápnitý i nevápnitý.
FL	Hnědozelený až zelenošedý slabě vápnitý jíl s laminami a čočkami jemnozrnného písku – čočkovité zvrstvení. Ostrá báze i svrchní vrstevní plocha.
FM	Rezavě hnědý až zelenohnědý jíl slabě jemně písčitý, slabě vápnitý i nevápnitý. Obvykle masivní, jindy přítomna slabě zřetelná paralelní laminace (díky přítomnosti lamin jemnozrnného až velmi jemnozrnného písku). Ostrá báze i svrchní vrstevní plocha.

Granulometrické studium (kombinace sítovací metody a laserového granulometru) dominantní písčité facie S_P (vzorek č. 2) ukazuje naprostou dominanci písčité frakce (89,1 %), ostatní frakce jsou přítomny pouze akcesoricky (prach 8 %, jíl 2,9 %). Písek je dominantně jemnozrnný (62,6 %), dále byl přítomen středozrnný písek (20,2 %) a velmi jemnozrnný písek (17,3 %). Průměrná velikost zrn (Mz) dosahovala hodnoty 2,83 Φ a koeficient vytřídění δ_I odpovídal 0,9 (střední vytřídění). Hodnoty zrnitostních charakteristik byly vypočteny dle Folk – Ward (1957).

Studium těžkých minerálů klastických sedimentů je v brněnské oblasti osvědčenou metodou dodávající podklady pro úvahy o provenienci a litostratigrafii. Asociace odebraná z bazálních částí miocénních písků se vyznačuje rovnováhou mezi opakními a průsvitnými těžkými minerály. Důležitější jsou poměry v průsvitné těžké frakci, kde staurolity mírně převažují nad granáty a oba minerály spolu tvoří přes 80 % obsahu. Z dalších minerálů jsou zastoupeny turmalíny (5 %), minerály epidotové skupiny (cca 4 %), rutily a kyanity kolem 3 %, apatity a zirkony 1–2 % a některé další minerály pod 1 % (sillimanit, amfibol, sagenit a glaukofan?).

Na základě výsledků sedimentárně-geologického studia lze zachycené sedimenty interpretovat jako produkt depozice v oblasti okraje pánve tj. břežní linie s postupným prohlubováním (vzestupem hladiny). Sedimentace byla do značné míry ovlivněna výrazným reliéfem a epizodickým přínosem písčitého materiálu do pánve, případně ovlivnění depoziční báze trakčním transportem (vliv bouřek?).

Obrázek č. 10 Vrstevní sled rozšíření jednotlivých litofacií a strukturní data ve výkopu na ulici Netroufalky



Legenda: 1 – granodiorit (krystalinické podloží), 2 – písek, 3 – jíl; orientace: 4 – vrstevnatosti, 5 – zvrstvení; 6 – vzorky. Zrnitost: Mud (jíl+prach) – VFS (velmi jemnozrnný písek) – FS (jemnozrnný písek) – MS (středozrnný písek). Facie viz tabulka č. 6.

Mikrofauna prachovitých jílů představuje pseudoasociaci vzniklou redepozicí různě starých prvků. Křídové redepozice představují nejpočetnější složku pseudoasociace a dovolují zařazení zdrojových sedimentů do santonu. Takovéto datování otevírá zajímavou otázku provenience redepozice, na niž zatím neznáme odpověď. Nejmladší marinní sedimenty české křídové pánve na Moravě patří coniacu (Svitavsko). Je proto potřeba hledat zdroj, který dnes již patrně neexistuje, ať už v Českém masivu nebo v prostoru Vnějších Karpat. Miocénní marinní mikrofosilie v pseudoasociaci by mohly být redeponované z eggenburgu. Hrádek et al. (1989) uvažují o eggenburském stáří závalků na nedalekém Kamenném vrchu na základě jejich mikrofauny. Zbytky tenkostěnných hladkých ostrakodů (*Candona*? sp.) jsou zřejmě jedinými mikrofosíliemi, které lze považovat za autochtonní faunu, či alespoň za synsedimentární redepozice.

Složení křídové redeponované fauny a asociace průhledných těžkých minerálů velmi upomíná na rzehakiové vrstvy známé z příležitostných odkryvů v Líšni. Zdá se být proto pravděpodobné, že popisované sedimenty z Bohunic jsou ottnangského stáří. Na základě měkkýšů se uvádí pro typické rzehakiové vrstvy brachyhalinní prostředí. Zbytky ostrakodů z Bohunic budí dojem spíše sladkovodní fauny. Do příbřeží jezera nebo zálivu moře mohly být transportovány z fluviálního prostředí nebo sladkovodních lagun [9].

6.3 Orientační určení GT vlastností neogénních jílů pro předběžné výpočty

Na území města Brna se v rámci neogenních sedimentů karpatské předhlubně můžeme setkat s různými jíly, které se liší nejenom svým stářím (ottnang, karpat a spodní baden), ale i svým litologickým složením.

Jíly ottnangu jsou převážně šedé až zelenošedé, nevápnité jíly, často s prachovitou i písčitou příměsí. Jedná se o sladkovodní sedimenty, které jsou produktem jezerní sedimentace. Jíly karpatského stáří jsou hnědošedé až šedé, místy pestře smouhované. Bývají proměnlivě písčité, slabě vápnité, často vrstevnaté a jsou marinního původu. Plošně i vertikálně nejrozšířenější jsou jíly spodnobadenské. Jedná se o šedé, šedomodré až šedozelené vápnité prachovité jíly s vložkami písků, často nazývané starým označením „tégly“. Uložily se během transgrese spodnobadenského moře.

V inženýrsko-geologických průzkumech nebývá stáří jílů vyčleněno a jsou označovány pouze jako neogenní, případně bývají automaticky zařazeny mezi spodnobadenské „tégly“. Opodstatněnost tohoto přiřazení je dána dominantním plošným rozšířením spodnobadenských jílů oproti ostatním.

Souhrnně byly tyto zeminy z hlediska jejich geomechanických parametrů zpracovány v práci týkající se geomechanických vlastností neogenních jílů na území města Brna [4].

Základní fyzikální, indexové a geomechanické vlastnosti neogenních jílů na území Brna jsou uvedeny v tabulkách č. 16 a 17 [4].

Tabulka č. 16 Fyzikální a indexové vlastnosti neogenního jílu na území města Brna [4]

Ukazatel	Jednotky	Minimální hodnota	Maximální hodnota	Aritmetický průměr	Modus	Nejčastější rozsah
w	[%]	9,6	48,1	31,7	34,9	30,1–39,0
w_l	[%]	28,02	97,2	74,5	78,4	60,1–80,0
w_p	[%]	8	46	31	31,9	24,1–38,0
I_p	[%]	8,78	72	43,4	44,1	35,1–60,0
I_c	[–]	0,55	1,44	1	1	0,81–1,10
ρ	[kg.m^{-3}]	1676	2195	1880,3	1868,3	1781–1960
ρ_d	[kg.m^{-3}]	1131	1891	1438,1	1396	1281–1520
ρ_s	[kg.m^{-3}]	2581	2839	2728,1	2722	2701–2750
n	[%]	31	61	47,8	48,5	44,1–52,0
S_r	[%]	73	100	94,2	98,7	92,1–100,0

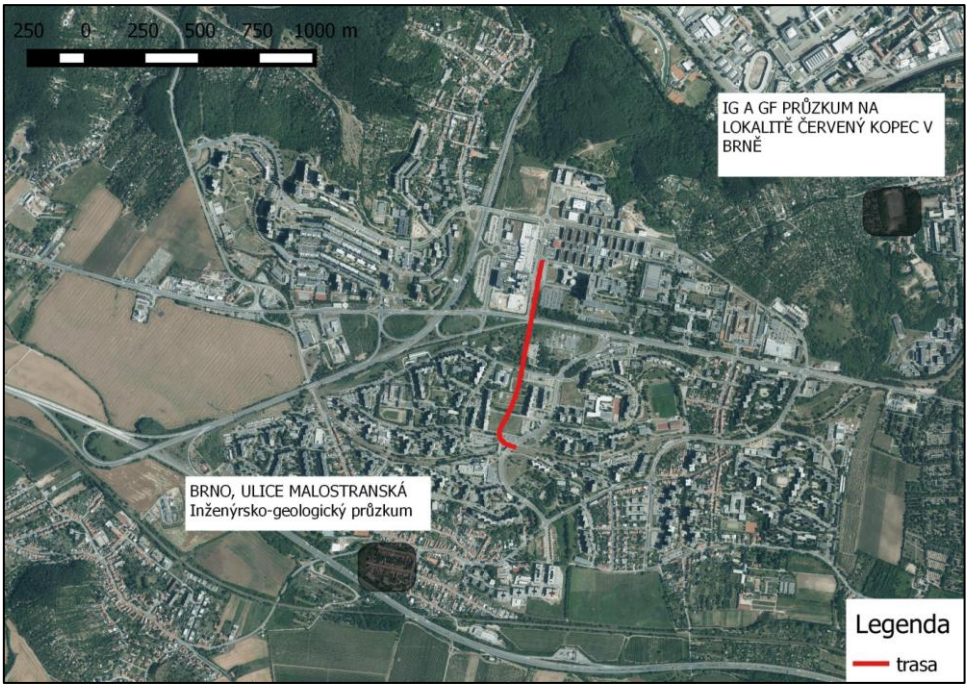
Tabulka č. 17 Parametry smykové pevnosti neogenního jílu na území města Brna [4]

Ukazatel	c_u	φ_u	c_{ef}	φ_{ef}
Jednotky	[kPa]	[°]	[kPa]	[°]
Minimální hodnota	4,0	0,0	0,0	8,0
Maximální hodnota	400,0	37,6	104,0	30,8
Aritemtický průměr	103,3	9,3	31,5	18,4
Modus	86,1	3,6	23,1	17,6
Nejčastější rozsah	75,1–150,0	0,1–10,0	4,1–40,0	10,1–25,0

Z archivních zpráv společnosti VENTIMIGLIA s.r.o. byly použity geotechnické parametry ze zprávy [15], z archivu společnosti GEODRILL s.r.o. byly použity parametry ze zprávy [14].

Místa provedených průzkumů jsou patrná z obr. 11. Základní fyzikální, indexové a geomechanické vlastnosti neogenních jílů, zjištěné těmito průzkumy jsou uvedeny níže v tabulkách č. 18 a 19.

Obrázek č. 11 Situace použitých archivních zpráv



Tabulka č. 18 Geotechnické charakteristiky neogenních jílů [15]

	veličina	**jednotka**	**rozmezí F8**	**∅ hodnota F8**
Objemová tíha	γ_n	[kN.m^{-3}]	19.5 – 20.1	**19.8**
Měrná tíha	γ_s	[kN.m^{-3}]	27.3 – 27.4	**27.3**
Přirozená vlhkost	w_n	[%]	20.1 – 22.1	**21.1**
Koeficient filtrace (z křivky zrnitosti)	k_f	[m.s^{-1}]	9×10^{-11} – 1×10^{-10}	**9×10^{-11}**
Stupeň konzistence (redukovaný)	I_{CR}	[1]	1.04 – 1.12	**1.1**
Index plasticity	I_P	[%]	43.5 – 44.7	**44.1**
Totální úhel vnitřního tření *)	φ_u	[°]	0	
Totální soudržnost *)	c_u	[kPa]	80	
Efektivní úhel vnitřního tření	φ_{ef}	[°]	9.1	
Efektivní soudržnost	c_{ef}	[kPa]	31.1	
Deformační modul	E_{def}	[MPa]	4.9	
Poissonovo číslo *)	ν	[1]	0.42	
Tabulková výpočtová únosnost *)	R_{dt}	[kPa]	160	

*Vysvětlivky: *) směrné normové charakteristiky dle normy ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ [01.04.2010 ukončena platnost]*

Tabulka č. 19 Geotechnické charakteristiky jílů [14]

	veličina	**jednotka**	**rozmezí hodnot F8**	**∅ hodnota F8**
Objemová tíha *)	γ_n	[kN.m^{-3}]	20.5	
Přirozená vlhkost	w_n	[%]	40.0	
Koeficient filtrace (z křivky zrnitosti)	k_f	[m.s^{-1}]	5×10^{-10}	
Stupeň konzistence (redukovaný)	I_{CR}	[1]	0.84	
Index plasticity	I_P	[%]	47.1	
Efektivní úhel vnitřního tření *)	φ_{ef}	[°]	13 – 17	**15**
Efektivní soudržnost *)	c_{ef}	[kPa]	2 – 8	**5**
Totální úhel vnitřního tření *)	φ_u	[°]	0	
Totální soudržnost *)	c_u	[kPa]	40	
Deformační modul	E_{def}	[MPa]	2 – 4	**3**
Poissonovo číslo *)	ν	[1]	0.42	
Převodní součinitel *)	β	[1]	0.37	
Tabulková výpočtová únosnost *)	R_{dt}	[kPa]	80	

*Vysvětlivky: *) směrné normové charakteristiky dle normy ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ [01.04.2010 ukončena platnost]*

7 VÝSLEDKY TERÉNNÍCH A LABORATORNÍCH PRACÍ

7.1 Souřadnice aktuálně realizovaných vrtů

Průzkumné vrty S1 až S10 byly geodeticky vytyčeny v souřadnicovém systému S-JTSK a výškovém systému Bpv. Po tomto vytyčení byla ještě provedena drobná korekce v situování vrtů S1, S3, S4 a S7. Důvodem posunu byly střety s inženýrskými sítěmi a lepší přístupnost pro vrtnou soupravu.

Souřadnice a nadmořské výšky vrtů jsou přehledně zobrazeny v následující tabulce č. 20. Technická zpráva geodetických prací tvoří přílohu 15.

Tabulka č. 20 Souřadnice aktuálně realizovaných vrtů

Vrt	S-JTSK		Bpv	Posun	Důvod posunu
	Y	X	Z terén; PZ [m n. m.]		
S1	601538,85	1163292,96	263,64	Posun o 4,6 m severozápadně na druhou stranu chodníku	Sítě UPC
S2	601 563,03	1 163 268,33	263,36	-	-
S3	601560,68	1163242,59	268,19	Posun o 2,1 m severně k chodníku	Sítě E.ON
S4	601507,35	1163168,38	269,43	Posun o 1,5 m jižně do travnaté plochy	Veřejné osvětlení
S5	601 443,62	1 163 069,06	281,20	-	-
S6	601 429,40	1 162 914,65	288,38	-	-
S7	601368,91	1162712,89	286,66	Posun o 3,2 m východně do travnaté plochy	Sítě E.ON; dispozice pro VS
S8	601 366,99	1 162 674,63	285,10	-	-
S9	601 359,10	1 162 634,83	282,71	-	-
S10	601 329,41	1 162 511,63	279,36	-	-

Modré hodnoty odečteny z mapy
Červené hodnoty odhadnuty z mapy

7.2 Výsledky terénní rekognoskace

V průběhu přípravných a vrtných prací byla provedena rekognoskace přilehlého okolí projektované tramvajové trati, s ohledem na výskyt vhodných hydrogeologických objektů pro režimní sledování HPV.

Touto rekognoskací nebyly v okruhu cca 300 m od projektované stavby nalezeny žádné archivní HG vrty ani studny.

Dle databáze vrtné prozkoumanosti se archivní HG vryty vyskytují až ve vzdálenějším okolí od projektované stavby; cca v okruhu 1 km – viz obrázek č. 5. Existence a stav těchto vzdálenějších HG vrtů nebyl ověřován, protože jsou již mimo zájmový prostor projektované stavby.

7.3 Zastižené geologické poměry

V rámci předkládaného průzkumu bylo provedeno celkem 10 jádrových vrtů (S1 až S10) do hloubky 3,0 až 20,0 m. Geologická dokumentace nových vrtů tvoří přílohu 4 a fotodokumentace vrtných jader přílohu 5. Dokumentace archivních vrtů je uvedena v příloze 7, jejich lokalizace je zřejmá z obrázku č. 5.

Ve svrchní části vrtných profilů byly zastiženy navážky (GT1). Zasahují do hloubky od 0,1 do 3,5 m p. t. Jejich průměrná mocnost činí 1,7 m. Mocnosti nad 2,0 m dosahují v úseku mezi vrty S6 až S8 (staničení cca 0,48–0,75 km).

Z archivních vrtů, zobrazených na obrázku č. 5., byly navážky zastiženy pouze ve vrtu S174, v okolí Fakultní nemocnice Brno–Bohunice; mocnost pouze 0,2 m.

Materiál navážek je většinou tvořen přemístěnými jílovitými nebo hlinitými zeminami místního původu, s občasnou příměsí úlomků hornin, štěrku, betonu a cihel. Ve vrtu S2 navážka tvoří konstrukční vrstvu plochy parkoviště. Ve vrtu S6 ji kromě výše uvedených zemin, tvoří písčitý jíl a hlinitý písek. Dle ČSN 73 6133 byly klasifikovány do tříd F4 a S4.

Pod navážkami se vyskytují kvartérní eolické a deluvioeolické sedimenty (GT2a). Jedná se o spraše, jíly a prachovité jíly. S výjimkou vrtu S6, kde se nevyskytují, jejich mocnost kolísá od 1,8 m (S10) do 11,0 m (S3), přičemž vrty S9 a S10 byly ukončeny dříve, než byla zastižena báze těchto sedimentů. Průměrná mocnost činí 4,6 m. Mocnosti nad 8 m dosahují v jižní části projektované trasy, v úseku mezi vrty S1 až S3 (staničení cca 0,05–0,13 km).

Archivními vrty byly ověřeny obdobné mocnosti, v rozmezí od 2,0 do 9,9 m a obdobně jejich mocnost klesá v území mezi ulicemi Labská a Jihlavská. Jedná se o nejvyvýšenější část lokality, odkud byly tyto sedimenty sneseny (erodovány).

Spraše litologicky představují jíly prachovité a jíly písčito-prachovité, světle hnědé, vápnité, často s vápnitými nitkami nebo vápnitými konkrecemi (cicváry), jemně slídnaté, vrstevnaté, lupenitě rozpadavé, tuhé až pevné konzistence. Dle ČSN 73 6133 byly klasifikovány jako jíly se střední plasticitou (F6 CI).

Deluvioeolické sedimenty litologicky představují jíly a jíly prachovité, hnědé, světle hnědě mramorované, vápnité, místy obsahují bílošedé vápnité polohy, místy černě kropenaté organickou hmotou, tuhé až pevné konzistence. Dle ČSN 73 6133 byly klasifikovány do tříd F8 a F6. Převládají jíly s vysokou plasticitou (F8 CH) nad jíly se střední plasticitou (F6 CI).

V horizontu eolických a deluvioeolických sedimentů se vyskytují polohy (čočky) fosilních půd (GT2b). Nebyly zastiženy vrty S3, S5 až S7 a S10; ovšem vrt S10 byl odvrtán pouze do hloubky 3 m. Mocnost čoček fosilních půd kolísá od 0,7 do 2,1 m. Pouze ve vrtu S2 byly zastiženy dvě takovéto polohy o celkové mocnosti 1,7 m.

Litologicky se jedná o jíl až jíl prachovitý, tmavě hnědý, případně světle hnědě mramorovaný, místy černě kropenatý, variabilně vápnitý, místy s vápnitými zrny nebo konkrecemi, tuhé až pevné konzistence. Dle ČSN 73 6133 byly fosilní půdy klasifikovány do tříd F8 a F6. Převládají jíly s vysokou plasticitou (F8 CH) nad jíly se střední plasticitou (F6 CI).

