

Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy, podrobný geotechnický průzkum pro trasu a tunel



2023

Projekce iGEO s.r.o.

Nám. 28. října 1899/11, 602 00 Brno Černá Pole

IČ: 061 90 499, DIČ: CZ061 90 499

tel.: 608022443

web: www.igeo.cz

e-mail: ivan.poul@igeo.cz

Geotechnika, statika, inženýrská a stavební geologie, hydrogeologie

Název zakázky: Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy,
podrobný geotechnický průzkum pro trasu a tunel

Číslo zakázky: 039-2023

Objednatel: Dopravní podnik města Brna a.s.

Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy, podrobný geotechnický průzkum pro trasu a tunel

ČGS 2366/2023

Zodpovědný řešitel: **RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D.**

Spolupracovali:

Mgr. Radek Streit (terénní průzkum a dokumentace)

Ing. Lukáš Matějka (geochemie, mechanika zemin a hornin)

Mgr. Zbyněk Fojt (geofyzika)

Mgr. BcA. Daniela Vošahlíková, DiS. (hydrogeologie)

Ing. Daniel Müller (pasporty)



Brno, listopad 2023

Obsah

1. Úvod	7
1.1 Průběh realizace	8
1.2 Projektovaný rozsah prací	8
1.3 Použité normy pro průzkum a laboratorní rozbor	9
1.4 Další podklady	10
2. Charakteristika přírodních poměrů	10
2.1 Geologický vývoj oblasti	10
2.2 Tektonika	12
2.3 Klimatické poměry	13
2.4 Srážky	14
2.5 Hydrogeologické poměry	14
2.6 Ostatní	15
3. Terénní práce a metodika průzkumných prací	16
3.1 Vrtné práce	16
3.2 Dynamické penetrační sondy	16
3.3 Bagrované a kopané sondy	17
3.4 Zatěžovací zkoušky deskou	17
3.5 Laboratorní analýzy	18
3.6 Mělká refrakční seismika (MRS)	18
3.7 Elektrická odporová tomografie (ERT)	18
3.8 Vertikální elektrické sondování (VES)	19
3.9 Karotáž	19
3.10 Korozní průzkum	19
4. Geofyzikální průzkum - výsledky	20
4.1 ERT, MRS a VES	20
4.2 Karotáž	21
4.3 Korozní průzkum	21
5. Výsledky terénního průzkumu – geologický model	21
5.1 Geotypy	22
5.1.1 Geotyp G1 - Navážka a kulturní vrstva	22
5.1.2 Geotyp G2 – Původ eolický – sprašová hlína	23
5.1.3 Geotyp G3 – Svahoviny (prach písčité, jílu štěrkovité aj.)	25
5.1.4 Geotyp G4 – Neogenní jílu (baden)	26
5.1.5 Geotyp G4.1 – Neogenní jílu a písek (ottnang)	27
5.1.6 Geotyp G5 – Eluvium proterozoických hornin	28
5.1.7 Geotyp G5.1 – Amfibolit	29

5.1.8	Geotyp G5.2 – Granodiorit R6-R5	30
5.1.9	Geotyp G5.3 – Granodiorit R4+	30
5.2	Tektonická stavba	30
6.	Hydrogeologický model	32
7.	Mechanické vlastnosti podloží/základové půdy	33
7.1	Laboratorní analýzy	34
7.2	Těžitelnost zemin	34
7.3	Mechanické vlastnosti zemin v geotypech	34
8.	Geochemie, podzemní voda a odpadové hospodářství	37
9.	Stavební objekty	38
9.1	Pozemní komunikace a parkovací plochy (C100)	38
9.2	Mosty a lávky pro pěší (C200)	39
9.3	Vysoké zárubní zdi výšky až 9 m (C200)	42
9.4	Tramvajový tunel, částečně přesypaný a částečně ražený (C600)	46
9.5	Dvukolejná tramvajová trať převážně v zářezu (C660)	50
10.	Geotechnické výpočty	53
10.1	Návrh svahování v zářezu	53
10.2	Sedání násypu	54
11.	Pedologie	54
12.	Závěr	54
12.1	Porovnání výsledků s předešlou etapou GTP a zhodnocení	56
12.2	Rizika pro stavbu a doporučení pro další stupeň průzkumu	57

Přílohy:

1. Situace 1: 1 000

2. Geologické řezy

- Řez podélný A-A' M 1:2 000/1:200
- Řez podélný řez B-B' M 1:2 000/1:200
- Inženýrsko-geologický řez -150 – 900 M 1:200/1:200
- Inženýrsko-geologický řez 925 – 1700 M 1:200/1:200

3. Sondy

- penetrační sondy DPH
- jádrové vrty (J, INK, HG)
- bagrované sondy (S, KS)
- zatěžovací zkoušky deskou SZSD

