

**Prodloužení tramvajové trati Bystřec – Kamechy,  
předběžný geotechnický průzkum  
pro trasu a tunel  
Předběžný geotechnický průzkum**

**Závěrečná zpráva**

**Brno, červen 2016**



**GEOtest, a.s.**  
**Šmahova 1244/112, 627 00 Brno**  
**IČ: 46344942 DIČ: CZ46344942**

tel.: 548 125 111  
fax: 545 217 979  
e-mail: [info@geotest.cz](mailto:info@geotest.cz)

Geologické a sanační práce pro ochranu životního prostředí, geotechnický a hydrogeologický průzkum

Číslo a název zakázky: **157535 Brno Bystrc – Kamechy, předběžný geotechnický průzkum pro prodloužení tramvajové tratě**  
Objednatel: Statutární město Brno, Dominikánské nám.1, PSČ 601 67  
Evidenční číslo ČGS: 988/2016

## **Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy, předběžný geotechnický průzkum pro trasu a tunel**

### **Závěrečná zpráva**

Odpovědný řešitel: **Mgr. Marek Novotný**

Spoluřešitelé: **Ing. Martina Bulgurovská**

**Ing. Jan Stach**

**RNDr. Jaroslav Hanák**

**Mgr. Lubomír Pivnička**

Prověřil: **Ing. David Rupp, oborový manažer**



**RNDr. Lubomír Procházka**

Statutární zástupce

**GEOtest, a.s.**

Šmahova 1244/112, 627 00 Brno  
DIČ CZ46344942 15

**Brno, červen 2016**

**Výtisk č.**

# ROZDĚLOVNÍK

Výtisk č. 1 – 8: Statutární město Brno, Dominikánské nám.1, 601 67

9: Geofond Praha

10: archiv GEOtest, a.s.

11: archiv odpovědného řešitele

<b>1. Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Geologická prozkoumanost .....</b>	<b>3</b>
<b>3. Metodika průzkumných prací.....</b>	<b>3</b>
3.1 Vrtné práce .....	4
3.2 Vzorkovací a laboratorní práce .....	6
3.3 Petrografické analýzy .....	7
3.4 Hydrogeologické práce .....	7
3.5 Vyšetřování stabilitách poměrů.....	7
3.6 Geotechnické práce .....	8
3.7 Pedologický průzkum.....	9
3.8 Geofyzikální průzkum.....	9
3.9 Měřické práce .....	10
3.10 Korozní průzkum.....	10
<b>4. Přehled přírodních poměrů .....</b>	<b>11</b>
4.1 Geomorfologické a klimatické poměry.....	11
4.2 Geologické poměry širšího zájmového území .....	12
4.3 Hydrogeologické poměry .....	14
4.3.1 Monitorovací objekty .....	16
4.3.2 Pasportizace vodních zdrojů.....	17
4.4 Tektonické poměry .....	18
4.5 Stabilitní poměry .....	18
<b>5. Geotechnické zhodnocení zemin a hornin.....</b>	<b>19</b>
5.1 Zatřídění zemin dle Gtypů.....	20
5.2 Úprava zemin .....	27
5.3 Charakteristika hladiny podzemní vody.....	29
<b>6. Geotechnické vlastnosti hornin a horninového masívu .....</b>	<b>30</b>
<b>7. Výsledky pedologického průzkumu.....</b>	<b>31</b>
7.1 Humusový horizont .....	32
7.2 Níže uložený, zúrodnění schopný horizont .....	33
<b>8. Výsledky hydrogeologického průzkumu .....</b>	<b>34</b>
<b>9. Výsledky geofyzikálního průzkumu .....</b>	<b>36</b>
<b>10. Korozní průzkum .....</b>	<b>39</b>
<b>11. IG a HG poměry trasy prodloužení tramvajové trati, souvisejících objektů a tunelu</b>	<b>41</b>

11.1	Prodloužení trasy tramvajové trati (cca km -0,200 až 1,736)	41
11.1.1	Km 0,000 – 0,220	41
11.1.2	Zářez km 0,220 – 0,650	41
11.1.3	Km 0,650 k portálu v km 0,913	42
11.1.4	Tramvajový tunel (cca km 0,913 – 1,223)	42
11.1.4.1	Inženýrskogeologické poměry v trase tunelu	43
11.1.4.2	Hydrogeologické a geotechnické poměry v trase tunelu	46
11.1.4.3	Klasifikace hornin pro tunelování	48
11.1.4.4	Doporučení pro výstavbu	49
11.2	Objekty	52
11.2.1	Úprava ul. Šemberova (cca km -0,190 až -0,020)	52
11.2.2	Most přes tramvajovou trať (cca km -0,100)	53
11.2.3	Zastávka tramvaje „Ečerova“ (cca km 0,160)	53
11.2.4	Most přes tramvajovou trať (cca km 0,447)	54
11.2.5	Zastávka tramvaje „Ruda“ (cca km 0,748)	55
11.2.6	Obslužná komunikace (ul. Teyschlova – Kuršova; cca km 0,310 – 0,850)	55
11.2.7	Zastávka tramvaje (cca km 1,250)	56
11.2.8	Most přes tramvajovou trať (cca km 1,356)	56
11.2.9	Zastávka tramvaje „Kamechy – smyčka“ (cca km 1,600)	57
12.	Závěry a doporučení	58

# SEZNAM PŘÍLOH

1. Přehledná situace zájmového území měřítko 1 : 25 000
2. Situace průzkumných sond měřítko 1 : 2000
3. Podélný profil trasou tramvajové trati AA' měřítko 1 : 2000 / 200
- 4.1. Příčné stabilitní řezy měřítko 1 : 200 / 200
  - 4.1.1 Stabilitní řez I-I' ve staničení km 0,277 48
  - 4.1.2 Stabilitní řez II-II' ve staničení km 0,447 65
  - 4.1.3 Stabilitní řez III-III' ve staničení km 0,558 35
  - 4.1.4 Stabilitní řez IV-IV' ve staničení km 0,911 93
- 4.2. Příčné ig řezy s implementací GF průzkumu měřítko 1 : 200 / 200
  - 4.2.1 Příčný IG + GF řez P2 ve staničení km 1,169 17
  - 4.2.2 Příčný IG + GF řez P3 ve staničení km 1,067 81
  - 4.2.3 Příčný IG + GF řez P4 ve staničení km 0,920 00
  - 4.2.4 Příčný IG + GF řez P5 ve staničení km 1,303 56
5. Geologická dokumentace
  - 5.1.1 Geologická dokumentace jádrových vrtů M 1:100, 1:200
  - 5.1.2 Geologická dokumentace s vyhodnocením RQD a puklinatosti 1:100
  - 5.1.3 Archivní vrty
  - 5.2 Fotodokumentace jádrových vrtů
  - 5.3 Petrografické charakteristiky hornin (MUNI, Ústav geologických věd)
6. Výsledky laboratorních zkoušek a analýz
  - 6.1 Laboratorní zkoušky mechaniky zemin
  - 6.2 Laboratorní zkoušky mechaniky hornin
  - 6.3 Chemické analýzy podzemní vody
7. Výpočty stability svahů
8. Pedologický průzkum
9. Hydrogeologický průzkum
10. Geofyzikální průzkum
11. Korozní průzkum
12. Měřická zpráva
13. Technická zpráva vrtných prací (Stavební geologie – IGHG s.r.o., Tachlovice)

## 1. Úvod

Statutární město Brno se sídlem Brno, Dominikánské nám. 1, 601 67 na základě výběrového řízení na veřejnou zakázku malého rozsahu uzavřelo jako objednatel Smlouvu o dílo č. 5616050479 (číslo objednatele) na předběžný geotechnický průzkum pro výstavbu prodloužení tramvajové trati Brno Bystrc – Kamechy se zhotovitelem, společností s názvem „GEOtest – HS geo Kamechy“, založené za účelem realizace veřejné zakázky v souladu s § 2716 a násl. zákona č. 89/2012 Sb. Společnost tvoří firmy GEOtest, a.s. a HS geo, s r.o.

Předmětem plnění veřejné zakázky byla realizace komplexního geotechnického průzkumu zahrnujícího i inženýrsko-geologické a hydrogeologické práce a činnosti pedologického, geofyzikálního a korozního průzkumu. Výsledky průzkumů prací budou nezbytným podkladem pro zpracování navazující etapy projekčních prací pro výstavbu prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy (stupeň DÚR).

Rozsah průzkumných prací byl zadán jak pro vlastní trasu budoucí prodloužené tramvajové trati, tak pro související objekty a uvažovaný tramvajový tunel. Základní umístění souvisejících objektů a jejich aktuální staničení bylo patrné z poskytnutého mapového podkladu ze studie Ing. Jiřího Bajera (situace v měřítku 1: 2000, varianta b) z roku 2013.

Základní členění objektů:

Trasa tramvajové trati

- Tramvajové zastávky (4x)
- Obslužné komunikace (3x)
- Most přes tramvajovou trať (3x)
- Tramvajový tunel

Délka budoucí tramvajové trasy činí 1475 m, včetně cca 300m dlouhého dvoukolejného tunelu. Terén lze charakterizovat jako kopcovitý. Stávající smyčka tramvajové trati Ečerova se nachází na výškové kótě 304,5 m nad mořem, trať stoupá podél okružní komunikace ulice Vejrostovy. Na úrovni ulice Teyschlovy 4 se na kótě cca 335,85 m nad mořem zanořuje a v hloubce cca 20 m pod terénem, tj. cca 332 m nad mořem prochází masivem tvořeným granodioritem pokrytým převážně kvartérními sedimenty. Povrch masivu nacházejícího se mezi ulicemi Říčanská a Teyschlova je v nadmořské výšce okolo 352 m nad mořem. Tunelové dílo se vynořuje dle projektu v geologickými pochody vytvořené prohlubni na úrovni cca 333 m nad mořem mezi ulicemi Listnatá a Přírodní a pokračuje směrem k okružní komunikaci ulici Hostislavova, kde bude ukončena nově vybudovanou smyčkou na budoucí ulici Kocanovská nacházející se v nadmořské výšce 315 – 318 m nad mořem.

Přehledná situace zájmového území v měřítku 1:25 000 je součástí přílohy č. 1. Vedení tramvajové trasy je patrné ze Situace průzkumných sond v měřítku 1:2000 v příloze 2.

Pro zpracování zadané problematiky poskytl objednatel následující podklady v digitální podobě:

- TECHNICKÁ STUDIE - Posouzení možností prodloužení tramvajové tratě z Bystrce do území Kamechy, projektant Ing. Jiří Bajer, Venhudova 25, 613 00 Brno, projekční a inženýrská kancelář, prosinec 2013, jejíž součástí byla:
  - přehlednou situaci zájmového území s vyznačením projektované trasy silnice
  - situaci s navrhovaným umístěním průzkumných sond,
  - podélný profil trasy v měřítku 1 : 2 000/200 ,

Cílem předběžného GTP bylo shromáždit údaje o inženýrskogeologických, geotechnických, geofyzikálních a hydrogeologických poměrech zájmového území a poskytnout podklady ke zpracování dokumentace DÚR.

Pro zpracování a vyhodnocení průzkumných prací byly využity archivní zprávy týkající se zájmové lokality.

Při geotechnickém průzkumu byly použity následující pracovní postupy:

- sondážní práce
  - jádrové vrty inženýrskogeologické
  - jádrové vrty hydrogeologické (pozorovací)
- geofyzikální práce
  - Elektrické metody
  - Seismické metody
  - provedení korozního průzkumu a měření intenzity bludných proudů na vybraných mostních objektech
- geodetické práce
  - Vytýčení a zaměření sond, zaměření terénu profilu tramvajové trati, zaměření geofyzikálních profilů, zaměření stabilitních profilů
- vzorkovací práce
  - Odběr a odvoz vzorků pro laboratorní zpracování zemin a hornin
  - Odběr a odvoz vzorků vody pro analýzu agresivity na beton
- laboratorní práce
  - laboratorní zkoušky mechaniky zemin
  - laboratorní zkoušky mechaniky hornin
  - chemické rozbory podzemních vod a zemin
- polní technické práce
  - zajištění povolení vstupů na místa realizace průzkumných sond
  - sled, řízení a primární dokumentace vrtných prací
  - řízení a sled ostatních sondážních prací (hydrogeologický průzkum – čerpací zkoušky, geofyzikální průzkum, pedologický průzkum)

- provedení hydrodynamických zkoušek a pasportizace vodních zdrojů
- sondážní práce pedologického průzkumu
- kamerální
  - příprava programu postupu průzkumných prací
  - zpracování sekundární dokumentace
  - vypracování podélného inženýrskogeologického profilu
  - příčné stabilitní a geofyzikální profily
  - stabilitní výpočty v tělese zářezů a v blízkosti portálu budoucího tunelu
  - vypracování závěrečné zprávy a její reprodukce
- digitalizace dat
  - zpracování textových a databázových dat
  - úprava digitalizovaných podkladů a příprava nových digitalizovaných podkladů
  - grafické zpracování a digitalizace grafických dat a výsledků
  - reprodukce digitalizovaných příloh závěrečné zprávy

## 2. Geologická prozkoumanost

V zájmové prostoru a jeho širším okolí byla v minulosti provedena řada průzkumných geologických prací inženýrskogeologického a hydrogeologického charakteru. Z proběhlých průzkumů byly pro posouzení geologické stavby v širším okolí vybrány nejbližší vhodné vrty.

- Brno - Bystrc II.A, podrobný doplňkový inženýrskogeologický průzkum základových poměrů v OS Brno – Bystrc II.A, vypracovala RNDr. Blanka Krčmová, GEOTest Brno s.p., 1990

## 3. Metodika průzkumných prací

Pro všechny činnosti je základním dokumentem, kterým se řídí plnění zakázky Technický předpis TP 76, část A – Zásady geotechnického průzkumu a část B - Provádění geotechnického průzkumu ze dne 17.6.2009, schválená MD-OSI č.j. 485/09-910-IPK/1, s účinností od 1.7.2009 a část C - Geotechnický průzkum pro navrhování a provádění tunelů pozemních komunikací ze dne 5.12.2007, schválená MD-OI č.j. 1084/07-910-IPK/1, s účinností od 1. ledna 2008, v platném znění.

Průzkumné práce byly provedeny v rozsahu uvedeném ve Smlouvě o dílo.

Ve věcech technických byly jako dozor objednatel ustanoveny Brněnské komunikace a.s., Renneská třída 787/1a, 639 00 Brno Štýřice. Po převzetí staveniště dne 29.2.2016 byl zhotovitelem veden Stavební deník, kam byly zapisovány všechny skutečnosti rozhodné pro plnění smlouvy.

Kontrola stavby byla prováděna pravidelně 1 – 2x týdně Ing. Michalem Hlavoňem z firmy Brněnské komunikace a.s. Součástí těchto kontrolních dnů byly i přebírky vrtných jader.



První kontrolní den s účastí zástupců objednatele se uskutečnil dne 6.4.2016, z kontrolního dne byl vyhotoven zápis.

Během předběžného geotechnického průzkumu byly vyvolány s ohledem jednak na nově zjištěné konkrétními geologickými poměry zkoumaných míst, na přítomnost inženýrských sítí a neprostupnost terénu pro vrtnou soupravu dílčí změny pozicí sond, jejich metráže, typ a množství průzkumných metod. Tyto změny byly za dohledu zástupce objednatele projednány a odsouhlaseny. Výše uvedené skutečnosti umožnily splnění cílů geotechnického průzkumu a dodržení požadované kvality průzkumných prací ve smyslu TP 76.

### 3.1 Vrtné práce

Sondážní práce zahrnovaly realizaci průzkumných nevystrojených jádrových vrtů a vystrojených hydrogeologických pozorovacích vrtů. Situace těchto sond je uvedena v příloze č. 2.

Před realizací sond proběhlo protokolární zajišťování povolení vstupu na dotčené pozemky s jednotlivými užiteli a vlastníky pozemků. Sondážní práce proběhly v rozmezí 15.3. – 19.4.2016. Celkový přehled o provedených sondách podává tabulka č. 3.1.1, ve které jsou vyneseny jádrové (J) a hydrogeologické (HJ) vrtů.

Tab.3.1.1 Přehled provedených průzkumných sond

sonda	staničení ing. Bajer	hloubka	objekt	Datum realizace vrtu	Souřadnice		
					Y	X	Z
J1	-0.2280	6	trasa	14.4.2016	604727.40	1157644.27	299.19
J2	-0.0690	15	trasa	15.4.2016	604867.95	1157552.31	302.58
J3	0.0780	8	trasa	18.4.2016	604986.46	1157470.58	303.12
J4	0.1860	15	trasa	19.4.2016	605076.95	1157407.44	304.68
J5	0.4470	21.5	trasa	2 - 3.4.2016	605209.00	1157185.48	321.26
J6	0.5600	15	trasa	1.4.2016	605301.24	1157127.66	328.56
J7	0.7480	10	trasa	29.3.2016	605487.79	1157134.93	327.40
HV8	0.7980	6	trasa	29.3.2016	605535.43	1157204.27	328.79
J9	0.9240	30	tunel	30.-31.3.2016	605661.45	1157162.56	335.85
J10	1.0020	25	tunel	16.-17.3.2016	605734.32	1157198.05	345.97
J11	1.0060	25	tunel	23.-29.3.2016	605718.26	1157221.25	346.02
J12	1.0300	25	tunel	15.-16.3.2016	605753.57	1157219.47	349.69
HV13	1.0920	30	tunel	17.-22.3.2016	605801.82	1157247.50	352.44
J14	1.0980	30	tunel	22.-23.4.2016	605866.93	1157275.89	348.93
J15	1.1690	24	tunel	11.-12.4.2016	605867.56	1157299.67	347.79
J16	1.1730	24	tunel	12.-13.4.2016	605964.69	1157326.45	337.86
J17	1.2680	15	tunel	4.4.2016	605936.14	1157315.44	339.96
J17a	1.2390	16	trasa / tunel	18.4.2016	605936.14	1157315.44	339.96
HV18	1.3280	15	trasa	4.-5.4.2016	606023.24	1157333.87	333.56
J19	1.4050	15	trasa	14.4.2016	606095.17	1157324.99	324.68
J20	1.4900	10	trasa	6.4.2016	606160.25	1157377.21	318.66
J21	1.5970	12	trasa	5.4.2016	606194.94	1157476.51	315.52
J22	1.6660	10	trasa	6.4.2016	606154.01	1157465.24	318.35
*) do hloubky počátku použití technologie vrtání na vodní výplach nebyla hladina podzemní vody zastižena							
**) naražení hladiny podzemní vody nebylo v průběhu vrtání zřetelné							

Vrtné práce provedli pracovníci firmy Stavební geologie IGHG spol. s r.o., Toskánská náves 7, 252 17 Tachlovice (viz. vrtná zpráva v příloze č. 13).

Vrty, resp. jejich úvodní části byly vrtány vrtnou soupravou ADBS/Mercedes Benz Atego, a to jednoduchými jádrováky osazovanými roubíkovými korunkami /dále jen JJRK/ v řezných průměrech 195 mm a 156 mm až do konečné hloubky, resp. do hloubky naražení relativně pevných podložních hornin. Veškeré vrtání bylo prováděno bez použití vrtného výplachu, tj. na sucho.

Vzhledem k obtížné rozpojitelosti podložních /"skalních"/ hornin výše uvedenou technologií byly vrty v řadě případů dovrtávány do konečné hloubky dvojitým jádrovákem WL-NQ /s vnitřní jádrovnicí těžitelnou na laně/, osazovaným diamantovými vrtnými korunkami /dále jen Dia WL-NQ/ v řezném průměru 76 mm. Vrtáno bylo při použití vodního vrtného výplachu, v případech technologické nezbytnosti s přidavkem polymeru Argipol. Takto dovrtávané vrty byly v úseku předvrtů pracovní paženy přidavnou kolonou výpažnic průměr 89 mm pro zamezení hroucení se ústíové části stěny předvrtu vlivem cirkulace vrtného výplachu a pro těsnější vedení vrtné kolony WL-NQ s cílem zamezit vzniku vibrací a zajistit maximální výnos a kvalitu vrtného jádra.

Obr. č. 3.1 vrtná souprava ADBS/Mercedes Benz Atego, sonda J9, J10



Geologická dokumentace spolu s průměry vrtného nářadí a intervaly vrtání jsou pro každou sondu uvedeny samostatně v geologické dokumentaci vrtů v příloze č. 5.

Jádro bylo odebíráno z celých profilů vrtů a ukládáno do normalizovaných vzorkovnic. Neporušené, porušené, technologické vzorky, vzorky vody a zemin na agresivitu byly průběžně sváženy z lokality a předávány k laboratornímu zpracování do akreditovaných laboratoří GEOTestu a.s.

### 3.2 Vzorkovací a laboratorní práce

Ze všech vrtů byly průběžně odebírány vzorky jádra v celé délce (dokumentační vzorky), které byly ukládány do typizovaných vzorkovnic. Jádro bylo na místě dokumentováno (verbálně a fotograficky) přítomnými geology, po přebírce pak bylo skartováno a místa průzkumných sond byla upravena do původní podoby. Geologická dokumentace všech vrtných děl je uvedena v příloze 5.1.1 této zprávy. Fotodokumentace vrtných jader pak v příloze 5.2.

Dle zadávací dokumentace předběžného GTP byly v průběhu sondážních prací odebírány vzorky zemin pro laboratorní zpracování. Typy odebíraných vzorků zemin a metráže odběru byly na místě určovány přítomnými geology v závislosti na aktuálně zastižených geologických podmínkách a také v závislosti na umístění polohy vzhledem k projektované trase tramvaje.

Následně po odběru byly vzorky převáženy do laboratoře mechaniky zemin a hydrochemické laboratoře firmy GEOTest, a.s. Celkem bylo na lokalitě odebráno dle projektu prací 52 vzorků z toho 29 neporušených (N) - kategorie A 2. třídy, 21 porušených (P) a 2 technologických (T) - kategorie B 3. třídy dle normy ČSN EN ISO 22475-1 Geotechnický průzkum a zkoušení – Odběry vzorků a měření podzemní vody – Část 1: Zásady provádění. Zpracování vzorků v laboratoři GEOTestu, a.s. proběhlo pod vedením Ing. Vítězslava Křetínského. Výsledky laboratorních zkoušek zemin shrnuje příloha č. 6.1.

Všechno vytěžené horninové jádro bylo po dokumentaci převezeno do areálu a.s. GEOTest pro provedení laboratorních zkoušek mechaniky hornin a petrografických rozborů.

Vrtné jádro bylo ponecháno pro archivaci a část jádra pak byla využita pro zkoušky kameniva. Zkoušky mechaniky hornin provedl Ing. Ivoš Pavlík, GEOTest a.s. v akreditované laboratoři mechaniky hornin. Výsledky jsou přehledně uvedeny v příloze 6.2. Zkoušky pevnosti v prostém tlaku se uskutečnily na sadách vzorků jader vytěžených z průzkumných vrtů. Vnitřní průměr jádrovky a tedy průměr jádra byl 61 mm. Z odebraného materiálu byla nařezána zkušební tělíska - válce s výškovým poměrem 1:1, resp. 1:2. Celkem bylo nařezáno 190 pravidelných vzorků, tj. 27 sad, a 4 sady nepravidelných těles. Sady byly zaříděny dle druhu horniny, byly zkoumány granodiority (syenogranity) a metabazalty v různých stupních zvětření.

Obrázek 3.2.1: výběr vzorků hornin pro zkoušky mechaniky hornin



V laboratoři mechaniky hornin se uskutečnily následující zkoušky: ze zkoušek indexových vlastností objemová hmotnost, měrná hmotnost (hustota pevných částic), nasákavost, výpočtem byla stanovena pórovitost, ze zkoušek mechanických vlastností pevnost v prostém tlaku. Všechny mechanické zkoušky se uskutečnily vždy po nasycení vodou a v případě dostatečného množství zkušebního materiálu též po vysušení (z nich výpočtem stanoveny součinitele změknutí a odvozené parametry smykové pevnosti).

Z vrtů bylo dále odebráno 12 ks vzorků podzemní vody pro stanovení agresivity na beton a ocel. Rozbory provedla hydrochemická laboratoř a.s. GEOTest. Výsledky chemických analýz vzorků vody a zeminy jsou obsahem přílohy č. 6.3.

### 3.3 Petrografické analýzy

Z vrtů J9, J12, J14, J16 byly odebrány vzorky (celkem 6 ks) pro jejich petrografickou klasifikaci. Petrografické rozbory provedla Doc. RNDr. Miroslava Gregerová, CSc. z Ústavu geologických věd Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity. Jejich zhodnocení je uvedeno v příloze 5.3.

### 3.4 Hydrogeologické práce

Hydrogeologický průzkum byl realizován odborníky z firmy HSgeo, s r.o. v období březen – červen 2016. Na základě požadavků investora bylo nutno provést hydrogeologicko-průzkumné práce v následujícím rozsahu:

- rekognoskace terénu
- hydrogeologická dokumentace, pasportizace stávajících vodních zdrojů
- režimní měření v hydrogeologických monitorovacích vrtech
- zajištění dat z ČHMÚ – srážkové úhrny, hladiny podzemní vod v nejbližších monitorovaných vrtech
- provedení hydrodynamických zkoušek na monitorovacích vrtech
- zhodnocení všech získaných informací v závěrečné zprávě.