Pod eolickými a deluvioeolickými sedimenty byly zastiženy neogenní jíly (GT3a). Většina vrtů byla v těchto sedimentech ukončena, s výjimkou mělkých vrtů S9 a S10, kde nebyly neogenní jíly zastiženy (dle archivních vrtů se zde neogenní jíly vyskytují v hloubce kolem 10,5 m p. t.). Strop neogenních jílů, ověřený aktuálně realizovanými vrty, značně kolísá, vyskytuje se v hloubce od 3,5 m p. t. (S6) do 13,0 m p. t. (S3). Neogenní jíly jsou

nejvíce zaklesnuty (hlouběji než 10 m p. t.) v jižní části lokality, mezi vrty S1 až S3. Naopak nejvíce se přibližují k povrchu v úseku mezi vrty S4 a S7 (staničení cca 0,2–0,7 km). Ve vrtech S4 a S5 tvoří cca 15 m vrtného profilu. Obdobné poměry byly dokumentovány archivními vrty, kterými byl strop neogenních jílů zastižen v hloubce od 2,2 do 10,5 m p. t.

Neogenní jíly mají ve vrtech S1 až S5 charakter vápnitých jílů (téglů) spodnobadenského stáří, naproti tomu ve vrtech S6 až S8 se jeví jako pestré jíly ottnangského stáří [10].

V případě téglů se litologicky jedná o převážně vápnité jíly, šedé, šedozelené až zelenošedé, rezavě a hnědě smouhované, s vápnitými konkrecemi, místy až slínitými polohami (až cca 15 cm ve vrtu S3), se shluky zrnitého a krystalického sádrovce (ve vrtech S3 až S5), převážně pevné konzistence; ojediněle i tuhé. Dle ČSN 73 6133 byly klasifikovány do třídy F8. Převládají jíly s velmi vysokou plasticitou (F8 CV) nad jíly s vysokou plasticitou (F8 CH).

Pestré jíly pravděpodobně ottnangského stáří představují litologicky jíly, pestře zbarvené – zelenohnědé a modrošedé, s šedými, hnědými, žlutými, červenými a rezavými smouhami, variabilně vápnité, místy s vápnitými konkrecemi, místy se shluky zrnitého a krystalického sádrovce (ve vrtu S6), pevné konzistence. Dle ČSN 73 6133 byly klasifikovány do třídy F8. V tomto případě převládají jíly s vysokou plasticitou (F8 CH) nad jíly s velmi vysokou plasticitou (F8 CV).

Ve vrtech S5 a S6 byly v horizontu neogenních jílů zastiženy polohy neogenních písků (GT3b). Tyto písky se vyskytují především ve vrtu S6, kde tvoří dvě polohy o mocnosti 2,95 a 4,1 m. Část třetí polohy o mocnosti 0,3 m byla zastižena na bázi tohoto vrtu. Strop písčitých poloh se vyskytuje v hloubkách 10,45; 14,0; 19,7 m p. t. Písčité polohy jsou odděleny tenkými vrstvami neogenních jílů o mocnosti 0,7 a 1,6 m.

Ve vrtu S5 má písčitá poloha mocnost pouze 0,2 m. Vyskytuje se mezi tégly, v úrovni 11,5–11,7 m p. t. Představuje vyklínění první písčité polohy z vrtu S6.

Archivními vrty byly neogenní písky zastiženy v proplástcích, nebo ve vrstvách o mocnosti 0,2 až 6,6 m.

Neogenní písky litologicky představují písek slabě až silně jílovitý, většinou středně zrnitý, šedý, zelenošedý a rezavošedý, variabilně vápnitý a silně ulehlý.

Dle ČSN 73 6133 byly písčité polohy klasifikovány do tříd S5, S4, méně pak F4. Ve vrtu S6 je první poloha tvořena pískem jílovitým S5 SC a druhá poloha pískem hlinitým S4 SM. Vrstvička písku ve vrtu S5 byla klasifikována jako jíl písčitý F4 CS.

Ve vrtu S6 byly v písčitých polohách dokumentovány pískovcové lavice (GT3c) o mocnosti od několika centimetrů do cca 15 cm. Nejmocnější čočka byla zastižena v úrovni 10,30–10,45 m p. t., další v úrovni 10,95–11,00 m p. t., a dalších několik drobnějších v úseku 14,60–15,00 m p. t.

Litologicky se jedná o pískovec středně zrnitý, šedý, kompaktní, nezvětraný, drobné lavice jsou navětrané a rozlámané vrtáním – viz příloha 5.

Dle ČSN 73 6133 pískovcové lavice odpovídají třídě R2–(R3).

Z výsledků vrtných prací vyplývá, že na předmětné lokalitě byla pestřejší geologická stavba zastižena v okolí vrtu S6. S ohledem na výskyt pestrých neogenních jílů ve vrtu S6 by se mohlo jednat o tektonicky predisponovanou vystouplou kru. Tuto teorii by bylo vhodné ověřit v další fázi průzkumu, situováním nových průzkumných vrtů mezi vrty S5–S6 a S6–S7.

V následující přehledné tabulce č. 21 je uveden přehled provedených vrtaných sond s hloubkami bází jednotlivých horizontů (navážky, kvartérního pokryvu a neogenního podloží).

Tabulka č. 21 Přehled sond s hloubkami geologických rozhraní

Číslo vrtu	Hloubka [m]	Nadmořská výška [m n. m.]	Mocnost antropogénu [m]	Nadmořská výška báze antropogénu [m n. m.]	Povrch neogénu [m]	Nadmořská výška povrchu neogénu [m n. m.]	Mocnost kvartéru [m]
S1	12,8	263,64	0,1	263,5	11,0	252,6	10,9
S2	16,0	263,36	0,4	263,0	10,8	252,6	10,4
S3	20,0	268,19	2,0	266,2	13,0	255,2	11,0
S4	18,0	269,43	0,5	268,9	3,7	265,7	3,2
S5	20,0	281,20	1,6	279,6	5,0	276,2	3,4
S6	20,0	288,38	3,5	284,9	2,7	284,9	0,0
S7	10,0	286,66	2,4	284,3	6,0	280,7	3,6
S8	9,0	285,10	2,9	282,2	7,1	278,0	4,2
S9	7,0	282,71	2,0	280,7	7,0*	-	5,0*
S10	3,0	279,36	1,2	278,2	3,0*	-	1,8*

* kvartérní sedimenty zastiženy až po bázi vrtané sondy

7.4 Výsledky laboratorních zkoušek zemin

Zastižené zeminy byly klasifikovány dle ČSN EN ISO 14688-2 „Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřiďování zemin – Část 2: Zásady pro zatřiďování“ a dle ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“, přílohy A.

Zeminy, které byly zastiženy při terénních pracích, řadíme dle normy ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“ do I. třídy rozpojitelnosti a těžitelnosti. Těžba je prováděna běžnými výkopovými mechanismy (buldozery, rypadla, ručně prováděné výkopy). Pískovcovou lavici, zastiženou v sondě S6, je možné zařadit do II. třídy rozpojitelnosti a těžitelnosti, kdy je pro těžbu nutné použít speciální rozpojovací mechanismy (rozrývače, skalní lžíce, kladiva).

Výsledky provedených laboratorních zkoušek na odebraných vzorcích zemin jsou podrobně uvedeny v příloze 9 a přehledně v následující tabulce č. 22.

Tabulka č. 22 Základní charakteristiky odebraných vzorků zemin

Číslo sondy	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Typ vzorku	Vlhkost [%]	Konzistence dle ČSN 73 6133	Klasifikace dle ČSN 73 6133	Klasifikace dle ČSN EN ISO 14688-2	Geotechnický typ
S1	8046	2,9-3,0	N	21,4	0,96	F6 CI	siCl	2a
S1	8047	5,0-5,2	N	24,6	0,83	F6 CI	Cl	2a
S1	8048	7,0-7,2	P	29,5	0,57	F6 CI	siCl	2a
S1	8049	9,3-9,5	N	24,1	0,92	F8 CH	Cl	2b
S1	8050	12,4-12,6	N	25,0	1,09	F8 CV	Cl	3a
S2	8051	3,0-3,2	N	26,8	0,68	F6 CI	siCl	2a
S2	8052	4,8-5,0	P	21,6	0,97	F8 CH	Cl	2b
S2	8053	5,8-6,0	N	22,2	0,99	F8 CH	Cl	2a
S2	8054	8,1-8,3	P	23,0	0,94	F6 CI	siCl	2b
S2	8055	9,0-9,2	P	23,6	0,93	F8 CH	Cl	2a
S2	8056	11,0-11,2	N	26,2	1,03	F8 CV	Cl	3a
S2	8057	15,2-15,4	P	24,2	1,03	F8 CV	Cl	3a
S3	8058	1,8-2,0	P	19,6	1,04	F8 CH	siCl	1
S3	8104	5,0-5,2	N	16,2	1,15	F6 CI	siCl	2a
S3	8105	11,8-12,0	N	22,8	0,96	F8 CH	Cl	2a
S3	8106	13,8-14,0	N	22,1	1,14	F8 CV	Cl	3a
S3	8107	19,4-19,6	P	23,0	1,10	F8 CV	Cl	3a
S4	8110	2,2-2,4	P	20,6	1,07	F8 CH	Cl	2a
S4	8111	3,5-3,7	N	20,1	1,09	F6 CI	siCl	2b
S4	8112	5,0-5,2	N	22,4	1,06	F8 CH	Cl	3a
S4	8113	10,2-10,4	N	24,6	1,08	F8 CV	Cl	3a
S4	8114	17,0-17,2	P	20,3	1,10	F8 CV	Cl	3a
S5	8115	2,0-2,2	N	15,1	1,35	F6 CI	siCl	2a
S5	8116	5,8-6,0	N	28,8	0,97	F8 CH	Cl	3a
S5	8117	10,2-10,4	N	20,8	1,02	F8 CH	Cl	3a

Číslo sondy	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Typ vzorku	Vlhkost [%]	Konzistence dle ČSN 73 6133	Klasifikace dle ČSN 73 6133	Klasifikace dle ČSN EN ISO 14688-2	Geotechnický typ
S5	8118	11,5-11,7	P	19,9	0,94	F4 CS	sasiCl	3b
S5	8119	16,8-17,0	N	25,5	1,08	F8 CV	Cl	3a
S6	8120	1,4-1,6	P	12,2	1,25	F4 CS	saCl	1
S6	8121	2,0-2,2	P	3,8	-	S4 SM	clSa	1
S6	8122	3,0-3,2	P	4,0	-	S4 SM	clSa	1
S6	8123	6,0-6,2	N	20,2	1,10	F8 CV	Cl	3a
S6	8124	9,0-9,2	P	19,6	1,09	F8 CH	Cl	3a
S6	8126	11,4-11,6	P	16,5	1,08	S5 SC	clSa	3b
S6	8127	12,3-12,5	P	8,9	1,41	S5 SC	clSa	3b
S6	8135	17,3-17,5	P	6,6	-	S4 SM	clSa	3b
S6	8136	18,8-19,0	N	16,2	1,20	F8 CH	Cl	3a
S7	8137	3,8-3,9	N	22,9	0,83	F6 CI	siCl	2a
S7	8138	6,0-6,2	P	21,0	1,02	F8 CH	Cl	3a
S7	8139	8,3-8,4	N	23,4	1,01	F8 CH	Cl	3a
S8	8140	3,8-3,9	N	20,0	1,03	F6 CI	siCl	2a
S8	8141	6,7-6,8	N	27,5	0,80	F8 CH	Cl	2b
S8	8142	7,6-7,7	N	19,5	1,10	F8 CH	Cl	3a
S9	8143	3,0-3,2	P	21,7	1,01	F6 CI	siCl	2a
S9	8144	4,6-4,7	N	24,1	0,93	F6 CI	Cl	2a
S9	8145	6,8-7,0	P	18,2	1,13	F8 CH	Cl	2b
S10	8146	1,2-3,0	P k T	23,9	0,88	F6 CI	siCl	2a

Legenda:

P porušený vzorek zemin
N neporušený vzorek zemin
T technologický vzorek zemin

Na neporušených vzorcích zemin byla stanovena objemová hmotnost a zdánlivá hustota pevných částic zemin pomocí pyknometru.

Hodnoty objemové hmotnosti zemin v přirozeném stavu, zjištěné na vzorcích odebraných z kvartérních zemin sprašového typu třídy F6 a F8 a fosilních půd třídy F6 a F8 spadajících do GT 2, se pohybují od 1,893 do 2,088 $Mg.m^{-3}$. Hodnoty zdánlivé hustoty pevných částic, zjištěné na těchto vzorcích, kolísají od 2,705 do 2,743 $Mg.m^{-3}$. Vypočtené hodnoty stupně nasycení těchto zemin se pohybují od 65,6 % do 100,0 %, přičemž zeminy dosahují pórovitosti od 36,6 % do 45,7 %. Hodnoty objemové hmotnosti zemin v přirozeném stavu na vzorcích neogenních zemin třídy F8 spadajících do GT 3a, se pohybují od 1,917 do 2,107 $Mg.m^{-3}$. Hodnoty zdánlivé hustoty pevných částic, zjištěné na těchto vzorcích, kolísají od 2,713 do 2,782 $Mg.m^{-3}$. Vypočtené hodnoty stupně nasycení těchto zemin se pohybují od 80,5 % do 100,0 %, přičemž zeminy dosahují pórovitosti od 34,2 % do 45,0 %.

Výsledky provedených laboratorních zkoušek na neporušených vzorcích zemin jsou podrobně uvedeny v příloze 9 a přehledně v tabulce č. 23 níže.

Tabulka č. 23 Výsledky rozborů neporušených vzorků zemin

Číslo sondy	Číslo vzor0ku	Hloubka [m]	Typ vzorku	Klasifikace dle 73 6133	Klasifikace dle 14688-2	Zdánlivá hustota pevných částic [Mg.m^{-3}]	Objemová hmotnost vlhké zeminy [Mg.m^{-3}]	Objemová hmotnost suché zeminy [Mg.m^{-3}]	Pórovitost [%]	Stupeň nasycení [%]	Geotechnický typ
S1	8046	2,9-3,0	N	F6 CI	siCl	2,713	1,997	1,645	39,4	89,4	2a
S1	8047	5,0-5,2	N	F6 CI	Cl	2,709	1,931	1,550	42,8	89,1	2a
S1	8049	9,3-9,5	N	F8 CH	Cl	2,705	1,992	1,605	40,7	95,2	2b
S1	8050	12,4-12,6	N	F8 CV	Cl	2,743	1,917	1,533	44,1	87,1	3a
S2	8051	3,0-3,2	N	F6 CI	siCl	2,717	1,972	1,556	42,7	97,6	2a
S2	8053	5,8-6,0	N	F8 CH	Cl	2,718	2,071	1,695	37,6	100,0	2a
S2	8056	11,0-11,2	N	F8 CV	Cl	2,746	1,979	1,568	42,9	95,7	3a
S3	8104	5,0-5,2	N	F6 CI	siCl	2,724	1,893	1,628	40,2	65,6	2a
S3	8105	11,8-12,0	N	F8 CH	Cl	2,722	2,033	1,665	38,8	97,7	2a
S3	8106	13,8-14,0	N	F8 CV	Cl	2,727	2,015	1,650	39,5	92,5	3a
S4	8111	3,5-3,7	N	F6 CI	siCl	2,741	2,088	1,739	36,6	95,5	2b
S4	8112	5,0-5,2	N	F8 CH	Cl	2,720	2,086	1,704	37,4	100,0	3a
S4	8113	10,2-10,4	N	F8 CV	Cl	2,713	2,015	1,617	40,4	98,5	3a
S5	8115	2,0-2,2	N	F6 CI	siCl	2,741	1,934	1,680	38,7	65,6	2a
S5	8116	5,8-6,0	N	F8 CH	Cl	2,738	1,941	1,507	45,0	96,5	3a
S5	8117	10,2-10,4	N	F8 CH	Cl	2,713	2,091	1,731	36,2	99,6	3a
S5	8119	16,8-17,0	N	F8 CV	Cl	2,782	2,04	1,626	41,6	99,7	3a
S6	8123	6,0-6,2	N	F8 CV	Cl	2,778	2,053	1,709	38,5	89,6	3a
S6	8136	18,8-19,0	N	F8 CH	Cl	2,757	2,107	1,813	34,2	85,9	3a
S7	8137	3,8-3,9	N	F6 CI	siCl	2,743	2,024	1,647	40,0	94,2	2a
S7	8139	8,3-8,4	N	F8 CH	Cl	2,778	2,000	1,621	41,6	90,9	3a
S8	8140	3,8-3,9	N	F6 CI	siCl	2,740	2,065	1,720	37,2	92,6	2a
S8	8141	6,7-6,8	N	F8 CH	Cl	2,735	1,895	1,486	45,7	89,5	2b
S8	8142	7,6-7,7	N	F8 CH	Cl	2,758	1,975	1,652	40,1	80,5	3a
S9	8144	4,6-4,7	N	F6 CI	Cl	2,742	1,949	1,571	42,7	88,7	2a

Výsledky provedených laboratorních zkoušek na vybraných neporušených vzorcích zemin jsou podrobně uvedeny v příloze 9 a přehledně v tabulkách č. 24 a 25 níže.

Smykovou zkouškou byly u kvartérních zemin sprašového typu a fosilních půd třídy F6 a F8 stanoveny efektivní smykové parametry, u nichž hodnoty úhlu vnitřního tření dosahovaly 19,5° až 29,1° a hodnoty soudržnosti se pohybují od 2,7 kPa do 30,1 kPa, a dále totální smykové parametry s hodnotou úhlu vnitřního tření 0,69° a soudržnosti 98,3 kPa. U neogenních zemin třídy F6 a F8 byly stanoveny efektivní smykové parametry, u nichž hodnoty úhlu vnitřního tření dosahovaly 19,0° až 23,3° a hodnoty soudržnosti se pohybují od 21,2 kPa do 27,6 kPa a dále totální smykové parametry s hodnotou úhlu vnitřního tření od 0,2° do 5,5° a soudržnosti od 92,0 kPa do 143,0 kPa.

Tabulka č. 24 Výsledky rozborů neporušených vzorků zemin

Číslo sondy	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Klasifikace dle 73 6133	Klasifikace dle 14688-2	Totální smykové parametry		Efektivní smykové parametry		Geotechnický typ
					Úhel vnitřního tření φ_u [°]	Soudržnost c_u [kPa]	Úhel vnitřního tření φ_{ef} [°]	Soudržnost c_{ef} [kPa]	
S1	8046	2,9-3,0	F6 CI	siCl			26,7	13,1	2a
S1	8049	9,3-9,5	F8 CH	Cl			19,2	43,1	2b
S1	8050	12,4-12,6	F8 CV	Cl			19,0	21,2	3a
S2	8053	5,8-6,0	F8 CH	Cl			19,5	30,1	2a
S3	8104	5,0-5,2	F6 CI	siCl			27,2	15,1	2a
S3	8105/42824	11,8-12,0	F8 CH	Cl	0,69	98,3			2a
S4	8112	5,0-5,2	F8 CH	Cl			23,3	27,6	3a
S4	8113/42825	10,2-10,4	F8 CV	Cl	0,16	92,0			3a
S5	8115	2,0-2,2	F6 CI	siCl			29,1	2,7	2a
S5	8116	5,8-6,0	F8 CH	Cl			18,6	36,2	3a
S5	8119/42826	16,8-17,0	F8 CV	Cl	0,74	143,0			3a
S6	8123	6,0-6,2	F8 CV	Cl			16,0	27,8	3a
S7	8137	3,8-3,9	F6 CI	siCl			28,6	7,8	2a
S7	8139/42827	8,3-8,4	F8 CH	Cl	5,48	44,7			3a
S8	8141	6,7-6,8	F8 CH	Cl			23,2	14,4	2b

Na neporušených vzorcích zemin byl rovněž stanoven edometrickou zkouškou edometrický modul přetvárnosti (E_{oed}) zemin. Edometrické moduly E_{oed} u kvartérních zemin sprašového typu a fosilních půd třídy F6 dosahují pro celkové intervaly napětí, které se pohybují od 60 kPa až 450 kPa, hodnot 4,5 MPa až 6,7 MPa, což odpovídá deformačnímu modulu E_{def} 2,1 MPa až 3,2 MPa. Edometrické moduly E_{oed} u neogenních zemin třídy F8 dosahují pro celkové intervaly napětí, pohybující se od 150 kPa až 890 kPa, hodnot 12,6 MPa až 24,8 MPa, což odpovídá deformačnímu modulu E_{def} 4,7 MPa až 9,2 MPa.