4. Laboratoř

- CBR+PS+IBI
- Smyk + Triaxiál + Prostý tlak
- Stlačitelnost v oedometru
- Zrnitost

5. Geofyzika

- ERT
- Karotáž
- MRS
- VES
- Korozivita

6. Hydrogeologie

- Pasporty domovních studní
- Hydrodynamické zkoušky
- Fotodokumentace

7. Geochemie

- Ekotoxicita + Voda
- Pitná voda
- Voda - agresivita

8. Pasporty SO

- SO C100 – Pozemní a parkovací plochy
- SO 201 Most přes TT, Šemberova – Vejrostova
- SO 202 Most přes TT, Kuršova – Vejrostova
- SO 204 Lávka přes TT, Listnatá – Přírodní
- SO 211 Zárubní zeď podél TT km 0,211 – 0,480 vpravo
- SO 212 Zárubní zeď podél TT km 0,211 – 0,480 vlevo
- SO 213 Zárubní zeď podél TT km 0,211 – 0,864 vlevo
- SO 214 Pilotová stěna u PTO
- SO 215 Opěrné zdi smyčky Kamechy
- SO 601 – 606 Hloubený a ražený tunel
- SO 661 Rekonstrukce tramvajové trati
- SO 662 Tramvajová trať
- SO 664 Tramvajová smyčka Kamechy

9. Fotodokumentace**10. Geodézie****11. Vrtná technická zpráva****12. Pedologický průzkum****13. Geotechnické výpočty****Rozdělovník:**

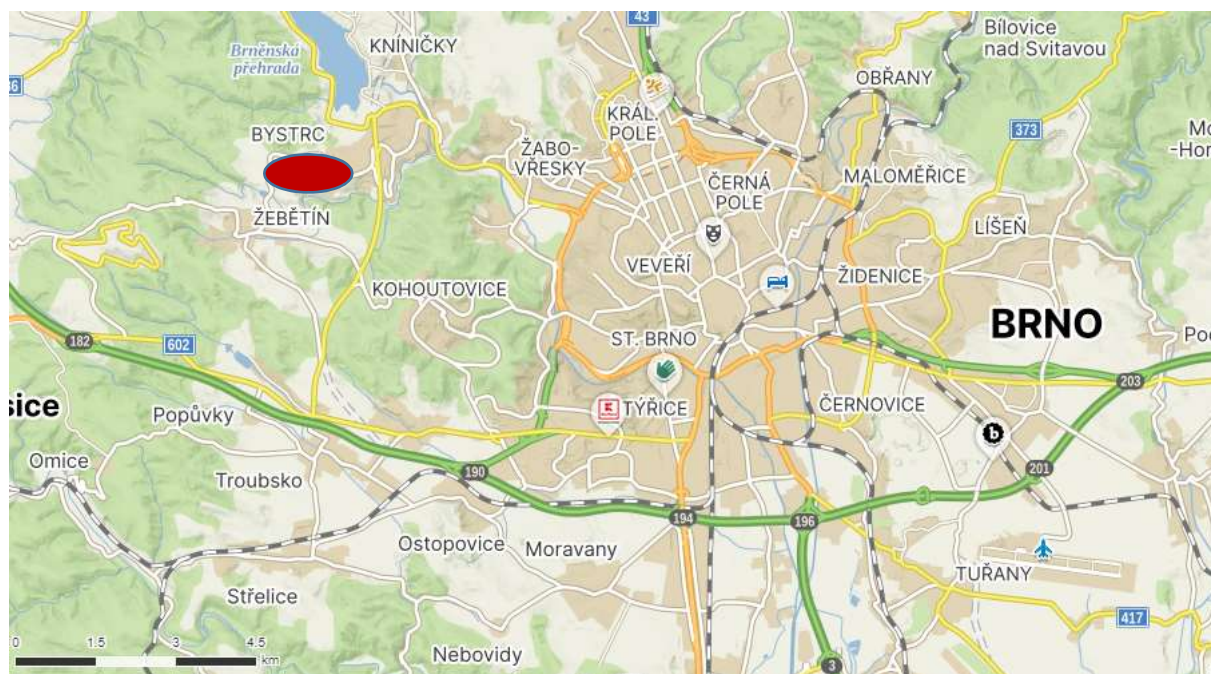
1 -3 a digitálně Dopravní podnik města Brna, a.s.
4 Česká geologická služba
Digitálně Projekce iGEO s.r.o.

1. Úvod

Na základě objednávky od společnosti Dopravní podnik města Brna a.s. byl proveden podrobný inženýrskogeologický, geotechnický, hydrogeologický a geofyzikální průzkum. Průzkum navazuje na předběžný, který v roce 2016 realizovala společnost GEOTest a.s. (Novotný a kol.). Účelem je doplnění informací pro sestavení komplexního geologického a geotechnického modelu pro projektování prodloužení tramvajové trati (etapa PDPS). Tramvajová trasa bude dlouhá přibližně 1,75 km. Součástí jsou hluboké zářezy, most, ražený tunel a násyp. Tunelový objekt bude dosahovat celkové délky 350 m a oba portálové úseky budou budovány jako hloubené.