Cílem prováděného hydrogeologického průzkumu bylo ověření hydrogeologických poměrů v posuzovaném úseku, ale i v širším okolí.

Průběh terénních prací, metodika, vyhodnocení a závěry podrobného hydrogeologického průzkumu jsou uvedeny v příloze č. 9 a v kapitole 8 této zprávy.

### 3.5 Vyšetřování stabilitách poměrů

Cílem stabilitního řešení svahů zářezů vytvořených v zeminách bylo stanovení míry stability svahů se sklonem odpovídající charakteru horniny, v níž zářez má být vyhlouben v zeminách charakteru jílovitých hlín byly stanoveny stupně bezpečnosti svahů se sklonem 1:2, v eluviích se sklonem 1:1,5 a v kompaktní skalní hornině (granodioritu) 2:1.

Pro stanovení stupňů bezpečnosti byl použit program STSV213 využívající vlastní metodu, jež vychází z Petterssonovy metody, avšak na rozdíl od klasické metody používající silové podmínky rovnováhy užitá metoda striktně používá podmínky rovnováhy momentové – použitá metoda umožňuje vnášení případného vnějšího zatížení libovolně orientovaného včetně zatížení seismického a lépe modeluje účinky podzemní vody. Nejnepríznivější smykové plochy vyhledává opakováním dílčích řešení.



Řešení se uskutečnilo v profilech, vybraných na základě nejvyšší výšky zářezu a v blízkosti portálu Bystrc. Stabilitní příčné řezy I-I' až IV-IV' jsou vyznačeny v situaci v příloze 2. Tvary těles v těchto profilech (příčné řezy) a průřez tramvajovou tratí byly namodelovány schematicky, sled vrstev podloží a jejich vlastnosti byly stanoveny na základě geologické dokumentace sond a z výsledků laboratorních zkoušek vzorků. Dále byly doplněny podle zkušeností či podle údajů v běžně používané odborné literatuře. Na základě těchto podkladů byly vytvořeny matematické modely.

Stabilitní výpočty v jednotlivých řezech jsou uvedeny v příloze č. 7, jejich vyhodnocení je uvedeno v kapitole 9.

### 3.6 Geotechnické práce

Geotechnické práce zahrnovaly komplexní zhodnocení geomechanických vlastností, kterými je možno charakterizovat jednak chování zemin v přirozeném nebo ztuhlém stavu v podzákladí objektů a v podloží násypů a chování hornin v masivu. Byly vyhodnoceny geomechanické parametry zemin s rozlišením jednotlivých geotechnických typů (včetně konzistence a ulehlosti).

Jak terénní práce sledu a dokumentace vrtných prací, tak následné práce pro vyhodnocení poznatků a laboratorních výsledků a zpracování závěrečné zprávy, probíhaly ve smyslu platných technických podmínek TP-76 „Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace“, část A, B a C příslušných norem.

Výsledky geotechnického průzkumu byly členěny podle průběhu nivelety a stavebních objektů tj. terén, násyp, mostní objekt, opěrná stěna, lávka. Na základě provedeného průzkumu byly posouzeny základové poměry. Byly stanoveny přetvárné a pevnostní charakteristiky zemin podzákladí a komentován možný způsob založení.

V místech objektů byl realizován korozní průzkum.

Pro oblast tunelu byly stanoveny geotechnické parametry horninového masivu, nezbytných pro návrh tunelového díla.

Při vyhodnocování parametrů byla respektována ustanovení ČSN 73 6133 „Navrhování a provádění zemních těles pozemních komunikací“ a ČSN s uvedenou normou souvisejících. Dále ČSN EN 1997 – 1 „Navrhování geotechnických konstrukcí, část 1: Obecná pravidla a ČSN EN 1997 – 2 „Navrhování geotechnických konstrukcí, část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy“.

V rámci geotechnických terénních prací byl zajištěn sled prací přítomností inženýrských geologů, kteří prováděli řízení sondážních prací, odběr vzorků, dokumentaci vrtů a koordinaci odvozu vzorků do laboratoří.

Primární geologická dokumentace, která byla dále zpřesněna v souladu s výsledky laboratorních rozborů odebraných vzorků v laboratoři mechaniky zemin, mechaniky hornin a geofyzikálního průzkumu je součástí přílohy č. 5.1.1. V příloze 5.1.2 jsou sondy ve skalním podloží vyhodnoceny z hlediska RQD a puklinatosti. Součástí přílohy 5.1.3 jsou archivní sondy. Zároveň byl vypracován podélný inženýrskogeologický řez A-A' (s vyznačením rozhraní jednotlivých zastižených typů zemin). Byl sestaven na základě popisů jádrových vrtů aktuálního průzkumu i s použitím archivních vrtů, vyhotovených r. 1990. Jejich situování spolu se znázorněním vedení podélného řezu a řezů příčných je patrné na situaci v příloze 2. Příčné stabilitní a příčné řezy v oblasti tunelu vycházející z geofyzikálních měření tvoří přílohu 4. Příčné řezy jsou řazeny podle staničení ve Studii Ing. Bajera. Studie Ing. Bajera

byla použita jako podkladový materiál jak pro situaci tak, pro podélný inženýrskogeologický řez.

Digitální zpracování popisů vrtů bylo zhotoveno pomocí softwaru GdBase s následným převodem do prostředí Microstation. Po zpětném geodetickém zaměření míst průzkumných sond a získání výsledků laboratorních zkoušek mechaniky zemin byly konstruovány požadované profily a řezy. Výkresová dokumentace byla vyhotovena CAD aplikací Microstation. Výsledky závěrečné zprávy byly digitalizovány. Závěrečná zpráva byla kompletně vyhotovena v grafickém a textovém formátu na kompaktním disku ve formátu uzpůsobeném pro prohlížení na běžné pracovní stanici a v 8 vyhotovení předána objednateli.

### 3.7 Pedologický průzkum

Pedologický průzkum byl realizován formou subdodávky panem Dr. Ing. Milanem Sáňkou. Účelem průzkumu bylo zhodnocení a klasifikace půdních podmínek na pozemcích půdního fondu a návrh mocnosti skrývky humusového a níže uloženého zúrodnění schopného horizontu.

Práce jsou prováděny v souladu s ustanoveními zákona č. 334/1992 Sb. o ochraně ZPF, ve znění pozdějších předpisů (novela zákona č. 41/2015 Sb.)

Půdní poměry na zájmových pozemcích byly nejprve vyhodnoceny podle pedologických map a dále v terénu orientačně pochůzkou podle podkladových mapových materiálů.

Při podrobném terénním průzkumu byly na vymezených pozemcích prováděny vpichy pedologickou sondýrkou (Eijkelkamp) do hloubky max. 1m. Vpichové sondy byly prováděny po celé délce trasy v úsecích s půdním pokryvem v hustotě cca 1-2 sondy na 100m, podle předpokládané variability půdy na základě konfigurace terénu a pedologických map. Celkem bylo provedeno 17 vpichových pedologických sond.

U každého vpichu byl proveden popis půdního profilu, specifikována mocnost a hlavní morfogenetické znaky diagnostických horizontů. Podle tohoto popisu byl určen půdní typ a subtyp. Průběh terénních prací, metodika, vyhodnocení a závěry podrobného pedologického průzkumu jsou uvedeny v příloze č. 8.

### 3.8 Geofyzikální průzkum

V rámci etapy předběžného geologického průzkumu pro prodloužení tramvajové trati v zájmovém území Brno Bystrc – Kamechy byl na jaře 2016 proveden geofyzikální průzkum, jehož účelem bylo objasnit geologickou stavbu v definovaných úsecích. Prvním úsekem byl fragment tramvajové trasy mezi stávající smyčkou Ečerova a severovýchodním portálem projektovaného tramvajového tunelu, dále úsek tunelu samotného, prostor za jihozápadním portálem a konečně krátký úsek v závěru projektovaného prodloužení tramvajové tratě.

Geofyzikální práce realizovalo pracoviště geofyziky GEOTestu, a.s., kde odpovědným řešitelem byl ing. Roman Duras, držitel odborné způsobilosti v geofyzice č.1939/2005 (vydavatel Ministerstvo životního prostředí).

Měření probíhalo v několika etapách. Geofyzikální práce sestávaly z metody ERT – elektrické odporové tomografie, MRS – mělké refrakční seizmiky, VES – vertikálního elektrického sondování a SOP – symetrického odporového profilování. Geoelektrické metody VES, ERT a SOP studovaly horninové prostředí pomocí uměle generovaných elektrických polí a metoda

MRS byla projektována pro účely posouzení mechanických vlastností hornin za základě distribuce seizmických vln horninovým prostředím.

Geofyzikální profily byly navázány na geodeticky vytyčené body trasy tramvaje, byly vedeny paralelně nebo napříč k ose tramvajové trati dle terénní dostupnosti. Přesné trasy geofyzikálních profilů jsou vyznačeny v situaci v příloze 2 této zprávy a v příloze 10.

Metodika, výsledky a zhodnocení geofyzikálního průzkumu jsou shrnuty v příloze 10.

### 3.9 Měřické práce

Geodetické terénní práce vykonali Ing. P. Křetinský, Ing. R. Brtník a Ing. V. Hanák, pracovníci střediska geodézie firmy GEOTest, a.s. ve dnech 25. 2. – 22. 4. 2016.

Předmětem geodetického měření bylo 20 jádrových vrtů, 3 vystrojené hydrogeologické vrtky, podélný profil terénu v ose stávající a projektované tramvajové trati, 4 příčné profily terénu v místě průběhu geofyzikálních profilů a 4 profily terénu v místech výpočtu stability svahu.



Průzkumná díla, která se nacházela na otevřeném prostranství bez vzrostlejší vegetace (parková úprava, neplodná půda, nízká zástavba) byla v terénu vytyčena a po odvrtání následně přeměřena pomocí dvoufrekvenční GNSS aparatury – viz obr. v této kapitole. V případě vrtů a sond a profilů terénu nalézajících se v lesním či křovinatém porostu bylo nutné vytyčení provést polární metodou z vrcholů volného polygonového pořadu, který byl jednostranně připojen na známé body určené metodou GNSS. Po odvrtání byla průzkumná díla znovu zaměřena ve své skutečně provedené poloze a to zejména kvůli nutnosti provedení menších či větších polohových posunů během vrtných prací.

Zpráva o geodetických pracích je uvedena v příloze 12.

### 3.10 Korozní průzkum

Pro účely budoucí ochrany objektů před účinky bludných proudů byl na lokalitě Brno – Bystřec Kamechy realizován základní korozní průzkum. Terénní práce sestávaly z měření mezelektrodových potenciálů (tzv. měření bludných proudů) a zjišťování měrného odporu horninového prostředí, kterým se zmíněné bludné proudy šíří.

Příprava a realizace terénních prací byly provedeny v souladu s ČSN 03 8362 „Měděná referenční elektroda k měření potenciálu podzemní kovová konstrukce – půda“ a ČSN 03 8365 „Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi“. Zpracování a vyhodnocení bylo provedeno v souladu s ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“ a TP 124 „Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací“.

Průběh terénních prací, metodika, vyhodnocení a závěry jsou uvedeny v příloze č. 11.

## 4. Přehled přírodních poměrů

### 4.1 Geomorfologické a klimatické poměry

Zájmové území spadá dle geomorfologického členění ČR do podcelku Lipovské vrchoviny, která je součástí celku Bobravské vrchoviny a podsoustavy Brněnské vrchoviny. Lipovská vrchovina je členitá vrchovina o střední nadmořské výšce 319 m n.m. a středním sklonu 5° 34'. Terén je kopcovitý, tvořící elevace a prohlubně. Skutečná nadmořská výška v místě budoucího staveniště se pohybuje v rozmezí cca 300 - 353 m n. m.

Z hlediska klimatických poměrů má vliv na podnebí členitost reliéfu. S nadmořskou výškou zpravidla klesá teplota a rostou atmosférické srážky. Počasí je velmi proměnlivé a nestálé, nepravidelně se střídají období teplá a studená, suchá a vlhká, a to jak během jednoho roku, tak i v průběhu řady let za sebou.

Na základě klimatického členění (Quitt 1971) spadá zájmová lokalita do oblasti **MT 11**, tzn. do mírně teplé oblasti, která je charakterizována dlouhým, teplým a suchým létem. Přechodné období je krátké, s mírně teplým jarem a podzimem. Zima je krátká, mírně teplá a velmi suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Podrobnější údaje o oblasti MT 11 jsou uvedeny v následující tabulce č. 4.1.1.

Tabulka 4.1.1 Klimatické charakteristiky oblasti MT 11

<i>Charakteristiky</i>	<i>Parametr</i>
Počet letních dnů	40 - 50
Počet dnů s teplotou vyšší než 10°C	140 – 160
Počet mrazových dnů	110 – 130
Počet ledových dnů	30 – 40
Průměrná teplota v lednu [°C]	-2 až -3
Průměrná teplota v dubnu [°C]	7 – 8
Průměrná teplota v červenci [°C]	17 – 18
Průměrná teplota v říjnu [°C]	7 – 8
Počet dnů se srážkami $\geq 1$ mm	90 – 100
Úhrn srážek ve vegetačním období [mm]	350 – 400
Úhrn srážek v zimním období [mm]	200 – 250
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	50 – 60
Počet zamračených dnů	40 – 50
Počet jasných dnů	120 – 150

Nejbližší klimatická stanice, která má dlouhodobé sledování teplotních poměrů se nachází v Brně - Žabovřeskách. Pro potřeby průzkumu byla zakoupena hydrometeorologická data za období posledních 10 let – srážkové úhrny od ČHMÚ v Brně. Tyto údaje jsou uvedeny v následující tabulce a také 9 „Klimatologická data z ČHMÚ“.



Tabulka č. 4.1.2 Srážkové úhrny, Brno – Žabovřesky

ROK MĚSÍC	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Roční úhrn
2006	33,5	31,2	76,9	68,3	72,4	65,3	41,8	183,2	14,6	16,2	21,1	21,6	646,1
2007	47,4	31,1	65,5	2,1	34,8	31,3	35,2	36,6	81,8	31,4	43,5	18,3	459,0
2008	20,4	8,3	37,3	49,2	44,1	73,7	56,8	43,1	44,3	23,5	36,1	21,9	458,7
2009	20,7	60,9	71,1	5,1	42,3	107,4	118,2	24,5	15,2	33,3	50,3	48,0	597,0
2010	70,9	18,6	14,1	51,6	118,0	95,6	100,7	88,3	77,5	9,5	46,5	30,7	722,0
2011	15,6	2,1	47,8	19,7	46,2	45,8	88,9	40,6	37,8	16,9	0,0	16,9	378,3
2012	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
2013	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
2014	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
2015	26,4	10,9	35,2	9,8	54,7	31,3	39,4	69,9	18,2	56,1	26,3	15,9	394,1
Průměr	32,4	23,8	42,1	26,1	62,8	66,3	70,6	71,9	52,6	32,0	29,8	25,3	535,7

Z dlouhodobého sledování ročního úhrnu srážek vyplývá, že srážkové úhrny mají klesající tendenci. Pouze v roce 2011 byl nižší úhrn srážek než v roce 2015, jinak byly předcházející roky srážkově vydatnější. Srážkové úhrny mají hlavní podíl na doplňování zásob podzemních vod.

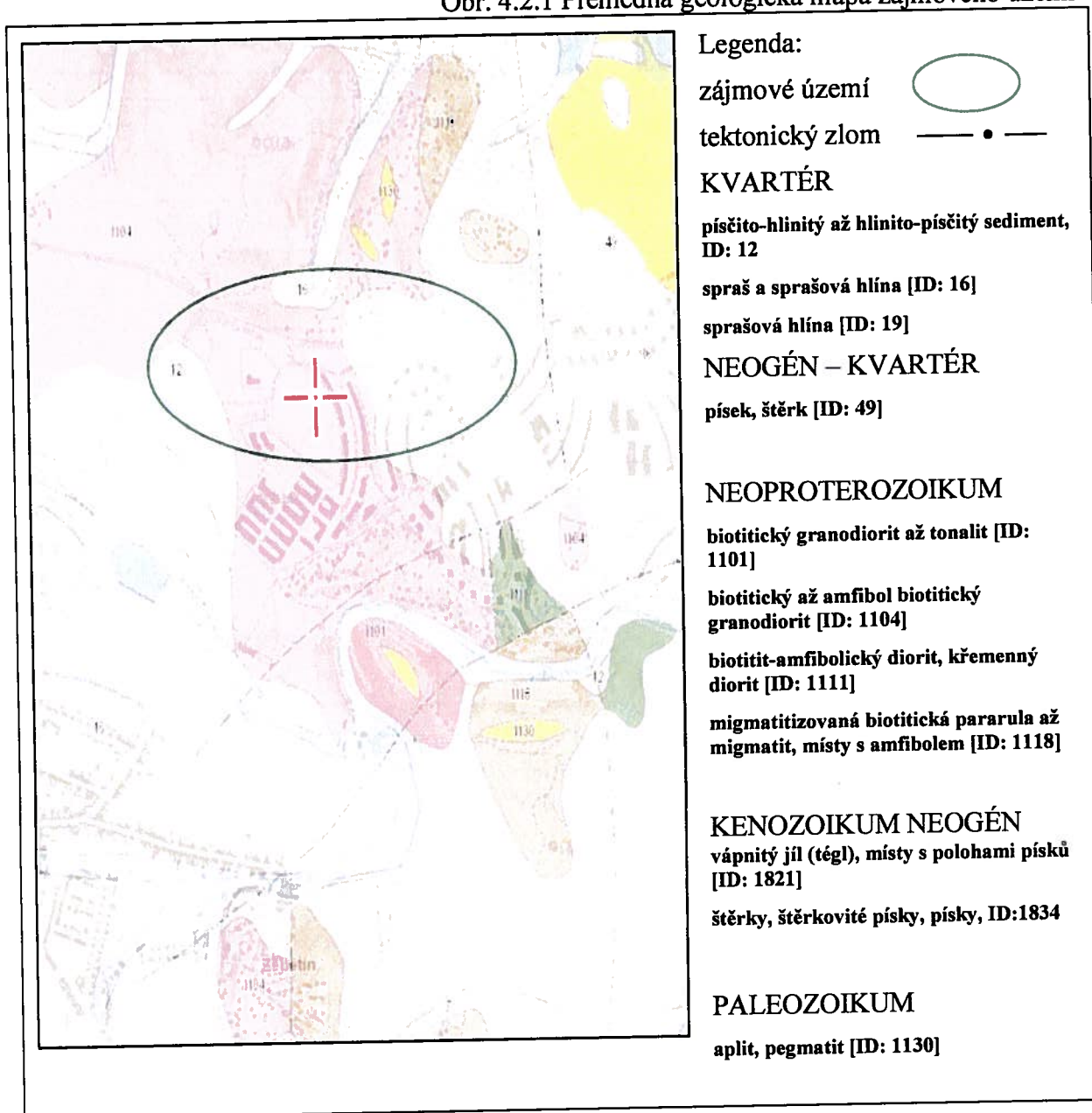
Průměrné rozdělení atmosférických srážek během roku je z hydrogeologického hlediska nevýhodné, poněvadž největší množství srážek spadne převážně v letních měsících (ve vegetačním období), kdy je ovšem největší výpar a také je největší spotřeba vody vegetací. Při přívalových deštích zase převládá povrchový odtok. Proto ve vegetačním období (v měsících 4 - 9) se zásoby podzemních vod vlivem infiltrace srážek do horninového prostředí moc netvoří a hladiny podzemní vody mají spíše klesající tendenci. K největšímu obohacování zásob podzemních vod dochází zejména při jarním tání sněhové pokrývky a částečně též i při podzimních srážkách, kdy hodnoty výparu podstatně klesají.

## 4.2 Geologické poměry širšího zájmového území

Zájmové území je tvořeno horninami brněnského masivu, který je výrazně tektonicky porušen. Tektonicky zakleslé kry jsou vyplněny neogenními sedimenty a překryty kvartérními uloženinami.

Geologii zájmového území ukazuje přehledná geologická mapa na obr. 4.2.1 v této kapitole.

Obr. 4.2.1 Přehledná geologická mapa zájmového území



### Předkvartérní podklad

Z pohledu regionální geologie náleží zájmové území z větší části k brněnskému masívu, převážně magmatických hornin neoproterozoického stáří.

Granodiority jsou horniny všesměrně zrnité, středně až hrubozrnné, s převládajícím složením křemen, živce, slídy. Celkově jsou zbarvena do šeda, růžova až červenohněda.

Diority jsou v nezvětralém stavu zelené až šedozelené. Jsou to horniny odlišného petrografického složení, kde základní minerály jsou plagioklas a amfibol, méně častý je biotit. Jsou středně až jemnozrnné, textury všesměrné.

V zájmové lokalitě, byly zastiženy elevace hornin metabazitové zóny, v prostoru vrtů J6, J5 a J17 vystupující mělce pod povrchem a jedna hlouběji s prostoru vrtu J 12. Elevace jsou budovány metabazitem (intenzivně hydrotermálně přeměněná vulkanická hornina), jemnozrnným, šedozelené barvy, hojně protkaným kalcitickými hydrotermálními žilkami.

Na lokalitě byly též zastiženy horniny metamorfního pláště západní části brněnského masívu, jež jsou zapracované do metabazitové šupiny v prostoru vrtu J-6, tvořené metasedimentárními horninami, konkrétně migmatizovanou biotitickou pararulou.

Magmatické horniny jsou v povrchových partiích charakteru eluvia (drobný štěrk až hrubozrnný písek), zvětralé, níže pak navětralé. Místy a hlavně hlouběji přechází v horniny zdravé.

Stratigraficky podstatně mladší zde zastoupenou předkvartérní jednotkou jsou neogenní spodnobádenské vápnité jíly (tégly). Jsou to zeminy převážně šedozelené až šedomodré, více či méně vápnité. Místy jsou s písčitou příměsí a drobnými manganovými konkréciemi.

### Kvartér

Je zastoupen sprašemi, sprašovými hlínami, hlínami jílovitopísčitými, jílovitými písky až jíly. Spraše tvoří nerovnoměrně rozložený pokryv, daný především morfologií terénu. Spraše jsou žlutohnědé, s obsahem konkrécí nebo žilkované  $\text{CaCO}_3$ , středně plastické, převážně pevné konzistence. Lokálně jsou ve spraši obsažená hrubější zrna hornin brněnského masívu. Směs jílovitých hlín až písků tvoří splachy.

### Navážky

Jejich větší mocnost se vyskytuje v okolí vrtu J-19 (do hl. 3,8 m) a dále J-3 (do hl. 1,3 m), je charakteru štěrku hlinitopísčitého až písku jílovitého.

## 4.3 Hydrogeologické poměry

Zájmová oblast je součástí hydrologického pořadí 3. řádu č. **4-15-01 „Svratka po Svitavu“**. Z velké části je tramvajová trasa vedena územím, které spadá do hydrologického pořadí 4. řádu s číslem **4-15-01-1500-0-00** s názvem „**Vrbovec**“ a menší úsek (od cca 0,8 km do cca 1,15 km) hydrologického pořadí 4. řádu s číslem **4-15-01-1470-1-00** s názvem „**Svratka**“ (HEIS, 2006a).

Z hlediska hydrogeologické rajonizace podzemních vod České republiky (HEIS, 2006b) náleží zájmové území k hydrogeologickému rajónu **6570** s názvem „**Krystalinikum brněnské jednotky**“ a do stejnojmenného útvaru podzemní vody základní vrstvy s označením **65700**.

Na zájmové lokalitě dominují horniny brněnského masívu (granodiority, diority, metabazalty), které jsou překryty neogenními sedimenty, na nichž spočívají kvartérní (svahové, eolickodeluviální a splachové) sedimenty.

Provedenými vrty byly převážně ověřeny horniny **brněnského masívu**. V celé ploše rozšíření tohoto hydrogeologického masívu převažuje puklinový kolektor s proměnlivým podílem průlinové porózy v pásmu přípovrchového rozpukání a rozpojení hornin. Oběh podzemních vod probíhá převážně v tomto přípovrchovém pásmu. Hlubší oběh možno očekávat u tektonicky porušeného brněnského masívu 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 masívu v závislosti na míře propustnosti kvartérních sedimentů a zvětralinových produktů. Propustnost horninového prostředí je dána především rozměry, uspořádáním puklin, mírou rozevřenosti puklin a charakterem jejich sekundární výplně. Horniny brněnského masívu jsou do značných hloubek, zpravidla několik desítek metrů silně tektonicky porušeny, a tato pásma působí jako drény okolních puklinových systémů a zprostředkovávají tak transit podzemní vody do hlubších částí hydrogeologického masívu.

Nejvýznamnější oběhové cesty existují na příčných a podélných tektonických poruchách, které drénují podzemní vodu z jejich bezprostředního okolí i ze vzdálenějších oblastí. K hlavnímu odvodnění podzemních vod z brněnského masívu dochází obvykle v úrovni nebo nad úrovní místní erozní báze a je orientováno generelním směrem k jihovýchodu do karpatské předhlubně.