Tabulka č. 25 Hodnoty E_{oed} a E_{def} pro celkové intervaly napětí

Číslo sondy	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Klasifikace dle 73 6133	Klasifikace dle 14688-2	Celkový obor napětí [MPa]	E_{oed} [MPa]	Převodní součinitel β [1]	E_{def} [MPa]	Geotechnický typ
S1	8047	5,0-5,2	F6 CI	Cl	0,10-0,45	6,0	0,47	2,8	2a
S2	8051	3,0-3,2	F6 CI	siCl	0,06-0,41	4,5	0,47	2,1	2a
S2	8056	11,0-11,2	F8 CV	Cl	0,30-0,65	19,2	0,37	7,1	3a
S3	8106	13,8-14,0	F8 CV	Cl	0,27-0,62	14,4	0,37	5,3	3a
S4	8111	3,5-3,7	F6 CI	siCl	0,07-0,42	6,5	0,47	3,1	2b
S5	8117	10,2-10,4	F8 CH	Cl	0,20-0,55	15,7	0,37	5,8	3a
S6	8136	18,8-19,0	F8 CH	Cl	0,54-0,89	24,8	0,37	9,2	3a
S8	8140	3,8-3,9	F6 CI	siCl	0,08-0,43	6,4	0,47	3,0	2a
S8	8142	7,6-7,7	F8 CH	Cl	0,15-0,50	12,6	0,37	4,7	3a
S9	8144	4,6-4,7	F6 CI	Cl	0,09-0,44	6,7	0,47	3,2	2a

Dle odstupňované nomenklatury propustnosti hornin [5] byly zeminy zastižené v zájmovém území zařazeny do třídy propustnosti, dle níž jim byl přiřazen stupeň propustnosti.

Písčitý materiál antropogenní navážky třídy S4 má hodnoty filtračních součinitelů pohybující se v řádech 10^{-6} až 10^{-5}, náleží tak do tříd propustnosti V až IV, které definují prostředí dosti slabě až mírně propustné. Jílovitý materiál navážky třídy F4 a F8 s hodnotami filtračních součinitelů pohybujících se v řádech 10^{-9} až 10^{-8} náleží do tříd propustnosti VIII až VII, které definují prostředí nepatrně až velmi slabě propustné. Kvartérní zeminy sprašového typu a fosilní půdy třídy F6 a F8 mají hodnoty filtračních součinitelů pohybujících se v řádech 10^{-10} až 10^{-8} a náleží tak do tříd propustnosti VIII až VII, které definují prostředí nepatrně až velmi slabě propustné. Neogenní sedimenty třídy F8 se vyznačují hodnotami filtračních součinitelů, které se pohybující v řádech 10^{-11} až 10^{-10} a náleží tak do třídy propustnosti VIII, která definuje prostředí nepatrně propustné. Písčito-jílovité neogenní sedimenty mají hodnoty filtračních součinitelů pohybující se v řádech 10^{-7} až 10^{-5} náleží tak do tříd propustnosti VI až IV, které definují prostředí slabě až mírně propustné.

Řády filtračních součinitelů k_f [m.s^{-1}] stanovené z křivek zrnitosti a propustnosti zastižených zemin jsou uvedeny v následující tabulce č. 26.

Tabulka č. 26 Filtrační součinitel k_f [m.s^{-1}] a propustnost hornin

Číslo sondy	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Klasifikace dle 73 6133	Klasifikace dle 14688-2	Filtrační součinitel v řádech [m.s^{-1}]	Třída propustnosti	Označení hornin dle stupně propustnosti	Geotechnický typ
S1	8046	2,9-3,0	F6 CI	siCl	10^{-8}	VII	velmi slabě propustné	2a
S1	8047	5,0-5,2	F6 CI	Cl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2a
S1	8048	7,0-7,2	F6 CI	siCl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2a
S1	8049	9,3-9,5	F8 CH	Cl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2b
S1	8050	12,4-12,6	F8 CV	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S2	8051	3,0-3,2	F6 CI	siCl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2a
S2	8052	4,8-5,0	F8 CH	Cl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2b
S2	8053	5,8-6,0	F8 CH	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	2a
S2	8054	8,1-8,3	F6 CI	siCl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2b
S2	8055	9,0-9,2	F8 CH	Cl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2a
S2	8056	11,0-11,2	F8 CV	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S2	8057	15,2-15,4	F8 CV	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S3	8058	1,8-2,0	F8 CH	siCl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	1
S3	8104	5,0-5,2	F6 CI	siCl	10^{-8}	VII	velmi slabě propustné	2a
S3	8105	11,8-12,0	F8 CH	Cl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2a
S3	8106	13,8-14,0	F8 CV	Cl	10^{-11}	VIII	nepatrně propustné	3a
S3	8107	19,4-19,6	F8 CV	Cl	10^{-11}	VIII	nepatrně propustné	3a
S4	8110	2,2-2,4	F8 CH	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	2a
S4	8111	3,5-3,7	F6 CI	siCl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2b
S4	8112	5,0-5,2	F8 CH	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S4	8113	10,2-10,4	F8 CV	Cl	10^{-11}	VIII	nepatrně propustné	3a
S4	8114	17,0-17,2	F8 CV	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S5	8115	2,0-2,2	F6 CI	siCl	10^{-8}	VII	velmi slabě propustné	2a

Číslo sondy	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Klasifikace dle 73 6133	Klasifikace dle 14688-2	Filtrační součinitel v řádech [m.s^{-1}]	Třída propustnosti	Označení hornin dle stupně propustnosti	Geotechnický typ
S5	8116	5,8-6,0	F8 CH	Cl	10^{-11}	VIII	nepatrně propustné	3a
S5	8117	10,2-10,4	F8 CH	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S5	8118	11,5-11,7	F4 CS	sasiCl	10^{-7}	VI	slabě propustné	3b
S5	8119	16,8-17,0	F8 CV	Cl	10^{-11}	VIII	nepatrně propustné	3a
S6	8120	1,4-1,6	F4 CS	saCl	10^{-8}	VII	velmi slabě propustné	1
S6	8121	2,0-2,2	S4 SM	clSa	10^{-5}	IV	mírně propustné	1
S6	8122	3,0-3,2	S4 SM	clSa	10^{-6}	V	dosti slabě propustné	1
S6	8123	6,0-6,2	F8 CV	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S6	8124	9,0-9,2	F8 CH	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S6	8126	11,4-11,6	S5 SC	clSa	10^{-5}	IV	mírně propustné	3b
S6	8127	12,3-12,5	S5 SC	clSa	10^{-5}	IV	mírně propustné	3b
S6	8135	17,3-17,5	S4 SM	clSa	10^{-6}	V	dosti slabě propustné	3b
S6	8136	18,8-19,0	F8 CH	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S7	8137	3,8-3,9	F6 CI	siCl	10^{-8}	VIII	nepatrně propustné	2a
S7	8138	6,0-6,2	F8 CH	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S7	8139	8,3-8,4	F8 CH	Cl	10^{-11}	VIII	nepatrně propustné	3a
S8	8140	3,8-3,9	F6 CI	siCl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2a
S8	8141	6,7-6,8	F8 CH	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	2b
S8	8142	7,6-7,7	F8 CH	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	3a
S9	8143	3,0-3,2	F6 CI	siCl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2a
S9	8144	4,6-4,7	F6 CI	Cl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2a
S9	8145	6,8-7,0	F8 CH	Cl	10^{-10}	VIII	nepatrně propustné	2b
S10	8146	1,2-3,0	F6 CI	siCl	10^{-9}	VIII	nepatrně propustné	2a

Technologický vzorek zeminy byl odebrán z důvodu provedení zkoušek Proctor-standard dle ČSN 72 1015 pro zjištění zhutnitelnosti zemin a zkoušky pro stanovení kalifornského poměru únosnosti (CBR) dle ČSN EN 13286-47.

Výsledky provedených laboratorních zkoušek na technologickém vzorku zeminy jsou podrobně uvedeny v příloze 9 a přehledně v tabulce č. 27 níže. Technologický vzorek byl odebrán z vrtu S10 z hloubkového rozmezí 1,2 m až 3,2 m a byla na něm provedena zkouška Proctor-standard, sloužící ke zjištění w_{opt} - optimální vlhkosti pro hutnění (tedy vlhkosti, při které dosáhne zemina maximální objemové hmotnosti). Dle dosažené maximální objemové hmotnosti zemin se porovnává výsledná míra zhutnění v terénu s požadavky na míru zhutnění zemní pláně.

Z výsledků zkoušek vyplývá, že maximální objemová hmotnost zeminy činí 1,71 Mg.m^{-3} a optimální vlhkost zeminy potřebná pro dosažení maximální objemové hmotnosti je 16,4 %. Zkouškou CBR_{sat} byla na technologickém vzorku zeminy stanovena hodnota 3,0 %.

Tabulka č. 27 Výsledky laboratorních rozborů technologických vzorků zemin

Číslo sondy	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Klasifikace dle 73 6133	Klasifikace dle 14688-2	Maximální objemová hmotnost $\rho_{d\,max}$ [Mg/m^3]	Zhutnitelnost dle Proctor – A w_{opt} [%]	CBR_{sat} (2,5 mm) [%]	CBR_{sat} (5 mm) [%]	Geotechnický typ
S10	5932/42823	1,2-3,2	F6 CI	clSi	1,71	16,40	3,00	3,00	2a

7.5 Výsledky laboratorních zkoušek hornin

Z pískovcové čočky, zastižené sondou S6, byla na vzorku horniny provedena zkouška pevnosti v prostém tlaku. Prostý tlak byl zjišťován metodou drcením při bodovém zatížení.

Hodnota pevnosti v prostém tlaku zjištěná na úlomcích odebraných hornin (pískovců) dosahuje 51,04 MPa. Hodnota objemové hmotnosti byla zjištěna 2,85 Mg.m^{-3} a vlhkost dosahovala hodnoty 1,21 %.

Výsledky zkoušky jsou uvedeny v tabulce č. 28 a v příloze 9.

Tabulka č. 28 Shrnutí laboratorních zkoušek hornin

Číslo sondy	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Makroskopický popis horniny	Zatřídění dle ČSN 73 6133 na základě makroskopického popisu	Zatřídění dle ČSN 73 6133 na základě laboratorních výsledků	Vlhkost [%]	Objemová hmotnost hornin ρn [Mg.m^{-3}]	Pevnost v prostém tlaku nepravidelných těles σc [MPa]
S6	8125	10,3-4,0	pískovec	R3-R2	R2*	1,21	2,85	51,04

* Hodnoty prostého tlaku a následné zatřídění zjištěné na základě drcení nepravidelných těles nemusí odpovídat skutečné pevnosti pravidelných těles. U nepravidelných úlomků vzniklých rozpadem vrtného jádra dle predisponovaných odlučných ploch lze přepokládat pevnost vyšší, než u skutečně odvrtaného jádra.

7.6 Zatřídění zemin z hlediska jejich dalšího použití

Zeminy byly zatříděny dle normy ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“ v tabulce č. 29. Vzorky zemin byly klasifikovány z hlediska vhodnosti do násypu, pro podloží vozovky. Na základě granulometrického složení (upravené Scheibleho kritérium) byla klasifikována také namrzavost zemin.

Tabulka č. 29 Zařazení zemin z hlediska vhodnosti pro podloží dle normy 73 6133

Číslo sond	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Klasifikace dle ČSN 73 6133	Klasifikace dle 14688-y2	Vhodnost do násypu	Vhodnost pro podloží vozovky	Namrzavost	Geotechnický typ
S1	8046	2,9-3,0	F6 CI	siCl	PV	N	1	2a
S1	8047	5,0-5,2	F6 CI	Cl	PV	N	1	2a
S1	8048	7,0-7,2	F6 CI	siCl	PV	N	1	2a
S1	8049	9,3-9,5	F8 CH	Cl	N	N	1	2b
S1	8050	12,4-12,6	F8 CV	Cl	N	N	1	3a
S2	8051	3,0-3,2	F6 CI	siCl	PV	N	1	2a
S2	8052	4,8-5,0	F8 CH	Cl	N	N	1	2b
S2	8053	5,8-6,0	F8 CH	Cl	N	N	1	2a
S2	8054	8,1-8,3	F6 CI	siCl	PV	N	1	2b
S2	8055	9,0-9,2	F8 CH	Cl	N	N	1	2a
S2	8056	11,0-11,2	F8 CV	Cl	N	N	1	3a
S2	8057	15,2-15,4	F8 CV	Cl	N	N	1	3a
S3	8058	1,8-2,0	F8 CH	siCl	N	N	1	1
S3	8104	5,0-5,2	F6 CI	siCl	PV	N	1	2a
S3	8105	11,8-12,0	F8 CH	Cl	N	N	1	2a
S3	8106	13,8-14,0	F8 CV	Cl	N	N	1	3a
S3	8107	19,4-19,6	F8 CV	Cl	N	N	1	3a
S4	8110	2,2-2,4	F8 CH	Cl	N	N	1	2a
S4	8111	3,5-3,7	F6 CI	siCl	PV	N	1	2b
S4	8112	5,0-5,2	F8 CH	Cl	N	N	1	3a
S4	8113	10,2-10,4	F8 CV	Cl	N	N	1	3a
S4	8114	17,0-17,2	F8 CV	Cl	N	N	1	3a
S5	8115	2,0-2,2	F6 CI	siCl	PV	N	1	2a
S5	8116	5,8-6,0	F8 CH	Cl	N	N	1	3a
S5	8117	10,2-10,4	F8 CH	Cl	N	N	1	3a
S5	8118	11,5-11,7	F4 CS	sasiCl	PV	PV	1	3b
S5	8119	16,8-17,0	F8 CV	Cl	N	N	1	3a
S6	8120	1,4-1,6	F4 CS	saCl	PV	PV	1	1
S6	8121	2,0-2,2	S4 SM	clSa	PV	PV	3	1
S6	8122	3,0-3,2	S4 SM	clSa	PV	PV	2	1
S6	8123	6,0-6,2	F8 CV	Cl	N	N	1	3a
S6	8124	9,0-9,2	F8 CH	Cl	N	N	1	3a
S6	8126	11,4-11,6	S5 SC	clSa	PV	PV	2	3b
S6	8127	12,3-12,5	S5 SC	clSa	PV	PV	2	3b
S6	8135	17,3-17,5	S4 SM	clSa	PV	PV	3	3b
S6	8136	18,8-19,0	F8 CH	Cl	N	N	1	3a
S7	8137	3,8-3,9	F6 CI	siCl	PV	N	1	2a
S7	8138	6,0-6,2	F8 CH	Cl	N	N	1	3a

Číslo sond	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Klasifikace dle ČSN 73 6133	Klasifikace dle 14688-y2	Vhodnost do násypu	Vhodnost pro podloží vozovky	Namrzavost	Geotechnický typ
S7	8139	8,3-8,4	F8 CH	Cl	N	N	1	3a
S8	8140	3,8-3,9	F6 CI	siCl	PV	N	1	2a
S8	8141	6,7-6,8	F8 CH	Cl	N	N	1	2b
S8	8142	7,6-7,7	F8 CH	Cl	N	N	1	3a
S9	8143	3,0-3,2	F6 CI	siCl	PV	N	1	2a
S9	8144	4,6-4,7	F6 CI	Cl	PV	N	1	2a
S9	8145	6,8-7,0	F8 CH	Cl	N	N	1	2b
S10	8146	1,2-3,0	F6 CI	siCl	PV	N	1	2a

LEGENDA:

Vhodnost do násypu:
N – nevhodné
PV – podmínečně vhodné
V – vhodné

Vhodnost pro podloží vozovky:
N – nevhodné
PV – podmínečně vhodné
V – vhodné

Namrzavost:
1 – vysoce namrzavé
2 – nebezpečně namrzavé
3 – namrzavé
4 – mírně namrzavé
5 – nenamrzavé
6 – nenamrzavé, příliš hrubozrnné
7 – namrzavé dle průběhu zrnitostní křivky

Z hlediska vhodnosti zemin do násypu a pro podloží vozovky jsou dle ČSN 73 6133 zastižené zeminy třídy F4 hodnoceny jako podmínečně vhodné jak do násypu, tak pro silniční podloží. Zeminy třídy F6 jsou hodnoceny jako podmínečně vhodné do násypu, ale jako nevhodné pro silniční podloží. Zeminy třídy F8 jsou hodnoceny jako nevhodné jak do násypu, tak pro silniční podloží. Zastižené zeminy třídy S4 a S5 jsou definovány jako podmínečně vhodné do násypu i do silničního podloží.

Z hlediska namrzavosti jsou dle křivky zrnitosti zastižené zeminy třídy F4, F6 a F8 hodnoceny jako vysoce namrzavé. Zeminy třídy S4 a S5 hodnotíme zpravidla jako nebezpečně namrzavé až namrzavé.

7.7 Geotechnické zhodnocení vlastností sprašových zemin

Zájmové území se nachází v místě, kde je podloží tvořeno zeminami sprašového typu. Tyto zeminy nejsou zcela vhodné pro zakládání staveb. Při zatížení a provlhčení může dojít k redukci objemu těchto zemin a následně k vytvoření poruch na provedené výstavbě. K označení redukce objemu zeminy vlivem jejího provlhčení a působení napětí se používá několik níže uvedených pojmenování:

- kolaps jako náhlé porušení struktury, vyvolané zvýšením stupně nasycení zeminy, změnami tlaku vody v pórech zeminy nebo zvýšením smykového napětí, popřípadě kombinací uvedených faktorů
- prosedavost je vázaná v zásadě na spraše a sprašovité zeminy, definuje se jako schopnost zemin náhle redukovat svůj objem v důsledku provlhčení a svislého přitížení
- ztekucení je proces, při kterém se nesoudržné zeminy (jemné písky) vlivem hydrodynamického tlaku tečením dostávají do pohybu a redukují svůj objem
- sufoze, tj. vyplavování jemnějších částic zeminy

Na posouzení schopnosti spraší prosedat vlivem provlhčení a zatížení existuje celá řada přímých a nepřímých kriterií. Přímá kriteria vycházejí z laboratorních zkoušek deformačních charakteristik spraší pomocí laboratorní zkoušky prosedavosti. Nepřímá kritéria, orientační, vycházejí z hodnocení ulehlosti v přirozeném uložení, geologické pozice a geotechnických popisných vlastností sedimentu (barvy, přítomnosti konkrecí, mocnost vrstvy, hladiny podzemní vody apod.).