Jednoznačně se dle ČSN EN 1997-1 odst. 2 jedná o 3. geotechnickou kategorii (podobně hodnotí i TP76A a ČSN P 73 1005). Přírodní prostředí je složité z důvodu morfologie, přítomnosti zemin a hornin různé geneze a silného tektonického porušení. Projektované stavební objekty jsou staticky náročné. Průzkum je realizován v k.ú. Brno – Bystrc a Žebětín (viz obr. 1). Jedná se o morfologicky složité prostředí přírodních elevací, hlubšího údolí a území předělané antropogenní činností, viz situace na následujících obr. č. 1. Průzkum probíhal podle projektu geologických prací, který zpracovala společnost AMBERG Engineering Brno a.s.

Průzkum byl zpracován v odsouhlaseném rozsahu a v souladu s ustanoveními platných právních předpisů, státních a oborových normativů a je registrován na CGS pod číslem 2366/2023. Během průzkumných prací proběhly 4 kontrolní dny, na kterých byly představovány výsledky, a byl diskutován postup prací a byly odsouhlasovány případné změny a návrhy. Autorský dozor vykonávala spol. AMBERG Engineering Brno a.s. – jmenovitě Ing. Vlastimil Horák. Geotechnické výpočty nebyly vyžadovány.



Obr. 1: Přehledná situační mapa zobrazující zkoumanou lokalitu (červeně), zdroj: www.mapy.cz

1.1 Průběh realizace

Před zahájením terénního průzkumu (08-10/2023) byly provedeny nezbytné úkony vyplývající ze zákonných povinností. Průzkumné práce byly zaregistrovány u Česká geologické služby. Dále byl průzkum ohlášen u městských částí a také bylo požádáno o stanovisko Oblastní báňský úřad a Jihomoravský kraj. Pro místa, kde bylo nutné realizovat sondy v místě silničních komunikací, byly vyžádány povolení ke vstupu anebo povolení dočasného záboru. Průzkumné práce probíhaly také v kolejišti současné tramvajové trati. Výluka byla v nočních hodinách.

Průzkumné práce byly zahájeny v červnu r. 2023 za pomoci neinvazivních geofyzikálních metod. Další etapa probíhala za pomoci těžké dynamické penetrace (typ STITZ), ručních a bagrovaných výkopů, zatěžovací desky průměru 300 a 600 mm, vrtných souprav realizující vrty pomocí TK i diamantových korunek s výplachem od 31. 8. 2023. Probíhající práce narazily na větší množství technických problémů, kdy byly rozsah a změny konzultovány s autorským dozorem. Jednalo se zejména o posuny sond, kam se nebylo možné vrtnou technikou dostat, zkracování sod, nahrazení vrtných sond dynamickou technologií a změny v laboratorních analýzách (navýšení počtů průkazných zkoušek, snížení počtu chemických analýz podzemní vody). Během realizace došlo k drobným krádežím a také poškození technologií. Z počátku byly vykopávané geodetické kolíky. Odpovědí ze strany geodeta byla jejich hlubší instalace. Jeden z vrtů (J120) připravených na karotážní měření byl demolován a zasypán, tak že nemohlo proběhnout měření. Terénní etapa byla ukončena v říjnu 2023.

Na základě projektu geologických prací proběhl odběr většího množství vzorků zemin a hornin pro laboratorní rozbor. Ze vzorků byly vybrány reprezentativní vzorky tzv. poloporušené (třídy kvality odběru, TKO C) a vzorky tzv. neporušené TKO A a technologické TKO C. Vzorky hornin byly zabaleny do fólie, nařezány a analyzovány na zkoušku v prostém tlaku. Laboratorní analýzy byly realizovány v laboratoři spol. GEODRILL s.r.o., ÚGTN FAST VUT v Brně a Projekce iGEO s.r.o. Podzemní voda byla odebírána do plastových nádob a také do skleněných nádob se zábrusem. Vzorky podzemní vody byly předávány nejpozději druhý den do laboratoře (EMPLA AG spol. s r.o.). Sondy byly geodeticky vytýčeny a zaměřeny spol. GEO75 s.r.o. Vrtné práce realizovaly společnosti GEO KRTEK s.r.o. a GTEST s.r.o. Dynamické penetrace a zatěžovací zkoušky deskou Projekce iGEO s.r.o., geofyzikální měření (MRS, ERT) Projekce iGEO s.r.o., karotáž (SG Geotechnika a.s.). Vyhodnocení výsledků probíhalo průběžně; výsledky byly postupně představovány AD. Výsledky předešlé etapy byly zakomponovány do geologického i geotechnického modelu. Předešlé výsledky jsou součástí geologických řezů i tabulek mechanických vlastností.