Prostřední část projektované tramvajové tratě povede v pásmu připovrchového rozpojení a rozpukání hornin krystalinika, které je zde zastoupeno průlinově propustnými eluviálními štěrkopísky a silně rozpukanými granitoidními horninami, se štěrkovitopísčitou výplní puklin. Tyto štěrkopísky jsou dosti slabě až dosti silně propustné patřící k V. až III. třídě dle klasifikace propustnosti (Jetel, 1982) s koeficientem filtrace od řádu n.E-6 až n.E-4, ojediněle až n.E-3. Převažuje zde průlinová až průlinovo-puklinová propustnost, hladina podzemní vody bývá často volná nebo mírně napjatá – díky nadložním jílovitým sedimentům.

**Kvartérní sedimenty** jsou převážně zastoupené jílovitými hlínami proměnlivě písčitymi, místy štěrkovitými. Z hydrogeologického hlediska představují tyto sedimenty poloizolátor a částečně tak chrání hlouběji uložená zvodnění před antropogenním znečištěním. Kvartérní pokryv byl hlavně ověřen na začátku úseku do km cca 0,7 a potom od km cca 1,3 do konce úseku. V rámci těchto sedimentů byla ověřena hladina podzemní vody pouze ve vrtech J 7 a HV 8. Jde o průlinově propustné sedimenty, velmi slabě propustné s koeficientem filtrace  $<3,0 \cdot 10^{-8}$  m/s (stanoveno ze zrnitostních křivek). Hladina podzemní vody je mírně napjatá. Jedná se spíše o nepatrnou akumulaci podzemní vody než o zvodnění, kdy se srážková voda zasakuje přes slabě propustné sedimenty a na kontaktu s méně propustnými sedimenty se tak vytváří nepatrná akumulace podzemní vody. Tato podzemní voda pak odtéká ve směru úklonu nepropustného podloží k nejbližšímu povrchovému toku.

**Neogenní sedimenty**, které byly ověřeny v úseku od cca km 0,1 do cca km 0,7 a potom na konci úseku kolem km 1,5, jsou převážně zastoupeny málo propustnými až nepropustnými neogenními jíly, které se nepravidelně střídají s polohami proměnlivě jílovitých a štěrkovitých písků. Z hydrogeologického hlediska jsou jíly považovány za stropní izolátor, který chrání hlouběji uložená zvodnění před antropogenními vlivy. Písky a štěrkopísky pak představují kolektor, na nějž je vázána podzemní voda. Jde o průlinově propustné sedimenty. Díky nadložním jílům, bývá často hladina podzemní vody negativně napjatá, což bylo ověřeno i nově provedenými vrty. Koeficient filtrace jílovitých písků proměnlivě štěrkovitých se pohybuje v rozmezí n.E-8 až n.E-6 m/s, což je prostředí velmi až dosti slabě propustné patřící k VII. až V. třídě dle klasifikace propustnosti (Jetel, 1982). Generelní směr proudění podzemní vody v rámci neogenních sedimentů je k JV do karpatské předhlubně.

V následující tabulce jsou uvedeny zastižené naražené a ustálené hladiny podzemní vody v provedených vrtech.

Tabulka č. 4.3.1 Naražené a ustálené hladiny podzemních vod

Vrt č.	Hloubka vrtu	Hladina podzemní vody			
		naražená		ustálená	
		m	m n. m.	m	m n. m.
J 1	6				
J 2	15	11,5	291,1	9,2	293,4
J 3	8			7,1	296,0
J 4	15	vlhko 9,5	295,2	14,7	290,0

Vrt č.	Hloubka vrtu m	Hladina podzemní vody			
		naražená		ustálená	
		m	m n. m.	m	m n. m.
J 5	21,5	*)		14,0	307,3
J 6	15	*)		14,2	314,4
J 7	10	4,5 vlhko	322,9	-	-
HV 8	6	2,8	326,0	2,2	326,6
		4,5	324,3		
J 9	30	11,5	324,4	11,2	324,7
J 10	25	**)		11,5	334,5
J 11	25	11,5	334,5	11,2	334,8
J 12	25	*)			
HV 13	30	12,3	340,1	12,0	340,4
J 14	30	12,5	336,4	10,6	338,3
J 15	24	11,5	336,3	3,6	344,2
J 16	24	*)		3,4	334,5
J 17	15	11,5	328,5	10,7	329,3
J 17a	16	10,5	329,5	6,0	334,0
HV 18	15	8,3	325,3	8,3	325,3
J 19	15	8,7	316,0	5,9	318,8
J 20	10	2,0	316,7	1,3	317,4
J 21	12	5,8	309,7	4,1	311,4
J 22	10	6,7	311,7	3,1	315,3

\*) do hloubky počátku použití technologie vrtání na vodní výplach nebyla HPV zastižena

\*\*) naražení HPV nebylo v průběhu vrtání zřetelné

#### 4.3.1 Monitorovací objekty

Režim podzemních vod je proces, představující jednotlivá stadia formování podzemních vod, probíhající za působení různých činitelů, přičemž jednotlivé faktory se navzájem ovlivňují. K základním charakteristikám režimu podzemních vod patří zejména dlouhodobé sledování kolísání hladiny podzemní vody, za účelem zjištění jejích extrémních stavů (jak vysoko, resp. jak hluboko leží hladina podzemní vody ve velmi vlhkém i ve velmi suchém období). Z tohoto důvodu byly v rámci předběžné etapy navrženy k realizaci 3 monitorovací objekty (HV 8, HV 13 a HV 18), na kterých se bude průběžně sledovat hladina podzemní vody během jednotlivých etap, a dále před samotnou stavbou, při stavbě a po stavbě. Údaje o ustálených HPV během předběžné etapy jsou uvedeny v příloze č. 9.1 "Měření HPV v monitorovacích vrtech".

Z ČHMÚ byly získány data o nejbližším dlouhodobě sledovaném vrtu, a tím je vrt v Jinačovicích, evidovaný Českým hydrometeorologickým ústavem pod č. VB9811. Vrt spadá do povodí 4-15-01 Svratka po Svitavu a je průběžně monitorován pracovníky ČHMÚ. Nadmořská výška vrtu je 288,09 m n. m. Údaje o stavu HPV za období říjen 2007 až prosinec 2015 jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č. 4.3.1.1 Hladina podzemní vody ve vrtu VB9811 - Jinačovice (převzato od ČHMÚ)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2007										267,153	267,174	267,181
2008	267,191	267,191	267,200	267,190	267,188	267,184	267,140	267,108	267,075	267,050	267,043	267,038
2009	267,028	267,029	267,055	267,045	266,990	266,977	267,038	267,022	266,965	266,928	266,927	266,908
2010	266,902	266,863	266,916	266,909	266,945	266,994	266,966	266,982	267,005	267,045	267,081	267,134
2011	267,182	267,219	267,255	267,351	267,409	267,471	267,520	267,575	267,638	267,698	267,738	267,787
2012	267,835	267,880	267,904	267,931	267,941	267,964	267,986	268,000	268,006	268,019	268,030	268,017
2013	268,025	268,019	268,049	268,032	268,055	268,089	268,079	268,040	268,037	268,025	268,018	267,991
2014	267,995	267,976	267,961	267,943	267,921	267,906	267,898	267,944	268,004	268,046	268,034	268,054
2015	268,059	268,036	268,053	268,074	268,091	268,093	268,103	268,108	268,108	268,108	268,113	268,092

Během tohoto období je patrné, že hladina podzemní vody osciluje a z dlouhodobého hlediska má mírně stoupající trend (rozdíl za posledních 8 let je až 1,054 m). Dalším objektem – vrtem v rámci monitorovací sítě ČHMÚ v blízkosti projektované stavby tramvajové trati je vrt v Žebětíně. Ten je však přetokový, takže na něm (dle sdělení pracovníce ČHMÚ) neprobíhají žádná měření.

#### 4.3.2 Pasportizace vodních zdrojů

V rámci předběžné etapy byly zmapovány vodní zdroje (domovní studny), které se nachází do vzdálenosti cca 500 m od plánované trasy prodloužení tramvajové trati na Kamechy, za účelem podchycení současného stavu úrovní hladin podzemních vod.

Při rekognoskaci terénu bylo zjištěno, že v blízkosti zájmové trasy severně při ulici Vejrostova (v zahrádkářské kolonii) má vrtanou či kopanou studnu téměř každá zahrada. Na jih od projektované trasy pod ulicí Kamechy – v zahrádkářské kolonii, má pravděpodobně každá druhá zahrada také studnu. Pro pasportizaci byly vybrány reprezentativní studny – celkem 4 stávající vodní zdroje. 3 studny (st 1, st 2 a st 3) jsou situovány ve vzdálenosti cca 100 m severně od trasy a 1 studna (st 4) byla zaměřena cca 500 m jižně od trasy.

Všechny vodní zdroje jsou vrtané studny, které jsou vázány na přípovrchovou zónu rozvolnění a rozpukání hornin krystalinika.

Seznam zmapovaných vodních zdrojů (výtah) je uveden v následující tabulce. Kompletní dokumentace je dokladována v příloze č. 9.2 „Pasporty vodních zdrojů“. Pasportizované vodní zdroje jsou pod pořadovým číslem zakresleny v situaci průzkumných sond (příloha č. 2 předběžné GTP).



Tabulka č. 4.3.2.1 Pasportizace vodních zdrojů

Pořadové číslo	k. ú. Bystrc	Majitel
st 1	p. č. 3143/2, č. ev. 2143	Ing. Michal Dvořáček
st 2	p. č. 2555, č. ev. 2786	Rostislav Mikulčák
st 3	p. č. 2550, č. ev. 2786	manželé Zemánkovi
st 4	p. č. 2307/2	manželé Karasovi

V podrobné etapě je nutné vytipovat některé vodní zdroje, na kterých by se před zahájením stavby a poté i během stavby a po ukončení stavby sledovala hladina podzemní vody a její kvalita.

#### 4.4 Tektonické poměry

Zájmové území je výrazněji postiženou zlomovou tektonikou, což vyplývá i z geomorfologické analýzy širšího okolí. Reliéf okolí zájmového prostoru je primárně tektonický, protože na jeho vzniku měly vliv tektonické pohyby i velmi mladého data. Tak vznikl komplikovaný reliéf tektonických poklesů a hrástí. Charakter zlomů je udán především ve směru SZ-JV a ZJZ – VSV, popřípadě SSV – JJZ, který se může odklánět až do směru S – J. K poklesům ker docházelo výrazněji podle linií směrem ZJZ – VSV.

#### 4.5 Stabilitní poměry

Cílem stabilitního řešení svahů zářezů vytvořených v zeminách bylo stanovení míry stability svahů se sklonem odpovídající charakteru horniny, v níž zářez má být vyhlouben. V zeminách charakteru jílovitých hlín byly stanoveny stupně bezpečnosti svahů se sklonem 1:2, v eluviích se sklonem 1:1,5 a v kompaktní skalní hornině (granodioritu) 2:1.

Pro stanovení stupňů bezpečnosti byl použit program STSV213 využívající vlastní metodu, jež vychází z Petterssonovy metody, avšak na rozdíl od klasické metody používající silové podmínky rovnováhy užitá metoda striktně používá podmínky rovnováhy momentové – použitá metoda umožňuje vnášení případného vnějšího zatížení libovolně orientovaného včetně zatížení seismického a lépe modeluje účinky podzemní vody. Nejnepříznivější smykové plochy vyhledává opakováním dílčích řešení.

Řešení se uskutečnilo v profilech (příloha 4.1), jež jsou vyznačeny v situaci v příloze 2. Tvary povrchu terénu a rozhraní jednotlivých vrstev byly odvozeny z výsledků průzkumných prací. Šířka dna zářezu byla uvažována 10 m. Vzhledem k možnostem použitého programu řešící stabilitu pouze vzestupných svahů byl počátek souřadnic umístěn ve dně zářezů.

Geotechnické vlastnosti jednotlivých typů materiálů tvořících geologický profil (gt parametry viz kapitola 5 a 6) byly odvozeny z výsledků uskutečněných laboratorních rozborů, případně stanoveny podle jejich vizuálního posouzení srovnáním s obdobnými zeminami na jiných lokalitách.

Jednotlivé výpočty jsou zařazeny do přílohy 7, v níž jsou uváděny nejprve vstupní údaje sestavené do dvou tabulek – tabulky fyzikálních konstant označené jako tabulka materiálů a tabulky geometrických tvarů nazvané geometrie oblasti.

V tabulce fyzikálních konstant materiálů v příloze 7 značí  $c$  - soudržnost,  $\varphi$  - úhel vnitřního tření,  $\rho$  - objemovou hmotnost a  $u$  - symbol vyjadřující vztah k podzemní vodě: číslicí 0 je vyznačena vrstva nad hladinou podzemní vody, číslicí 1 vrstva pod ní. Jednotlivé materiály jsou v modelech označeny číselnými symboly uvedenými v téže tabulce.

Geometrie řešených těles byla zadávána souřadnicemi počátečních a koncových bodů úseček – úseků lomených čar nahrazujících v matematickém modelu obecné přírodní linie povrchu těles a rozhraní jednotlivých vrstev a čísla materiálů nacházejícími se bezprostředně pod nimi. Souřadnice  $x$  byly počítány od zadané polohy osy  $Y$  v modelu, souřadnice  $y$  byly přímo nadmořskými výškami zmíněných bodů.

Výsledky výpočtů jsou prezentovány v příloze 7 grafickou formou ukazující tvar řešeného tělesa, rozhraní jednotlivých vrstev a průběh nejnepríznivější smykové plochy kruhového tvaru v každém řešeném případě. V barevném provedení je povrch tělesa vyznačen černou barvou, rozhraní jednotlivých typů zemin nad hladinou podzemní vody okrově, pod ní zeleně, hladina podzemní vody modře a nejnebezpečnější smyková plocha červeně. Grafické znázornění tělesa je doplněno o souřadnice středu křivosti smykové plochy a její poloměr a o vyčíslené stupně bezpečnosti na této ploše ( $s_{kritP}$ ).

Vyčíslené hodnoty stupňů bezpečnosti jsou sestaveny do následující tabulky 4.5.1.

Tabulka 4.5.1 Stupně bezpečnosti svahů zářezů

Staničení profilu		Výška svahu	Sklon svahu	Stupeň bezpečnosti
km		m	°	
0,27748		5,07	1:2	1,32
0,37073		6,31	1:2	1,30
0,55825	horní část	3,29	1:1,5	5,38
	spodní část	3,26	2:1	1,48
0,91193		6,43	1:1,5	1,88

Hodnoty uváděné v tabulce ukazují, že svahy vytvořené ve sklonech odpovídajících charakteru horniny jsou stabilní. Jsou však stanovené předběžnými výpočty se schematizovanými tvary svahů zářezů, je proto nutno uskutečnit nové výpočty, až budou známy projektované tvary svahů zářezů.

## 5. Geotechnické zhodnocení zemin a hornin

Pro stanovení důležitých mechanických vlastností zemin a geotechnických klasifikací byly odebrány vzorky neporušené, porušené a technologické, které byly dále zkoušeny v laboratořích mechaniky zemin GEOTest a.s. Sondy a hloubky odběrů jsou uvedeny v záhlaví tabulek výsledků laboratorních zkoušek v příloze č. 6.1 a 6.2.

V zájmové lokalitě dominují horniny brněnského masívu (granodiority, diority, metabazalty), které jsou překryty neogenními sedimenty, na nichž spočívají kvartérní (svahové, eolickodeluviální a splachové) sedimenty.



## 5.1 Zatřídění zemin dle Gtypů

S přihlédnutím ke stratigrafii, litologii a výsledkům fyzikálně – mechanických rozborů vzorků zemin a zkoušek hornin, odebraných v této etapě průzkumu, byly zeminy rozčleněny na charakteristické skupiny – geotechnické typy zemin (tzv. GT typy), reprezentující fyzikálně a mechanicky kvaziisogenní celky.

V podélném profilu AA' v příloze 3 jsou přehledně znázorněny geologické celky zastížené po celé délce trasy. Podle staničení lze definovat tyto celky takto:

- Km -0,2 – 0,0 byl zastížen masiv granodioritů a dioritů, (GT:6,7)
- Km 00 – 0,45 prohlubeň v masivu vyplněná neogenním jílem, na něj nasedají kvartérní jílovitopísčité sedimenty, na nich jsou uloženy jílovité hlíny (GT: 2,3a,3b,4 a 5)
- Km 0,45 – 0,65 poloha metabazaltů a rul, intenzivně hydrotermálně přeměněné vulkanické horniny, ve spodní části vrtu J6 pak granodiorit, oblast tektonicky rozpukaná (GT:2, 9,3b, 8, 7)
- Km 0,65 – 0,85 prohlubeň v masivu vyplněná neogenním jílem, na něj nasedají kvartérní jílovito písčité sedimenty (GT: 2, 3a,4,5)
- Km 0,8 – 1,36 masiv granodioritu, v něm dle geofyzikálního průzkumu tektonické poruchy (GT: 3b, 6,7)
- Km 1,36 - 1,5 dtto, v nadloží pak kvartérní hlíny jílovité (GT: 1,2 6)
- Km 1,5 – 1,7 prohlubeň v masivu vyplněná neogenním jílem, na něj nasedají kvartérní jílovitopísčité sedimenty, na nich jsou uloženy jílovité hlíny (GT 2,3a,4,5)

Vrstva ornice či humózní hlíny není vyčleněna jako samostatný G typ, jelikož bude v celém úseku trasy sejmuta a uložena.

Zeminy a horniny v regionu celé trasy byly rozčleněny do 9 geotechnických typů (GT1 – GT9).

**Tab. 5.1.1: Přehled vymezených geotechnických typů**

<b>Základní stratigrafické rozdělení</b>	<b>Geneze</b>	<b>Litologický popis zemin a hornin</b>	<b>Zatřídění dle ČSN 73 6133</b>	<b>Geotechnický typ</b>
<b>kvartér</b>	Antropogenní	Štěrky s jemnozrnnou příměsí a písky jílovité,	G3 GFY, S5 SFY	<b>1</b>
	Deluviální	Hlíny jílovité tuhé až pevné konzistence se střední plasticitou, místy s klastickou příměsí	F6 CI	<b>2</b>
		Jílovité hlíny písčité s podílem drobného štěrku, tuhé konzistence a střední plasticity	F4 CS	<b>3a</b>
		Písky hlinité a jílovité s podílem štěrku	S4 SM, S5 SC	<b>3b</b>
	přechodová oblast – redeponované neogenní jíly	Jíly, jíly písčité, tuhé konzistence, s vysokou plasticitou, písky jílovité, ulehle	F8 CH, F4 CS, S5 SC	<b>4</b>
<b>neogén</b>	marinní	jíl vápnitý, tuhé až pevné konzistence a velmi vysoké plasticity	F8 CV	<b>5</b>
<b>neoproterozoikum</b>	intruzivní, eluviální plášť brněnského masívu	štěrk s příměsí jemnozrnné zeminy	(R5 – R6) G3 G-F	<b>6</b>
	intruzivní	granodiorit, diorit	R2 – R3, R4	<b>7</b>
	efuzivní	metabazalt	R4 - R5	<b>8</b>
			R2 –R3	<b>9</b>

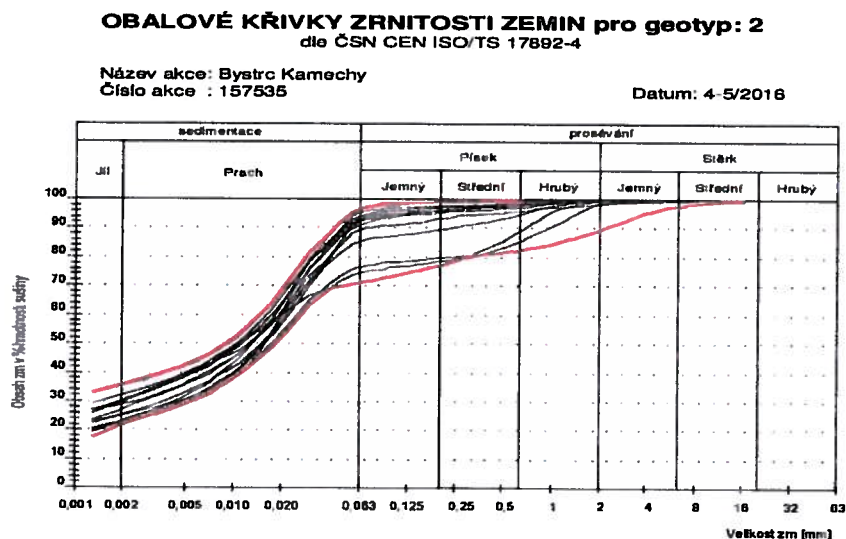
Pro jednotlivé geotechnické typy zemin jsou zpracovány grafy obalových křivek zrnitosti.

Do **GT1** byly zařazeny navážky, charakteru převážně štěrků s jemnozrnnou příměsí a písky jílovité. Obecně lze definovat tyto zeminy jako zeminy nevhodné k založení stavebních objektů, jejich případnou vhodnost dle míry kontaminace antropogenním materiálem je třeba posoudit při odkrytí základové spáry geotechnikem stavby.

Do **GT2** řadíme zeminy kvartérního stáří (pleistocén) a deluviální geneze. Jedná se o zeminy, v jejichž složení převládá jemnozrnná složka (tj. zeminy hlinité, jílovité). Mocnost této vrstvy je až 8,1 m. Na základě laboratorní mechaniky zemin podle zrnitosti byly v souladu s ČSN EN ISO 14688-2 zařazeny jako zeminy s indexy CI. Dle ČSN 73 6133 náleží do třídy F6 CI (v

archivních vrtech jsou mnohde hlíny jílovité popisovány jako spraš či sprašové hlíny). Sedimenty s vyšším podílem jílovité frakce mohou v tomto geotypu představovat hydrogeologický izolátor a způsobovat mírné napětí hladiny podzemní vody. Konzistence zemin kolísá od pevné po tuhé v souvislosti s hladinou podzemní vody. Znázornění obalových křivek GT2 je na obr. 5.1.

Obr. 5.1.1 Obalové křivky GT2

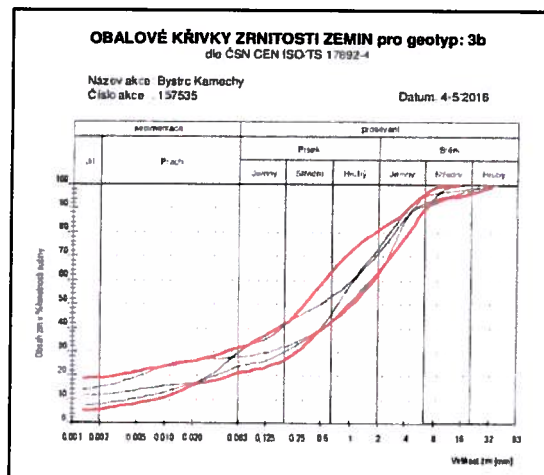
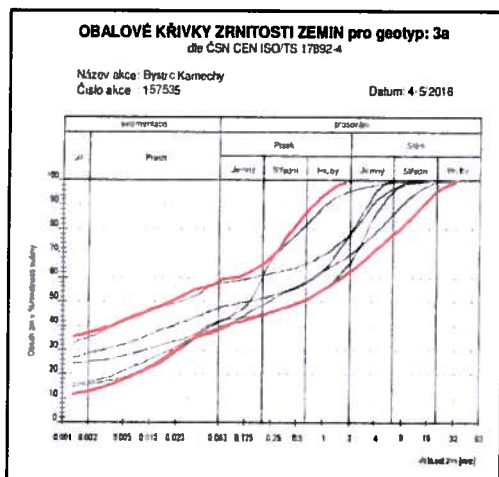


Kvartérní zeminy řazené do **GT3** jsou rozdělené dle zrnitostního složení na soudržné zeminy **GT3a** a nesoudržné zeminy **GT3b**. Do GT3a patří především hlíny písčité, hlíny jílovitopísčité s podílem drobnozrnitého štěrku tuhé konzistence a střední plasticity. Byly zastíženy lokálně v mocnosti do 2,0 m. Na základě laboratorní mechaniky zemin podle zrnitosti byly v souladu s ČSN EN ISO 14688-2 zařazeny jako zeminy s indexy  $Cl$ ,  $saCl$ . Místy obsahují podřízený podíl jemnozrné a střednozrné štěrkové komponenty. Dle ČSN 73 6133 jsou zařazované do třídy F2 CG, F4 CS a F1 MG, F3 MS. Obalové křivky Gtypu 3a je na obr. 5.1.2.