ČSN 73 1001 [01.04.2010 ukončena platnost] uvádí podobná kriteria, tj. k prosedání může docházet u jemnozrnných zemin, vyskytne-li se některá z níže uvedených podmínek:

zemina je eolického původu
obsah prachové složky > 60 % hmotnosti suché zeminy
obsah jílové složky < 15 % hmotnosti suché zeminy
stupeň nasycení S_r < 70 %, mez tekutosti w_L < 32 %
pórovitost n > 40 % a současně vlhkost w < 13 %
prosednutí po nasycení je větší než 1 % výšky vzorku před nasycením

V níže uvedené tabulce č. 30 je uvedeno vyhodnocení parametrů sprašových zemin z hlediska rizika objemových deformací, prosedání a kolapsu struktury na základě kombinace výše uvedených kritérií dle ČSN 73 1001 [01.04.2010 ukončena platnost].

Tabulka č. 30 Vyhodnocení parametrů sprašových zemin

Číslo sondy	Číslo vzorku	Hloubka [m]	Klasifikace dle 73 6133	Klasifikace dle 14688-2	Obsah jílovité složky [%]	Obsah prachové složky [%]	Vlhkost [%]	Mez tekutosti [%]	Pórovitost [%]	Stupeň nasycení [%]
S1	8046	2,9-3,0	F6 CI	siCl	24	**69**	21,4	36,24	39,4	89,4
S1	8047	5,0-5,2	F6 CI	Cl	38	55	24,6	43,14	42,8	89,1
S1	8048	7,0-7,2	F6 CI	siCl	24	**70**	29,5	39,5	-	-
S2	8051	3,0-3,2	F6 CI	siCl	25	**69**	26,8	40,91	42,7	97,6
S2	8053	5,8-6,0	F8 CH	Cl	46	48	22,2	58,23	37,6	100,0
S2	8055	9,0-9,2	F8 CH	Cl	38	53	23,6	53,23	-	-
S3	8104	5,0-5,2	F6 CI	siCl	27	**65**	16,2	37,28	40,2	**65,6**
S3	8105	11,8-12,0	F8 CH	Cl	45	49	22,8	50,59	38,8	97,7
S4	8110	2,2-2,4	F8 CH	Cl	50	42	20,6	57,36	-	-
S5	8115	2,0-2,2	F6 CI	siCl	22	**74**	15,1	37,19	38,7	**65,6**
S7	8137	3,8-3,9	F6 CI	siCl	23	**71**	22,9	37,12	40,0	94,2
S8	8140	3,8-3,9	F6 CI	siCl	29	**65**	20,0	37,52	37,2	92,6
S9	8143	3,0-3,2	F6 CI	siCl	34	**60**	21,7	47,44	-	-
S9	8144	4,6-4,7	F6 CI	Cl	38	50	24,1	47,66	42,7	88,7
S10	8146	1,2-3,0	F6 CI	siCl	30	**63**	23,9	43,79	-	-

Poznámka:

Červeně jsou označeny hodnoty, které překračují kritéria pro možnost prosedání zemin
Modře jsou označeny hodnoty, které jsou na hranici kritéria

Z výše uvedené tabulky č. 30 je patrné, že zastižené sprašové zeminy GT 2a mohou být za určitých podmínek náchylné ke kolapsu vnitřní struktury, prosedání a k objemovým změnám. Proto je nutné zajistit, aby spolu s objemovou změnou způsobenou přitížením od budoucí výstavby nebyly tyto vrstvy zemin dotovány vodou, která by mohla způsobit nerovnoměrné sedání konstrukcí.

7.8 Geotechnické vlastnosti zastižených zemin

S přihlédnutím ke stratigrafii, litologii a výsledkům fyzikálně-mechanických charakteristik odebraných vzorků byly pro vyhodnocení základových poměrů stanoveny vrstvy zemin s podobnými geotechnickými vlastnostmi. Zeminy, zastižené v zájmovém území, byly rozčleněny na 3 skupiny reprezentující zeminy s rozdílnými geotechnickými vlastnostmi a genezí, které jsou označené jako geotechnické typy (GT). Případně jsou vyčleněny podtypy, které označují skupiny stejné geneze a odlišných geotechnických vlastností. Pro GT nebo její podtypy jsou uváděny reprezentativní hodnoty pro celou popisovanou vrstvu.

Obecný geologický profil zkoumaného území je uveden v tabulce č. 31.

Tabulka č. 31 Schematický přehled vrstevního sledu geotechnických typů (GT)

Stáří	Petrografický popis	Klasifikace dle 73 6133	Klasifikace dle 14688-2	Označení GT
antropogén	navážka	Y/(F8 CH, F4 CS, S4 SM)	Mg/(siCl, saCl, clSa)	1
kvartér	eolické a deluvioeolické sedimenty	F6 CI, F8 CH	siCl, Cl	2a
	fosilní půdy	F6 CI, F8 CH	siCl, Cl	2b
neogén	neogenní jíly	F8 CH, F8 CV	Cl	3a
	neogenní písky	F4 CS, S5 SC	sasiCl, clSa	3b
	neogenní pískovce (lavice pískovců)	(R3)-R2	-	3c

Přehled fyzikálně-mechanických, případně i přetvárných charakteristik je uveden v samostatných tabulkách u jednotlivých typů níže.

7.8.1 Navážka (GT 1)

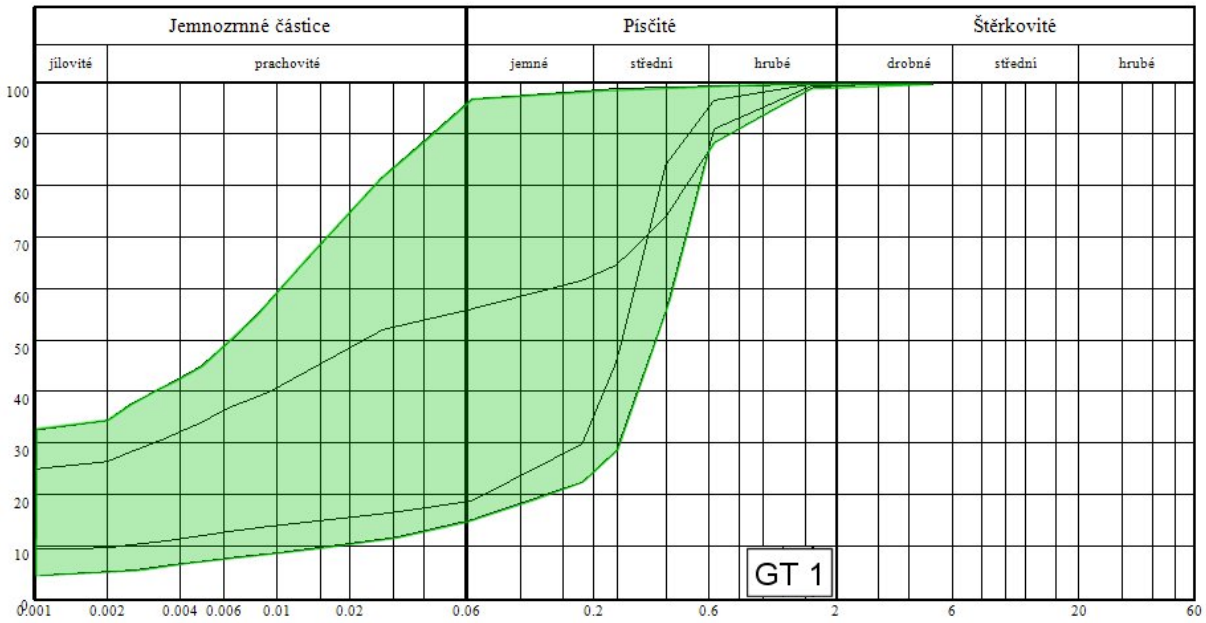
Ve svrchních partiích všech vrtaných sond byla zastižena vrstva navážky o mocnosti 0,1 m až 3,5 m, která byla tvořena materiálem různorodého složení.

Makroskopicky nebylo při průzkumných pracích zjištěno znečištění, proto se nepředpokládá případná kontaminace navážek.

Vzhledem k různorodosti navážky se mohou geotechnické parametry vrstev GT 1 výrazně měnit a není proto možné pro ni určit geotechnické parametry, s nimiž by bylo možné uvažovat pro celé těleso navážky.

Relativní variabilita v zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí v rámci GT 1 je patrná z obrázku č. 12, kde je dokumentována obalovými křivkami zrnitosti a oblastí, kterou vymezují a vypovídají tak o variabilitě zemin navážky v rámci GT 1.

Obrázek č. 12 Oblast vymezená obalovými křivkami zrnitosti GT 1



7.8.2 Eolické a deluvioeolické sedimenty (GT 2a)

Pod vrstvou navážky byly zastiženy prachovité jíly až jíly eolického původu, které byly vyvinuty v několika vrstvách s různými barevnými odstíny. Jedná se o sedimenty sprašového typu, které vznikly během glaciálů a případně byly postiženy svahovými pohyby za vzniku deluvioeolických sedimentů.

Tyto zeminy odpovídají, dle normy ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“, přílohy A, jílům se střední plasticitou třídy F6 tuhé až pevné konzistence až jílům s vysokou plasticitou třídy F8 tuhé až pevné konzistence.

Řády filtračních součinitelů k_f [m.s^{-1}] zastižených zemin třídy F6 a F8 se pohybují v řádech 10^{-10} až 10^{-8}, čímž dle odstupňované nomenklatury propustnosti hornin [5] náleží do tříd propustnosti VIII až VII, které definují prostředí nepatrně až velmi slabě propustné.

Pro zeminy geotechnického typu GT 2a jsou v tabulce č. 32 uvedeny průkazné geotechnické parametry a orientační hodnoty dle normy 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ [01.04.2010 ukončena platnost].

Orientační hodnota tabulkové výpočtové únosnosti R_{dt} dosahuje pro zeminy GT 2a, pro šířku základu ≤ 3 m a hloubku založení 0,8 až 1,5 m, u zemin třídy F6 hodnoty 100 kPa pro konzistenci tuhou a 200 kPa pro konzistenci pevnou. U zemin třídy F8 jsou hodnoty R_{dt} 80 kPa pro konzistenci tuhou a 160 kPa pro konzistenci pevnou.

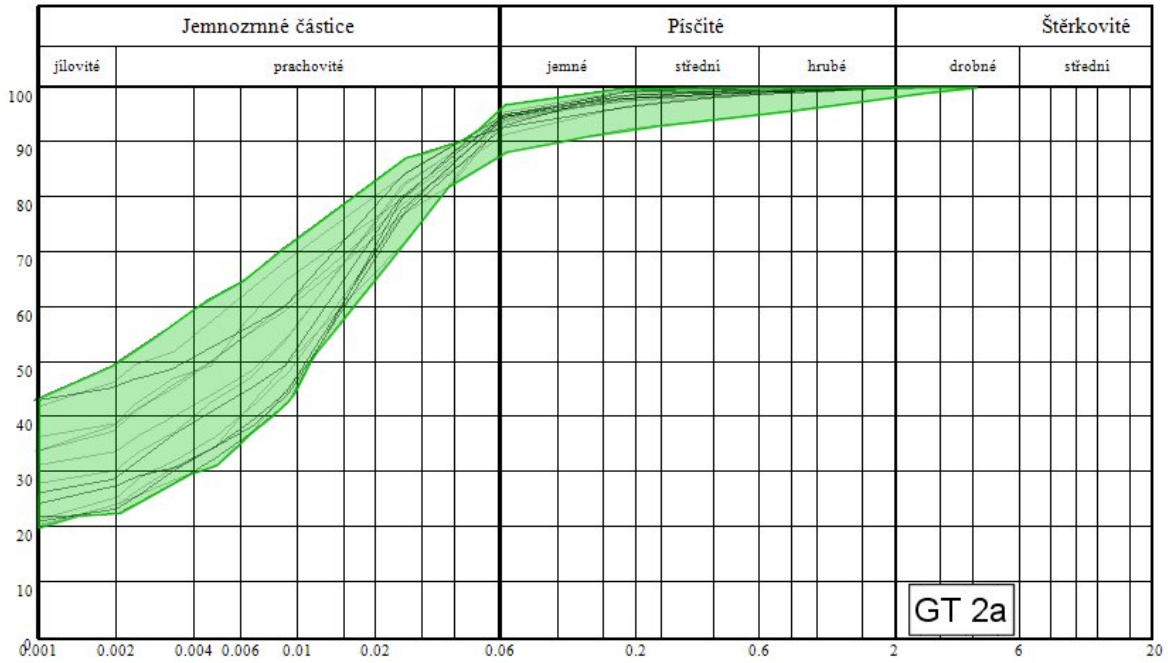
Tabulka č. 32 Geotechnické charakteristiky jílovitých zemin GT 2a

	Veličina	Jednotka	Rozmezí hodnot F6, F8	∅ hodnota F6, F8
Objemová tíha	γ_n	[kN.m^{-3}]	18,6 – 20,3	**19,5**
Měrná tíha	γ_s	[kN.m^{-3}]	26,6 – 26,9	**26,8**
Přirozená vlhkost	w_n	[%]	15,1 – 29,5	**22,4**
Koeficient filtrace (z křivky zrnitosti)	k_f	[m.s^{-1}]	4×10^{-10} – 1×10^{-8}	**6×10^{-9}**
Stupeň konzistence	I_C	[1]	0,57 – 1,35	**0,95**
Index plasticity	I_P	[%]	15,4 – 36,5	**23,3**
Efektivní úhel vnitřního tření	φ_{ef}	[°]	19,5 – 29,1	**26,2**
Efektivní soudržnost	c_{ef}	[kPa]	2,7 – 30,1	**13,8**
Totální úhel vnitřního tření	φ_u	[°]	0,69	
Totální soudržnost	c_u	[kPa]	98,3	
Deformační modul	E_{def}	[MPa]	2,1 – 3,2	**2,8**
Převodní součinitel *)	β	[1]	0,37 – 0,47	**0,42**
Poissonovo číslo *)	ν	[1]	0,40 – 0,42	**0,41**
Tabulková výpočtová únosnost *)	R_{dt}	[kPa]	80 – 200	**135**

*Vysvětlivky: *) směrné normové charakteristiky dle normy ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy" [01.04.2010 ukončena platnost]*

Relativní variabilita v zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí v rámci GT 2a je patrná z obrázku č. 13, kde je dokumentována obalovými křivkami zrnitosti a oblastí, kterou vymezují a vypovídají tak o nízké variabilitě zemin v rámci GT 2a, proto je u nich možné předpokládat, že se budou vyznačovat obdobnými geotechnickými parametry.

Obrázek č. 13 Oblast vymezená obalovými křivkami zrnitosti GT 2a



7.8.3 Fosilní půdy (GT 2b)

V eolických až deluvioeolických sedimentech byly v sondách S1, S2, S4, S8 a S9 zastiženy tmavší polohy pohřbených fosilních půd, které jsou pozůstatky původní pleistocenní půdy, vytvořené v interglaciálech na sprašovém pokryvu.

Neogenní hlinité sedimenty jsou, dle normy ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“, přílohy A, řazeny k jílům se střední plasticitou třídy F6 tuhé až pevné konzistence až jílům s vysokou plasticitou třídy F8 tuhé až pevné konzistence.

Řády filtračních součinitelů k_f [m.s^{-1}] zastižených neogenních zemin třídy F6 a F8 se pohybují v řádu 10^{-10} až 10^{-9} a náleží tak, dle odstupňované nomenklatury propustnosti hornin [5], do třídy propustnosti VIII, která definuje prostředí nepatrně propustné.

Pro zeminy geotechnického typu GT 2b jsou v tabulce č. 33 uvedeny průkazné geotechnické parametry a orientační hodnoty dle normy 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ [01.04.2010 ukončena platnost].

Orientační hodnota tabulkové výpočtové únosnosti R_{dt} dosahuje pro zeminy GT 2b, pro šířku základu ≤ 3 m a hloubku založení 0,8 až 1,5 m, u zemin třídy F6 hodnoty 100 kPa pro konzistenci tuhou a 200 kPa pro pevnou konzistenci. U zemin třídy F8 jsou hodnoty R_{dt} 80 kPa pro konzistenci tuhou a 160 kPa pro pevnou konzistenci.

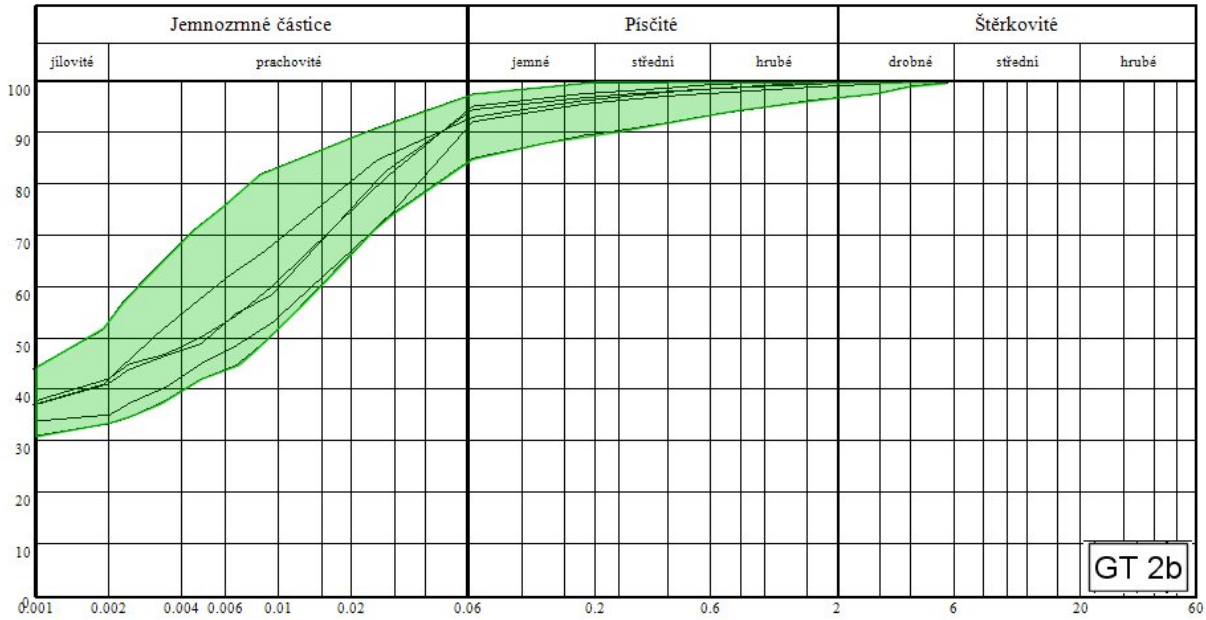
Tabulka č. 33 Geotechnické charakteristiky hlinitých zemin GT 2b

	Veličina	Jednotka	Rozmezí hodnot F6, F8	∅ hodnota F6, F8
Objemová tíha	γ_n	[kN.m^{-3}]	18,6 – 20,5	**19,5**
Měrná tíha	γ_s	[kN.m^{-3}]	26,5 – 26,9	**26,8**
Přirozená vlhkost	w_n	[%]	18,2 – 27,5	**22,4**
Koeficient filtrace (z křivky zrnitosti)	k_f	[m.s^{-1}]	3×10^{-10} – 8×10^{-9}	**3×10^{-9}**
Stupeň konzistence	I_C	[1]	0,80 – 1,13	**0,97**
Index plasticity	I_P	[%]	26,5 – 35,8	**30,5**
Efektivní úhel vnitřního tření	φ_{ef}	[°]	19,2 – 23,2	**21,2**
Efektivní soudržnost	c_{ef}	[kPa]	14,4 – 43,1	**28,8**
Totální úhel vnitřního tření *)	φ_u	[°]	0	
Totální soudržnost *)	c_u	[kPa]	40 – 80	**63**
Deformační modul	E_{def}	[MPa]	3,1	
Převodní součinitel *)	β	[1]	0,37 – 0,47	**0,42**
Poissonovo číslo *)	ν	[1]	0,40 – 0,42	**0,41**
Tabulková výpočtová únosnost *)	R_{dt}	[kPa]	80 – 200	**135**

*Vysvětlivky: *) směrné normové charakteristiky dle normy ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ [01.04.2010 ukončena platnost]*

Relativní variabilita v zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí v rámci GT 2b je patrná z obrázku č. 14, kde je dokumentována obalovými křivkami zrnitosti a oblastí, kterou vymezují a vypovídají tak o nízké variabilitě zemin v rámci GT 2b, proto je u nich možné předpokládat, že se budou vyznačovat obdobnými geotechnickými parametry.