1.2 Projektovaný rozsah prací

Objednatel bylo požadováno provedení 37 vrtných sond (z toho 3 inklinometrické vrty a 4 hydrogeologické vrty a 7 vrtů pro karotáž), 8 dynamických (nebo statických penetrací), 6 kopaných sond a 2 statické zatěžovací zkoušky deskou. Analýza 12 neporušených vzorků (TKO 1A), 23 klasifikačních rozborů (TKO 3B), 7 technologických vzorků (stanovení Proctor standard, CBR, IBI), 43 vzorků hornin (TKO A), 25 vzorků podzemní vody, 14 geochemických analýz kameniva a zemin (kontaminace).

1.3 Použité normy pro průzkum a laboratorní rozbor

BS 1377-7:1990. Methods of test for soils for civil engineering purposes. Shear strength tests (total stress)

ČSN 03 8350 – Požadavky na protikorozní ochranu úložných zařízení

ČSN 03 8365 - Zásady měření při protikorozní ochraně kovových zařízení uložených v zemi. Stanovení přítomnosti bludných proudů v zemi

ČSN 03 8375 – Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi

ČSN 33 2000-5-54 (332000)Elektrotechnické předpisy. Elektrická zařízení. Část 5: Výběr a stavba elektrických zařízení. Kapitola 54: Uzemnění a ochranné vodiče

ČSN 73 1004: Navrhování základových konstrukcí - Stanovení požadavků pro výpočetní metody

ČSN 73 6405: Projektování tramvajových tratí

ČSN EN 1997-1: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla

ČSN EN 1997-2: Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 2: Průzkum a zkoušení základové půdy

ČSN EN 1998-1 Eurokód 8: Část 1: Obecná pravidla, seizmická zatížení a pravidla pro pozemní stavby

ČSN EN 206-1+A2: Beton – část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. ČSN 75 9010 - Pro návrh, výstavbu a provoz vsakovacích zařízení srážkových vod

ČSN EN ISO 14688-1: Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zatřídování zemin - část 1: Pojmenování a popis

ČSN EN ISO 22476-1 Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky - Část 1: Statická penetrační zkouška s elektrickým snímáním dat a měřením pórového tlaku

ČSN EN ISO 17892-4 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 4: Stanovení zrnitosti zemin

ČSN EN ISO 17892-5 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 5: Stanovení stlačitelnosti zemin v oedometru

ČSN EN ISO 17892-6 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 6: Kuželová zkouška

ČSN EN ISO 17892-10 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 10: Krabicová smyková zkouška

ČSN EN ISO 17892-12 Geotechnický průzkum a zkoušení - Laboratorní zkoušky zemin - Část 12: Stanovení konzistenčních mezí zemin

ČSN EN ISO 22282-4 (721015) - Geotechnický průzkum a zkoušení - Hydrotechnické zkoušky - Část 4: Čerpací zkoušky

ČSN P 73 1005: Inženýrskogeologický průzkum

NZS 4404_2010: Land development and subdivision infrastructure

ÖNORM B2203: Untertagebauarbeiten - Teil 1: Zyklischer Vortrieb - Werkvertragsnorm

SŽDC S3 – železniční svršek, díl X, kolejové lože a jeho uspořádání

TP76A, B, C - Geotechnický průzkum pro stavby pozemních komunikací

TP94 - Úprava zemin

TP124 – Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací

TP170 - Navrhování vozovek PK

TKP_D_7 Tunely, podzemní objekty a galerie (2016)

1.4 Další podklady

Hoek, E. (2006): Practical Rock Engineering. – www.rocscience.com

Horák, V., Kočíčková, V. aj. (2022): Prodloužení TT Bystrc-Kamechy - projekt podrobného geotechnického průzkumu. – MS AMBERG ENGINEERING Brno, a.s., Brno.

Charvát, J. a kol. (2022): Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy. – MS, Projekční kancelář OSSENDORF, s.r.o., Brno.

Klepsatel, F., Kusý, P., Mařík, L. (2003): Výstavba tunelů ve skalních horninách. – JAGA, Bratislava.

Nehyba, S., Otava, J., Bubík, M., Tomanová Petrová, P., Kirchner, K. (2007). Miocénní sedimenty v Brně-Bohunicích (ubytovna Fakultní nemocnice Brno). – Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku v roce 2006, 14, 31–34. Brno.

Novotný, M., Bulgurovská, M., Stach, J., Hanák, J., Pivnička, L. aj. (2016): Brno Bystrc-Kamechy, předběžný geotechnický průzkum pro prodloužení tramvajové tratě. – MS, GEOTest, a.s. Brno.