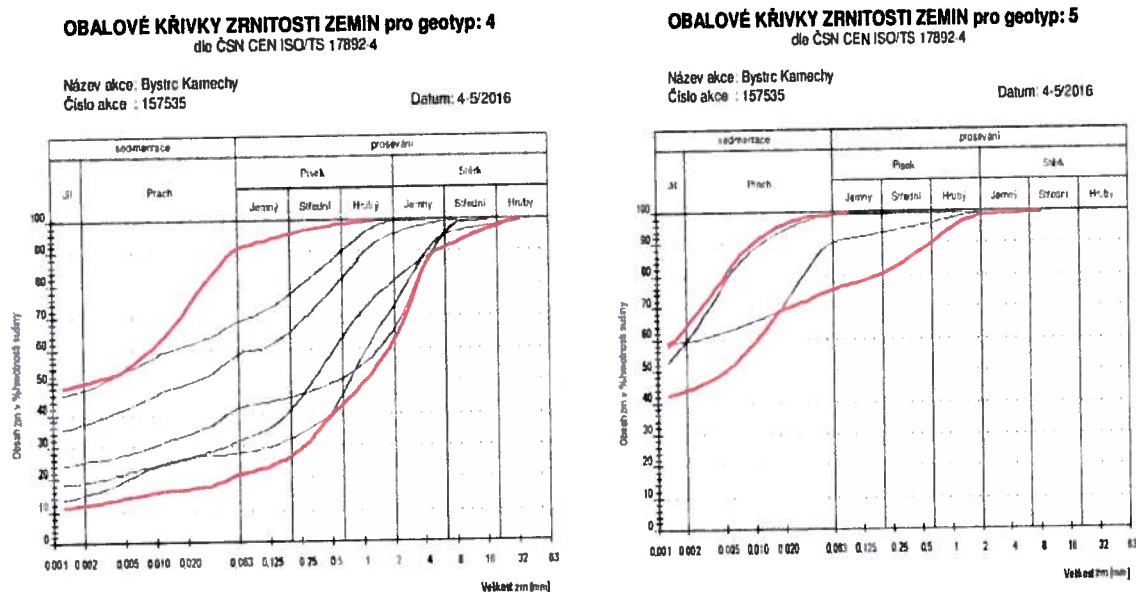
Nesoudržné zeminy **Gtypu 3b** jsou v souladu s ČSN EN ISO 14688-2 zařazeny jako zeminy s indexy  $Sa$ . Obsahují vždy určitý podíl jemnozrné a střednozrné štěrkové frakce. Dle ČSN 73 6133 jsou zařazované do třídy S3 SC, S5 SC. Jejich mocnost se pohybuje kolem 2,5 m. Obalové křivky Gtypu 3b je na obr. 5.1.3.

Obr. 5.1.2 Obalové křivky GT3

5.1.3 Obalové křivky GT3b



Kvartérní zeminy zařazené do **GT4** náležejí k přechodové vrstvě mezi kvartérními a neogenními sedimenty. Tato vrstva je mocná místy až cca 7,0 m má proměnlivé složení. Vytváří souvrství, jehož vznik je vázán na redepozici neogenních sedimentů kontaminovaných klastickou směsí z okolních výchozů hornin brněnského masívu. pravděpodobně soliflukčními pochody v pleistocénu. Souvrství budují vápnité jíly, proměnlivě písčité až jílovité písky s lokální příměsí drobnozrnných úlomků granodioritu, převážně tuhé, tuhé až pevné, pevné konzistence a charakteristickou vysokou plasticitou jemnozrnné komponenty. Písčité frakce je proměnlivě zrnitá, barva pak osciluje mezi hnědou, šedohnědou, žlutohnědou, zelenošedou a rezavou. Vrstva je ulehlá, vlhká. Dle klasifikace ČSN 73 6133 spadají do třídy F8 CH, písčitéjší části polohy se pak pohybují ve třídě F4 CS – písčité jíly s příměsí štěrku a S5 SC jako písek jílovitý s příměsí štěrku. Znázornění obalových křivek GT4 je na obr. 5.1.4.

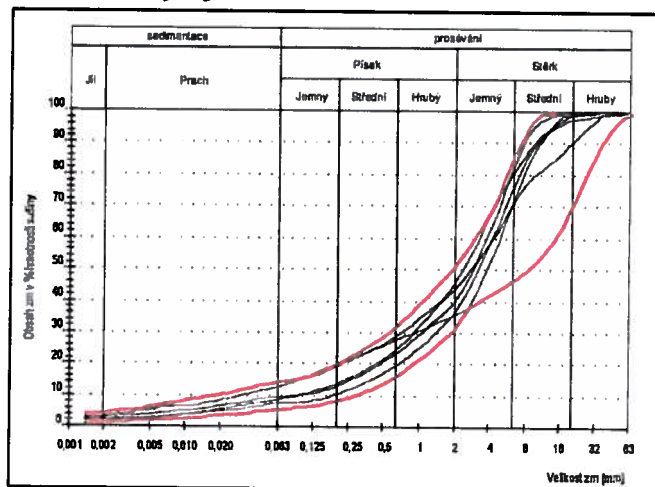


Obr. 5.1.4 Obalové křivky GT4

5.1.5 Obalové křivky GT5

Jako **Gtyp 5** jsou zaříděny stratigraficky podstatně mladší předkvartérní jednotky tvořené třetihorními marinními sedimenty – neogenními jíly. Znázornění obalových křivek GT4 je na obr. 5.1.5. Povrch souvrství byl zastížen v hloubce 8,0 – 13,2 m pod terénem, tj. v úrovni 291,5 až 307,0 m n.m. Jíly jsou zelenošedé až modrošedohnědé barvy, pevné konzistence, vápnité. Na základě laboratorních rozborů odebraných vzorků spadají dle ČSN 73 6133 do třídy F8 CV – jíly s velmi vysokou plasticitou. U tohoto typu soudržné zeminy lze předběžně predikovat při styku s vodou její bobtnání a působení bobtnacího tlaku.

Nejstarší předkvartérní podklad oblasti, především v úseku plánovaného tunelu, je tvořen horninami brněnského masívu – převážně granodiority – v různém stupni porušení a to jak alterací. Na povrchu jsou zcela zvětralé až rozvětralé, níže pak navětralé, do hloubky se jejich únosnost zvyšuje.



Rozložené granodiority brněnské vyvěřeliny jsou zařazeny do **Gtypu 6** a tvoří eluvium těchto hornin charakteru uhlých hrubě až středně zrnitých hlinitých písků. Dle klasifikace ČSN 736133 spadají do třídy G3 G-F, podle pevnosti horninového materiálu pak byly dle ČSN 73 6133 zařazeny do tř. R6.

Obr. 5.1.6 Obalové křivky GT6

**Gtypy 7 – 9** jsou popisovány v kapitole 6 Geotechnické vlastnosti hornin horninového masívu.

Pro stanovení geotechnických vlastností zemin bylo z vrtů odebráno celkem 29 neporušených vzorků (tř. 2 dle ČSN EN 1997-1), 21 vzorků porušených (tř.3) a 2 vzorky technologické (tř. 4). Odebrané vzorky byly v akreditovaných laboratořích mechaniky zemin podrobeny analýzám ke zjištění jejich fyzikálních a mechanických vlastností. Obdržené hodnoty byly dále statisticky zpracovány.

Výsledky jednotlivých zkoušek uvádí příloha č. 6.1, v níž jsou výsledné hodnoty sestaveny do tabulek výsledků zkoušek a grafů. Tato příloha dále obsahuje metodiku zkoušek, odpovídající označení ČSN, podle které byla daná zkouška provedena a jejich vyhodnocení – opět v tabelární formě a grafech.

V laboratořích mechaniky zemin se uskutečnily tyto zkoušky:

- stanovení vlhkosti zemin,
- stanovení zrnitosti zemin,
- stanovení konzistenčních mezí,
- stanovení objemové hmotnosti zemin,
- stanovení zdánlivé hustoty pevných částic zemin pomocí pyknometru,
- stanovení pórovitosti,
- stanovení stupně nasycení,
- stanovení stlačitelnosti zemin v edometru,
- stanovení prosedavosti,
- stanovení propustnosti,
- laboratorní stanovení zhutnitelnosti zemin (Proctor-Standard),
- laboratorní stanovení okamžitého indexu únosnosti (IBI),
- laboratorní stanovení kalifornského poměru únosnosti (CBR).

Výsledky laboratorních zkoušek byly zhodnocovány tak, aby je bylo možno po statistickém zpracování použít jako vstupní údaje do geotechnických výpočtů. Při posuzování geotechnických charakteristik zemin jsou zvažovány průměrné hodnoty příslušného geotechnického typu, a to pro celou trasu. V případě malého počtu laboratorních zkoušek byly

hodnoty definovány na základě odborného odhadu s přihlédnutím k jejich charakteristickým hodnotám.

Charakteristické hodnoty geotechnických vlastností zemin v přirozeném uložení uvádí dále v textu tabulka č. 5.2. Pro využitelnost zemin jako konstrukčních materiálů zemní pláne tramvajové trati byla v rámci předběžného průzkumu zjišťována hodnota CBR po jejich zhutnění energií Proctor-Standard (PS) na hodnotu maximální objemové hmotnosti při optimální vlhkosti na 6 vzorcích. Výsledky (PS) jsou uvedeny v tabulce č. 5.2.1. Hodnoty, jež nejsou označené \* představují v uvedených tabulkách aritmetický průměr laboratorních výsledků pro daný Gtyp.

V geologické dokumentaci vrtů je též uvedeno zatřídění do tříd těžitelnosti dle ČSN 73 6133. Tato těžitelnost byla určována jednak na základě laboratorních rozborů odebraných vzorků a ulehlosti zemin zjišťované při vrtných pracích geologem a jednak na základě seismických měření. Těžitelnost zastižených zemin na lokalitě odpovídá tř. I. Pro orientaci uvádíme i zatřídění dle již zrušené, ale stále projektanty hojně využívané normy ČSN 73 3050: těžitelnost GT1 (ornice) tř. 2, GT2 (hlíny a jíly) tř. 2-3, GT3 (šterky) tř. 3, GT3 (šterky s balvanitými valouny) tř. 4, GT4 (hlinité a jílovité písky a šterky) tř. 4.

Efektivní hodnoty  $c_{ef}$  a  $\varphi_{ef}$  byly stanoveny na základě vyhodnocení laboratorních zkoušek (krabicových smyků) na sedmi vzorcích zemin, odebraných ve fázi předběžného průzkumu rovnoměrně v trase stavby.



Tabulka 5.1.2 Geotechnické charakteristiky jednotlivých G-typů zemin

GEOTECHNICKÉ CHARAKTERISTIKY ZEMIN										
Geotechnický parametr	1		2		3a		3b	4	5	6
Převládající hodnota dle ČSN 73 5113	G <sub>0</sub> GFV, kPa	F <sub>0</sub> CT, F <sub>0</sub> CSY	F <sub>0</sub> CT	F <sub>0</sub> CS	F <sub>0</sub> CH	F <sub>0</sub> CV	S <sub>0</sub> SML, %			R <sub>0</sub> G <sub>0</sub> C-F
parametr	zeminy nesoudržné		zeminy soudržné		zeminy soudržné		zeminy nesoudržné	zeminy nesoudržné		
charakter zemin	zeminy nesoudržné	zeminy soudržné	hliny jílovité se střední plasticitou, tuhé konzistence, místy s klastickou příměsí	hliny jílovité se střední plasticitou, tuhé konzistence, místy s klastickou příměsí	hliny jílovité se střední plasticitou, tuhé konzistence, místy s klastickou příměsí	hliny jílovité se střední plasticitou, tuhé konzistence, místy s klastickou příměsí	hliny jílovité se střední plasticitou, tuhé konzistence, místy s klastickou příměsí	hliny jílovité se střední plasticitou, tuhé konzistence, místy s klastickou příměsí	hliny jílovité se střední plasticitou, tuhé konzistence, místy s klastickou příměsí	hliny jílovité se střední plasticitou, tuhé konzistence, místy s klastickou příměsí
základní popis zemin, výskyt	pouze lokální výskyt v malých mocnostech, pouze ve vrtech J3, J4 a J19 mocnost 1,2 - 3,6 m									
vlhkost zemin	w	%	5,2	18,5	22,2	18,5	22,2	13,4	24,5	25,1
mez teploty	w <sub>L</sub>	%	-	42	42	40	48	48	68	76
mez plasticity	w <sub>P</sub>	%	-	20	19	20	22	16	23	23
index plasticity	I <sub>P</sub>	%	-	22	24	21	26	31	48	49
stup. konzist. reduk.	I <sub>CR</sub>	1	-	1,04	0,83	1,00	0,65	1,12	0,92	0,96
propust. kv. změř.	k	m.s <sup>-1</sup>	1,50E-03	<3,0E-8	<3,0E-8	<3,0E-8	<3,0E-8	<3,0E-8	<3,0E-8	<3,0E-8
objemová hmotnost	ρ	Mg.m <sup>-3</sup>	2000*	1940	2010	1990	2000	1800	2002	1990
obj.hmot.suché zem.	ρ <sub>d</sub>	Mg.m <sup>-3</sup>	-	1640	1630	1710	1690	-	1620	1580
hustota prev. částic	ρ <sub>s</sub>	Mg.m <sup>-3</sup>	-	2740	2710	2720	2690	-	2720	2730
pórovitost	n	%	-	40	40	39	37	-	40	42
stupen nasycení	S <sub>r</sub>	%	-	75	93	81	100	-	94	94
TOTÁLNÍ parametry dle ČSN 72 1031	c <sub>u</sub>	kPa	-	-	60	-	0*	-	58	0*
	φ <sub>u</sub>	°	-	-	13	-	40*	-	25	50*
EFEKTIVNÍ parametry dle ČSN	c <sub>d</sub>	kPa	5*	15*	15	20*	18*	4*	8*	20*
CEN ISO TS 17892-10	φ <sub>d</sub>	°	30*	20*	22	27*	21*	30*	17*	21*
Modul přetvárnosti	E <sub>def</sub>	MPa	5-10*	4*	5	6	4*	60*	5*	7*
Poissonovo číslo	ν		0,30*	35*	0,40*	0,40*	0,35*	0,30*	0,42*	0,25*
souč. konsolidace	c <sub>v</sub>	mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>	-	1,1E-03	6,0E-02	5,0E-02	-	-	-	-
zhutitelnost dle ČSN EN 13286-2, příl. NB	ρ <sub>lim</sub>	kg.m <sup>-3</sup>	-	-	1800	1751	-	-	-	-
	w <sub>opt</sub>	%	-	-	16	17	-	-	-	-
CBR dle ČSN EN 13286-47 po nasycení	2,5 mm	%	-	-	4	4	-	-	-	-
	5 mm	%	-	-	4	4,5	-	-	-	-
Poznámka: *odborný odhad										

## 5.2 Úprava zemin

Dle projektu průzkumných prací bylo provedeno hodnocení zastižených zemin z hlediska jejich vhodnosti pro podloží násypů a aktivní zóny. Byla provedena jedna zkouška na chemickou úpravu zemin pomocí pojiv z vybraného vzorku. Hodnocení je realizované v souladu s následujícími souvisejícími normami a předpisy:

- ČSN 73 6133 – Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací (včetně norem souvisejících)
- ČSN 72 1006 – Kontrola zhutnění zemin a sypanin
- TP 94 – Úprava zemin – Technické podmínky (s účinností od 1. listopadu 2013)

Zkouška byla provedena na vzorku z vrtu J20, z hl. 0,7 m, zařazený dle ČSN 73 6133 jako F6 CI. Jedná se o úpravu jemnozrnných soudržných zemin hlinitého charakteru s proměnlivým klastickým podílem, které v přirozeném uložení nesplňují normové požadavky a je nezbytné upravit jejich pevnostní a deformační charakteristiky a též snížit stupeň jejich namrzavosti.

ČSN 73 6133 uvádí v tabulce 8 (str. 49) požadované hodnoty poměru únosnosti (CBR) upravené zeminy v podloží násypu, v jeho tělese i aktivní zóně. Tyto hodnoty jemnozrnné zeminy geotechnického typu GT2 třídy F6 CI nesplňují, nebo poskytují hodnoty, blízké hodnotě kritické tj. 15 % CBR. Tyto zeminy jsou i vysoce citlivé na zvýšení vlhkosti, která způsobuje další pokles hodnot CBR. Z výsledků uvedených v tabulce geotechnických charakteristik výše v textu uvedené tabulky 5.1.4-2 Zhutnitelnost dle Proctor-Standard a CBR je patrné, že materiály zemin GT2 bez následného zlepšení vápnem či jiným pojivem normativním požadavkům CBR nevyhovují.

Tab. 5.2.1 Zhutnitelnost dle Proctor-Standard, hodnoty CBR

GT typ			GT2*	GT2*	GT 3b	GT6
				2% CaO		
<b>Zhutnitelnost Proctor-Standard</b>						
max. objemová hmotnost sušiny	$\rho_{dmax}$	kg.m <sup>-3</sup>	1751	1685	2099	2049
optimální vlhkost	$w_{opt}$	%	17	18,8	10,1	9,0
<b>CBR dle ČSN EN 13286-47</b>						
2,5 mm		%	12	26	19	19
5,0 mm		%	12	25	24	24
<b>CBR se sycením dle ČSN EN 13286-47</b>						
2,5 mm		%	4,0	44	21	21
5,0 mm		%	4,5	37	26	26

\* zkouška s 2% - analyzován 1 vzorek z vrtu J-20, hloubka 0,7 m

Přidáním 2 % vápna k zeminám geotypu GT2 dochází k významnému zvýšení hodnot CBR. Úprava vápnem též výrazně sníží namrzavost jemnozrnných zemin.



V rámci další etapy průzkumu doporučujeme laboratorně ověřit způsob zlepšení zeminy G typu 2 na větším počtu vzorků. V průběhu zemních prací bude třeba kontrolně odebírat vzorky zlepšené zeminy ke kontrolním analýzám míry zhutnění.

Materiály ze zemin GT6 (G3 G-F) již z podstaty vhodnosti do podloží splňují dle tabulky 5.2.1 normové hodnoty a CBR pro podloží násypů, násyp či aktivní zónu bezezbytku s dostatečnou rezervou. Lze je ponechat i v aktivní zóně komunikace. Pouze je nutné provést přehutnění jejich odkrytého povrchu ( $I_D = 0,75$  pro šterky a hrubozrnné sypaniny). To si vyžádá sledování vlhkosti a případné opatření v podobě proschnutí pláně a následné přehutnění před budováním konstrukční vrstvy tramvajového tělesa.

V následující tabulce 5.2.2 je uveden informativní přehled jednotlivých vyčleněných geotechnických typů a jejich odhadovaná použitelnost pro aktivní zónu, podloží násypu, technologickou vrstvu násypu a typ podloží komunikace.

Tab. 5.2.2 Přehled použitelnosti jednotlivých geotechnických typů

Geotechnický typ	stavba zemního tělesa		typ podloží	Poznámka
	aktivní zóna	násyp		
<b>GT2</b>	<b>N</b>	<b>PV</b>	<b>PIII</b>	po zlepšení zeminy v aktivní zóně lze uvažovat typ podloží PII
<b>GT3a</b>	<b>PV</b>	<b>PV</b>	<b>PII</b>	
<b>GT3b</b>	<b>PV</b>	<b>PV</b>	<b>PII</b>	
<b>GT4</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>PII-PIII</b>	proměnlivé složení, místy obtížná upravitelnost
<b>GT5</b>	<b>N</b>	<b>N</b>	<b>-</b>	dle velmi vysoké plasticity velmi obtížné zpracování, hospodárnější a efektivnější je náhrada v aktivní zóně zeminou vhodnou
<b>GT6</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	<b>PII</b>	
<b>GT7</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	<b>PI</b>	je nutné počítat místy s obtížnou rozpojitelostí (tř. II-III)
<b>GT8</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	<b>PII</b>	
<b>GT9</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	<b>PI</b>	je nutné počítat místy s obtížnou rozpojitelostí (tř. II-III)

#### Vysvětlivky

N ... zemina nevhodná k přímému použití bez úpravy

PV ... zemina podmíněčně vhodná k přímému použití bez úpravy

V ... zemina vhodná k přímému použití bez úpravy

(dle tabulky 1 ČSN 73 6133)

PI – PIII ... typy podloží vozovky (dle tabulky A.4 TP 170 – Navrhování vozovek pozemních komunikací)

Proměnlivost geologické stavby v zářezech a podloží násypů bude vyžadovat velmi podrobný geotechnický sled. Kromě výše uvedeného požadavku na odběr dostatečně velkých vzorků zemín (což vrtné jádro nesplňuje) je nutné uvažovat i s provedením jedné či dvou hutnicích zkoušek pro ověření přetvárných a pružnostech charakteristik pro verifikaci typu podloží.

### 5.3 Charakteristika hladiny podzemní vody

V území, kde podloží zdokumentované současným průzkumem tvoří terciární jíly, byla hladina podzemní vody v zeminách zastížena v hloubce 5,8 – 9,0 m pod povrchem terénu, tj. vyskytuje se v oblasti písčitých jílu a jílovitých písků zařazenými do Gtypu 4 a 3b. Hladina podzemní vody je mírně napjatá. Jedná se spíše o nepatrnou akumulaci podzemní vody než o zvodnění, kdy se srážková voda zasakuje přes slabě propustné sedimenty a na kontaktu s méně propustnými sedimenty se tak vytváří nepatrná akumulace podzemní vody. Tato podzemní voda pak odtéká ve směru úklonu nepropustného podloží k nejbližšímu povrchovému toku. Z hydrogeologického hlediska jsou jíly považovány za stropní izolátor, který chrání hlouběji uložená zvodnění před antropogenními vlivy. Písky a šterkopísky pak představují kolektor, na nějž je vázána podzemní voda. Jde o průlinově propustné sedimenty. Díky nadložním jílům, bývá často hladina podzemní vody negativně napjatá.

Hladina podzemní vody se v oblasti horninového masivu vyskytuje jako puklinový kolektor s proměnlivým podílem průlinové porózy v pásmu přípovrchového rozpukání a rozpojení hornin. Oběh podzemních vod probíhá převážně v tomto přípovrchovém pásmu. Hlubší oběh je možné očekávat u tektonicky porušeného brněnského masivu především v dosahu propustnějších poruchových zón.

V rámci posouzení agresivity podzemní vody na betonové konstrukce byly odebrány vzorky podzemní vody. Odběr byly provedeny přítomným vrtmistrem a analyzovány v hydrochemických laboratořích GEOTestu, a.s. (zkušební laboratoř č. 1270 akreditovaná ČIA) v požadovaném rozsahu (rozbory vody k posouzení pro stavební účely). Výsledky rozborů a posouzení chemického působení vody na beton, včetně zařazení podle normy ČSN EN 206-1, jsou uvedeny v příloze č. 6.3 této zprávy a shrnuty v následující tabulce č. 5.3.

Provedeným chemickým rozбором vzorku podzemní vody bylo zjištěno, že z hlediska chemického působení vody na beton se v zájmovém prostoru vyskytuje slabě agresivní chemické prostředí (XA1) podle tabulky č. 2 ČSN EN 206-1, z hlediska chemického působení vody na ocel dle ČSN 03 8375 je agresivita velmi vysoká (IV).

Tabulka č. 5.3 Chemické rozborů vody

Sonda	Agresivita prostředí z hlediska chemického působení vody na beton	Agresivita prostředí z hlediska chemického působení vody na ocel
J2, J4, J10, J14, J15 J17, J17a, HV18, J19, J20, J21, J22	slabě agresivní chemické prostředí (XA1)	velmi vysoká (IV.)

Pro betonové konstrukce mostních objektů je nutné dodržet požadavky na kvalitu a trvanlivost betonu dle ČSN EN 206-1/Z3, tabulky NA.F.1 - Mezní hodnoty pro složení a vlastnosti betonu platné v ČR (předpokládána životnost 50 let) a je taktéž nutné dodržet výběr cementu pro beton podle tabulky F.4 pro daný stupeň XA1 chemicky agresivního prostředí.

## 6. Geotechnické vlastnosti hornin a horninového masívu

Geotechnické vlastnosti granodioritu, horninového masívu, v němž má být vyražen tramvajový tunel, byly zjišťovány jednak geologickou dokumentací, geofyzikálním průzkumem a jednak laboratorními zkouškami vzorků z jader vrtů vertikálně hloubených.

Granodiority jsou svrchu postiženy procesy zvětrávání v různé intenzitě a proměnlivého hloubkového zastoupení a pozvolných vzájemných přechodů. V zásadě lze vyčlenit zónu intenzivního přípovrchového zvětrávání a zónu méně intenzivně zvětralou.

### Zóna intenzivního zvětrávání granodioritů - Gtyp 6

V rámci tohoto Gtypu byly zdokumentovány **granodiority** s různou mírou zvětrání. Jedná se jednak o eluvium granodioritu třídy **R6**, která má charakter štěrku s příměsí jemnozrnné zeminy a písek se štěrkem zatříděné dle ČSN 73 6133 jako **G3 G-F**. Uvedený typ horniny má zachovanou kostru, avšak převážná část minerálů je zcela rozložená - alterovaná.

Dále zde vyčleňujeme **granodiority s menší mírou zvětrání třídy R5 až R4**.

Báze eluvia granodioritů Gtypu 6 s různou mírou zvětrání je ve vyšetřované trase výrazně zvlněné.

### Zóna méně zvětralých granodioritů Gtyp 7

Tato zóna se nachází níže od hloubek uvedených v předchozí tabulce. Jedná se o **granodiority** (v oblasti sondy J12 i intruze metabazaltů) **silně zvětralé (R4)**, **granodiority mírně zvětralé (R3)** a **granodiority zvětralé (R2)**, spolu s přechodovými typy hornin **mírně až silně zvětralých (R3-R4)** a **zvětralých až mírně zvětralých (R2-R3)**. Převažujícím typem hornin jsou granodiority (metabazalty) **mírně zvětralé (R3)** – viz petrografický popis sond.