Obrázek č. 14 Oblast vymezená obalovými křivkami zrnitosti GT 2b



7.8.4 Neogenní jíly (GT 3a)

Pod kvartérními sedimenty, v případě sondy S6 přímo pod vrstvou navážky, bylo v sondách S1 až S8 od hloubky 2,7 m až 13,0 m až po bázi vrtaných sond v hloubce 9,0 m až 20,0 m zjištěno neogenní podloží v podobě jílovitých sedimentů bádenského stáří, které měly zpravidla zelenošedou až šedomodrou barvu a místy byly rezavě mramorované a jednalo se tak o tzv. tégly. V sondě S6 byly zastiženy pestré neogenní jíly ottnangského stáří. Jíly se místy střídaly s neogenními písčitými sedimenty.

Neogenní jílovité sedimenty jsou, dle normy ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“, přílohy A, řazeny k jílům s vysokou až velmi vysokou plasticitou třídy F8 zpravidla pevné konzistence, místy tuhé konzistence.

Řády filtračních součinitelů k_f [m.s^{-1}] zastižených hlinitých zemin třídy F8 se pohybují v řádech 10^{-11} až 10^{-10} a náleží tak, dle odstupňované nomenklatury propustnosti hornin [5], do třídy propustnosti VIII, která definuje prostředí nepatrně propustné.

Pro zeminy geotechnického typu GT 3a jsou v tabulce č. 34 uvedeny průkazné geotechnické parametry a orientační hodnoty dle normy ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ [01.04.2010 ukončena platnost].

Orientační hodnota tabulkové výpočtové únosnosti R_{dt} dosahuje pro zeminy GT 3a, pro šířku základu ≤ 3 m a hloubku založení 0,8 až 1,5 m, pro zeminy třídy F8 hodnoty 80 kPa pro konzistenci tuhou a 160 kPa pro konzistenci pevnou.

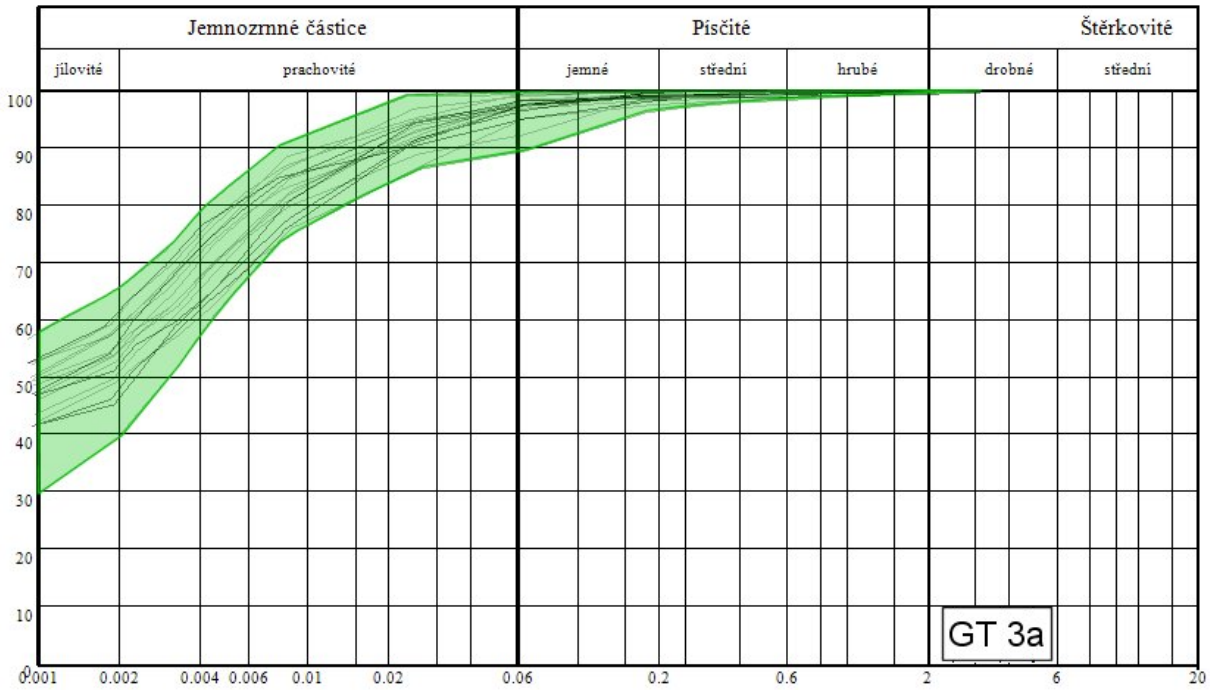
Tabulka č. 34 Geotechnické charakteristiky hlinitých zemin GT 3a

	Veličina	Jednotka	Rozmezí hodnot F8	∅ hodnota F8
Objemová tíha	γ_n	[kN.m^{-3}]	18,8 – 20,7	**19,8**
Měrná tíha	γ_s	[kN.m^{-3}]	26,6 – 27,3	**26,9**
Přirozená vlhkost	w_n	[%]	16,2 – 28,8	**22,5**
Koeficient filtrace (z křivky zrnitosti)	k_f	[m.s^{-1}]	8×10^{-11} – 9×10^{-10}	**2×10^{-10}**
Stupeň konzistence	I_C	[1]	0,97 – 1,20	**1,07**
Index plasticity	I_P	[%]	31,5 – 53,9	**44,3**
Efektivní úhel vnitřního tření	φ_{ef}	[°]	16,0 – 23,3	**19,2**
Efektivní soudržnost	c_{ef}	[kPa]	21,2 – 36,2	**28,2**
Totální úhel vnitřního tření	φ_u	[°]	0,16 – 5,48	**2,1**
Totální soudržnost	c_u	[kPa]	44,7 – 143,0	**93,2**
Deformační modul	E_{def}	[MPa]	4,7 – 9,2	**6,4**
Převodní součinitel *)	β	[1]	0,37	
Poissonovo číslo *)	ν	[1]	0,42	
Tabulková výpočtová únosnost *)	R_{dt}	[kPa]	80 – 160	**120**

*Vysvětlivky: *) doporučené směrné normové charakteristiky dle normy ČSN 73 1001 [01.04.2010 ukončena platnost]*

Relativní variabilita v zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí v rámci GT 3a je patrná z obrázku č. 15, kde je dokumentována obalovými křivkami zrnitosti a oblastí, kterou vymezují a vypovídají tak o nízké variabilitě zemin v rámci GT 3a, proto je u nich možné předpokládat, že se budou vyznačovat obdobnými geotechnickými parametry.

Obrázek č. 15 Oblast vymezená obalovými křivkami zrnitosti GT 3a



7.8.5 Neogenní písky (GT 3b)

Neogenní jíly se střídají s polohami neogenních písků až písčitých jílů, případně pískovcových lavic, které byly zastiženy především sondou S6, místy pak v sondě S5. Jedná se o silně ulehlé písky šedého zbarvení.

Písčité zeminy jsou, dle normy ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“, přílohy A, řazeny v sondě S6 k ulehlým hlinitým pískům třídy S4 až jílovitým pískům třídy S5, v sondě S5 k písčitým jílům třídy F4 tuhé konzistence.

Řády filtračních součinitelů k_f [m.s^{-1}] zastižených jílovito-písčitých zemin třídy F4, S4 a S5 se pohybují v řádech 10^{-7} až 10^{-5} a náleží tak, dle odstupňované nomenklatury propustnosti hornin [5], do tříd propustnosti VI až IV, které definují prostředí slabě až mírně propustné.

Pro zeminy geotechnického typu GT 3b jsou v tabulce č. 35 uvedeny průkazné geotechnické parametry a orientační hodnoty dle normy ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ [01.04.2010 ukončena platnost].

Orientační hodnota tabulkové výpočtové únosnosti R_{dt} dosahuje pro zeminy GT 3b třídy F4 tuhé konzistence, pro šířku základu ≤ 3 m a hloubku založení 0,8 až 1,5 m, hodnoty 150 kPa.

Pro ulehlé zeminy třídy S4 je hodnota tabulkové výpočtové únosnosti R_{dt} pro šířku základu 0,5 m 175 kPa, pro základ šířky 1,0 m 225 kPa, pro základ šířky 3,0 m je hodnota R_{dt} 300 kPa a pro 6,0 m je hodnota 250 kPa. Hodnota R_{dt} se tak pohybuje dle šířky základu od 175 kPa do 300 kPa.

Pro ulehlé zeminy třídy S5 je hodnota tabulkové výpočtové únosnosti R_{dt}, pro šířku základu 0,5 m 125 kPa, pro základ šířky 1,0 m a 6,0 m 175 kPa a pro základ šířky 3,0 m je hodnota R_{dt} 225 kPa. Hodnota R_{dt} se tak pohybuje dle šířky základu od 125 kPa do 225 kPa.

Tabulka č. 35 Geotechnické charakteristiky štěrkovitých zemin GT 3b

	Veličina	**Jednotka**	**Rozmezí hodnot F4, S4, S5**	**∅ hodnota F4, S4, S5**
Objemová tíha *)	γ_n	[kN.m^{-3}]	18,0 – 18,5	**18,3**
Přirozená vlhkost	w_n	[%]	6,6 – 19,9	**13,0**
Koeficient filtrace (z křivky zrnitosti)	k_f	[m.s^{-1}]	5×10^{-7} – 2×10^{-5}	**9×10^{-6}**
Stupeň konzistence	I_C	[1]	0,94 – 1,41	**1,15**
Index plasticity	I_P	[%]	6,9 – 12,5	**10,6**
Efektivní úhel vnitřního tření *) pro F4	φ_u	[°]	0	
Efektivní soudržnost *) pro F4	c_u	[kPa]	50	
Efektivní úhel vnitřního tření *)	φ_{ef}	[°]	22 – 30	**26,8**
Efektivní soudržnost *)	c_{ef}	[kPa]	0 – 18	**9**
Deformační modul *)	E_{def}	[MPa]	4 – 15	**7,7**
Převodní součinitel *)	β	[1]	0,62 – 0,74	**0,66**
Poissonovo číslo *)	ν	[1]	0,30 – 0,35	**0,33**
Tabulková výpočtová únosnost *) pro F4	R_{dt}	[kPa]	150	
Tabulková výpočtová únosnost *) v závislosti na šířce základu pro S4	R_{dt}	[kPa]	175 – 300	
Tabulková výpočtová únosnost *) v závislosti na šířce základu pro S5	R_{dt}	[kPa]	125 – 225	

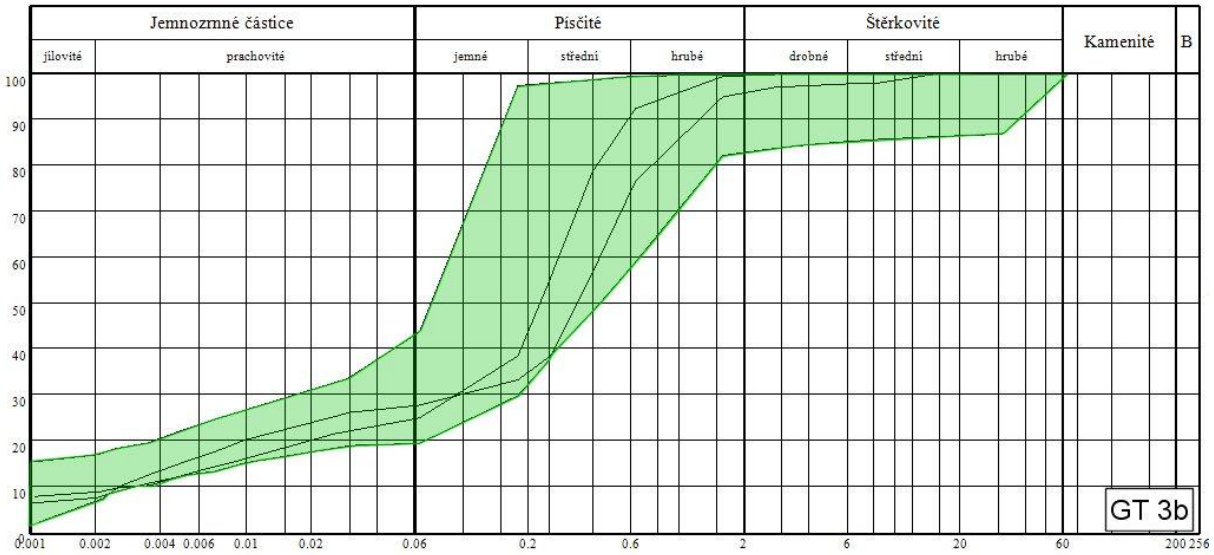
*Vysvětlivky: *) doporučené směrné normové charakteristiky dle normy ČSN 73 1001 [01.04.2010 ukončena platnost]*

Poznámky:

- Je-li základová spára v hloubce větší než hloubka založení, je možné u základových půd skupiny S a G zvýšit hodnoty o 2,5násobek a u základové půdy skupiny F o 1násobek efektivního napětí od tíhy základové půdy ležící mezi skutečnou a předpokládanou základovou spárou.
- Lze-li očekávat, že nejvyšší hladina podzemní vody bude pod základovou spárou v hloubce menší než je šířka základu, tabulková hodnota výpočtové únosnosti se sníží o 30 %.
- Je-li pod základovou spárou pevnější a méně stlačitelná vrstva základové půdy v hloubce menší než poloviční šířka základu, je možné tabulkové hodnoty výpočtové únosnosti zvýšit o 20 %.
- *Technické normě ČSN 73 1001 skončila ke dni 01.04.2010 platnost. Směrné normové charakteristiky jsou uvedeny pouze pro potřebu objednatele a tabulkové výpočtové únosnosti jsou pouze orientační.

Relativní variabilita v zastoupení jednotlivých zrnitostních frakcí v rámci GT 3b je patrná z obrázku č. 16, kde je dokumentována obalovými křivkami zrnitosti a oblastí, kterou vymezují a vypovídají tak o variabilitě zemin v rámci GT 3b.

Obrázek č. 16 Oblast vymezená obalovými křivkami zrnitosti GT 3b



7.8.6 Neogenní pískovce – lavice pískovců (GT 3c)

V sondě S6 byly zastiženy polohy, kde se nacházely pískovcové lavice, které byly tvořeny šedým, středně zrnitým a kompaktním pískovcem.

Zastižená hornina, odebraná z lavice pískovců v hloubce 10,3 m až 10,5 m, odpovídala na základě laboratorních analýz, dle normy ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“, přílohy A, horninám třídy R2, která na základě makroskopického popisu odpovídala místy až hornině třídy R3.

Hodnota pevnosti v prostém tlaku, zjištěná na úlomcích odebraného vzorku horniny, dosahuje hodnot 51,04 MPa, pohybuje se tedy na hranici tříd R2 a R3 a jedná se tak o pevnost střední až vysokou.

Pro horniny geotechnického typu GT 3c jsou v tabulce č. 36 uvedeny průkazné geotechnické parametry a orientační hodnoty dle normy ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ [01.04.2010 ukončena platnost].

Skalní podloží třídy R3 dosahuje tabulkové výpočtové únosnosti R_{dt} skalního masivu v závislosti na hustotě diskontinuit hodnot 0,5 MPa až 1,6 MPa a skalní podloží třídy R2

hodnot 1,2 MPa až 4,0 MPa. Tyto hodnoty jsou použitelné u skalních masivů se sevřenými diskontinuitami bez jílovité výplně.

Tabulka č. 36 Geotechnické charakteristiky hornin GT 3c

horninový typ		veličina	jednotka	rozmezí hodnot R3[2)] - R2[1)]	∅ hodnota R3[2)] - R2[1)]
pískovec	Objemová hmotnost	ρ_n	[Mg.m^{-3}]	2,85	
	Přirozená vlhkost	w_n	[%]	1,21	
	Pevnost v prostém tlaku nepravidelných těles**	σ_c	[MPa]	51,04	
	Tabulková výpočtová únosnost *)	R_{dt}	[MPa]	0,5 – 4,0	**1,7**

Vysvětlivky: *) *doporučené směrné normové charakteristiky dle normy ČSN 73 1001 [01.04.2010 ukončena platnost]*

**) *Hodnoty prostého tlaku a následné zatřídění zjištěné na základě drcení nepravidelných těles nemusí odpovídat skutečné pevnosti pravidelných těles. U nepravidelných úlomků vzniklých rozpadem vrtného jádra lze přepokládat pevnost vyšší, než u skutečně odvrtaného jádra.*

1) *Zatřídění dle normy ČSN 73 1001 [01.04.2010 ukončena platnost] na základě laboratorních analýz*

2) *Zatřídění dle normy ČSN 73 1001 [01.04.2010 ukončena platnost] na základě makroskopického popisu*

7.9 Zastižené hydrogeologické poměry

V zájmovém území bylo ověřeno několik typů hydrogeologického prostředí (kvazihomogenních celků), které lze charakterizovat následovně:

Antropogenní navážky (GT1) představují nestejnorodý materiál, který se vyznačuje lokálně proměnlivou propustností v závislosti na jejich složení. Mohou mít funkci hydrogeologického izolátoru, poloizolátoru i kolektoru.

Vrtnými pracemi byly nejčastěji dokumentovány navážky jílovitého složení, u kterých lze předpokládat filtrační součinitel k_f v řádu 10^{-9} až 10^{-8} m·s^{-1}, tj. prostředí nepatrně propustné až velmi slabě propustné (třída propustnosti VIII a VII); budou se chovat jako hydrogeologický izolátor, případně poloizolátor.

Naproti tomu u hlinitých písků ve vrtu S6 byly z křivek zrnitosti ověřeny filtrační součinitele k_f v řádu 10^{-6} až 10^{-5} m·s^{-1}, tj. prostředí dosti slabě propustné až mírně propustné (třída propustnosti V a IV); v tomto případě budou písky plnit funkci průlinově propustného hydrogeologického kolektoru; nicméně nebylo zjištěno jejich zvodnění.

Kvartérní eolické a deluvioeolické jílovité sedimenty (spraše, respektive prachovité jíly a jíly; GT2a), včetně čoček fosilních půd (jíly a prachovité jíly; GT2b), zahrnují zeminy tříd F6 a F8. Filtrační součinitel k_f všech těchto zemin byl stanoven v rozmezí řádů 10^{-10} až 10^{-8} m·s^{-1}, což odpovídá prostředí nepatrně propustnému až velmi slabě propustnému (třída propustnosti VIII a VII). Z výše uvedených zemin jsou nejpropustnější spraše; zhruba o řád propustnější (k_f = 10^{-9} až 10^{-8} m·s^{-1}). Spraše plní funkci hydrogeologického poloizolátoru, zatímco deluvioeolické sedimenty a fosilní půdy funkci izolátoru. Spraše propouští infiltrované atmosférické srážky do úrovně deluvioeolických jílů, které pro tuto mělkou infiltrovanou podzemní vodu představují bazální izolátor (viz naražená HPV ve vrtu S1), nicméně „ne zcela nepropustný“, tím jsou totiž až podložní neogenní jíly.