Poul, I. (2009): Vliv mineralogického složení na mechanické chování zemin. – MS, ÚGT, FAST VUT v Brně, Brno.

2. Charakteristika přírodních poměrů

Nadmořská výška se na jmenované parcele v místě posuzovaného území pohybuje v rozmezí 296-353 m n. m. Území spadá do subprovincie Bobrovská pahorkatina, celku Bystrcká kotlina.

2.1 Geologický vývoj oblasti

Město Brno se rozkládá na styku dvou různých regionálně geologických jednotek: střeoevropské variscidy (Český masiv) a Západní Karpaty (přímo na zkoumanou lokalitu nezasahují). Západní Karpaty jsou pohoří vzniklé v mladších třetihorách během Alpínského vrásnění a stojí za vznikem Karpatské předhlubně, jako souboru mořských pánví vzniklých před nasouvajícím se horstvem. Velké množství mladých mořských sedimentů bylo erodováno, ale zůstaly zaklesnuty v hlubokých údolích a přiléhajících svazích. Sedimenty zasahují hluboko jako platformní pokryv na Český masiv. V následujících odstavcích budou tyto jednotky popsány z hlediska geologického a současně bude nastíněn jejich odlišný vývoj.

Český masiv je pozůstatkem horstva, které bylo vytvořeno během variské orogeneze v mladších prvohorách (během 380 až 310 miliónů let před současností) konsolidací různých geotektonických celků. Pohoří tvořilo v Evropě jeden rozsáhlý pás, jehož pozůstatky můžeme nyní pozorovat od Pyrenejského poloostrova, přes Francii až do střední Evropy. K vyklenutí masivu a následujícímu obnažení nejstarších hornin došlo až během alpínského vrásnění, kdy na jv. okraj byly natlačeny Karpaty. Následná eroze vtiskla reliéfu současnou tvárnost (občasné došlo k prokopírování dřívějších údolí). Z petrologického hlediska je masiv tvořený převážně magmatity a méně metamorfity, na nichž spočívá na některých místech až několik km mocný sedimentární pokryv (proterozoikum až kvartér). Východní část Českého masivu v okolí Brna je pojmenovaná jako brněnská jednotka.

Brněnská jednotka - bývalý mikrokontinent - je rozdělena na západní a východní kru, které dříve tvořily dva dílčí samostatné mikrokontinety. Mezi krami

je situován šev (ofiolit), tzv. metabazaltová zóna, probíhající přes město Brno ve směru téměř S-J. Západní kru tvoří několik „I“ typů granitoidů (vznikly přetavením magmatitu), které intrudovaly (přibližně před 585 MA) do klastických hornin charakteru drob a pískovců s občasnými vulkanity. Během intruze byla některá klastika metamorfována až do amfibolitové facie. Jádru východní kry je tvořeno intruzemi granitoidu typu „S“ (vznikl přetavením sedimentu).

Na magmatity a metamorfity se po dlouhém vývoji bez sedimentárního záznamu uložily vápence stáří devonu, viditelné dnes jako tektonický relikt, nejvíce jako Moravský kras. Tyto vápence byly v době vrcholícího variského vrásnění (starší karbon) překryty mocnými usazeninami slepenců a drob. Brněnská jednotka byla tedy během variské orogeneze připojena k Českému masivu. Po dlouhotrvajícím období eroze došlo k další mořské záplavě až uprostřed druhohor ve střední juře (cca 175 MA). Během spodní křídly se na krátkou dobu vynořil kontinent, což bylo spojeno s erozí a krasověním karbonátů. Moře se vrátilo až během svrchní křídly na začátku alpínského vrásnění a v neogénu. (Chlupáč *et al.*, 2002).

Západní Karpaty jsou částí rozsáhlého pásebného pohoří, které se táhne od Pyrenejí až do Himalájí. Jeho vznik a vývoj spadá převážně do třetihor (alpínského vrásnění). Hlavním podnětem pro vznik pohoří byla srážka africké a indické kontinentální litosférické desky se severněji položenými kontinenty - zejména Euroasií. Během této srážky docházelo k zániku paleooceánu Tethys. Pohybující se masy strhávaly z mořského dna velké množství sedimentů, které pak hrnuly před sebou. Ke konci vrásnění došlo k připojení jižně situovaných mikrokontinentů k Eurasii a ke zpevnění v jeden celek.

Karpatská předhlubeň (součást platformního pokryvu Českého masivu) je podélná sníženina na předpolí karpatského horstva, která je od severozápadu lemovaná vyklenutým Českým masivem a od jihovýchodu karpatským pohořím. Pokleslou oblast zalilo neogenní moře a uložilo zde několik stovek metrů písků/pískovců, jílu a štěrků (stáří ottang, Nehyba a kol. 2007). Na usazeniny karpatské předhlubně (jižně a východně od Brna) byly ke konci vrásnění (asi před 16,5 MA) natlačeny horniny spadající do flyšového pásma. Toto bylo spojené se vznikem přesmyků orientace JZ-SV a příčných zlomů SZ-JV. Díky tektonickým pohybům během Alpínského vrásnění, jeho dozvukům a posléze gravitačního rozpadu orogenu a také později docházelo ke sblížení jílu různých stáří a facií.