**Z petrografického hlediska** se jedná o magmatickou horninu označenou jako **syenogranit** s hrubě zrnitou strukturou, s variabilním poměrem živců a křemene, výrazně tektonicky a hydrotermálně přeměněné. Obsahují mylonitizované a kataklazované partie. Hornina i pukliny jsou sekundárně mineralizované (minerály epidotové skupiny, sericit, chlority a karbonáty, na některých lze rozpoznat jílové minerály, křemen a albit).

Pevnost v prostém tlaku byla zkoušena na horninových vzorcích po jejich nasycení – viz přehled výsledků pevnostních rozborů vzorků tabelárně zpracovaných v listech 2 – 8 v příloze 6.2. (Orientačně byla stanovena pevnost v prostém tlaku na vysušeném vzorku odebraném ve vrtu J9 z hl. 18,0-19,0 m, která vychází 75,5 MPa oproti pevnosti nasyceného vzorku 30,6 MPa. Znamená to, že po nasycení horniny klesá její pevnost v jednoosém tlaku více než o polovinu, což představuje rozdíl jedné pevnostní třídy).

Podle zatřídění hornin podle jejich pevnosti byla stanovena i jejich klasifikace v popisu sond, tj. je respektováno jejich nasycení, které více odpovídá jejich přírodním podmínkám. (Horniny se v mnohých případech při terénní klasifikaci jeví jako pevnější).

Podle ČSN 73 6133 jsou zkoušené vzorky zařazeny do tříd R2 – R5 na základě zjištěné pevnosti v tlaku. V následující tabulce 6.2 jsou sumárně uvedeny geotechnické vlastnosti zkoušených typů hornin.

### Zóna metabazaltů- Gtyp 8 a 9

V km 0,55 – 0,72 byly zastiženy efuzivní horniny, intenzivně hydrotermálně přeměněné vulkanické horniny (**metabazalty**). Horniny jsou barvy šedé, jemnozrnné, vrstevnaté provrášněné, na puklinách s povlaky limonitu a místy s vyhojením karbonátem. Při zkouškách pevnosti v prostém tlaku po jejich nasycení horniny klesá její pevnost v jednoosém tlaku více

než o polovinu, což představuje rozdíl jedné až dvou pevnostních tříd (vzorek hornin z vrtu J5 hloubky 17 – 21 m). Byly zastiženy zvětralé polohy zařazené dle ČSN 73 6133 do třídy R4 – R5. Tyto jsou zařazeny do **Gtypu 8**.

Metabazalty **Gtypu 9** jsou pevnější, navětralé až zdravé a jsou zařazené do tříd R2 – R3.

Tabulka 6.2 Geotechnické vlastnosti hornin

GEOTECHNICKÉ CHARAKTERISTIKY SKALNÍCH A POLOSKALNÍCH HORNIN														
Geotechnický typ	Hornina	pevnost horniny	rozpuštění	Geologické stáří/ jednotka	Třída - symbol ČSN 73 6133	Objemová hmotnost r [Mgm <sup>3</sup> ]	Modul deformace Edef [MPa]	Pevnos v prostém tlaku po vysušení [MPa]	Pevnos v prostém tlaku po nasycení [MPa]	součinitel změknutí [1]	fe <sup>f</sup> [°]**	cef [MPa]**	Poissonovo číslo n	Klasifikace těžitelnosti dle ČSN 736133, příloha D
7	granodiorit, diorit	pevná až středně pevná	střední	neoproterozoikum	R2 - R3	2700	1900*	75	35	0.45	50	100	0,21**	II-III
8	metabazalt***	měkká až velmi měkká	silné	devon	R4 - R5	2600	600	-	7	-	35	40	0,25	I
9		pevná až středně pevná	střední		R2 -R3	2800	890	10	33	0.30	38	40	0,21	II-III
Poznámky *Dle výsledků polních zkoušek v Brně Cacovicích pro silniční tunel, obor napětí 0,00 - 3,2 Mpa (Geotest, 1975) **Dle průzkumu pro tramvajový tunel v Brně Žabovřeskách (GEOtest, 2008) ***Dle průzkumu pro tramvajový tunel v Brně pod Špilberkem (GEOtest 1979) ****Odborný odhad														

## 7. Výsledky pedologického průzkumu

Trasa navrhovaného prodloužení tramvajové linky vede v intravilánu města s volnější zástavbou a parkovými plochami. Terén je mírně zvlněný, ve druhé půlce trasy je členitější, s průchodem přes menší vyvýšeninu a po ní úžlabím zalesněné rokle.

Původním geologickým substrátem na trase je granodiorit Brněnské vyvřeliny, ten se však zachoval v krátkém úseku vyvýšeného nezastavěného terénu, jinak je povrchová vrstva tvořena nepůvodními navezenými materiály.

V daných podmínkách se na trase nacházejí převážně uměle vytvořené půdy typu **antropozem**. Původní půdní profil zůstal pouze při průchodu přes terénní vyvýšeninu, kde se

nachází půdní typ **kambizem** v subtypu **modální**. Na konci trasy pak již probíhají stavební práce a došlo zde k odstranění půdního pokryvu.

Vlastnosti půd na trase jsou vzhledem k rozdílným podmínkám variabilní. Blíže jsou popsány v kapitole "charakteristika skrývkového materiálu" v příloze 8. Celkově se jedná o půdy nízké kvality a to jak u antropozemí, tak u kambizemí.

## 7.1 Humusový horizont

Kvalita materiálu humusového horizontu je variabilní, celkově však nízká. povrchový horizont je texturně převážně písčitohlinitý, má drobtovou až nevýraznou texturu, obsah organické hmoty je střední až nízký. U antropozemí došlo při rekultivacích k částečně i k nerovnoměrnému pokrytí terénu humusovým horizontem takže se v něm může nacházet příměs materiálu podloží, které je texturně velmi variabilní a má velmi nízký nebo žádný obsah organické hmoty. Skelet je pravidelně přítomen, většinou však pouze v příměsi nebo do 10% obsahu takže není faktorem, který by zásadně snižoval kvalitu humusového horizontu. V úseku kambizemí je humusový horizont mírně kvalitnější, zejména z důvodu vyššího obsahu organické hmoty, zrnitostně je lehčí, písčitohlinitý až hlinitopísčité s příměsí skeletu (šterku i kamení) částečně i antropogenního původu. Na celé ploše jsou přítomny zbytky stavebních materiálů i větší kusy betonu a armatur a plocha je porostlá keři, menšími stromy a buřínem. To bude snižovat případnou využitelnost materiálu humusového horizontu.

Mocnost skrývky humusového horizontu odpovídá mocnosti navážky zeminy u antropozemí a mocnosti humusového A horizontu u kambizemí. V celé délce trasy se pohybuje v rozmezí 15-20 cm, popř. není ke skrývce navrhován.

Mocnost skrývky humusového horizontu je navrhována tak, aby byly jeho zdroje maximálně využity. Přesto jsou přípustné přiměřené odchylky, zejména vzhledem k plynulým přechodům mezi okrsky skrývek (viz metodika práce).

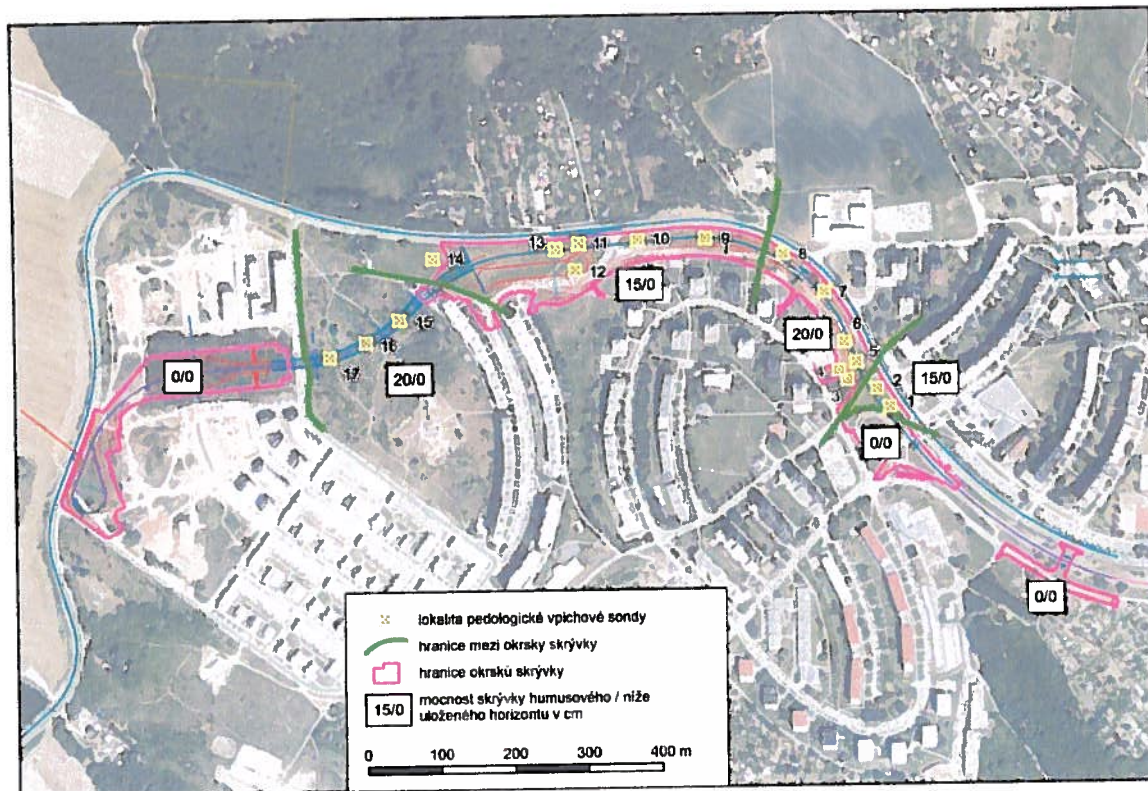
Při provádění skrývky je nutno zabezpečit, aby při shrnování nedošlo ve větším množství k přibírání níže uloženého horizontu. Taktéž nesmí být přibírán materiál příkopů, popř. krajnic v bezprostřední blízkosti komunikace.

Skrytou zeminu je možno ukládat na deponiích nebo převážet přímo na plochy k využití. Při ukládání na deponie je nutno zabezpečit deponie proti nadměrné erozi. Při uložení na deponii déle než 1 rok je třeba deponie zatravnit.

Při skrývání, manipulaci a ukládání skryté zeminy na deponie je nutno zabezpečit, aby nedošlo k její kontaminaci.

Pokud bude humusový horizont skrýván i v úseku kambizemí (kde podle projektu trasa prochází tunelem), je třeba dbát při skrývce na odstranění větších předmětů - zbytků stavebních materiálů, které se v povrchové vrstvě nacházejí.

Obr. 7.1.1 Vymezení okrsků skrývek



Agronomická hodnota materiálu humusového horizontu navrhovaného ke skrývce je nízká. Pro potřeby využitelnosti zemín k účelům zúrodnění půd odpovídá třídě D (tabulka tříd využitelnosti VÚMOP).

#### Podmínky využití

- V zásadě je materiál nevhodný pro účel zúrodnění zemědělsky využívaných půd, zejména v oblasti, kde okolní zemědělské půdy jsou relativně kvalitní. Vhodným způsobem využití skrytého materiálu humusového horizontu jsou rekultivace ploch ovlivněných stavebními úpravami v souvislosti s výstavbou tramvajové tratě. Pro tyto účely se doporučuje mocnost vrstvy 20-30 cm.
- V případech použití jako rekultivační vrstvy pro rekultivaci pozemků pro nezemědělské účely, např. rekultivace skládek (v souladu s ČSN 83 8035), parkové plochy, golfová hřiště apod. se doporučuje mocnost vrstvy pro ozelenění 20-30 cm, podle účelu a způsobu následné biologické rekultivace.
- O poměru a způsobu využití k uvedeným účelům by měl rozhodovat orgán ochrany ZPF.

## 7.2 Níže uložený, zúrodnění schopný horizont

Níže uložený horizont je v úseku antropozemí tvořen navážkovým materiálem původních níže uložených horizontů, bez obsahu organické hmoty. Jeho textura je variabilní, od lehké hlinitopísčité až lokálně i k jílovitohlinité. Podobného charakteru je i níže uložený horizont kambizemí, texturně je však stejnorodější hlinitopísčitý. Kvalita materiálu tohoto horizontu je nízká.



Vzhledem k popsaným vlastnostem není tento horizont ke skrývce navrhován.

Tento materiál není vhodný pro účel zúrodnění zemědělských půd ani pro účely rekultivací. Pokud bude odstraňován z technických důvodů, je možné jej využít jako podkladovou vrstvu při úpravách terénu při rekultivacích.

Zpráva ve své finální podobě spolu se situací s vymezením okrásků skrývek je uvedena v příloze č. 8

## 8. Výsledky hydrogeologického průzkumu

Cílem prováděného hydrogeologického průzkumu je ověření hydrogeologických poměrů v posuzovaném úseku, ale i v širším okolí. Na základě provedených průzkumných prací bylo potřeba:

- ověřit úrovně hladin podzemních vod,
- vyhodnotit hydrodynamické zkoušky na monitorovacích vrtech,
- zhodnotit vliv klimatických poměrů na hladinu podzemní vod,
- posoudit možnost likvidace srážkových vod z prostoru projektované trati.

Průzkumnými pracemi, které byly provedeny v rámci této etapy, byly ověřeny do km cca 0,7 a od cca 1,3 km do konce úseku kvartérní a neogenní jemnozrnné sedimenty plnící funkci izolátorů a nepravidelně se zastupující s polohami propustnějšími – písky a štěrky proměnlivě jílovitými či hlinitými plnící funkci kolektorů. Jde o sedimenty průlinově propustné s mírně napjatou hladinou podzemní vody.

V prostředním úseku od km cca 0,7 až 1,3 byla ověřena zóna rozvolnění a rozpojení hornin krystalinika. Podzemní voda je vázána na eluviální štěrkopísky průlinově propustné a na průlinovo-puklinově propustné zvětralé granitoidní horniny, ve kterých jsou pukliny vyplněny štěrkopísčítým materiálem.

Zvodnění jsou závislá na atmosférických srážkách, které infiltrují přes propustné vrstvy do větších hloubek krystalinika, příp. se zastaví na nepropustných neogenních jílech a odtékají ve směru jejich úklonu generelně k JV do karpatské předhlubně.

Obr. 8.1 měření hladiny podzemní vody ve vystrojeném vrtu HV13



Obr. 8.2 Fotodokumentace čerpací zkoušky



Směr proudění mělké podzemní vody je převážně konformně s terénem do dílčích depresí a odtud pak do nejbližších povrchových toků (Svratka, Vrbovec). Generelní směr proudění je pak k JV do karpatské předhlubně.

Vzhledem k tomu, že trasa povede převážně v zářezu do km cca 0,85 a pak v tunelu do km cca 1,1 – bude tak vedena pod hladinou podzemní vody. Je tedy nutné sledovat (monitorovat) hladinu podzemní vody v monitorovacích objektech a na vytipovaných stávajících vodních zdrojích – studnách, jestli nedochází vlivem stavby k poklesu hladiny podzemní vody či úplné ztrátě. Jelikož na vliv hladiny podzemní vody mají i srážky, teplota a výpar je nutné tyto zdroje a monitorovací objekty sledovat dlouhodobě - během další etapy průzkumu a samozřejmě i před započítáním stavby samotné, v jejím průběhu, ale i po ní.

V úseku od km cca 1,1 až do konce bude trasa vedena v lokální sníženině – depresi, tzv. privilegované cestě, kudy přednostně odtéká povrchová voda – srážková a mělká podzemní voda – v tomto úseku lze očekávat zvýšený přítok podzemní vody během výstavby. V této části je situován monitorovací vrt HV 18, u kterého byl zjištěn přítok 0,2 l/s.

Je nutné upozornit na zranitelnost podzemních vod v prostřední části úseku, kde vychází eluviální zvětraliny na povrch a chybí zde tak krycí nepropustná vrstva. Podzemní vody jsou zde tedy velice zranitelné na antropogenní znečištění. Je proto nutné v tomto úseku dbát zvýšené opatrnosti během budování stavby, ale i po jejím dokončení.

Na monitorovacích vrtech HV 8, HV 13 a HV 18 byly v rámci předběžné etapy provedeny hydrodynamické zkoušky v délce trvání 24 hodin za účelem zjištění přítoku (vydatnosti) podzemní vody do vrtů.

Nejvydatnějším vrtem je vrt HV 18, který se nachází v lokální depresi (sníženině), kterou přednostně odtékají srážkové vody a mělké podzemní vody (jde o tzv. privilegovanou cestu). Jde o úsek od cca km 1,1 až po konec trasy. Při čerpací zkoušce na vrtu HV 18 bylo zjištěno, že do vrtu přitéká cca 0,2 l/s, což je 17 280 l/24 h.

U vrtu HV 8 byla ověřena vydatnost pouze cca 75 l/24 h a u vrtu HV 13, který se nachází na nejvyšším místě trasy je vydatnost cca 15 l/24 h.

Vydatnosti jednotlivých vrtů se budou lišit na základě ročního období a s tím souvisejících srážkových úhrnů, teploty a výparu. Lze předpokládat, že vrty HV 13 a HV 8 budou v letních měsících suché.

V první polovině úseku a od km cca 1,3 do konce úseku bude trať vedena v kvartérních hlínách, které mají malou zasakovací schopnost. Při plošném zasakování srážkových vod je toto prostředí schopno určité množství vody pojmout. Je však nutné upozornit, že při napojení vodou, jsou kvartérní hlíny nestabilní a rozbřídavé.

Zbytek úseku je veden v eluviálních zvětralinách brněnského masívu, které mají charakter slabě až silně propustných štěrkopísků a jsou všeobecně vhodné k zasakování srážkových vod.

U málo propustných až nepropustných sedimentů je třeba zvážit variantu bodového zasakování pomocí vystrojených vrtů či studní, do poloh více propustných – tj. písků a štěrků (kvartérních, neogenních či eluviálních). Do těchto propustných poloh, i když budou zastiženy suché je nutné zasáknuté srážky z komunikace odvádět přes vhodné odlučovače ropných látek. U tohoto řešení bude docházet k zasakování vod z povrchu trati do hlubších geologických poloh a je tedy nutné stanovit (např. v dokumentaci EIA) požadavky na čištění těchto vod, aby nedocházelo k ohrožení čistoty podzemních vod.



Pro přesné informace o schopnosti zasakování srážkových vod z tělesa tramvajové trati do horninového prostředí, je nutné zhotovit dočasně vystrojené vrty, které je třeba na základě již zjištěných geologických podmínek situovat do vhodných míst z hlediska zásakových podmínek (eluvialní štěrkopísky bez zastižené HPV, štěrkovité polohy v rámci kvartéru či neogénu, ale i kvartérních hlín) a na nich provést vsakovací zkoušky – nálevové (tzv. slug test) pro zjištění koeficientu filtrace a koeficientu vsaku (dle ČSN 75 9010).

Na základě průzkumem zjištěného koeficientu vsaku a plochy odvodňovaného úseku lze potom navrhnout vhodný způsob vsakování srážek z plochy komunikace při zohlednění podmínek ochrany podzemních vod.

Souhrnná práva o hydrogeologickém průzkumu je uvedena v příloze 9.

## 9. Výsledky geofyzikálního průzkumu

Na lokalitě Brno-Kamechy byl proveden geofyzikální průzkum zejména za účelem upřesnění geologické stavby zájmového území. Průzkumné práce byly soustředěny do prostoru tunelu (profily P1 – P5) a mimo něj (profily PA – PC).

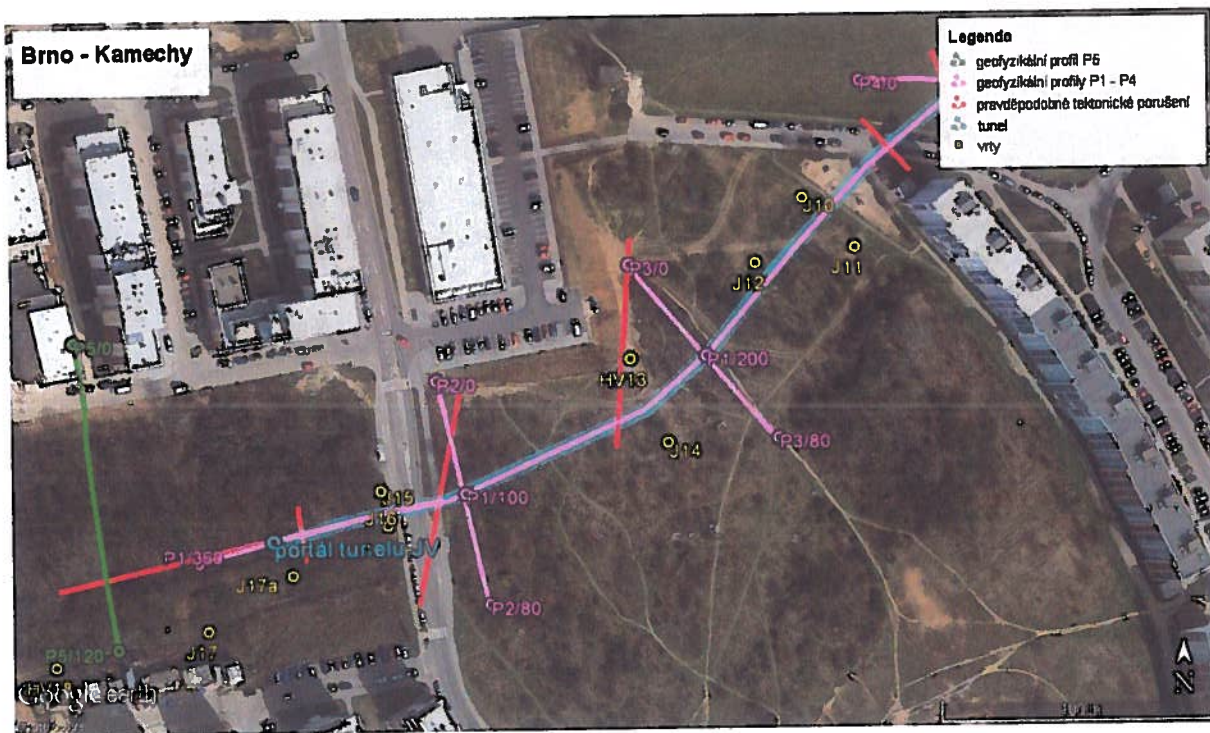
Zpráva, situace geofyzikální profilů a jednotlivé GF profily jsou uvedeny v Souhrnné geofyzikální zprávě v příloze 10. Znázornění GF profilů je patrné i v příloze 2 – Situace průzkumných sond. Součástí podélného řezu AA' a příčných řezů v oblasti tunelu interpretace geofyzikálních poznatků.

Průzkumné profily v prostoru tunelu viz obrázek 9.1 byly proměřeny komplexem geofyzikálních metod MRS, ERT a VES. Geofyzikálním průzkumem v oblasti tunelu bylo zjištěno, že zájmové území je budováno zejména vyvřelinami, s výjimkou prostoru kolem profilu P5, kde byly naopak jako dominantní identifikovány horniny zejména hlinité (jílovité) povahy. Dále bylo zjištěno, že zájmové území je postiženo tektonickou činností, projevující se lokální změnou fyzikálních vlastností postižených hornin. Rokle, výrazně ovlivňující morfologickou stavbu zájmového území od staničení cca 285 m je pravděpodobně reliktní působení exogenních činitelů v tektonicky porušeném území.