Podložní neogenní jíly (GT3a) zahrnují zeminy třídy F8. Jsou charakteristické nejnižším filtračním součinitelem na předmětné lokalitě; $k_f = 10^{-11}$ až 10^{-10} m·s^{-1}, což odpovídá prostředí nepatrně propustnému, třída propustnosti VIII. Jak bylo uvedeno výše, neogenní jíly představují regionální bazální izolátor pro nadložní kvartérní sedimenty.

Polohy neogenních písků (GT3b), včetně pískovcových lavic (GT3c) plní funkci hydrogeologického průlinového kolektoru.

Písky z vrtu S6 jsou charakterizovány filtračními součiniteli k_f v řádu 10^{-6} až 10^{-5} m·s^{-1}, což představuje prostředí dosti slabě propustné až mírně propustné (třída propustnosti V a IV), přičemž horní poloha jílovitých písků (S5 SC) je o řád propustnější, než spodní poloha hlinitých písků (S4 SM). Písky ve vrtu S5 mají charakter jílů písčitých (F4 CS), s ještě nižším filtračním součinitelem; k_f v řádu 10^{-7} m·s^{-1}, což představuje prostředí slabě propustné, třída propustnosti VI.

Z aktuálně realizovaných vrtů, byla podzemní voda zastižena pouze ve vrtech S1, S2, S5 a S6; ostatní vrty byly suché. Údaje o naražených a ustálených HPV shrnuje tabulka č. 37. Pro komplexnost uvádíme tyto údaje také z archivních vrtů relevantních pro předmětný průzkum v tabulce č. 38. Nicméně v tomto případě je nutné mít na zřeteli, že některé z těchto údajů jsou staré několik desetiletí, takže poskytují pouze hrubě orientační hodnotu.

Tabulka č. 37 Hladiny podzemní vody v aktuálně realizovaných vrtech

vrt	naražená HPV		ustálená HPV		zvodeň
	[m]	[m n. m.]	[m]	[m n. m.]	
S1	8,0 a 10,9	255,64 a 252,74	8,00	255,64	kvartérní
S2	10,8	252,56	14,30	249,06	kvartérní
S3	-	-	-	-	-
S4	-	-	-	-	-
S5	11,6	269,60	9,72	271,48	neogenní
S6	10,1	278,28	10,85	277,53	neogenní
S7	-	-	-	-	-
S8	-	-	-	-	-
S9	-	-	-	-	-
S10	-	-	-	-	-

Tabulka č. 38 Hladiny podzemní vody v archivních vrtech

vrt	naražená HPV		ustálená HPV		zvodeň
	[m]	[m n. m.]	[m]	[m n. m.]	
S590	bez vody				
V5	7,5	264,50*	-	-	kvartérní
V4	10,0	278,20*	1,50	194,29	neogenní?
V2	bez vody				
V1	bez vody				
S174	10,5	269,40	-	-	neogenní?

* … výškový systém Jadran - Lišov

Vrty S1 a S2 byla zastižena mělká kvartérní voda, která byla naražena na rozhraní spraší a fosilní půdy, nebo na rozhraní deluvioeolických jílů a téglů. Tato voda nemá tlakový charakter, její hladina je volná. Jedná se o infiltrované atmosférické srážky přes vrstvu spraší, respektive deluvioeolických sedimentů. Jejich vertikální pohyb je ukončen na nepropustných neogenních jílech, kde se zadržují a vytváří nepravidelnou mělkou kvartérní zvodeň.

Naproti tomu ve vrtech S5 a S6 byla dokumentována podzemní voda neogenních sedimentů, která byla zastižena na rozhraní neogenních jílů a neogenních písků. Tato podzemí voda má tlakový charakter s napjatou hladinou podzemní vody. Ve vrtu S5 hladina po vystrojení vystoupala o 1,88 m výš a po 24 hodinách dokonce až o 4,89 m výš, do úrovně 6,71 m p. t. (viz tabulka č. 39). Naopak ve vrtu S6 byla ustálená HPV o 1,13 m níž než naražená, protože došlo k přetoku podzemní vody do nižších poloh neogenních písků, které byly při vrtání suché.

7.10 Výsledky měření hladin podzemní vody

Měření hladin podzemní vody bylo realizováno pouze v aktuálně realizovaných vystrojených průzkumných vrtech S1, S5, S6 a S7, protože v relevantní vzdálenosti od projektované stavby se žádné archivní HG vrty ani studny nevyskytují.

Měření byla prováděna nepravidelně, v období od 22.3.2016 do 3.5.2016. Výsledky měření shrnuje tabulka č. 39.

Tabulka č. 39 Vývoj hladiny podzemní vody ve vystrojených vrtech

Datum	HPV [m p. t.]				Poznámka
	S1	S5	S6	S7	
22.3.2016	8,00	-	-	-	
23.3.2016	8,04	-	-	-	
29.3.2016	8,08	-	-	-	
1.4.2016	8,11	-	-	-	
4.4.2016	8,11	-	-	-	
5.4.206	8,12	9,72	-	-	
6.4.2016	8,14	6,71	10,85	-	
11.4.2016	7,995	5,94	12,91	suchý	po intenzivních srážkách 7.-10.4.2016
12.4.2016	-	-	-	suchý	
21.42016	8,045	5,835	12,93	suchý	před ČZK v S1
21.42016	11,50	5,835	12,93	suchý	před SZK v S1
21.42016	8,08	5,835	12,93	suchý	po SZK v S1
22.42016	8,05	7,21	12,94	suchý	před ČZK v S5
22.42016	8,05	18,37	12,94	suchý	před SZK v S5
22.42016	8,05	10,33	12,94	suchý	po SZK v S5
25.4.2016	8,07	6,24	13,00	9,955	
29.4.2016	8,10	5,97	-	9,90	
13.5.2016	8,14	5,91	13,285	9,67	

Hladina podzemní vody ve vrtu S1 je relativně stálá. Za dobu pozorování rozkyv hladiny dosáhl necelých 15 cm (nezahrnuje kolísání způsobené čerpací zkouškou). Hladina se pohybuje v úrovní 8,00–8,14 m p. t.

Ve vrtu S5 HPV postupně stoupala od 9,72 do 5,84 m p. t. (nárůst o 3,88 m). I po provedené čerpací zkoušce je patrný postupný návrat do výchozí úrovně. Ustálená HPV se v tomto vrtu vyskytuje v úrovni 5,84–6,71 m p. t.

Ve vrtu S6 je zřetelný postupný pokles hladiny o 2,44 m. Je to způsobeno přetokem podzemní vody do nižších poloh neogenních písků, které nebyly zvodněné. HPV se v tomto vrtu vyskytovala v úrovni 10,85–13,29 m p. t.

Vrtem S7 nebyla zpočátku zastižena žádná voda. Ovšem přibližně po 14 dnech od vystrojení do tohoto vrtu začala natékat mělká průsaková voda (infiltrované atmosférické srážky). K datu 13.5.2016 tato mělká průsaková voda vystoupala o necelých 29 cm, přičemž se vyskytuje v úrovni 9,67 m p. t.

Směr proudění podzemní vody je v jižní části lokality (vzhledem k projektované stavbě staničení cca 0,00–0,55 km) v generelu směrem k jihu, ve zbývající „severní části“ směrem k severu.

7.11 Výsledky hydrodynamických zkoušek

Hydrodynamické zkoušky ve vrtech S1 a S5 byly realizovány za účelem ověření hydraulických parametrů horninového prostředí. Zkoušky byly navrženy a proběhly v režimu, který umožňuje zkoumat okolí nejbližších metrů kolem čerpaného vrtu, což je vhodné pro účely mapování hydrogeologických parametrů v heterogenním prostředí.

Charakteristické údaje hydrodynamických zkoušek shrnuje tabulka č. 40, dokumentace zkoušek tvoří přílohu 13.

Tabulka č. 40 Charakteristické údaje hydrodynamických zkoušek

objekt	funkce	datum	ČZK/SZK [hod:min]	Q [l.s^{-1}]	HPV [m od OB]			snížení [m]	nástup [m]	rozdíl h_1-h_3 [m]
					h_1	h_2	h_3			
S1	čerpaný	21.4.2016	0:30/2:00	0,041-0,081	8,04	11,50	8,08	3,46	3,42	-0,04
S5	pozorovací				5,835	5,835	5,835	0,00	0,00	0,00
S6	pozorovací				12,93	12,93	12,93	0,00	0,00	0,00
S5	čerpaný	22.4.2016	0:37/3:00	0,033-0,065	6,91	18,37	10,33	11,46	8,04	-3,42
S1	pozorovací				8,05	8,05	8,05	0,00	0,00	0,00
S6	pozorovací				12,94	12,94	12,945	0,00	-0,005	-0,005

h_1 … hladina na začátku ČZK
h_2 … hladina na konci ČZK a začátku SZK
h_3 … hladina na konci SZK

Hydrodynamická zkouška ve vrtu S1 byla zahájena při čerpaném množství 0,081 l·s^{-1}; postupně došlo k jeho poklesu přibližně na polovinu (0,043 l·s^{-1}). Čerpání podzemní vody trvalo 30 minut, aniž by došlo k ustálení hladiny podzemní vody. Čerpáním byla snížena hladina o 3,46 m, na úroveň 11,50 m p. t., což představuje odčerpání téměř 85 % vodního sloupce. Následná stoupací zkouška trvala 2 hodiny; při ní hladina podzemní vod vystoupala do úrovně 8,08 m p. t., což je o 4 cm méně, než byl původní stav. K úplnému vyrovnání nedošlo ani po 17:30 hodinách od ukončení čerpání, v tomto okamžiku do vyrovnání hladin scházel 1 cm.

Vliv čerpání nebyl v pozorovacích vrtech S5 a S6, vzdálených cca 250 a 400 m severně, zaznamenán.

V průběhu HDZK ve vrtu S1 bylo slunečné počasí s teplotou vzduchu okolo 14 °C.

Hydrodynamická zkouška ve vrtu S5 byla zahájena při čerpaném množství 0,064 l·s^{-1}, v úrovni 6,91 m p. t. Také zde postupně došlo k poklesu čerpaného množství přibližně na polovinu (0,033 l·s^{-1}). Čerpání podzemní vody probíhalo 37 minut, téměř na koš čerpadla, aniž by došlo k ustálení hladiny podzemní vody. Čerpáním došlo ke snížení hladiny o 11,46 m, na úroveň 18,37 m p. t. Následná stoupací zkouška trvala 3 hodiny; při ní hladina podzemní vod vystoupala do úrovně 10,33 m p. t., což je o 3,42 m méně, než byl původní stav. Přibližně po třech dnech (25.4.2016) byla ve vrtu S5 změřena hladina v úrovni 6,24 m p. t., tj. o 0,67 m výše, než byl stav před zahájením čerpání.

Ve vrtu S1, vzdáleném cca 250 m jižně, nebyl vliv čerpání pozorován. Ve vrtu S6, vzdáleném necelých 170 m severně byl na konci HDZK zjištěn pokles o 0,5 cm. Nicméně tento rozdíl spadá do tolerance přesnosti měření použitého přístroje (+/– 1 cm).

V průběhu HDZK ve vrtu S5 bylo slunečné počasí s teplotou vzduchu v rozmezí 13 až 15 °C.

Data získaná HDZK byla vyhodnocena metodou dle Jacoba, založenou na logaritmické interpolaci dat středního úseku stoupací zkoušky. Byly zjištěny hodnoty transmisivity T a filtračního součinitele k_f. Výsledky výpočtů jsou souhrnně uvedeny v následující tabulce č. 41.

Tabulka č. 41 Vypočtené parametry zvodněného horninového prostředí

Objekt	Součinitel transmisivity T [$m^2 \cdot s^{-1}$]	Klasifikace transmisivity dle Krásného		Filtrační součinitel k_f [$m \cdot s^{-1}$]	Klasifikace propustnosti dle Jetela	
		Označení	Třída		Označení	Třída
S1	$5{,}39 \cdot 10^{-6}$	velmi nízká	V	$6{,}74 \cdot 10^{-7}$	slabě propustné	VI
S5	$1{,}44 \cdot 10^{-6}$	velmi nízká	V	$7{,}19 \cdot 10^{-6}$	dosti slabě propustné	V

Součinitel transmisivity T byl pro oba vrty stanoven v řádů 10^{-6} $m^2 \cdot s^{-1}$, což dle klasifikace Krásného [6] odpovídá velmi nízké transmisivitě prostředí.

Filtrační součinitel k_f dosahuje ve vrtu S1 řádu 10^{-7} $m \cdot s^{-1}$ a dle klasifikace propustnosti prostředí dle Jetela charakterizuje prostředí slabě propustné, třídy VI. V případě vrtu S5 filtrační součinitel k_f dosahuje řádu 10^{-6} $m \cdot s^{-1}$ a dle klasifikace propustnosti prostředí dle Jetela charakterizuje prostředí dosti slabě propustné, třídy V. [5]

7.12 Výsledky laboratorních rozborů podzemní vody

Aktuálně realizované vrty s výskytem podzemní vody (S1, S2, S5 a S6) byly testovány na základní chemismus a agresivitu na beton a ocel.

Ve všech odebraných vzorcích byl proveden základní chemický rozbor vody (ZCHR) a stavební rozbor, tj. stanovení agresivity na beton a ocel.

Výsledky laboratorních rozborů byly porovnány s relevantními předpisy, tj. s Metodickým pokynem Ministerstva životního prostředí ČR Indikátory znečištění z ledna 2014, s vyhláškou č. 5/2011 Sb., v platném znění, o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod, dále s ČSN EN 206 „Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda“ a s ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“ – viz příloha 11. Kompletní laboratorní protokoly s výsledky jsou obsahem přílohy 12.

7.12.1 Kvalitativní parametry podzemní vody

Výsledky vzorkování ukazují, že v zájmovém území je zřetelný rozdíl v chemizmu mělké kvartérní podzemní vody, reprezentované vrty S1 a S2, oproti hlubší neogenní vodě, zastižené vrty S5 a S6. Toto je dobře patrné z přílohy 11.

Kvartérní podzemní voda je středně mineralizovaná, s konduktivitou 990 a 1040 µS/cm, slabě alkalická, s pH 7,89 a 7,91 a velmi tvrdá (4,99 a 4,94 mmol/l). Představuje chemický typ Mg-Ca-HCO_3.

V obou vrtech byl zaznamenán nadlimitní obsah fluoridů (0,968 a 1,330 mg/l), překračující indikační hodnotu MP MŽP Indikátory znečištění z 1/2014, a ve vrtu S2 také

lehce nadlimitní obsah Mn (0,0505 mg/l), překračující referenční hodnotu vyhlášky č. 5/2011 Sb.

Podzemní voda vykazuje nízký obsah Fe. Také obsahy dusíkatých látek (amonné ionty, dusičnany, dusitany) jsou vyhovující, i když koncentrace dusičnanů atakuje referenční hodnotu výše uvedené vyhlášky (50 mg/l).

Neogenní podzemní voda vrtů S5 a S6 je vysoce mineralizovaná, s až 3× vyšší konduktivitou oproti kvartérní vodě (2790 a 3100 µS/cm). Reakce vody je neutrální až velmi slabě alkalická, s pH 7,40 a 7,44. Voda je rovněž velmi tvrdá, nicméně tvrdost dosahuje řádově vyšší hodnoty (20,7 a 22,2 mmol/l); podíl na tom mají vysoké obsahy Ca a Mg. Jedná se o chemický typ Ca-Mg-SO_4.

Charakteristickým rysem této podzemní vody je vysoký obsah síranů (1930 a 2310 mg/l), překračující referenční hodnotu vyhlášky č. 5/2011 Sb. Právě sírany se nejvíce podílí na vysokých hodnotách konduktivity. Referenční hodnotu výše uvedené vyhlášky překračují také obsahy Mn (0,0835 a 0,223 mg/l). Indikační hodnotu MP MŽ z 1/2014 překročil pouze obsah fluoru ve vrtu S5 (0,892 mg/l).

Dále podzemní voda vykazuje nízký obsah Fe a vyhovující obsahy dusíkatých látek (amonné ionty, dusičnany, dusitany), přičemž obsah dusičnanů je řádově nižší, než u kvartérní podzemní vody.

Neogenní voda se oproti kvartérní vodě zřetelně odlišuje vysokým obsah síranů, Ca, Mg a Na (až řádově vyšší), což se projevuje až o řád vyšší konduktivitou, tvrdostí a množstvím rozpuštěných látek. Naproti tomu vykazuje zřetelně nižší obsahy chloridů a řádově nižší obsahy dusičnanů. Takovéto parametry neogenní vody jsou dány jejím hlubším oběhem, delší dobou zdržení a interakce s horninovým prostředím.

Pro posouzení chemizmu severní části projektované trasy doporučujeme odebrat a analyzovat také vzorek vody z vrtu S7 na parametry ZCHR a agresivita na beton a ocel. Tímto vrtem zpočátku nebyla zastižena žádná voda, nicméně po jeho vystrojení do něj začala postupně natékat mělká průsaková voda (infiltrované atmosférické srážky).

7.12.2 Zhodnocení agresivity vodního prostředí

Dle ČSN EN 206 „Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda“ mělká kvartérní podzemní voda vrtů S1 a S2 nejeví známky agresivity na betonové konstrukce, zatímco neogenní podzemní voda vrtů S5 a S6 se vyznačuje střední agresivitou stupně XA2 – viz tabulka č. 42.

Agresivita neogenní vody je způsobena zvýšeným obsahem síranů (1930 až 2310 mg/l).

Tabulka č. 42 Agresivita podzemní vody na beton dle ČSN EN 206

Vrt	pH	SO_4^{2-} (mg/l)	CO_2 agresivní (mg/l)	NH_4^+ (mg/l)	Mg (mg/l)	ČSN EN 206
S1	7,89	97,7	9,73	<0,050	89,5	neagresivní
S2	7,91	122	4,36	0,111	83,2	neagresivní
S5	7,44	1930	2,72	0,347	210	XA2
S6	7,40	2310	0	0,379	248	XA2
XA1	5,5 až 6,5	200-600	15-40	15-30	300-1000	slabá
XA2	4,5 až <5,5	>600-3000	>40-100	>30-60	>1000-3000	střední
XA3	4,0 až <4,5	>3000-6000	>100	>60-100	>3000	vysoká

Dle ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“ podzemní voda v zájmovém území vykazuje velmi vysokou agresivitu na ocelové konstrukce, a to jak mělká voda kvartérní, tak především voda neogenní – viz tabulka č. 43.

Agresivita je způsobena velmi vysokou vodivostí vody; kvartérní voda 990 až 1040 µS/cm, neogenní voda 2790 až 3100 µS/cm. K tomu se ve vrtu S1 přidává i nadlimitní obsah agresivního oxidu uhličitého.

V takovém prostředí je doporučena zesílená izolace potrubí nebo kovových částí vystavených působení vody.