Badenské jíly

Po ukončení nejvýraznějších tektonických pohybů před spodním badenem došlo k poklesu území a současný vzestup hladiny světového oceánu zapříčinil rozsáhlou mořskou transgresi. V první fázi transgrese vznikala klastika převážně kontinentálního původu. Jsou zde zastoupeny zvětralé horniny předbadenského stáří (prokázáno ve vrtu J130). Vzhledem ke složitosti geologické stavby se může jednat o různé magmatity, metamorfity a sedimenty. Ve druhé fázi transgrese jsou sedimenty charakteristické usazením homogenních nazelenalých vápnitých nevrstevnatých jílu hemipelagického typu. Tyto jíly jsou v okolí Brna pojmenované zastaralým názvem vycházejícím z němčiny - „tégly“. Mezi tégly bývají řazeny jednak jíly ottangu, karpatu i badenu. V Kamechách jsou přítomná bazální klastika složená z **písku a jílovitého písku stáří ottang** (stáří 18 MA). Dle výzkumů ČSG (mikropleontologie) se na zkoumaném úseku jedná **také o svrchní baden** (zejména u současné zast. Ečerova), který patří v Brně a okolí k

nejprozkoumanějším. Po uložení vrstev jílu a následnému ústupu moře (před 16,5 MA) probíhala kompakce sedimentů nejefektivněji - zemina již nebyla nadlehčována vztlakem vody. Během konsolidace docházelo k vytlačování volné vody z pórů zeminy a deformaci primární, pravděpodobně izotropní struktury.

Ústup moře a vývoj v kvartéru

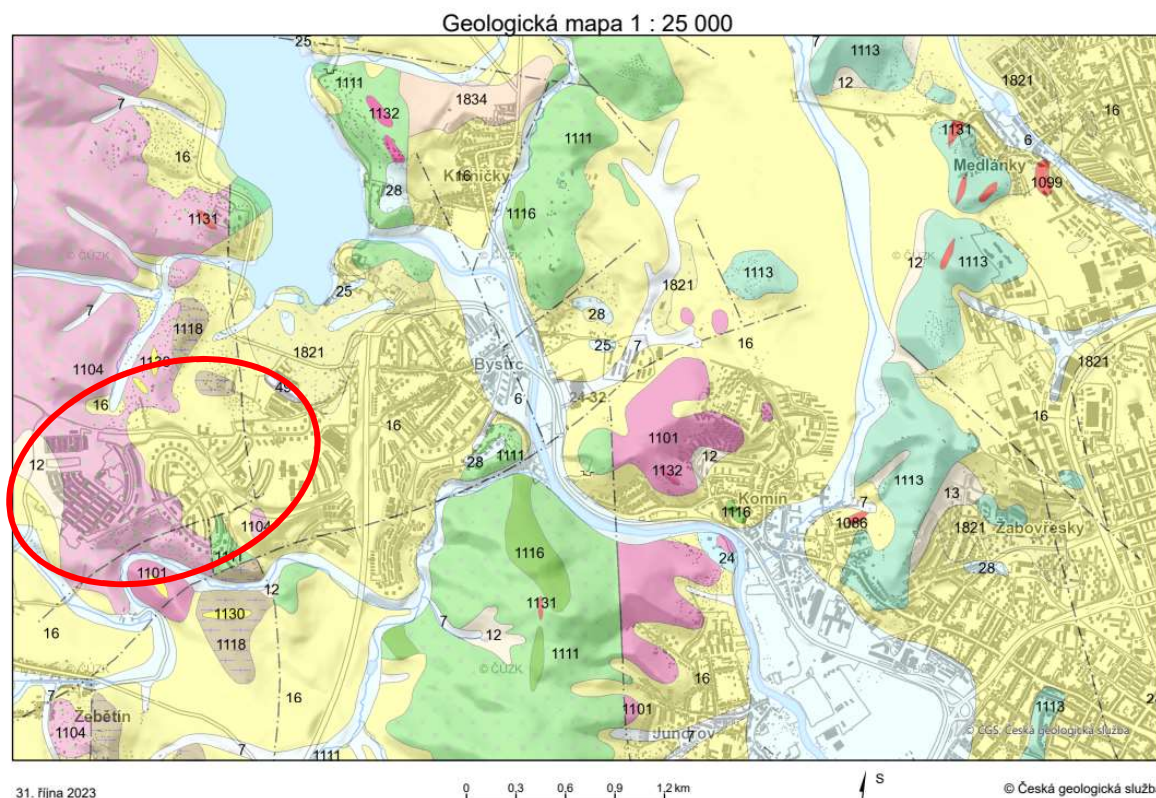
Po odeznění tektonických pohybů spojených s alpínským vrásněním a ústupu moře docházelo k postupnému zařezávání řek tekoucích k moři. Vodní toky rozrušovaly původní mořské dno a sedimenty vyklízely. V dobách chladnějších (na začátku dob ledových) naopak energie vodního toku poklesla a v místech erodovaných jílu se ukládaly vrstvy štěrků a písků (tvoří terasy v okolí Brna). Některé ze jmenovaných teras byly opět prořezány vodním tokem.