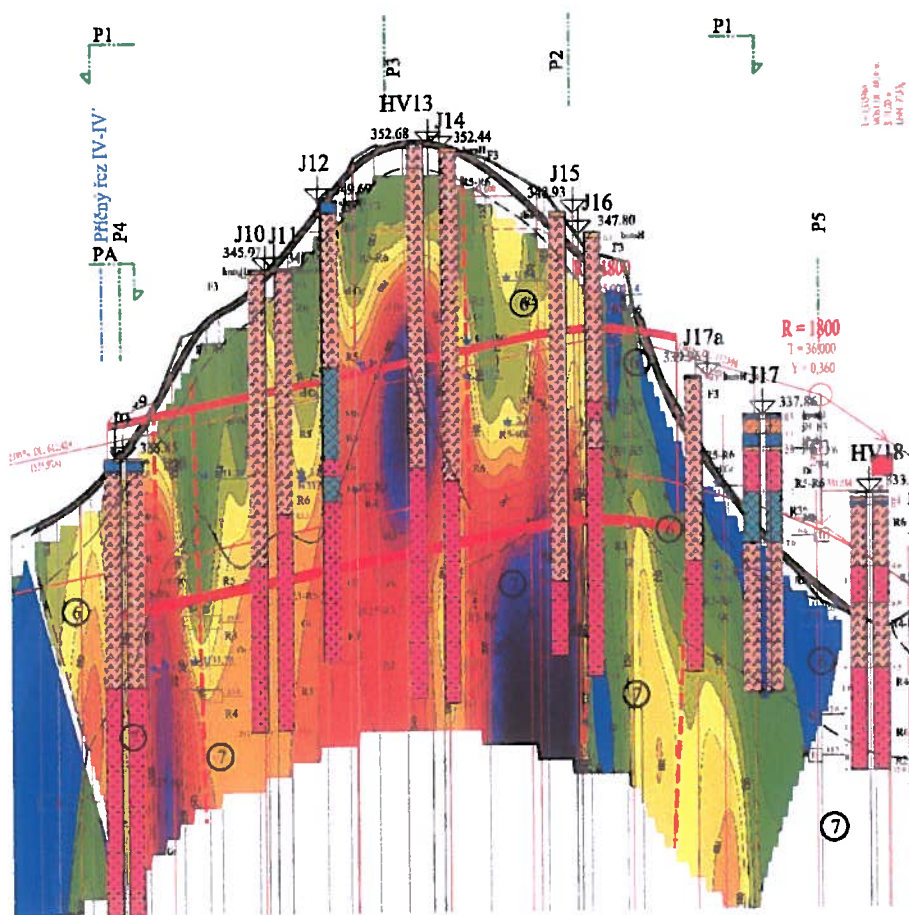
Mimo geologických aspektů horninového prostředí bylo zájmové území tunelu a nejbližšího okolí posuzováno také z hlediska těžitelnosti hornin. Posouzení bylo realizováno v souladu s normou ČSN 736133, tj. na základě seismických měření. Analýzou získaných údajů bylo zjištěno, že v zájmovém území se vyskytují dvě základní seismická rozhraní. První rozhraní odděluje seismické vrstvy A a B, tj. kvartérní pokryv s eluviem horninového podloží a zvětralé podloží. Obě seismické vrstvy se vyznačují poměrně nízkými rychlostmi (do maximálně 1400 m/s) a reprezentují třídu těžitelnosti I. Nejhlubší seismická vrstva C je charakterizována nejvyššími rychlostmi (nejčastěji přesahujícími 4000 m/s), což je charakteristika navětralých hornin, které bude nutno rozpojovat a těžit za použití speciální techniky – třída těžitelnosti II a v případě zdravých skalních hornin třída těžitelnosti III.

situaci „komplikuje“ přirozený morfologický prvek – rokle.

Obr. 9.1 Situace geofyzikálních měření nad tunelem s tektonickým schématem



Obrázek 9.2 – prostor tunelu z hlediska geologické dokumentace a geofyzikálního průzkumu



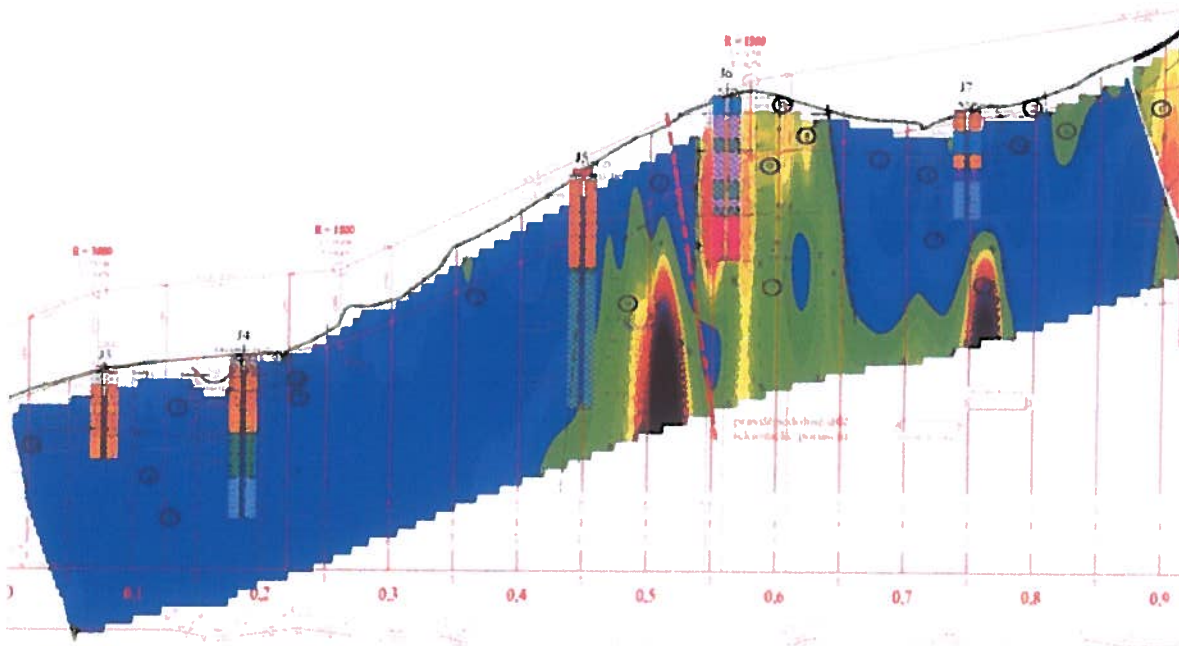


Prostor mimo tunel byl zkoumán průzkumnými profily PA až PC. Profily PA a PB byly lokalizovány do úseku od zastávky Ečerova po severovýchodní portál projektovaného tunelu. Účelem měření bylo zejména vymezit rozsah intruze metabazaltů, prorážející bazální komplex hlinitojílovitých hornin. Na obrázku 9.3 je přehledná situace umístění GFprofilu PA a PB, na obr. 9.4 je oblast GF profilu A doplněná o geologickou dokumentaci dané oblasti.

Obr. 9.3 Situace geofyzikálních profilů PA a PB

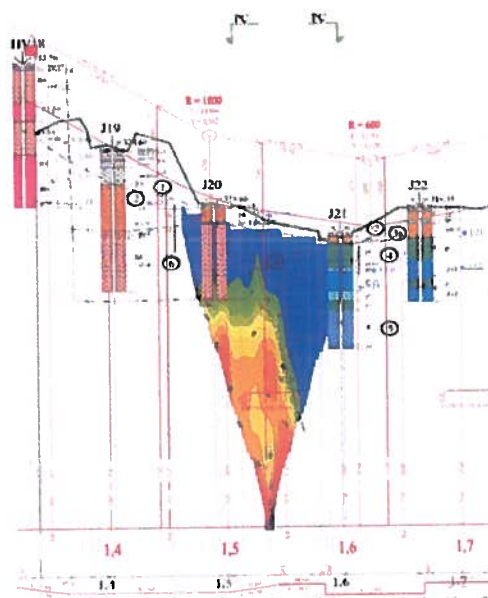


Obrázek 9.4 – Úsek GF A z hlediska geologické dokumentace a geofyzikálního průzkumu



.Průzkumný profil PC – viz obr. 9.3 byl lokalizován mezi vrty J20 a J21 (J22), kde měl objasnit „absenci“ skalního podloží ve vrtech J21 a J22. Geofyzikální průzkumné práce přinesly poznatek o změně sklonu rozhraní pokryv – skalní podloží, kdy od metráže cca 40 m přechází uvedené rozhraní od subhorizontálního v strmě ukloněné.

Obrázek 9.5 – Úsek GF C z hlediska geologické dokumentace a geofyzikálního průzkumu



Realizovanými geofyzikálními pracemi byly realizovány požadované informace o geologické stavbě zájmového území, a které pomohly identifikovat nedostatečně prozkoumaná místa pro další etapy průzkumu. První pozicí je prostor kolem severovýchodního portálu tramvajového úseku, kde je nutné detailně zmapovat kontakt mocného komplexu hlín (jílů) a granitoidů. Druhým úsekem je prostor kolem staničení cca 270 m profilu P1, kde se významně mění fyzikální obraz zájmového území, pravděpodobně v důsledku existence alespoň dvou zlomových systémů. Také doporučujeme identifikovat kontakt komplexu hlín a jílu, modelující zájmové území v prostoru profilu P5, s granodiority dominantními v prostoru projektovaného tunelu a zjistit prostorový průběh (resp. možný dopad na budoucí stavbu) fyzikální anomálie na profilu P5 ve staničení cca 20 – 40 m.

## 10. Korozní průzkum

Pro účely budoucí ochrany objektů před účinky bludných proudů byl na lokalitě Brno – Bystrc Kamechy realizován základní korozní průzkum. Souhrnná zpráva a situace jednotlivých korozních stanovišť jsou uvedeny v příloze 11. Terénní práce sestávaly z měření mezelektrodoových potenciálů (tzv. měření bludných proudů) a zjišťování měrného odporu horninového prostředí, kterým se zmíněné bludné proudy šíří.

Měření měrného odporu horninového prostředí bylo na všech stanovištích provedeno metodou VES (vertikální elektrické sondování). Metoda VES obecně umožňuje získat znalosti o rozložení měřené veličiny ve vertikálním směru, tj. specifikovat subhorizontální geoelektrická rozhraní.

Hodnocení korozního průzkumu probíhalo v souladu s ČSN 03 8375 „Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi“ a Technickými podmínkami TP 124 „Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací“.

Klasifikace území podle jednotlivých stanovišť je součástí kapitoly 3 v příloze 11 a bylo provedeno graficky. Vysvětlivky jsou vždy součástí klasifikací. Podle TP 124 je nezbytné pro každé stanoviště volit tzv. sací koeficient, který byl s ohledem na podmínky stanoven na hodnotu 5. Nejvyšší hodnoty mezielektrodoových potenciálů byly podle očekávání naměřeny na stanovišti BP1 lokalizovaném v blízkosti tramvajové trati, která je významným zdrojem bludných proudů.

Tabulka 10.1 Klasifikace stanovišť BP1 až BP10 podle hustoty bludných proudů  $J$  [mA/m<sup>2</sup>] a měrných odporů  $\rho$  [Ω/m] v souladu s ČSN 038372 s přihlédnutím k technickým podmínkám TP 124 Ministerstva dopravy a spojů.

Stanoviště	ČSN 038372 podle $J$ [mA/m <sup>2</sup> ]	ČSN 038372 podle $\rho$ [Ω/m]	TP 124
BP1	III	I - III	3 - 4
BP2	III	II, IV	3 - 4
BP3	III	III - IV	3 - 4
BP4	III	I - III	3 - 4
BP5	III	I - II	3
BP6	II	I	3
BP7	III	I - II	3
BP8	III	I, III	3
BP9	III	I - IV	3 - 4
BP10	III - IV	I, II, IV	3 - 4

Kde I – velmi nízká agresivita prostředí, II – střední, III – zvýšená, IV – velmi vysoká

1 – 5 – základní ochranná opatření

Z hlediska rozložení měrných odporů se agresivita prostředí mění v závislosti na pozicích jednotlivých stanovišť stejně tak jako na hloubce. Nejnižší stupeň agresivity byl identifikován na stanovištích BP5 a BP6, kde se jedná až na výjimku v úvodních hloubkových partiích BP5 výhradně o nízkou agresivitu prostředí. Dále pak ve směru k stanovišti BP10 agresivita narůstá, zejména v hloubkových intervalech cca 1 – 11 m, kde se mění od střední (stanoviště BP7) až po velmi vysokou (stanoviště BP10). V hlubších polohách je naopak většina měřičských stanovišť BP4 – BP10 charakterizována velmi nízkou agresivitou. Nejvyšším stupněm agresivity jsou pak postižena stanoviště BP2 a BP3, v menší míře pak BP1, kde byla identifikována velmi vysoká agresivita, pomineme-li úvodní partie, takřka v celém zkoumaném hloubkovém dosahu.

Z hlediska hustoty bludných proudů (podle ČSN 03 8375) je celé průzkumné území charakterizováno většinou jako území se zvýšenou agresivitou až na prostředí v okolí stanoviště BP7, které je charakterizováno střední agresivitou v celém rozsahu průzkumu a okolí stanoviště BP10, kde agresivita mění intenzitu mezi zvýšenou až velmi vysokou.

V případě hodnocení průzkumných území podle kritérií stanovených TP 124 bude v případě realizace staveb nezbytné aplikovat ochranná opatření nejčastěji stupně 3 až 4.

## 11. IG a HG poměry trasy prodloužení tramvajové trati, souvisejících objektů a tunelu

### 11.1 Prodloužení trasy tramvajové trati (cca km -0,200 až 1,736)

Návrh trasy dle Studie Ing. Bajera:

Trasa je až po stávající křižovatce Vejrostova – Teyschlova vedena souběžně s ul. Vejrostovou, kde se směrovým obloukem odklání do oblasti Kamechů. Trať prochází tunelem, který ústí na povrch ve „strži“ a dalším směrovým obloukem se přiklání k ul. Hostislavově, kde končí v nově navržené smyčce.

Délka trasy je 1936 m, staničení dle Studie cca v km -0,200 až 1,736.

Situace trasy v měřítku 1 : 2 000 je podána v příloze 2. Přehledné znázornění trasy a její geologická stavba jsou vedeny jednak v podélném profilu, který tvoří přílohu 3, a jednak v příčných řezech vytypovaných pro stabilitní výpočty a geofyzikální průzkum.

#### 11.1.1 Km 0,000 – 0,220

Trasa je v tomto úseku vedena po stávajícím terénu. Úsek je charakterizován vrtty J3 a J4. Přímé podloží je tvořeno do hloubky 1,1 – 1,3 m navážkou charakteru ulehleho štěrku hlinitopísčitého, jedná se o podsyp stávající tramvajové trati. Pod ní byla zastižena 6,7 až 6,1 m mocná vrstva jílovité hlíny třídy F6 CI. Hlína je rudohnědá tuhá, zařazená do GT2. Vrstva je nebezpečně namrzavá, nevhodná pro aktivní zónu zemního tramvajového tělesa vedené po terénu dle ČSN 73 6133. Pro použití do aktivní zóny je nutná její úprava, anebo náhrada zeminou vhodnou. Pod touto vrstvou byla zastižena vrstva jílu vysoce plastického, hnědá až šedozelená, pevná, GT 4 – 5. Tato vrstva se již v podloží trati neuplatní. Geotechnické parametry jsou uvedeny v tabulce 5.1.2.

Naražená hladina podzemní vody byla oběma vrtty zastižena v nadmořské výšce 295,1 m n.m., tj. 8,0 – 9,5 m pod úrovní stávajícího terénu. Ustálená hladina byla zastižena v nadmořské výšce 293 m. Jedná se o difuzní vodní režim.

Doporučujeme přehutnění štěrkového lože a ověření je deformačních charakteristik zatěžovacím zkouškami.

#### 11.1.2 Zářez km 0,220 – 0,650

Hloubka zářezu se ve směru staničení zvyšuje až na hloubku 5,4 m. Zářez navrhované trasy tramvaje je veden převážně v souvrství jílovitých hlín (jíly se střední plasticitou třídy F6 symbolu CI, geotyp GT2) kromě km 0,550 – 0,650, kde se nachází intruze metabazaltového tělesa s podřízenými rulovými vložkami (geotypy GT8 a 9). Zářez je charakterizován vrtty J5 a J6. Informace o geologické podloží byly doplněny geofyzikálním průzkum (GF profil A a B).

Do km 0,550 je trať vedena v zářezu tvořeném hlínou jílovitou, zařazenou do Gtypu 2, konzistence pevné (geotechnické parametry jsou uvedeny v tabulce 5.1.2.). V zeminách charakteru jílovitých hlín byly stabilitním výpočtem (tabulka 4.5.1) stanoveny stupně bezpečnosti svahů se sklonem 1:2. Stabilitní výpočty tvoří přílohu 7. Předkvartérní podloží tvoří neogenní sedimenty jílového charakteru (GT4 a5) a metabazalty (GT9).

Do tělesa zářezu nezasáhnou. Hladina podzemní vody nebyla předmětnými vrty ověřena. Vodní režim v zářezu bude difuzní.

V podrobné etapě doporučujeme doplnění vrtných děl v úseku a vzorkování zemin s ověřením možností jejich zlepšení pro použití do násypu příp. do aktivní zóny,

**Ve staničení 0,550 – 0,650** bude těleso zářezu tvořeno metabazalem s podřízenými vložkami rul a v horní části pak hlinitopísčitémi zeminami, které jsou produktem zvětrání plášťových rulových hornin. Dle hloubky výskytu jsou horniny řazeny do geotypů GT3b, GT8, GT9 a GT7. Stabilitním výpočtem je navržen stabilní sklon zářezu lomený, v horní části (v kvartérních zeminách a eluviích) 1:1,5 a ve skalní hornině typu R3 ve spodní části zářezu 2:1 (viz příloha 7).

Podzemní voda se v zářezu nebude vyskytovat a vodní režim bude difuzní. V podrobné etapě doporučujeme ověření úseku jedním vrtem vzhledem ke značně komplikované geologické a tektonické stavbě a provést doplňující výpočet stability svahů hlubokého zářezu metodou konečných prvků.

### 11.1.3 Km 0,650 k portálu v km 0,913

V počáteční a střední části úseku se vyskytují ve svazích a v podloží kvartérní sedimenty – jílovité (GT2) a písčité hlíny (GT3a). Geotechnické parametry jsou uvedeny v tabulce 5.1.2. Tramvajová trať bude vedena v mělkém zářezu, jehož hloubka se bude zvyšovat, v koncové části dosáhne až 6,4 m. Tato část bude vyhloubena v eluviích granodioritu geotypu GT6. Svahy budou stabilní ve sklonu 1:1,5.

Hladina podzemní vody se nachází pode dnem zářezu. Vodní režim bude difuzní. V podrobné etapě doporučujeme doověření oblasti jedním vrtem.

### 11.1.4 Tramvajový tunel (cca km 0,913 – 1,223)

Podle studie Ing. Jiřího Bajera (situace v měřítku 2: 000, z roku 2013) je tramvajový tunel navržen v začátku zhruba v pomyslném prodloužení ulice Teyschlova (východní portál), s ukončením pod ulicí Říčanská (západní portál) v místě erozní rýhy mezi stávajícími obytnými bloky. Je veden ve dvojitém směrovém zakřivení. Tunel podchází terénní elevaci u stávajícího prodejního střediska „Albert“, tj. mezi výškami současného terénu 335,85 m n.m. (východní portál), 352,68 m n.m. (vrchol elevace) a 347,8 m n.m. (terén nad ul. Říčanská před západním portálem). Dle odečtu z mapového podkladu má mít délku 310 m (ve staničení cca km 0,913 – 1,223).

Pro trasu tunelu bylo provedeno 8 průzkumných sond, uspořádaných do podélného řezu (příloha 3) a do tří řezů příčných (příloha 4.2.1 – 4.2.3) – viz situace sond v příloze č.2.

Jedná se o následující vrty (tab. 11.1.4.1):

Číslo vrtu	Hloubka (m)	Staničení (km)	Poznámka	Číslo vrtu	Hloubka (m)	Staničení (km)	Poznámka
J9	30	0,923.55 v ose	Příčný profil	HV13	30	1,090.82 vpravo	Příčný profil
J10	25	1,002.03 vpravo		J14	30	1,097.35 vlevo	
J11	25	1,006.93 vlevo		J15	24	1,169.38 vpravo	Příčný profil
J12	25	1,030.60 v ose		J16	24	1,172.24 vlevo	

Poznámka: HV13 – vrt pozorovací pro sled režimu hladiny podzemní vody.



### 11.1.4.1 Inženýrsko-geologické poměry v trase tunelu

Na geologické stavbě území se podílí zeminy náležející kvartéru a neoproterozoika. Charakteristické pro tuto oblast je tektonické postižení a silná alterace granitoidních hornin brněnského masívu zasahující do značných hloubek a tvořící tak významnou část tělesa uvažovaného tunelového díla.

#### Kvartér

Kvartérní pokryv je zcela bezvýznamný. Je zde zastoupena svrchní pokryvná vrstva **hlíny písčité humózní** (symbol **F3 MS**, geotechnický typ 3a.), s občasnými úlomky podložních hornin, tuhé a pevné konzistence. Její mocnost činí 0,1 – 0,3 m, přičemž na vrcholu terénní elevace v oblasti vrtu HV13 místy i chybí. Jsou zde zastoupeny i přípovrchové polohy **písku hlinitého** se obsahem šterkových zrn podložních hornin (**S4 SM**, geotechnický typ 3b). Geneticky se jedná o produkt intenzivního zvětrávání granodioritů (bez horninové struktury), zasahující místy jen do hloubky 0,7 m pod povrchem a tvoří vrstvu 0,6 m mocnou.

Do kvartérního pokryvu náleží dále i občasné skládky **antropogenních navážek** jako pozůstatek z bývalé stavební činnosti na sídlišti. Jedná se o různé povrchové akumulace zbytků betonových stavebních dílců (kusy betonových panelů, skruží atd.), zarůstající vegetací.

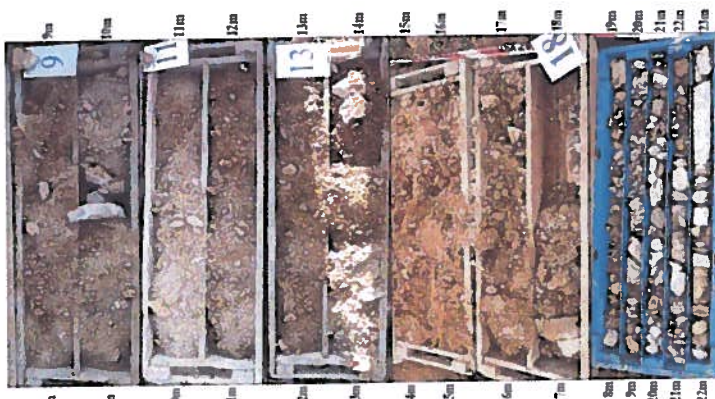
#### Neoproterozoikum

Neoproterozoikum představují především hrubozrnné biotitické granodiority, zastižené všemi průzkumnými vrtly. Jsou svrchu postiženy procesy zvětrávání v různé intenzitě a proměnlivého hloubkového zastoupení a pozvolných vzájemných přechodů. V zásadě lze vyčlenit zónu intenzivního přípovrchového zvětrávání a zónu méně intenzivně zvětralou.

**a) Zóna intenzivního zvětrávání** Z hlediska ČSN 73 6133 (zařazení hornin podle pevnosti materiálu) se v této zóně se nacházejí **granodiority rozvětralé** (GT6) v eluvium nabývající charakteru zemin (**R6 – G3 G-F** šterk s příměsí jemnozrnné zeminy, případně **R6 – F3 FM** hlína písčitá). Jsou vyvinuty buď při povrchu v polohách mocnosti 0,8 – 2,1 m zasahující do hloubek 1,0 až 2,8 m pod terén, nebo se nachází ve spodní části této zóny a v oblastech blíže výskytu hladiny podzemní vody.

Dále zde vyčleňujeme **granodiority zcela zvětralé** (**R5**) a přechodové typy granodioritů z hlediska stupně zvětrávání (tj. granodiority **zcela zvětralé až rozvětralé** (**R5 – R6**) a **granodiority silně zvětralé až zcela zvětralé** (**R4 – R5**)). Uvedené typy hornin mají zachovalou kostru, avšak převážná část minerálů je zcela rozložená - alterovaná.

*(Praktické poznatky: Vrtné jádro bylo přivrtání porušeno v hrubý písek až šterk s kusy původní horniny v různém zastoupení – viz fotodokumentace a obr.11.1.4.1.1. (ukázka části vrtného jádra vrtu HV13). Přechod do podložních hornin s menší intenzitou zvětrávání si vynutil i změnu technologie hloubení pomocí diamantové korunky za použití vodního výplachu).*



Hloubkové rozhraní uvedených horninových typů je z hlediska vertikálního dosahu poměrně proměnlivé. Podle provedených sond se nalézají v těchto hloubkových úrovních:

Tabulka č.11.1.4.1.1 Úroveň báze granodioritu GT6

Sonda	Hloubka (m)	Kóta (m n.m.)	Sonda	Hloubka (m)	Kóta (m n.m.)
J9	13,0	233,85	HV13	17,5	335,18
J10	16,0	324,97	J14	18,0	334,44
J11	14,25	331,77	J15	20,7	328,23
J12	9,0	337,69	J16	11,7	336,10

#### b) Zóna méně zvětralá

Tato zóna se nachází níže od hloubek uvedených v předchozí tabulce. Jedná se o **granodiority** zařazené do geotechnického typu GT7 (v oblasti sondy J12 i intruze metabazaltů) **silně zvětralé (R4)**, **granodiority mírně zvětralé (R3)** a **granodiority zvětralé (R2)**, spolu s přechodovými typy hornin mírně až silně zvětralých (R3-R4) a zvětralých až mírně zvětralých (R2-R3). Převažujícím typem hornin jsou granodiority (metabazalty) mírně zvětralé (R3) – viz petrografický popis sond.

**Z petrografického hlediska** se jedná o magmatickou horninu označenou jako **syenogranit** s hrubě zrnitou strukturou, s variabilním poměrem živců a křemene, výrazně tektonicky a hydrotermálně přeměněné. Obsahují mylonitizované a kataklazované partie. Hornina i pukliny jsou sekundárně mineralizované (minerály epidotové skupiny, sericit, chlority a karbonáty, na některých lze rozpoznat jílové minerály, křemen a albit). Vzorky z vrtu J12 (hloubky 10,4 a 15,3 m) odpovídají vulkanickým horninám (**metabazaltům**). Podrobněji viz petrografická analýza horninových vzorků v příloze č. 5.3.