Tabulka č. 43 Agresivita podzemní vody na ocel dle ČSN 03 8375

Vrt	pH	vodivost (µS/cm)	$SO_3 + Cl^-$ (mg/l)	CO_2 agresivní (mg/l)	ČSN 03 8375
S1	7,89	1040	88,9	9,73	velmi vysoká
S2	7,91	990	89,7	4,36	velmi vysoká
S5	7,44	2790	39,2	2,72	velmi vysoká
S6	7,40	3100	11,75	0	velmi vysoká
I	6,5 až 8,5	<100	<100	0	nízká
II	8,5 až 14,0	200-100	100-200	0	střední
III	6,0 až 6,5	430-200	200-300	5	zvýšená
IV	<6,0	>430	>300	5	velmi vysoká

8 GEOTECHNICKÉ ZHODNOCENÍ PODMÍNEK V TRASE TUNELU

Pro zhodnocení geotechnických podmínek horninového prostředí připravované tunelové stavby bylo zájmové území v trase rozděleno na dílčí geotechnické úseky (dále jen GT úseky), které jsou uvedeny v tabulce č. 44 níže.

Tabulka č. 44 Rozdělení trasy na dílčí GT úseky

GT úsek č.		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Úsek (od-do)	[km]	0,000	0,055	0,400	0,600	0,668	0,788
		0,055	0,400	0,600	0,668	0,788	0,900
Délka	[m]	55,0	345,0	200,0	68,0	120,0	112,0
Terén (od)	[m n. m.]	258,47	263,25	284,52	288,62	286,75	283,56
Niveleta (od)	[m n. m.]	258,10	257,90	274,43	281,64	281,54	281,48
Mocnost nadloží od nivelety začátek úseku	[m]	0,371	5,352	10,087	6,975	5,213	2,078
Geotechnické zařazení		terén	hloubený tunel	hloubený tunel	hloubený tunel	zářez/ opěrná stěna	zářez
Terén (do)	[m n. m.]	263,25	284,52	288,62	286,75	283,56	279,47
Niveleta (do)	[m n. m.]	257,90	274,43	281,64	281,54	281,48	279,46
Mocnost nadloží od nivelety konec úseku	[m]	5,352	10,087	6,975	5,213	2,078	0,011
Geotechnické zařazení		zářez	hloubený tunel	hloubený tunel	hloubený tunel	zářez/ opěrná stěna	terén

8.1 GT úsek č. 1: km 0,000 – 0,055

Délka úseku: 55 m

Charakteristika, rizika: portálový úsek na J začátku tunelu, u JV portálu, zeminy, bez skalních hornin

Vrty v GT úseku: S1

Celková mocnost nadloží od nivelety: mírně stoupá od 0,37 na cca 5,32 m

GT podmínky: Niveleta, nadloží nad niveletou, prostor dna výrubu a mělké podloží je tvořeno kvartérními uloženinami, zeminami (jílem prachovitým GT 2a, jílem prachovitým s organickou příměsí GT 2b)

Podzemní vody: naražena ve dvou úrovních 8,0 m p. t., tj 255,64 m n. m. a 10,9 m p. t., tj. 252,74 m n. m., ustálila se v 8,14 m p. t. tj. 255,5 m n. m. Kvartérní zvodeň, izolátor je předkvartérní podloží v jílovitém vývoji GT 3a. Hladina je relativně stálá. Na pozorovacím vrtu S1 provedena čerpací a stoupací zkouška, bylo zjištěno slabě propustné prostředí [5].

Charakteristika, rizika: přípovrchový úsek. Vzhledem k naražené hladině podzemní vody může podzemní voda prosakovat do zářezu.

Opatření: monitorovat hladinu podzemní vody, provést odvodnění zemní pláně zářezu. Vzhledem k charakteru přítoku, přepokládáme pouze kvartérní zvodeň – stažení podzemní vody do jímky a její nucené čerpání by mělo být dostatečné.

Návrh konstrukce pražcového podloží lze provést na základě podrobného geotechického průzkumu, nyní lze pouze konstatovat, že v úrovni zemní pláně budou kvartérní prachovité uloženiny nebo navážky. Tyto zeminy nedovolují bez úpravy dosáhnout požadovaných parametrů pro návrh, tj. E_{def} pláně spodku 30 MPa [7]. Proto bude muset být přistoupeno k jejich úpravě, spočívající v jejich zlepšení nebo výměně.

8.2 GT úsek č. 2: km 0,055 – 0,400 (±Δ)

Délka úseku: 345 m (±Δ) (Δ =10 až 20 m, výjimečně i více)

Podzemní voda: Hladina podzemní vody naražena v úrovni 10,8 m p. t. tj. 252,56 m n. m. (S2), 11,6 m pod terénem 269,60 m n. m. (S5) tj. v úrovni nivelety tramvajové trati. Kvartérní zvodeň, izolátor je předkvartérní podloží v jílovitém vývoji GT 3a. Dle výsledků hydrodynamických zkoušek na vrtu S5 je prostředí dosti slabě propustné, třída propustnosti V [5], při odkopu mohou hrozit průsaky.

Vrty v GT úseku: S2, S3, S4, S5

Celková mocnost nadloží od nivelety tunelu: stoupá z cca 5,3 m na 10,0 m

GT podmínky: Hloubený tunel, úsek za J portálovým úsekem, niveleta prochází na začátku úseku v km 0,055 do km cca 0,150 prachovitými jíly GT 2a s případnou organickou příměsí GT2b, dále až do konce úseku cca km 0,400 předpokládáme v úrovni nivelety terciérní jíly (tégly) GT 3a, případně s příměsí písku GT 3b. Tyto zeminy obsahují vyrostlice sádrovce. Tyto vyrostlice sádrovce mohou indikovat roztrhání jílů a tím i zvýšené riziko svahových deformací [12].

Charakteristika, rizika: Vzhledem k naražené hladině podzemní vody může podzemní voda prosakovat do stavební jámy. Obsah vyrostlic sádrovce spolu s výskyty svahových deformací v blízkém okolí indikuje možnost jejich vzniku při provádění zemních prací.

Opatření: návrh konstrukce pražcového podloží lze provést na základě podrobného geotechnického průzkumu, nyní lze pouze konstatovat, že v úrovni zemní pláně budou kvartérní prachovité uloženiny GT 2a a GT 2b, nebo terciérní jílovité zeminy GT 3a. Tyto zeminy nedovolují bez úpravy dosáhnout požadovaných parametrů pro návrh, tj. E_{def} pláně spodku 30 MPa [7]. Proto bude muset být přistoupeno k jejich úpravě, spočívající v jejich zlepšení nebo výměně, nebo k jiné úpravě vyplývající z podmínek pro navrhovanou pevnou jízdní dráhu.

Pata opěrná konstrukce – pilotové stěny bude pravděpodobně v úrovni terciérních jílů, písčitých jílů, ojediněle písků. Dřík piloty bude procházet vrstvami navážek, kvartérních prachovitých jílů i s organickou složkou.

Doporučujeme monitorovat hladinu podzemní vody, provést odvodnění stavební jámy. Vzhledem k charakteru přítoku, předpokládáme pouze kvartérní zvodeň – stažení podzemní vody do jímky a její nucené čerpání by mělo být dostatečné.

Nedoporučujeme realizaci odvodnění pod úroveň nivelety. Vrstva terciérního neogenního jílovitého písku, který vykazuje hydraulickou spojitost s vrstvou jílovitého písku s naraženou hladinou podzemní vody ve vrtu S5, přibližně v úrovni nivelety tunelu viz kap. 7.9 a 7.10.

8.3 GT úsek č. 3: km 0,400 (±Δ) – 0,600 (±Δ)

Délka úseku: 200 m (±2Δ) (Δ =10 až 50 m, výjimečně i více)

Charakteristika, rizika: odlišné geologické podmínky proti předchozím úsekům, úsek ohraničený pravděpodobnými tektonickými diskontinuitami

Vrty v GT úseku: S6

Celková mocnost nadloží od nivelety tunelu: v rozpětí od 6,9 m (konec úseku) až 8 m

GT podmínky: Jsou charakterizovány vrtem S6. Úroveň nivelety je od začátku úseku přibližně do km 0,480 - vrt S6 tvořena písčitými jíly až písky zvodněnými GT 3b, s tím, že se mohou vyskytovat lavice zpevněné pískovci R3 – R2, jejichž stropy byly zastižené ve vrtu S6 v úrovni 10,3 a 10,95 m p. t. tj. 278,08 m n. m. a 277,48 m n. m. V úrovni 14,6 m až 15,0 m byl zastižen větší počet drobných lavic o mocnosti 3,0 až 6,0 cm. Dále až do konce úseku prochází niveleta kvartérními prachovitými jíly GT 3a.

Podzemní voda: Je charakterizována vrtem S6. Hladina podzemní vody byla naražena v hloubce 10,1 m p. t. tj. 278,28 m n. m. Ustálená hladina podzemní vody těsně po vystrojení vrtu byla v úrovni 10,85 m p. t. tj. 277,53 m n. m. Po více než měsíci byla hladina v úrovni 13,29 m p.t., tj. 275,09 m n. m.

Opatření: návrh konstrukce pražcového podloží lze provést na základě podrobného geotechnického průzkumu, nyní lze pouze konstatovat, že v úrovni zemní pláně budou terciérní jílovito-písčité zeminy. Tyto zeminy nedovolují bez úpravy dosáhnout požadovaných parametrů pro návrh, tj. E_{def} pláně spodku 30 MPa. Proto bude muset být přistoupeno k jejich úpravě, spočívající v jejich zlepšení nebo výměně, popřípadě k jiné úpravě vyplývající z podmínek pro navrhovanou pevnou jízdní dráhu.

Pata opěrná konstrukce – pilotové stěny bude pravděpodobně v úrovni terciérních jílů, písčitých jílů, případně písků. Dřík piloty bude procházet vrstvami navážek, kvartérních prachovitých jílů, písčitých jílů až písků lokálně zpevněných v lavice pískovců třídy R3 až R2 GT 3c mocností řádově x.10^{-2} m.

Doporučujeme monitorovat hladinu podzemní vody, provést odvodnění stavební jámy. V tomto úseku byla zastižena v okolí nivelety, tedy i v předpokládané úrovni základové hladina podzemní vody s napjatou hladinou, viz kap. 7.9 Zastižené hydrogeologické poměry s nestandardním chováním, viz kap. 7.10 Výsledky měření hladin podzemní vody a kap. 7.11 Výsledky hydrodynamických zkoušek. Režim podzemní vody doporučujeme dalšími průzkumnými pracemi ověřit.

Nedoporučujeme realizaci odvodnění pod úroveň nivelety. Vrstva terciérního neogenního jílovitého písku vykazuje hydraulickou spojitost s vrstvou jílovitého písku s naraženou hladinou podzemní vody ve vrtu S5, přibližně v úrovni nivelety tunelu.

8.4 GT úsek č. 4: km 0,600 (±Δ) – 0,668

Délka úseku: 68 m (±Δ) (Δ =10 až 20 m, výjimečně i více)

Charakteristika: hloubený tunel, úsek za pravděpodobnou tektonickou diskontinuitou, u severního portálu hloubeného tunelu

Vrty v GT úseku: S7

Celková mocnost nadloží od nivelety tunelu: 5,2 m až 6,9 m,

GT podmínky: Jsou charakterizovány vrtem S7. Úroveň nivelety je od začátku úseku kvartérními prachovitými jíly GT 2a. Lokálně mohou být, zejména při hloubení např. pilot pod niveletu tramvajové trati zastiženy terciérní jíly GT3a příp. písky GT 3b s lavicemi pískovců.

Hladina podzemní vody: Hladina podzemní vody nebyla vrtnými pracemi naražena, ale po cca 1 měsíci od vystrojení vrtu S7 byla nad bází vrtu v hloubce 9,67 m p. t., tj. 276,99 m n. m zjištěna hladina podzemní vody.

Opatření: návrh konstrukce pražcového podloží lze provést na základě podrobného geotechnického průzkumu, nyní lze pouze konstatovat, že v úrovni zemní pláně budou kvartérní prachovité uloženiny GT 2a. Tyto zeminy nedovolují bez úpravy dosáhnout požadovaných parametrů pro návrh, tj. E_{def} pláně spodku 30 MPa [7]. Proto bude muset být přistoupeno k jejich úpravě, spočívající v jejich zlepšení nebo výměně, nebo k jiné úpravě vyplývajících z podmínek pro navrhovanou pevnou jízdní dráhu.

Pata opěrná konstrukce – pilotové stěny bude pravděpodobně v úrovni terciérních jílů pevné konzistence.

8.5 GT úsek č. 5: km 0,668 – 0,788

Délka úseku: 120 m

Charakteristika: hluboký zářez s opěrnou zdí

Vrty v GT úseku: S7, S8, S9

Celková mocnost nadloží od nivelety: od 2,1m do 5,3 m

GT podmínky: Jsou charakterizovány vrtem S7. Úroveň nivelety je od začátku úseku kvartérními prachovitými jíly GT 2a, případně s organickou příměsí GT 2b. Lokálně mohou být, zejména při hloubení např. pilot pod niveletu tramvajové trati zastiženy terciérní jíly GT 3a příp. písky GT 3b s lavicemi pískovců.

Podzemní voda: Hladina podzemní vody nebyla vrtnými pracemi naražena, ale po cca 1 měsíci od vystrojení vrtu S7 byla nad bází vrtu v hloubce 9,67 m p. t., tj. 276,99 m n. m zjištěna hladina podzemní vody, ve vrtu S8 hladina podzemní vody nebyla zjištěna.

Opatření: návrh konstrukce pražcového podloží lze provést na základě podrobného geotechnického průzkumu, nyní lze pouze konstatovat, že v úrovni zemní pláně budou zastiženy recentní navážky nebo kvartérní prachovité uloženiny. Tyto zeminy nedovolují bez úpravy dosáhnout požadovaných parametrů pro návrh, tj. E_{def} pláně spodku 30 MPa [7]. Proto bude muset být přistoupeno k jejich úpravě, spočívající v jejich zlepšení nebo výměně.

Pata opěrná konstrukce – pilotové stěny bude pravděpodobně v úrovni terciérních jílů pevné konzistence.

8.6 GT úsek č. 6: km 0,788 – 0,900

Délka úseku: 112 m

Charakteristika, rizika: povrchový úsek za opěrnou zdí, konečná stanice řešená úvratí

Vrty v GT úseku: S10

Celková mocnost nadloží od nivelety: mírně klesá od 0,01m na konci úseku od 2,1 m na začátku úseku do 0,01 m na konci úseku

GT podmínky: Niveleta, nadloží nad niveletou, je tvořeno kvartérními uloženinami, zeminami (jílem prachovitým GT 2a, jílem prachovitým s organickou příměsí GT 2b) a recentní navážkou

Podzemní voda: Hladina podzemní vody nebyla vrtnými pracemi zjištěna.

Opatření: návrh konstrukce pražcového podloží lze provést na základě podrobného geotechnického průzkumu, nyní lze pouze konstatovat, že v úrovni zemní pláně budou zastiženy recentní navážky nebo kvartérní prachovité uloženiny. Tyto zeminy nedovolují bez úpravy dosáhnout požadovaných parametrů pro návrh, tj. E_{def} pláně spodku 30 MPa [7]. Proto bude muset být přistoupeno k jejich úpravě, spočívající v jejich zlepšení nebo výměně.

ZÁVĚR

Na základě smlouvy o dílo č. 6733 /MP K 60 uzavřené dne 19.1.2016, provedla společnost GEODRILL s.r.o. IG a HG průzkum projektovaného prodloužení tramvajové trati v lokalitě Osová – Netroufalky „Prodloužení TT z Osové ke Kampusu MU v Bohunicích – 1. etapa“.

Cílem průzkumu bylo získání informací o inženýrsko-geologických a hydrogeologických poměrech, včetně ověření agresivity podzemní vody, v celém traťovém úseku projektované stavby.

Za tímto účelem bylo realizováno 10 jádrových vrtů do hloubky 3,0 až 20 m, z toho byly 4 vystrojeny pro režimní měření HPV – viz tabulky č. 3 až 5. Dále byly provedeny laboratorní zkoušky zemin, hornin a analýzy podzemní vody na stanovení základního chemizmu a agresivity na stavební konstrukce. Výsledky laboratorních zkoušek odebraných vzorků zemin a hornin jsou přehledně shrnuty v tabulkách č. 22 až 28, výsledky rozborů podzemní vody jsou shrnuty v tabulkách č. 42 a 43.

Pro ověření hydraulických parametrů horninového prostředí byly ve dvou vystrojených vrtech provedeny hydrodynamické zkoušky. Výsledky těchto zkoušek shrnují tabulky č. 40 a 41.

Vrtanými sondami byla ve svrchní části profilu vrstva navážky různorodého složení, která byla zastižena do hloubky 0,1 m až 3,5 m. Pod ní byly zachyceny, s výjimkou sondy S6, kvartérní sedimenty sprašového typu eolického až deluvioeolického původu, v nichž byly zastiženy horizonty fosilních půd. Tyto sedimenty byly v sondách S9 a S10 zastiženy až po jejich báze v hloubce 3,0 m a 7,0 m a v sondách S1 až S8 do hloubky 3,7 m až 13,0 m a odpovídaly na základě makroskopického popisu a laboratorních analýz řazeny dle normy ČSN 73 6133 k zeminám třídy F6 až F8 tuhé až pevné konzistence. V sondách S1 až S8 bylo pod kvartérními sedimenty, v sondě S6 přímo pod vrstvou navážky, zastiženo neogenní podloží, které se nacházelo v hloubce 9,0 m až 20,0 m. Bylo zpravidla tvořeno jílovitými sedimenty (sondy S1, S2, S3, S4, S5, S7 a S8), které na základě makroskopického popisu a laboratorních analýz odpovídají dle normy ČSN 73 6133 zeminám třídy F8 zpravidla pevné, místy tuhé konzistence. V sondě S6, místy v sondě S5, se tyto jíly střídaly s polohami neogenních jílovito-písčitých sedimentů. V sondě S5 byla zastižena tenká poloha písčitých jílů, odpovídajících na základě laboratorních analýz dle normy ČSN 73 6133 zeminám třídy F4 tuhé konzistence. V sondě S6 odpovídaly tyto sedimenty na základě makroskopického popisu a laboratorních analýz dle normy ČSN 73 6133 ulehlým zeminám třídy S4 a S5. V sondě S6 byly zastiženy lavice pískovců, nejmocnější v úrovni 10,30 m až 10,45 m. Ta na základě laboratorních analýz, dle normy ČSN 73 6133 odpovídala horninám třídy R2, na základě makroskopického popisu až třídy R3.

Z výsledků vrtných prací a laboratorních zkoušek zemin a hornin byly z inženýrsko-geologického hlediska na základě obdobných litologických a geomechanických vlastností vyčleněny 3 geotechnické typy zemin:

- *Navážka* ..... *GT 1*
- *Eolické a deluvioeolické sedimenty* ..... *GT 2a*
- *Fosilní půdy* ..... *GT 2b*
- *Neogenní jíly* ..... *GT 3a*
- *Neogenní písky* ..... *GT 3b*
- *Neogenní pískovce (lavice pískovců)* ..... *GT 3c*

Zeminy, které byly zastiženy při terénních pracích, řadíme dle normy ČSN 73 6133 „Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“ do I. třídy rozpojitelnosti a těžitelnosti. Těžba je prováděna běžnými výkopovými mechanismy (buldozery, rypadla, ručně prováděné výkopy). Pískovcové lavice, zastižené v sondě S6, je možné zařadit do II. třídy rozpojitelnosti a těžitelnosti, kdy je pro těžbu nutné použít speciální rozpojovací mechanizmy (rozrývače, skalní lžíce, kladiva).

Pro zastižené zeminy jsou v tabulkách č. 32 až 36 uvedeny průkazné geotechnické parametry a orientační hodnoty dle normy 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ [01.04.2010 ukončena platnost] dle různých geotechnického typu (GT).