Po ústupu moře tedy docházelo ke zvětrávání a odnosu stále hlouběji uložených vrstev jílu, takže se na povrch dostávaly hlouběji a silněji konsolidované jíly. Jíly byly také zakryty mladšími sedimenty (jedná se o fluviální terasy, svahoviny a modifikované eolické spraše = sprašové hlíny). Během působení exogenních fyzikálních činitelů v povrchových partiích jílu dochází **ke zvětrávání, sesouvání a přeplavování zemín**. Na zkoumané oblasti tak docházelo ke vzniku mocných akumulací písků, štěrků smíšených s jílem a prachem. Mění se také vlhkost zeminy a částečně dochází ke změnám mineralogického složení. Všechny tyto změny se zásadně podílí na mechanických vlastnostech zemín. Svrchní vrstvy na rovinách a na mírných svazích jsou tvořeny eolickými sprašemi. V rámci těchto sedimentů byly zjištěny i pohřbené půdní horizonty, které ukazují na vznik minimálně během dob meziledových. Spraše vznikaly vyfoukáváním glaciálního tylu z ledovcových morén, a mají silně porézní chaoticky uspořádanou strukturu, která drží pohromadě převážně z důvodu přítomnosti vápnatého tmelu. Zastižené zeminy mají vyšší objemovou tíhu než typické spraše a nejsou prosedavé. Z uvedeného důvodu budou označovány za **sprašové hlíny**.

2.2 Tektonika

Geologická skladba v podloží města Brna je velmi složitá založená na přítomnosti mnoha různých hornin; k jejichž sblížení došlo během 2 významných vrásnění: hercynské a alpínské. První vrásnění probíhalo během končících prvohor a Český masiv výrazně zasáhlo. **Ve městě Brně se jedná zejména o násunové struktury jejichž orientace je zejména S-J a případně také SZ-JV**. Po ukončení horotvorných pohybů následovala etapa gravitačního rozpadu vzniklého velehorstva, které se projevilo vznikem hlubokých depresí a poklesových zlomů orientace SSV-JJZ.

Během alpínského vrásnění byly aktivní zejména **zlomy orientace SZ-JV a SV-JZ**. První orientace patří zejména subvertikálním zlomovým systémům, které nově vznikaly, ale zejména došlo k reaktivaci systémů starších. Druhý systém je spjatý s násunou. Celý horninový masiv je silně tektonicky porušen. Jedná se o zlomy převážně poklesového charakteru (mladší třetihory, pleistocén), na kterých zůstaly zaklesnuté neogenní mořské usazeniny. Právě přítomnost zlomů velice komplikuje interpretaci geologické stavby. Tektonické zlomy jsou patrné z geofyzikálních profilů – dochází zde ke kontaktům různých prostředí. Na některých zlomech vznikla i tektonický brekcie občasně vyplněná právě neogenním jílem (více viz příloha 5 – geofyzika, karotáž a kap. 5.2).



Obr. 2: Výřez z geologické mapy ČGS, zkoumané území vyznačeno červeným oválem, zdroj www.geology.cz, Vysvětlivky: růžově – granitoidy, zeleně – metabazality a amfibolity, tm. Zeleně diority, žlutě – eolické spraše

2.3 Klimatické poměry

Klimaticky se oblast nachází v teplé oblasti (Quitt, 1971). Tato oblast lze charakterizovat dlouhým, teplým a suchým létem. Zima je krátká, mírná a suchá. Přechodná období jsou krátká s mírným jarem a teplým podzimem, krátké trvání sněhové pokrývky. Zemina dle zkušenosti promrzá do hloubky max. 0,6m. Klimatické charakteristiky dle Quitta (1971) uvádí tab. 1.

počet dnů s průměrnou teplotou nad 10°C	170 - 180			
počet letních dnů	60 - 70			
počet mrazových dnů	100 - 110			
počet ledových dnů	30 - 40			
počet dnů se srážkami nad 1 mm	80 - 90			
počet dnů se sněhovou pokrývkou	40-50			
průměrné srážky ve vegetačním období	300 - 350			
průměrné srážky v zimním období	200 - 300			
průměrné teploty	leden	duben	červenec	říjen
	-2 až -3°C	9 - 10 °C	19 - 20 °C	9 - 10 °C

Tab. 1: Průměrné klimatické charakteristiky podle Quitta (1971).