Pevnost v prostém tlaku byla zkoušena na horninových vzorcích po jejich nasycení – viz tabulky v příloze 6.2 (Orientačně byla stanovena pevnost v prostém tlaku na vysušeném vzorku odebraném z vrtu J9 z hl. 18,0-19,0 m, která vychází 75,5 MPa oproti pevnosti nasyceného vzorku 30,6 MPa. Znamená to, že po nasycení horniny klesá její pevnost v jednoosém tlaku více než o polovinu, což představuje rozdíl jedné pevnostní třídy).

Podle zařazení hornin podle jejich pevnosti byla stanovena i jejich klasifikace v popisu sond (\* v třídě R – hornina v suchém stavu, bez \* nasycená), tj. je respektováno jejich nasycení, které více odpovídá jejich přírodním podmínkám. (Horniny se v mnohých případech při terénní klasifikaci jeví jako pevnější).

Tabulka č. 11.1.4.1.2

Fyzikální a mechanické vlastnosti	nasákavost	Objem. hmotnost vysušeného vzorku	Objem. hmotnost syceného vzorku	Pevnost v prostém tlaku nasycených vzorků
	n s (%)	$\rho_n$ (kg.m <sup>-3</sup> )	$\rho_{ns}$ (kg.m <sup>-3</sup> )	$\sigma_{c,ns}$ (MPa)
	Hornina mírně zvětralá R3 (resp. R2-R3)			
Hodnota od – do	0,26 – 0,86	2536 - 2650	2554 - 2658	16,8 – 42,1
Průměrná hodnota	0,54	2608	2625	29,6
Počet vzorků	14 (pro nasákavost 13)			
	Hornina silně zvětralá R4 (resp. R3-R4)			
Hodnota od – do	0,89 – 1,16	2537 - 2660	2564 – 2691	11,8 – 14,7
Průměrná hodnota	1,04	2599	2626	13,2
Počet vzorků	3			
	Hornina zcela zvětralá R5 (resp. R4-R5)			
Hodnota	2,78	2464	2532	4,1
Počet vzorků	1			
	Hornina zcela zvětralá až rozvětralá (R5 – R6)			
Hodnota	5,91	2288	2423	Nelze stanovit
Počet vzorků	1			

Poznámka: Zahnutý i orientační hodnoty. Průměrná hodnota představuje jen aritmetický průměr.

**Z hlediska puklinatosti** je granodiorit (resp. intruze metabazaltů) v méně zvětřalé zóně prostoupen systémem puklin. Jejich sklon je prakticky od 0° do 90°, přičemž častěji se opakující jsou sklony 0°-1°; 4°-5°; 8°; 18°-20°; 26°-31°; 35°-40°; 45°-47°; 55° a 65° od vodorovné roviny. Jejich četnost odpovídá velké až velmi velké střední hodnotě diskontinuit (60-200 mm až 20-60 mm). Směr sklonů diskontinuit nebylo možné danou technologií vrtání stanovit. V poruchových a silně drcených (kataklastických) pásmech je střední hustota diskontinuit až extrémně velká (< 20 mm) – viz zóny úlomků a drtě ve vrtném jádru.

Pukliny lze klasifikovat jako průběžné, rovné – drsné a hladké, nerovné drsné a hladké, místy s povlaky limonitu a v mnohých případech i sekundárně mineralizované a vyplněné mylonitickým materiálem až několika „mm“ mocnosti.

Pukliny jsou popsány a schematicky vyneseny v příloze 5.1.2 Dokumentace jádrových vrtů s vyhodnocením RQD a puklinatosti. Schematické znázornění sklonu puklin je vztaženo k horizontální ose.

#### Klasifikace horninového masivu podle indexu RQD (Rock Quality Designation)

Tato klasifikace udává vliv puklinatosti na kvalitu horninového masivu a je určována z výnosu vrtného jádra v rámci průzkumných prací. Vyjádřením je procentuální zastoupení úlomků větších než 10 cm v jednom metru jádra (nebo návrtu). Vychází se ze základní rovnice

$$RQD = \frac{L_{10}}{L} \times 100 [\%]$$

kde  $L_{10}$  vyjadřuje celkovou délku úlomků o délce větší než 10 cm a  $L$  vyjadřuje délku návrtu.

Klasifikace hornin na základě RQD je pak posuzovaná podle následující tabulky:

Tabulka č. 11.1.4.1.3

<i>Kvalita horniny</i>	<i>RQD (%)</i>	<i>C<sub>T</sub></i>	<i>f<sub>p</sub></i>
výborná	100-90	0-0,15	2,0-2,3
dobrá	90-75	0,15-0,35	2,3-1,2
střední	75-50	0,35-0,7	1,2-0,7
nízká	50-25	0,7-1,1	0,7-0,5
velmi nízká	25-0	1,1-1,4	0,5-0,4

Vypočtené hodnoty RQD jsou zpracovány v příloze č. 5.1.2 – Geologická dokumentace s RQD formou řádkových diagramů pro jednotlivé geotechnické typy. **Kvalita horniny** zpracovaná na základě vyhodnocení indexu RQD v uvedených hloubkových rozmezích je **převážně velmi nízká** (často nulová) a **nízká**, méně pak střední (dobrá a výborná jen ojediněle v dílčích návrtech). Připomínáme, že vyhodnocení RQD je směrově závislý parametr, tedy horniny jsou hodnoceny ve vertikálním směru.

#### 11.1.4.2 Hydrogeologické a geotechnické poměry v trase tunelu

Podrobné zpracování klimatických, hydrologických a hydrogeologických poměrů v trase uvažovaného tunelu jsou zpracovány v samostatné příloze č. 9. V tomto území byly zjištěny horniny brněnského masívu (granodiority, diority, metabazalty), které jsou překryty minimální vrstvou kvartérního poryvu. V tomto hydrogeologickém prostředí převažuje puklinový kolektor s proměnlivým podílem průlinové propustnosti v pásmu přípovrchového rozpukání a rozpojení hornin.

Oběh podzemních vod probíhá převážně v tomto přípovrchovém pásmu. Hlubší oběh je možné očekávat u tektonicky porušeného brněnského masívu především v dosahu propustnějších poruchových zón.

#### Výskyt hladiny podzemní vody

Výskyt hladiny podzemní vody v sondách provedených pro trasu tunelu je zpracován v následující tabulce:

Tabulka č. 11.1.4.2.1

Číslo vrtu	Hl. (m)	Navrtná hladina podzemní vody			Ustálená hladina podzemní vody		
		(m)	(m n.m.)	Prostředí	(m)	(m n.m.)	Prostředí
J9	30	10,5 11,5	325,35 324,35	Granodiorit (R5 – R6) Granodiorit (R5 – R6)	11,2	324,65	Granodiorit (R5 – R6)
J10	25	10,5	335,47	Granodiorit (R5 – R6)	11,5	334,47	Granodiorit (R5 – R6)
J11	25	12,5	333,52	Granodiorit (R6)	11,6	334,42	Granodiorit (R5)
J12	25		?	(Do hl. 9 m nezjištěna)	-	-	-
HV13	30	14,2	339,48	Granodiorit (R5 – R6)	12,0	340,68	Granodiorit (R5 – R6)
J14	30	12,5	339,94	Granodiorit (R5)	11,6	340,84	Granodiorit (R5)
J15	24	-	-	-	-	-	-
J16	24	-	-	-	3,4	344,40	Granodiorit (R5 – R6)

Uvedené hloubkové údaje potvrzují výskyt podzemní vody ve svrchní intenzivně zvětralé zóně granodioritů.

### Monitoring hladiny podzemní vody

V pozorovacím vrtu HV13 byl v období krátkodobého monitoringu ustálené hladiny podzemní vody v termínu od 21.3.2016 do 30.5.2016 zaznamenám její rozkyv 0,49 m, tj. hloubkovou úroveň v rozmezí kót 339,76 – 340,25 m n.m.

### Hydrodynamická zkouška

Hydrodynamickou zkouškou provedenou ve vrtu HV13 v délce 24 hodin za účelem zjištění přítoku (vydatnosti) podzemní vody do vrtu byla zjištěna vydatnost cca 15 litrů za 24 h. Tato se bude lišit v průběhu ročního období a s tím souvisejících srážkových úhrnů, teploty a výparu. Lze předpokládat, že vrt HV 13 bude v letních měsících suchý.

### Hydrochemické analýzy

Vzorky vod odebrané z vrtů J10, J14 a J15 byly podrobeny rozborům k posouzení pro stavební účely podle klasifikace dle normy ČSN EN 206. U všech výše uvedených vzorků vod se z hlediska chemického působení vody na beton jedná podle tab. 2 o **slabě agresivní chemické prostředí (XA1)**.

Z hlediska chemického působení vody na ocel je agresivita podle tab. 1 a 2 **velmi vysoká (IV.)**

Podrobné vyhodnocení jednotlivých ukazatelů je zpracováno v samostatné příloze č. 6.3. V protokolech o zkoušce č. 3201 – 554/216 (evidenční číslo vzorku 1401 / označení vzorku J14), č. 3201 – 647/2016 (evidenční číslo vzorku 1733 / označení vzorku J15) a č. 3201 – 368/2016 (evidenční číslo vzorku 989 / označení vzorku J10).

### 11.1.4.3 Klasifikace hornin pro tunelování

Horninový masív, kterým bude ražená trasa procházet, byl klasifikován dle několika systémů. Přitom se vycházelo z výsledků průzkumných prací provedených v této etapě a přihlédnuto bylo i ke dříve realizovaným průzkumům a tunelovým dílům v obdobných geologických podmínkách. Jedná se především o průzkum pro tramvajový tunel v rámci projektované stavby VMO Brno - Žabovřesky a poznatky geologického sledu ražby silničního tunelu v Brně Pisárkách.

Klasifikace ražené trasy dle stupně ražnosti je popsána v následující tabulce 11.1.4.2.2.

Tabulka 11.1.4.2.2

Stupeň ražnosti	charakter horninového masívu
1	hornina soudržná, slabě až středně rozpukaná, primární ostění nutné
2	Hornina soudržná, středně až silně rozpukaná, přítomnost vody vyvolává silné tlaky, je nutné silněji dimenzovat primární ostění (v blízkém okolí předpokládaných tektonických poruch)
3	Hornina velmi silně rozpukaná a alterovaná, nelze vyloučit výrony vod do díla, je nutné mohutné primární ostění (předpoklad v centrálních částech předpokládaných tektonických poruch)

Klasifikace ražené trasy dle nové rakouské tunelovací metody (NATM) uvádí následující tabulka 11.1.4.2.3.

Tabulka 11.1.4.2.3

Třída NATM	charakter horninového masívu
I	pevné horniny slabě až středně rozpukané, neměnné vlivem vody, hornina nevykazuje větší tendenci na uvolňování do okolí raženého profilu
II	horniny silněji rozpukané, stabilita výrubu krátká a po jejím uplynutí dochází k uvolňování horniny ze stropu příp. i opěří, neměnné vlivem vody (v blízkém okolí předpokládaných tektonických poruch)
III	horniny velmi silně rozpukané a alterované, může docházet k přeměnám působení vody, ražba může probíhat členěným porubem, příp., se spodní klenbou (předpoklad v centrálních částech tektonických poruch)

**Klasifikace ražené trasy dle švýcarské normy SIA 158 je v následující tabulce 11.1.4.2.4.**

**Tabulka 11.1.4.2.4**

<b>SIA 158</b>	<b>charakter horninového masívu</b>
<b>BI</b>	výrub v relativně pevné hornině s příznivými geotechnickými vlastnostmi, rozpukání střední až slabé, postupový krok lze volit až do 3 m (dle tunelu pražské radiály v obdobném typu masívu)
<b>BII -BIII</b>	výrub v horninovém masívu s mírně zhoršenými až zhoršenými geotechnickými vlastnostmi rozpukání střední až silné, vyšší intenzita alterace horniny, postupový krok 1,5 – 2,0 m, vystrojovací práci zpomalují práce razící
<b>CIV</b>	výrub v horninovém masívu se silně zhoršenými geotechnickými vlastnostmi, vystrojovací práce výrazně ovlivňují a zpomalují práce razící, postupový krok 1 m, výskyt lze očekávat v centrálních částech tektonických poruch

Jednotlivá zatřídění hornin a horninového masívu v trase tramvajového tunelu je přehledně zobrazeno v podélném profilu tramvajovou trasou ozn. A-A' (příloha 3). Přehled jednotlivých zatřídění, vztažených k průběhu trasy, včetně stanování podílů jednotlivých vyčleněných klasifikačních tříd je uvedeno v tabulce 11.1.4.2.5.

#### 11.1.4.4 Doporučení pro výstavbu

Pro projekční návrh způsobu výstavby tunelu je možno zvážit několik variant. Geotechnické podmínky pro jednotlivé varianty tramvajové trasy v tomto úseku však neuvažujeme za rozhodující. Varianty raženého tunelu, hloubení stavební jámy a výstavby přesypaného tunelu, otevřeného nebo překrytého zářezu nejsou klíčové pro volbu výškového vedení trasy. Geotechnická rizika budou vyplývat až z konečného rozhodnutí o výškovém vedení trasy. Z hlediska jakéhokoli posuzování vhodnosti respektive výhodnosti variant tunelu nebo zářezu kolem zástavby na ulici Teyschlova z hlediska geotechnických poměrů a z toho vyplývajících rizik je rozhodující výškové vedení tramvajové trati, které má dosti zásadní dopad na podobu stavby a ovlivnění území z hlediska investiční náročnosti, provozních nákladů, dostupnosti tramvajových zastávek, ovlivnění okolí hlukem z provozu tramvaje, využití území apod.

Jednotlivé varianty výstavby však lze z geotechnického hlediska posoudit a představit výhody a obtíže jednotlivých možných technických řešení.

Možnost překonání úseku v otevřeném zářezu přináší řadu technických obtíží. Z hlediska zemních prací by sice těžba probíhala v relativně příznivých horninách – zvětralých granodioritech, nicméně vysvahování zářezu v těchto morfologických poměrech při uvažování typických normových sklonů v daném geologickém prostředí by znamenalo, že šířka hran zářezu by přesahovala 50 - 60 m za předpokladu využití max. stoupání nivelety ze zastávky Teyschlova. Zářez by byl zřejmě hlubší než 10 m, což by způsobilo komplikace v podobě zajištění trvalé stability svahů, možné problémy při hloubení pilot (výskyt pevných bloků dioritů a metabazaltů). Podle hloubky zářezu lze očekávat několik úrovní dílčích lavic a v neposlední řadě nutnost zajištění stability krajního obytného bloku na ulici Teyschlova. Zárubní zdi by bylo nutno budovat v podobě kotvených nebo rozepřených pilotových stěn. Skalní zářez by bylo třeba rovněž kotvit. Vrtání velkopřůměrových pilot v poloskalních



horninách, resp. eluviu granodioritu, případně metabazaltů může být obtížné a použití předražených pilot FRANKI není možné. Dále je třeba zohlednit nutnost přeložek komunikací (náklady na dodatečné trvalé přemostění nebo nalezení alternativního dopravního řešení) a přeložky podzemních inženýrských sítí. Problém je i s výstavbou v noční době (v obytné zástavbě nelze kvůli režimu nočního klidu) a s vyšší mírou hluku po dobu výstavby i následně za provozu (nutnost výstavby protihlukových stěn).

Varianta přesýpaného tunelu je využitelná za předpokladu, že bude možno trasovat niveletu tramvajového tělesa takovým způsobem, aby v předmětném úseku byla situována méně jak cca 14 metrů pod terénem a kalota tunelu se nacházela blíže k terénu než asi 6 metru. Výstavby přesýpaného (hloubeného) tunelu by provázely obdobná omezení jako v případě varianty otevřeného zářezu.

Ražená varianta výstavby tunelu je v daných geologických podmínkách realizovatelná. Tunel je energeticky výhodnější kvůli stoupání a klesání tramvajové trasy. Nebude potřeba až tak náročně zajišťovat obytný blok na konci ulice Teyschlova a budou minimalizovány nároky na zábor půdy a přeložky podzemních inženýrských sítí. Přeložky komunikací nebudou nutné.

Z důvodu značně zvětralého horninového masivu bude muset být členěný výrub, klenba bude muset být zajišťována pomocí deštníků, kotvami, atd. Ražbu bude provázet výskyt podzemní vody na styku silně zvětralých a méně zvětralých granodioritů. Jedná se ale o vodu srážkového původu, jejíž intenzitu výskytu bude s určitým zpožděním ovlivňovat aktuální klimatická situace lokality.

S ohledem k výškovým poměrům projektované trasy tramvajového úseku a zastižených geologickým poměrům se jeví jako optimální varianta raženého tunelu. Po sestrojení podélného profilu trasy viz příloha č. 3 za použití dokumentace vrtů, interpretace geofyzikálních profilů současné etapy průzkumu a s využitím vrtné prozkoumanosti předchozích průzkumných etap je zřejmé, že ražený profil bude zastihovat dvě odlišná geologická prostředí. V horní části tunelového profilu bude ražba probíhat v souvrství eluvia granodioritu G typu 6, částečně v metabazaltech G typu 9 a ve své dolní části ve zdravějším granodioritu G typu 7. Eluvium charakteru šterku je zároveň vodonosným kolektorem území a podzemní voda bude ovlivňovat ražbu. Po dobu výstavby je nutno počítat s přítoky vody z čelby a přístropí do profilu a bude nutno vhodnou technologií s touto skutečností vypořádat. Rovněž předpokládáme s ohledem na nesoudržný charakter eluvia granodioritu G typu 6 nestabilitu v přístropí před vybudováním primární obezdívky. Spodní partie tunelového profilu bude v průběhu ražby zastihovat zdravější horninu tříd převážně R4 a R3.

Pro raženou variantu výstavby tunelu se v daných geologických poměrech nabízí kombinace válcovaných nosníků typu TH nebo HEB osazovaných s metrovou distancí za současného použití sítí a stříkaného betonu. V celém tunelovém úseku předpokládáme ražbu pod ochranou mikropilotového deštníku za použití injektáže, která vytvoří nad tunelovým profilem ochranou obálku zabraňující nestabilitě nesoudržné horniny a pronikání podzemní vody do výrubu. Očekávanou nestabilitu čelby během ražby je nutno řešit jednak děleným výrubem a dále instalací dočasných horizontální kotev. V očekávané geologii se nabízí varianta horizontálně děleného výrubu s tím, že kalotová část čelby by byla ještě dále vertikálně dělena na 2 až 3 dílčí výrubu. Toto opatření umožní zvládnutí projevy nestability čelby a minimalizuje projevy ražby na povrch. Finální dispozici čelby je nutno ověřit statickými výpočty za využití poznatků další – podrobné etapy průzkumu.

S ohledem na dosavadní stav poznání geologického prostředí v prostoru projektovaného tunelu se nabízí zvážit možnost snížení nivelety tramvajové trasy tak, aby alespoň spodní část výrubu tunelu probíhala v pevnějších horninách (granodioritech). Ražba ve zdravější hornině,

alespoň v části profilu umožní snížit náklady na ražbu, protože omezí výše popsané technické potíže a snížená niveleta dovolí vyústění tunelu západním portálem ve dně v erozní rýhy, kde odpadá nutnost její zavážení. V portálových a předportálových úsecích je však nutné prověřit dopad snížení nivelety tunelu zejména na nutná geotechnická opatření ve vztahu k okolní zástavbě, a to na podkladu geodetického zaměření, zejména s ohledem na zpřesnění skutečné výškové polohy stávající zástavby.

V etapě podrobného průzkumu doporučujeme ověření příportálových oblastí kopanými sondami, umožňující lepší popis skladby zvětralinového pláště brněnského masívu, odběr reprezentativnějších vzorků a zjištění jeho některých geotechnických charakteristik (objemová hmotnost eluvia a jeho deformační charakteristiky), důležitých pro další projekční práce. Pro trasu tunelu doporučujeme zahustit síť vertikálních vrtů a jejich hloubky navrhnout takovým způsobem, aby dosahovaly minimálně do úrovně výšky tunelového profilu pod počvu. Alespoň část těchto vrtů bude vhodné vystrojit a provést v nich karotážní měření s použitím série metod ke zpřesnění informace o tektonice horninového masívu.

Tabulka 11.1.4.2.5

Úsek od – do /km/		Klasifikace horninového masívu								
		stupeň ražnosti			NATM			SIA 158		
	délka úseku /m/	1	2	3	I	II	III	BI	BII-	CIV
0,913 – 0,940	27			27			27			27
0,940 - 0,961	21		21			21			21	
0,961 – 0,973	12			12			12			12
0,973 – 1,020	47		47			47			47	
1,020 – 1,075	55	55			55			55		
1,075 – 1,101	26		26			26			26	
1,101 – 1,113	12			12			12			12
1,013 – 1,179	66		66			66			66	
1,179 – 1,191	12			12			12			12
1,191 – 1,200	9		9			9			9	
1,200- 1,223	23			23			23			23
Suma /m/	310	55	169	86	55	169	86	55	169	86
% zastoupení v ražené trase		18	55	27	18	55	27	18	55	27

## 11.2 Objekty

Objektovou soustavu uvedenou v doplňujícím průzkumu je nutno považovat za orientační, identifikovanou z poskytnutých mapových podkladů ze studie Ing. Bajera – situace v měřítku 1: 2000. Přesné staničení a bližší informace o předpokládaném konstrukčním řešení jednotlivých objektů nebyly v době zpracování průzkumu k dispozici.

### **Jedná se o celkem 10 následujících stavebních objektů:**

1. Úprava ul. Šemberova (cca km -0,190 až -0,020)
2. Most přes tramvajovou trať (cca km -0,100)
3. Zastávka tramvaje „Ečerova“ (cca km 0,160)
4. Most přes tramvajovou trať (cca km 0,447)
5. Zastávka tramvaje „Ruda“ (cca km 0,748)
6. Obslužná komunikace (ul. Teyschlova – Kuršova; cca km 0,310 – 0,850)
7. Tramvajový tunel (cca km 0,913 – 1,223)
8. Zastávka tramvaje (západní portál tunelu; cca km 1,250)
9. Most přes tramvajovou trať (cca km 1,356)
10. Zastávka tramvaje „Kamechy – smyčka“ (cca km 1,600)

V následujících podkapitolách jsou pro jednotlivé stavební objekty souhrnně popsány inženýrskogeologické, geotechnické a hydrogeologické poměry, jsou uvedena doporučení pro zakládání, možnosti využití stávajících zeminných materiálů, opatření pro aktivní zónu komunikací, případné možnosti upravitelnosti zemin a další doporučení pro projekční práce, případně stavební činnosti. Geotechnické vlastnosti zemin/hornin jednotlivých geotechnických typů jsou souhrnně prezentovány v kapitole 5, resp. 6. Rovněž je pro objekty definován rozsah potřebných průzkumných prací nutných pro následnou etapu průzkumu, resp. projekčních prací.

### **11.2.1 Úprava ul. Šemberova (cca km -0,190 až -0,020)**

Úpravu komunikace ulice Šemberova délky 170 m je možné popsat na základě geologické dokumentace vrtu J1. Zde byla do hloubky 2,5 m pod úroveň terénu zastížena poloha zcela zvětralého granodioritu charakteru až hrubozrnného jílovitého písku se štěrkem, zatříděného dle ČSN 736133 R6 – S5 SC, od hloubky 1,3 m nabývajícího charakteru zvětralého granodioritu třídy R5 (GT6). Pod touto polohou byly zastíženy střídavě polohy granodioritů a dioritů zatříděné převážně do třídy R3 (GT7).

Svrchní část vrstvy GT6 jsou reprezentovány převážně písčitymi zeminami třídy S5 SC, dle ČSN 736133 namrzavými a mírně namrzavými, podmíněčně vhodnými do podloží a násypů.

V aktivní zóně je nezbytné zlepšení těchto zemin pro snížení namrzavosti. Charakter pojiva pro zlepšení bude nutné ověřit laboratorním zkouškami.

Geologické podmínky hodnotíme jako jednoduché, konstrukci zemního tělesa do hloubky 2,5 m jako nenáročnou. Při návrhu úpravy této komunikace lze postupovat dle zásad první geotechnické kategorie (ČSN EN 1997-1). Výkopové práce jsou proveditelné až do hloubky 2,5 m pod terénem běžnými výkopovými mechanismy (I. třída těžitelnosti).

Hladina podzemní vody nebyla zastižena, tudíž nebude konstrukci zemního tělesa (aktivní zónu) ovlivňovat, vodní režim lze považovat za difuzní.

V podrobném průzkumu je nutné podrobně ověřit geologickou stavbu v předmětné oblasti a odebrat dostatečný počet vzorků zeminy z úrovně deklarované aktivní zóny pro ověření podmínek její úpravy.

### 11.2.2 Most přes tramvajovou trať (cca km -0,100)

Most přes zářez tramvajové trati je navržen ve staničení cca km -0,100, má délku 13,5 m a šířku 13,0 m.

Referenčním vrtem pro tento objekt je sonda J2 ve staničení km - 069,83. Touto sondou byla do hloubky 1,5 m pod terénem zastižena jílovitopísčítá hlína pevné konzistence s příměsí štěrku zatříděné jako zeminy F4 CS náležející ke Gtypu GT3a. Pod vrstvou byla ověřena vrstva suchého ulehlého hlinitého písku (S4 SM, GT3b), jehož báze zasahuje do hloubky 2,4 m. Od této úrovně bylo zastiženo skalní podloží budované granodiority a diority v rozptylu tříd R6 až R5, místy až R5-R4 (GT6). Od hloubky 11,6 m pod terénem byly zastiženy granodiority a diority třídy R5 až R3 (GT7) – viz.dokumentace sond v příloze č.4.