Pro zastižené zeminy GT 2 dosahuje tabulková výpočtová únosnost R_{dt}, pro šířku základu ≤ 3 m a hloubku založení 0,8 až 1,5 m, hodnoty u zemin třídy F6 100 kPa pro konzistenci tuhou a 200 kPa pro pevnou konzistenci a u zemin třídy F8 hodnoty 80 kPa pro konzistenci tuhou a 160 kPa pro konzistenci pevnou.

Pro zeminy třídy GT 3a třídy F8 je hodnota R_{dt}, pro šířku základu ≤ 3 m a hloubku založení 0,8 až 1,5 m, 80 kPa pro konzistenci tuhou a 160 kPa pro konzistenci pevnou.

Pro zastižené zeminy GT 3b třídy F4 dosahuje hodnota R_{dt}, pro šířku základu ≤ 3 m a hloubku založení 0,8 až 1,5 m, 150 kPa pro konzistenci tuhou. Pro ulehlé zeminy třídy S4 dosahuje hodnota R_{dt} dle šířky základu 175 kPa až 300 kPa a u ulehlých zemin třídy S5 se hodnoty dle šířky základu pohybují od 125 kPa do 225 kPa.

Pro horniny geotechnického typu GT 3c jsou v tabulce č. 36 uvedeny průkazné geotechnické parametry a orientační hodnoty dle normy ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ [01.04.2010 ukončena platnost]. Dle makroskopického popisu a laboratorních analýz bylo zastižené skalní podloží zařazeno do třídy R2 až R3 a dosahuje tak, v závislosti na hustotě diskontinuit, hodnot tabulkové výpočtové únosnosti R_{dt} skalního masivu 0,5 MPa až 4,0 MPa.

Ze sondy S10 byl odebrán vzorek zeminy třídy F6, na němž byla zkouškou Proctor-standard zjištěna hodnota maximální objemové hmotnosti 1,71 $Mg.m^{-3}$ a hodnota optimální vlhkosti zeminy 16,4 %. Zkouškou CBR_{sat} byly stanoveny hodnoty 3,0 %. Vlastnosti materiálu zemního tělesa pozemních komunikací jsou uvedeny v ČSN 73 6133. Kritérium použitelnosti zemin pro stavbu zemního tělesa uvádí nutnost úpravy v případě maximální objemové hmotnosti $\rho_{d\ max.}$ zeminy < 1,60 $Mg.m^{-3}$. V případě kritéria použití do aktivní zóny je uvedena hodnota CBR (po 96 hodinách sycení) pro typ podloží P III minimálně 15 %. Pokud není dosaženo této hodnoty, je vhodné aplikovat úpravu zemin.

Na lokalitě byly zastižené zeminy klasifikovány dle normy ČSN 73 6133 z hlediska vhodnosti zemin pro pozemní komunikace. Zastižené zeminy třídy F4 jsou hodnoceny jako podmínečně vhodné jak do násypu, tak pro silniční podloží. Převážně zastižené zeminy třídy F6 jsou hodnoceny jako podmínečně vhodné do násypu, ale jako nevhodné pro silniční podloží a zeminy třídy F8 jako nevhodné jak do násypu, tak pro silniční podloží. Zeminy třídy S4 a S5 jsou definovány jako podmínečně vhodné do násypu i do silničního podloží.

Z hlediska namrzavosti jsou dle křivky zrnitosti zastižené zeminy třídy F4, F6 a F8 hodnoceny jako vysoce namrzavé a zeminy třídy S4 a S5 jako nebezpečně namrzavé až namrzavé.

Jak je uvedeno v kapitole 7.7, zastižené sprašové zeminy GT 2a mohou být za určitých podmínek náchylné ke kolapsu vnitřní struktury, prosedání a k objemovým změnám. Proto je nutné zajistit, aby spolu s objemovou změnou způsobenou přitížením od budoucí výstavby nebyly tyto vrstvy zemin dotovány vodou, která by mohla způsobit nerovnoměrné sedání konstrukcí.

Zhodnocení geotechnických podmínek horninového prostředí připravované tunelové stavby pro dílčí GT úseky, spolu se specifickými doporučeními, jsou uvedena výše v kapitole 8.

Podle řádů hodnot filtračních součinitelů k_f [$m.s^{-1}$], zjištěných odečtem z křivky zrnitosti, spadá materiál navážky třídy S4 do tříd propustnosti V až IV, které definují prostředí dosti slabě až mírně propustné a jílovitý materiál navážky třídy F4 a F8 do tříd propustnosti VIII až VII, které definují prostředí nepatrně až velmi slabě propustné. Kvartérní zeminy sprašového typu a fosilní půdy třídy F6 a F8 náleží do tříd propustnosti VIII až VII, které definují prostředí nepatrně až velmi slabě propustné, podobně jako neogenní sedimenty třídy F8, které spadají do třídy propustnosti VIII, definující prostředí nepatrně propustné. Písčito-jílovité neogenní sedimenty spadají do tříd propustnosti VI až IV a definují prostředí slabě až mírně propustné.

V rámci geologického profilu, ověřeného do hloubky až 20,0 m, byla zjištěna vrstva navážky různorodého složení, která bude z hydrogeologického hlediska pro vodu tvořit slabě až mírně propustné prostředí a bude tak plnit spíše funkci poloizolátoru, při větším podílu hruboznné frakce až kolektoru. Pod vrstvou navážky byly zastiženy jemnozrnné sedimenty sprašového typu. Z hlediska propustnosti představují poloizolátor až izolátor. Tyto sedimenty tak zpomalují infiltraci dešťových vod do podložních vrstev. V hloubce od 3,5 do 13,0 m p. t. bylo zastiženo předkvartérní podloží v podobě zpravidla jílovitých sedimentů, které plní funkci izolátoru, kdy směr proudění podzemní vody, odpovídá sklonu povrchu těchto sedimentů. Především v sondě S6, místy v sondě S5 se tyto neogenní sedimenty střídaly s polohami jílovito-písčitých sedimentů, které z hydrogeologického hlediska tvoří pro vodu mírně propustné až dosti slabě propustné prostředí a plní tak v horninovém prostředí funkci kolektoru.

Z aktuálně realizovaných vrtů, byla podzemní voda zastižena pouze ve vrtech S1, S2, S5 a S6, později se objevila i ve vrtu S7; ostatní vrty byly suché. Údaje o hladinách podzemní vody shrnují tabulky č. 37 a 39.

Vrty S1 a S2 byla zastižena mělká kvartérní voda, která byla naražena na rozhraní spraší a fosilní půdy, nebo na rozhraní deluvioeolických jílů a téglů. Tato voda nemá tlakový charakter, její hladina je volná. Jedná se o infiltrované atmosférické srážky přes vrstvu spraší, respektive deluvioeolických sedimentů. Jejich vertikální pohyb je ukončen na nepropustných neogenních jílech, kde se zadržují a vytváří nepravidelnou mělkou kvartérní zvodeň.

Hladina podzemní vody ve vrtu S1 je relativně stálá, vyskytuje se v úrovní 8,00–8,14 m p. t.

Naproti tomu ve vrtech S5 a S6 byla dokumentována podzemní voda neogenních sedimentů, která byla zastižena na rozhraní neogenních jílů a neogenních písků. Tato podzemí voda má tlakový charakter s napjatou hladinou podzemní vody.

Ve vrtu S5 má HPV postupně rostoucí trend, vyskytovala se v úrovni 5,84–9,72 m p. t. Ve vrtu S6 je zřetelný postupný pokles hladiny. Je to způsobeno přetokem podzemní vody do nižších poloh neogenních písků, které nebyly původně zvodněné. HPV se v tomto vrtu vyskytovala v úrovni 10,85–13,29 m p. t.

Vrtem S7 nebyla zpočátku zastižena žádná voda. Ovšem přibližně po 14 dnech od vystrojení do tohoto vrtu začala natékat mělká průsaková voda, která k datu 13.5.2016 vystoupala o necelých 29 cm, do úrovně 9,67 m p. t.

Směr proudění podzemní vody je v jižní části lokality (vzhledem k projektované stavbě staničení cca 0,00–0,55 km) v generelu směrem k jihu, ve zbývající „severní části“ směrem k severu.

Výsledky vzorkování ukazují, že je zřetelný rozdíl v chemizmu mělké kvartérní podzemní vody, reprezentované vrty S1 a S2, oproti hlubší neogenní vodě, zastižené vrty S5 a S6.

Neogenní voda se oproti kvartérní vodě zřetelně odlišuje vysokým obsah síranů, Ca, Mg a Na (až řádově vyšší), což se projevuje až o řád vyšší konduktivitou, tvrdostí a množstvím rozpuštěných látek. Naproti tomu vykazuje zřetelné nižší obsahy chloridů a řádově nižší obsahy dusičnanů – viz příloha 11. Takovéto parametry neogenní vody jsou dány jejím hlubším oběhem, delší dobou zdržení a interakce s horninovým prostředím.

Podzemní voda neogenních sedimentů představuje chemický typ Ca-Mg-SO_4, zatímco mělká kvartérní podzemní voda chemický typ Mg-Ca-HCO_3.

V neogenním typu podzemní vody byl zaznamenán nadlimitní obsah síranů, překračující referenční hodnotu vyhlášky č. 5/2011 Sb. a v obou typech podzemní vody pak nadlimitní obsah fluoridů a Mn, překračující indikační hodnotu MP MŽP Indikátory znečištění z 1/2014 a referenční hodnotu výše uvedené vyhlášky.

Dle ČSN EN 206 „Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda“ mělká kvartérní podzemní voda nejeví známky agresivity na betonové konstrukce, zatímco neogenní podzemní voda se vyznačuje střední agresivitou stupně XA2. Agresivita je způsobena vysokým obsahem síranů.

Dle ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“ podzemní voda obou typů vykazuje velmi vysokou agresivitu na ocelové konstrukce. Je způsobena velmi vysokou vodivostí vody, případně i nadlimitním obsahem agresivního oxidu uhličitého.

V takovém prostředí je doporučena zesílená izolace potrubí nebo kovových částí vystavených působení vody.

DOPORUČENÍ DALŠÍCH PRACÍ

Cílem provedeného inženýrsko-geologického průzkumu bylo získat základní geotechnická data pro návrh novostavby tramvajové trati v úseku Netroufalky – Osová.

Dle ČSN EN 1997-1 Eurokód 7 Navrhování geotechnických konstrukcí jsou konstrukce podle náročnosti, složitosti základových poměrů a rizika rozděleny do geotechnických kategorií. Vzhledem k výskytu jílovitých sedimentů s vyrostlicemi sádrovce, předpokládaným tektonickým pohybem, složitou geologickou stavbou dokumentovanou v rešeršní části a potvrzenou tímto průzkumem rozsahem a výškou předpokládané konstrukce vyšší než 6 m je třeba projekt zařadit do **3. geotechnické kategorie** skupiny staveb, které nespadají do 1. a 2. geotechnické kategorie, kdy návrh a posouzení základů vyžaduje specializovaný průzkum a obvykle i polní zkoušky.

Orientační geotechnické vlastnosti v podobě výpočtových charakteristik, spolu s tabulkovými hodnotami únosnosti základové půdy jsou uvedeny v kapitole 6.3.

Specifická doporučení pro jednotlivé geotechnické úseky jsou uvedena výše v kapitole 8.

Níže jsou uvedena doporučení pro další etapu průzkumných prací:

- upřesnit geotechnické a geologické poměry trasy, zejména v geotechnickém úseku č. 3 s orientačním staničením 0,400 – 0,600 – podrobný geotechnický průzkum, doporučujeme ověřit vrtnými pracemi a geofyzikálním měřením geologickou stavbu v okolí vrtu S6, kde byla zastižena pestřejší geologická stavba oproti okolí, s ohledem na výskyt pestrých neogenních jílů ve vrtu S6 by se mohlo jednat o tektonicky predisponovanou vystouplou kru
- podrobný geotechnický průzkum se zaměřením i na povrchové úseky tramvajové trati
- získat geotechnická data pro provedení výpočtu stability svahu, báze konstrukce, apod.
- po upřesnění geologických poměrů získat data pro výpočet přítoku podzemní vody do stavební jámy a tento výpočet provést dle ČSN EN 1997
- ve vystrojených vrtech S1, S5, S6 a S7 doporučujeme realizovat režimní měření hladin podzemní vody s četností alespoň 2× za měsíc, nebo kontinuálně – instalací snímačů HPV a kvartálním odečtem dat. Předkládaný průzkum byl sice realizován v jarním období, tj. předpoklad vyšších vodních stavů podzemní vody, nicméně po srážkově velmi suchém roce 2015
- pro posouzení chemizmu severní části projektované trasy doporučujeme odebrat a analyzovat také vzorek vody z vrtu S7 na parametry ZCHR a agresivita na beton a ocel. Tímto vrtem zpočátku nebyla zastižena žádná voda, nicméně po jeho vystrojení do něj začala postupně natékat mělká průsaková voda (infiltrované atmosférické srážky)
- pasportizace sousedních staveb před začátkem a po realizaci stavby plánovaného tunelu

V Brně 31.05.2016

LITERATURA

[1] ČHMÚ – UP. *Atlas podnebí Česka*. Praha, Olomouc: Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého, 2007.

[2] ČÚZK. *Vyšší geomorfologické jednotky České republiky.* Praha: Český ústav zeměměřický a katastrální, 1996.

[3] DEMEK, J. a kol. *Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny.* Praha: Československá akademie věd, 1987.

[4] FÜRYCHOVÁ, P. – MELICHAR, R. – POUL, I. *Geomechanické vlastnosti neogenních jílů na území města Brna*. Brno: Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku 21, 77-81. 2015. ISSN 1212-6209

[5] JETEL, J. *Určování hydraulických parametrů hornin hydrodynamickými zkouškami ve vrtech*. Praha: ČAV, 1982.

[6] KRÁSNÝ, J. *Klasifikace transmisivity a její použití.* Praha: Geol. Průzk. 6, 28, 177-179, 1986.

[7] KUBÁT, Bohumil. *Městská a příměstská kolejová doprava*. Praha: Wolters Kluwer Česká republika, 2010. ISBN 978-80-7357-539-7

[8] MACHŮ, P. – VLČEK, P. – JENÍČEK, R. *Prodloužení TT z Osové ke kampusu MU v Bohunicích – 1. etapa. IG a HG průzkum. Projekt geologických prací*. Brno: GEODRILL s.r.o., 2016.

[9] NEHYBA, S. – OTAVA, J. – BUBÍK, M. – TOMANOVÁ PETROVÁ, P. – KIRCHNER, K. *Miocénní sedimenty v Brně-Bohunicích (ubytovna Fakultní nemocnice Brno)*. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2006, Brno: MU Brno, 2007, XIV, č. 1, s. 31-34. ISSN 1212-6209.

[10] NOVÁK, Z. a kol. *Geologická mapa ČR 1: 50 000. List 24-32 Brno*. Praha: Ústř. úst. geol., 1991.

[11] OLMER, M. – HERRMANN, Z. – KADLECOVÁ, R. – PRCHALOVÁ, H. a kol. *Hydrogeologická rajonizace České republiky.* Praha: ČGS, 2006.

[12] POUL,I. *Předpokládané důvody vzniku sesuvu v neogenních mořských jílech (Brno-Medlánky*). Zakládání staveb 2007 (sborník), Brno: Sekurkon s.r.o., 2007,

[13] QUITT, E. *Klimatologické oblasti Československa*. Brno: Československá akademie věd – geografický ústav Brno, 1971.

[14] VLČEK, P. – FRÝBOVÁ, P. – DRÁPALOVÁ, R. *Brno, ulice Malostranská. Inženýrsko-geologický průzkum*. Brno: GEODRILL s.r.o., 2016.

[15] VLČEK, P. a kol. *IG a GF průzkum na lokalitě Červený kopec v Brně*. Brno: VENTIMIGLIA s.r.o., 2014.

[16] VYSKOČIL, P. *Prodloužení TT z Osové ke Kampusu MU v Bohunicích – 1. etapa. Úvodní údaje a průvodní zpráva.* Praha: METROPROJEKT Praha a.s., 2016.

DALŠÍ POUŽITÉ PODKLADY

[17] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. *Hydroekologický informační systém VÚV T. G. M.* [online]. [citováno 2016-1-25]. Dostupné z: http://heis.vuv.cz/default.asp?typ=00

[18] Národní geoportál INSPIRE. *Tematické mapy*. [online]. [citováno 2016-1-25]. Dostupné z: http://geoportal.gov.cz/web/guest/home

[19] Česká geologická služba. *GeoDATA. Mapový server* [online]. [citováno 2016-1-25]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/website/geoinfo/viewer3.htm

[20] Mapy.cz. [online]. [citováno 2016-1-25]. Dostupné z: www.mapy.cz

[21] Česká geologická služba. *GeoDATA. Mapový server* [online]. [citováno 2016-1-21]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/svahove_nestability/

[22] Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky. *Mapový server* [online]. [citováno 2015-11-02]. Dostupné z: http://mapy.nature.cz/

POUŽITÉ NORMY

ČSN 73 6133. *Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací.* Praha: Český normalizační institut, 2010.

ČSN 73 1001. *Základová půda pod plošnými základy.* Praha: Český normalizační institut, 1987 [01.04.2010 ukončena platnost].

ČSN EN ISO 17892-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin* – Část 1: Stanovení vlhkosti. Praha: Český normalizační institut, 2015.

ČSN EN ISO 17892-2. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 2: Stanovení objemové hmotnosti.* Praha: Český normalizační institut, 2015.

ČSN CEN ISO/TS 17892-3. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 3: Stanovení zdánlivé hustoty pevných částic pomocí pyknometru.* Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN CEN ISO/TS 17892-4. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 4: Stanovení zrnitosti.* Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN CEN ISO/TS 17982-12. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Laboratorní zkoušky zemin – Část 12: Stanovení konzistenčních mezí.* Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN EN ISO/IEC 17025:2005. *Posuzování shody – Všeobecné požadavky na způsobilost zkušebních a kalibračních laboratoří.* Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN EN ISO 14688-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřiďování zemin – Část 1: Pojmenování a popis.* Praha: Český normalizační institut, 2003.

ČSN EN ISO 14688-2. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zatřiďování zemin – Část 2: Zásady pro zatřiďování.* Praha: Český normalizační institut, 2005.

ČSN EN ISO 22475-1. *Geotechnický průzkum a zkoušení – Odběry vzorků a měření podzemní vody – Část 1: Zásady provádění.* Praha: Český normalizační institut, 2006.

ČSN EN 206. *Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.

ČSN 03 8375. *Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi*. Praha: Český normalizační institut, 1987.

ČSN 73 6614. *Zkoušky zdrojů podzemní vody*. Praha: Český normalizační institut, 1984.

ČSN EN 1997. Navrhování geotechnických konstrukcí – Část 1 Obecná pravidla. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 2006.

POUŽITÉ RESORTNÍ PŘEDPISY

Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí ČR – Indikátory znečištění. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, leden 2014.

POUŽITÉ PRÁVNÍ PŘEDPISY

Zákon České národní rady č. 62/1988 Sb. o geologických pracích, v platném znění.

Vyhláška č. 369/2004 Sb. o projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, oznamování rizikových geofaktorů a o postupu při výpočtu zásob výhradních ložisek, v platném znění.

Vyhláška č. 5/2011 Sb., o vymezení hydrogeologických rajonů a útvarů podzemních vod, způsobu hodnocení stavu podzemních vod a náležitostech programů zjišťování a hodnocení stavu podzemních vod, v platném znění.