Předběžně lze uvažovat se založením mostu plošně do vrstvy suchého a ulehlého hlinitého písku (S4 SM, GT3b), jejíž povrch se nachází v hloubce 1,5 m pod terénem, případně i do vrstvy zvětřalého granodioritu třídy R6 (GT6), jehož povrch byl zastižen v hloubce 2,4 m pod terénem. Lze doporučit i hlubinný způsob založení na pilotách do vrstvy zvětřalých dioritů třídy R5-R4 (GT6), která byla ověřena v hloubce 4,0 m pod terénem.

Hladina podzemní vody byla naražena v hloubce 9,2 m, a ustálila se v hloubce 11,5 m. Hladina podzemní vody by při doporučené hloubce neměla pravděpodobně ovlivňovat základové konstrukce. Podle provedené laboratorní analýzy je tato voda slabě agresivní na beton (stupeň XA1), a velmi vysoce agresivní na ocel (stupeň IV) – viz protokoly analýz v příloze 6.3.

Při návrhu způsobu založení objektu lze dle ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí postupovat podle zásad 2. geotechnické kategorie.

Provedeným korozním průzkumem byla v místě plánovaného mostního objektu zjištěna na měřeném stanovišti BP1 zvýšená agresivita prostředí dle ČSN 03 8375, z čehož vyplývá nutnost aplikace ochranných opatření stupně 3 až 4 dle TP 124. Detailní výsledky korozního průzkumu jsou obsahem přílohy č. 11.

Následná podrobná etapa průzkumných prací musí dle TP76 dostatečně ověřit základové poměry sondou pod každou opěrou či podpěrou. Po té lze doporučení způsobu založení mostního objektu upřesnit.

### 11.2.3 Zastávka tramvaje „Ečerova“ (cca km 0,160)

Jedná se o zastávku v místě, kde je tramvajová trať vedena v úrovni terénu. Prostor budoucí zastávky je charakterizován vrty J3 a J4. Přímé podloží je tvořeno do hloubky 1,1 – 1,3 m navážkou charakteru ulehlého štěrku hlinitopísčitého G3 G-FY a pevné jílovité hlíny se štěrkem F6 CIY (GT1). Pod ní byla zastižena 6,7 až 6,1 m mocná vrstva jílovité hlíny třídy F6 CI. Hlína je rudohnědá, tuhá, zařazená do GT2.

Zeminy třídy F6, ať už v souvrství navážek či v podložní vrstvě „rostlých“ zemin jsou nebezpečně namrzavé, dle ČSN 73 6133 primárně nevhodné pro využití do aktivní zóny. Pro

použití do aktivní zóny je nutná jejich úprava, anebo náhrada zeminou vhodnou. Charakter pojiva pro zlepšení bude nutné ověřit laboratorními zkouškami.

Pod touto vrstvou byla zastižena vrstva jílu vysoce plastického, hnědá až šedozelená, pevná, GT 4 a 5.

Naražená hladina podzemní vody byla zastižena ve vrtu J4 v hloubce 9,5 m pod úrovní stávajícího terénu. Ustálená hladina byla změřena v obou vrtech v hloubce 7,1 m, resp. 14,7 m pod terénem. Vodní režim v tomto prostoru je tudíž difúzní a hladina podzemní vody tedy nebude budoucí stavbu ovlivňovat.

Provedeným korozním průzkumem byla v místě plánované zastávky zjištěna na měřeném stanovišti BP2 zvýšená agresivita prostředí dle ČSN 03 8375, z čehož vyplývá nutnost aplikace ochranných opatření stupně 3 až 4 dle TP 124. Detailní výsledky korozního průzkumu jsou obsahem přílohy č. 11.

#### 11.2.4 Most přes tramvajovou trať (cca km 0,447)

Mostní objekt přes zářez tramvajové trati má předpokládanou délku 14,5 m. Místo navrhovaného mostu se nachází v předpokládaném pásmu tektonického porušení, kde efuzivní těleso metabazaltů je na kontaktu s tektonicky podmíněnou depresí vyplněnou kvartérními a neogenními sedimenty.

Místo mostu je charakterizováno vrtem J5 a příčným řezem II-II', který integruje informace o geologické stavbě z vrtu J5 a provedeným geofyzikálním průzkumem v profilech A a B (viz příloha č. 4 a 10).

Do hloubky 8,5 m bylo zastiženo kvartérní souvrství charakterizováno hlínou jílovitou třídy F6 CI pevné konzistence, zatříděnou do GT2. Pod touto vrstvou bylo zastiženo těleso převážně navětralých metabazaltů třídy R3 (GT9).

Naražená hladina podzemní vody nebyla zastižena, po určité době došlo k nastoupání hladiny vody do úrovně 14,0 m pod terénem.

Předběžně lze uvažovat se založením mostu hlubinně na pilotách s využitím masívu metabazaltů, jehož povrch se nachází cca 9 m pod povrchem terénu. Při návrhu způsobu založení objektu lze dle ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí třeba postupovat podle zásad 2. geotechnické kategorie.

Provedeným korozním průzkumem byla v místě plánovaného mostního objektu zjištěna na měřeném stanovišti BP4 zvýšená agresivita prostředí dle ČSN 03 8375, z čehož vyplývá nutnost aplikace ochranných opatření stupně 3 až 4 dle TP 124. Detailní výsledky korozního průzkumu jsou obsahem přílohy č. 11.

Následná podrobná etapa průzkumných prací musí i s ohledem na velmi složité tektonické poměry v oblasti zakládání mostního objektu (kontakt neogenních sedimentů a metabazaltového tělesa v pásmu tektonického porušení skalního masívu) dostatečně podrobně ověřit základové poměry sondou pod každou opěrou či podpěrou (TP76). Po té lze doporučení způsobu založení mostního objektu upřesnit. Současně bude nutné doověřit chemizmus a případné agresivní účinky podzemní vody na beton a ocel.

### 11.2.5 Zastávka tramvaje „Ruda“ (cca km 0,748)

Jedná se tramvajovou zastávku umístěnou z obou stran tramvajové trati vedené v úrovni terénu až mírném zářezu. Geologické poměry v prostoru zastávky jsou charakterizovány vrtem J7. Do hloubky 1,7 m pod terénem se vyskytují ulehle hlinitopísčité navážky tříd F3 MSY až S3 S-FY řazené ke GT1. Konzistence soudržných zemin třídy F3 je tuhá až pevná. Podloží je do hloubky 4,0 m tvořeno jíly písčitými se šterkem třídy F4 CS, tuhé konzistence, zatříděnými do GT3a a hlouběji pak tuhými jílovitými hlínami F6 CI (GT2).

Všechny tři typy zemin jsou nebezpečně namrzavé, nevhodné pro použití do aktivní zóny dle ČSN 73 6133. Pro použití do aktivní zóny je nutná její úprava či výměna za zeminu vhodnou. Charakter pojiva pro zlepšení bude nutné ověřit laboratorním zkouškami.

Pod touto vrstvou bylo zastiženo souvrství vysoce plastických jílu pevné konzistence, náležících ke GT4 a 5. Tato vrstva se však s nejvyšší pravděpodobností nebude v aktivní zóně ani v jejím bezprostředním podloží uplatňovat.

Hladina podzemní vody nebyla zastižena, pouze v hloubce 4,5 m byla lokálně zastižena málo mocná poloha se zvýšenou vlhkostí.

Výkopové práce jsou proveditelné min. do hloubky 4,0 m pod terénem běžnými výkopovými mechanismy (I. třída těžitelnosti).

V následném podrobném průzkumu je nutné podrobně ověřit geologickou stavbu v předmětné oblasti a odebrat dostatečný počet vzorků zeminy z úrovně deklarované aktivní zóny pro ověření podmínek její úpravy. Zároveň bude nutné doplnit korozní průzkum pro stanovení úrovně agresivity prostředí a návrhu aplikace relevantního stupně opatření ve smyslu TP 124. Navíc bude pravděpodobně nutné provést komplexní průzkumné práce v prostoru křížení tramvajové trati se stávající trasou ulice Teyschlovy, jehož způsob technického řešení nebyl v době provádění průzkumných prací známý.

### 11.2.6 Obslužná komunikace (ul. Teyschlova – Kuršova; cca km 0,310 – 0,850)

Obslužná komunikace délky cca 500 m, vedená pravděpodobně v úrovni terénu, se nachází v geologicky pestrém území, kde se v přípovrchové vrstvě střídá jak kvartérní souvrství, tak horniny brněnského masivu. Geologickou stavbu v trase budoucí komunikace charakterizují vrty J5, J6 a archivní J841. V první polovině trasy (vrt J5) bude komunikace pravděpodobně procházet souvrstvím převážně pevných jílovitých hlín třídy F6 CI (GT2), jehož báze byla ověřena v hloubce 6,0 m pod povrchem terénu. Jedná se o zeminy, které jsou dle ČSN 736133 nebezpečně namrzavé a nevhodné do aktivní zóny. Pro použití do aktivní zóny je nutná jejich úprava, případně náhrada zeminou vhodnou.

V druhé polovině trasy byl vrt J6 zastižen výchoz metabazaltového tělesa třídy R5-R4 (GT8) a zvětralin plášťových hornin rulového charakteru zemin třídy S3 (GT3b), přecházející směrem k archivnímu vrtu J841 do eluviálních zvětralin granodioritu brněnského masivu charakteru hlinitého hrubozrnného písku třídy S4 SM (GT6).

Ustálená hladina podzemní vody zastižená vrty J5 a J6 v úrovni cca 14,0 m pod terénem, nebude ovlivňovat zeminy v aktivní zóně a její bezprostřední podloží.

Z hlediska těžitelnosti dle ČSN 736133 budou těžené materiály spadat převážně do třídy I, místy však nelze vyloučit i třídu II (skalní horniny brněnského masivu).



V následné etapě průzkumu je nutné podrobně ověřit geologickou stavbu v navržené trase komunikace ve vazbě na zvolenou úroveň nivelety a odebrat adekvátní počet vzorků zeminy z úrovně deklarované aktivní zóny pro ověření podmínek její úpravy.

### 11.2.7 Zastávka tramvaje (cca km 1,250)

Jedná se tramvajovou zastávku umístěnou z obou stran tramvajové trati vedené převážně v zářezu hloubky cca 2,5 m, zčásti v násypu výšky do cca 1,3 m. Geologickou stavbu v prostoru nástupišť charakterizují vrty J17a, J17 a archivní vrt J849.

Vzhledem k situování objektu v prostoru stávající hluboké erozní rýhy, tektonicky predisponované a s velmi pestrá geologickou stavbou a s ohledem na velmi vysokou pravděpodobnost budoucích změn vedení nivelety trati v tomto prostoru je velmi obtížné stanovit, jaké zeminy/horniny budou tvořit přímé podloží tohoto stavebního objektu.

Přímé podloží částí nástupišť mohou tvořit zčásti málo mocné vrstvy jílovitých hlín třídy F6 CI (GT2), zčásti hlinitopísčité a šterkovité eluvia zvětřalého granodioritu třídy R6 charakteru zemin F3 MS, G3 G-F (GT6), navětřalý až zvětřalý granodiorit třídy R5 – R4 (GT7) a stejně tak metabazaltové horniny v různém stupni zvětřání třídy R5 – R3 (GT8, resp. GT9). Z hlediska potřeby realizace zemních prací pro vytvoření zářezu je nutné upozornit na širokou škálu tříd těžitelnosti vyskytujících se materiálů – odborným odhadem budou největší podíl tvořit materiály třídy II, méně třídy I a nelze vyloučit ani horniny třídy III. S ohledem na předpokládaný převažující materiál těžený v zářezu (eluvia zvětřalé horniny charakteru šterku) lze očekávat dostatečný objem vhodného materiálu pro budování násypových těles.

Provedeným korozním průzkumem byla v místě plánovaného objektu zjištěna na měřeném stanovišti BP8 zvýšená agresivita prostředí dle ČSN 03 8375, z čehož vyplývá nutnost aplikace ochranných opatření stupně 3 dle TP 124. Detailní výsledky korozního průzkumu jsou obsahem přílohy č. 11.

Pro bližší odborné hodnocení geotechnických poměrů v tomto prostoru je nezbytně nutné detailní prozkoumání zájmového prostoru s využitím speciální sondážní techniky a na základě upřesňujícího projekčního podkladu.

### 11.2.8 Most přes tramvajovou trať (cca km 1,356)

Most přes tramvajovou trať o délce 40 m je navržen ve staničení cca km 1,356. Je veden přes násyp tramvajového tělesa. Geologická skladba území tohoto je mostu je zakreslena v příčném řezu Příčný IG + GF řez P5 ve staničení km 1,303 56 v příloze 4.2.4. Předpokládaný obraz o geologické stavbě zájmového území nám předkládá vrt HV18 spolu se sondami archivního průzkum J813, J818, J821, a geofyzikálním průzkumem v profilech PF1 a PF5 (podrobně v příloze 10.).

Místo navrhovaného mostu se nachází v předpokládaném pásmu tektonického porušení ve směru SZZ – JVV.

Ve směru staničení, na levé straně mostu, dle sond HV18 a J821 bylo do hloubky 3,9 m zastíženo pevné souvrství jílovitých hlín (spraší) třídy F6 CI (GT2). Tyto zeminy jsou nebezpečné namrzavé. Pod nimi pak granodiorit, červenohnědý, charakteru hrubě zrnitého hliněného písku se šterkem (GT6), zařazený do třídy R5–R6. Od úrovně 9,5 m pod úroveň terénu bylo zjištěno střídání poloh dioritu a granodioritu třídy R4 (GT7) v proměnlivém stupni zvětřávání – viz dokumentace sond v příloze č.5.1.1. Od hloubky cca 13,7 m byl zastíženo masiv třídy R2.

Hladina podzemní vody byla zastižena vrtem HV18 v hloubce 8,3 m pod terénem. Podle laboratorní analýzy hydrochemických laboratoří a.s.GEOtest je tato voda slabě agresivní na beton (stupeň XA1), a velmi vysoce agresivní na ocel (stupeň IV) – viz protokoly analýz v příloze 6.3. Na základě čerpací zkoušky ve vrtu HV18 bylo zjištěno, že terénní depresí neboli roklí, přednostně odtékají srážkové vody a mělké podzemní vody (jde o tzv. privilegovanou cestu). Jde o úsek od cca km 1,1 až po konec trasy. Při čerpací zkoušce na vrtu HV 18 bylo zjištěno, že do vrtu přitéká cca 0,2 l/s, což odpovídá 17 280 litrů za 24 h.

Z pravé strany rokle byly archivním průzkumem zdokumentovány souvrství jílovitých hlín třídy F6 CI (GT2), hladina podzemní vody nebyla do hloubky vrtů 10,0 m zastižena.

Založení mostu (bližší údaje o tomto objektu nám nejsou známy) předpokládáme hlubinně na vrtaných pilotách vetknutých nebo opřených do masivu granodioritu, jehož úroveň je z každé strany „rokle“ rozdílná. Každá opěra a podpěra projektovaného mostu musí mít průzkum dostatečně hluboký tak, aby ověřil únosné podloží, kam předpokládáme podloží pilot. Pravděpodobně se při návrhu způsobu založení objektu lze dle ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí třeba postupovat podle zásad 2. geotechnické kategorie, což upřesní podrobná etapa průzkumných prací.

Provedeným korozním průzkumem byla v místě plánovaného mostního objektu zjištěna na měřeném stanovišti BP8 zvýšená agresivita prostředí dle ČSN 03 8375, z čehož vyplývá nutnost aplikace ochranných opatření stupně 3 dle TP 124. Detailní výsledky korozního průzkumu jsou obsahem přílohy č. 11.

Následná podrobná etapa průzkumných prací musí i s ohledem na velmi složité tektonické poměry v oblasti zakládání mostního objektu (kontakt neogenních sedimentů a tektonicky porušeného brněnského masivu dostatečně podrobně ověřit základové poměry sondou pod každou opěrou či podpěrou (TP76). Po té lze doporučení způsobu založení mostního objektu upřesnit.

### 11.2.9 Zastávka tramvaje „Kamechy – smyčka“ (cca km 1,600)

Jedná se o zastávku ve smyčce tramvajové trati s dvěma nástupišti. Zastávka zahrnuje 2 nástupiště: pro výstup ve staničení cca km 1,515 – 1,559 (trasa je vedena v násypu výšky 0 – 1,2 m) a nástupiště pro nástup ve staničení cca km 1,686 – 1,730 (trasa vedená v zářezu hloubky 0 – 1,0 m). Nástupiště jsou propojena obslužným chodníkem přecházejícím z násypu výšky až 2,0 m do zářezu hloubky až 1,5 m.

Pro geotechnické hodnocení tohoto objektu byly využity vrty J20 – J22 a archivní vrty J804 a J805.

Prostor je v povrchové vrstvě budován cca 0,3 m mocnou vrstvou navážek (konstrukce provizorní komunikace – převážně štěrky). S ohledem na probíhající stavební aktivity v jámovém prostoru není relevantní tuto vrstvu hodnotit.

Ze zářezu budou těženy písčité hlíny tuhé konzistence s příměsí štěrku řazené třídy F3 MS (GT3a), případně jílovité hlíny tuhé až pevné konzistence třídy F6 CI (GT2).

Současně budou tyto zeminy tvořit přímé podloží násypu, případně i materiál násypu. V obou případech však nelze tyto zeminy jak do násypu, tak do podloží násypu použít bez úpravy. S ohledem na přítomnost hladiny podzemní vody v relativní blízkosti povrchu (viz níže), lze do podloží násypu doporučit částečnou nebo úplnou náhradu vhodnějším materiálem – štěrkopísčité zeminy GT6.

Zeminy F3 a F6 jsou nebezpečně namrzavé, nevhodné či podmíněčně vhodné pro použití do aktivní zóny a do podloží násypu dle ČSN 73 6133. Pro použití do aktivní zóny a do podloží je nutná jejich úprava či výměna za zeminu vhodnou. Charakter pojiva pro zlepšení bude nutné ověřit laboratorními zkouškami.

Hladina podzemní vody byla naražena ve všech vrtech aktuálního průzkumu, a to v rozmezí hloubek 2,0 – 6,7 m pod úrovní terénu, ustálená hladina byla změřena v rozmezí hloubek 1,0 až 4,1 m pod terénem. Zdrojem podzemní vody je identifikovaná privilegovaná cesta, která svádí vodu z prostoru erozní rýhy u západního portálu tunelu.

Z laboratorních analýz vyplývá, že z hlediska chemického působení na beton se jedná o slabě agresivní chemické prostředí (XA1). Z hlediska působení na ocel byla však agresivita vody stanovena jako velmi vysoká (třída IV.).

Vodní režim v této oblasti je možné charakterizovat jako pendulární až kapilární.

Provedeným korozním průzkumem byla v místě plánované smyčky a nástupiště zjištěna na měřeném stanovišti BP10 zvýšená až velmi vysoká agresivita prostředí dle ČSN 03 8375, z čehož vyplývá nutnost aplikace ochranných opatření stupně 3 až 4 dle TP 124. Detailní výsledky korozního průzkumu jsou obsahem přílohy č. 11.

## 12. Závěry a doporučení

**Směrové tramvajové trati** je dáno jednoznačně koridorem vymezeným v územním plánu. Z hlediska **výškového vedení trasy** je v současnosti tramvajová trať projekčně řešena v několika variantách ve studii Ing. Bajera. Průzkumné práce a jejich vyhodnocení byly realizovány na základě varianty, kdy niveleta je v prostoru tunelu zahloubena cca 17 m pod terén.

Při využití maximálního podélného sklonu trati na výjezdu ze zastávky Teyschlova lze minimalizovat zahloubení trati na cca 12 až 13 m pod úrovní stávajícího terénu. Naopak při snížení podélného sklonu na výjezdu ze zastávky Teyschlova a eliminaci ztraceného spádu by mohla být tramvajová trať zahloubena v nejvyšším místě až kolem 25 m, případně i více, což by umožnilo ražbu tunelu v prostředí s výrazně příznivějšími geologickými poměry.

**Výsledky předběžného průzkumu** pro stavbu tramvajové trati a tunelu lze shrnout v následujících odstavcích.

**Inženýrskogeologické poměry** v trase projektovaného tramvajového tělesa včetně tunelu hodnotíme v souladu s ČSN EN 1997 – část I Obecná pravidla jako složité. Důvodem je intenzita zvětrání a rozpukanost horninového masivu v trase tunelu a negativní vliv podzemní vody, která se vyskytuje nad projektovanou niveletou tunelu a bude ovlivňovat ražbu. Eluvium granodioritů zasahuje do hloubek cca 16 m, intenzivně zvětralé horniny až do hloubek kolem 21 m pod terénem. Vlivem nepravidelného hloubkového zvětrávání je i povrch skalní báze značně členitý. Horninový masiv je i silně rozpukaný – viz vyhodnocení RQD.

V úsecích trasy tramvajové trati vedených po povrchu byl zastižen **pestrý geologický vývoj**, na který bude třeba reagovat při návrhu zemního tělesa opatřeními na úpravu zemní pláně a zajištění stability svahů zemních těles v závislosti na konkrétním úseku trasy.

**Výskyt podzemní vody v trase tunelu** je vázán na polohy silně zvětralých hornin s rigidnějšími méně porušenými horninami. Ve svrchní zóně se jedná o typ vod průlinových, níže puklinového charakteru, s množstvím ovlivňovanými převážně atmosférickými srážkami.

Naražená hladina byla v době realizace průzkumných prací zjištěna v rozmezí kót 325 až 340 m n.m. (10,5 – 12,5 m pod terénem) a ustálila se na kótách 324 – 344 m n.m. (3,4 – 12 m pod terénem). Ustálená hladina podzemní vody za dobu krátkodobého monitoringu oscilovala v rozmezí 0,19 m. Podle výsledků hydrodynamických zkoušek se dá počítat s přítoky 15 litrů za 24 hod. Podzemní voda je na betonové konstrukce slabě agresivní (XA1), na ocel velmi vysoká (IV.).

Lze předpokládat, že ovlivnění hladiny podzemní vody výstavbou tramvajové trati nebude podstatné.

**Pro podrobnou etapu průzkumu** lze uvést na základě výsledků současné etapy průzkumných prací pro trasu tramvajového úseku včetně projektovaného tunelu několik **doporučení** ohledně jeho rozsahu.

Vzhledem k tomu, že se jedná o liniové dopravní dílo je možno pro podrobnou etapu průzkumu ideově vycházet s Technických podmínek TP 76 Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace. V trase je třeba zahustit průzkumné vrty tak, aby bylo možné zpřesnění jednotlivých rozhraní zastižených geotechnických celků ve světle pestré geologické skladby území.

Jednotlivé návrhy na rozsah průzkumných prací následující etapy jsou dostatečně uvedeny v kapitole 11.2 Objekty.

**Pro komunikace**, jejichž úpravy budou součástí projektu, doporučujeme v podrobném průzkumu podrobněji ověřit geologickou stavbu v předmětné oblasti a odebrat dostatečný počet vzorků zeminy z úrovně deklarované aktivní zóny pro ověření podmínek její úpravy.

**Pro tramvajové zastávky** je nutné zpřesnit informaci o geologické stavbě a rovněž odebrat dostatečný počet vzorků zeminy z úrovně aktivní zóny pro ověření podmínek její úpravy. Pro zastávku „Ruda“ bude třeba doplnit korozní průzkum pro stanovení úrovně agresivity prostředí. Dále doporučujeme provést podrobné průzkumné práce v prostoru křížení tramvajové trati se stávající trasou ulice Teyschlový.

**Pro mostní objekty** musí podrobná etapa průzkumných prací dle TP76 dostatečně ověřit základové poměry sondou pod každou opěrou či podpěrou. Na základě průzkumu provedeného v takovémto rozsahu prací lze v této zprávě navržené způsoby založení mostních objektů potvrdit nebo změnit. Rovněž důrazně doporučujeme odebrat dostatečné množství vzorků podzemní vody k ověření jejího chemizmu a případné agresivity podzemní vody na beton a ocel.

Pro mosty přes tramvajovou trať ve staničení v km 0,447 a v km 1,356 je třeba se zaměřit na dopřesnění informace o složitých tektonických poměrech - kontakt neogenních sedimentů a horninového masivu v pásmu tektonického porušení.

**Pro projekt tunelu** doporučujeme ověření příportálových oblastí kopanými sondami, umožňující lepší popis skladby zvětralinového pláště brněnského masívu, odběr reprezentativnějších vzorků a zjištění jeho některých geotechnických charakteristik (objemová hmotnost eluvia a jeho deformační charakteristiky), důležitých pro další projekční práce. Pro trasu tunelu doporučujeme zahustit síť vertikálních vrtů a jejich hloubky navrhnout takovým způsobem, aby dosahovaly minimálně do úrovně jedné výšky tunelového profilu pod počvu. Tyto vrty doporučujeme využít pro karotážní průzkum ke zpřesnění informace o tektonice horninového masivu.

V Brně dne 13. června 2016