2.4 Srážky

Pro město Brno norma ČSN 75 9010 tab. A. 2 doporučuje uvažovat s 37,1 mm srážek za 4 h. Vzhledem ke klimatickým změnám přicházejí i neočekávané přívalové deště. Pro extrémní situaci bychom doporučili uvažovat se spadem dešťové vody 35 mm/h, tento objem nemusí být rozšiřován koeficienty bezpečnosti. Projektování vsakovacího zařízení vychází z normy ČSN 75 9010 odst. 6.2. Redukovaná odvodňovaná plocha je ozn. A_{red} a stanoví se jako suma plochy redukovaná koeficientem ψ podle sklonu a ρ asfaltové plochy do sklonu 1% je to 0,7, pro sklon 1-5 % 0,8, nad 5 % je to 0,9 (a pro střechy 1,0).

Pro stanovení úhrnu srážek lze využít doporučení ČSN 75 9010 – přílohy A.1 a 2.

Číslo stanice	Místo	Nadmořská výška [m n. m.]	Periodicita ρ [rok ⁻¹]	Doba trvání srážek t_c [min]							
				5	10	15	20	30	40	60	120
				Návrhové úhrny srážek h_d [mm]							
1	Brno	257	0.2	9.5	13.5	16.5	18.5	21.3	23.9	26.2	33.1
			0.1	11.1	15.7	19.4	21.6	25.1	28.2	31.0	38.9

Číslo stanice	Místo	Nadmořská výška [m n. m.]	Periodicita ρ [rok ⁻¹]	Doba trvání srážek t_c [h]								
				4	6	8	10	12	18	24	48	72
				Návrhové úhrny srážek h_d [mm]								
1	Brno	257	0.2	37.1	38.7	39.4	40.1	40.7	42.7	44.2	53.9	60.2
			0.1	43.8	47.3	48.6	49.3	50.0	52.2	53.8	63.9	70.9

Tab. 2: Výřezy z tab. A.1 a A.2 ČSN 75 9010 (nejbližší referenční bod je Brno)

2.5 Hydrogeologické poměry

Z hydrogeologického hlediska zájmová lokalita spadá do povodí III. řádu Svatka po Svitavu (4-15-01) - povodí Dyje, do hydrogeologického rajonu Krystalinikum brněnské jednotky (6570).

Na území plánované trasy je z regionálně hydrogeologických typů prostředí: hydrogeologický skalní masiv s puklinovou propustností (silně tektonicky porušený) a neogenní jíly a nezpevněné písčité sedimenty a kvartérní svahoviny. Hydrogeologický masiv, ke kterému se řadí i brněnský granodioritový masív, bývá charakteristický vznikem jednoho celistvého kolektoru v přípovrchové zóně rozpuštění a rozvolnění hornin a sahá do hloubky několika prvních desítek metrů. Těmito místy dochází k plošné infiltraci vod do podzemního oběhu, zejména ve vrcholových partiích, odkud se voda pohybuje svahovými oblastmi směrem k erozní bázi, kde dochází k odvodnění. Zvodně bývají charakteristické mělkým oběhem v zóně rozvolnění a rozpuštění, avšak velký význam pro oběh podzemních vod mají četné otevřené tektonické poruchy a litologické hranice, kterými voda sestupuje a tvoří hluboký oběh podzemních vod. Ve vrtu INK118 byl v hloubce 18 m jištěn tektonický zlom vyplněný neogenním jílem, který nesl stopy oxidačních procesů (obsahuje limonit, změna barvy jílu na béžovo-rezavou).

Směrem do podloží přechází průlinová porozita kvartérních sedimentů v puklinový systém oběhu podzemních vod. Kvartérní sedimenty vykazují střední až nízkou propustnost $\times 10^{-6}$ m/s. Neogenní jíly jsou téměř nepropustné $\times 10^{-8}$ m/s. Neogenní písky (ottnang) vykazují průlinovou propustnost $\times 10^{-5}$ m/s.

2.6 Ostatní

V zájmové oblasti nejsou evidována žádná poddolovaná území.

Na zájmovém území se nevyskytují žádné geodynamické jevy.

Seismičita (ČSN EN 1998) **ne**. Seismičita zájmového území byla klasifikována dle normy ČSN EN 1998-1 Navrhování konstrukcí, odolných proti zemětřesení, její národní přílohy a změny Z4/2016. Pro zájmové území je stanovena hodnota referenčního špičkového zrychlení $agR < 0,03$ g. Typ základové půdy A (skalní horniny) až B na základě míry štěrkovitých zemin a jílu (tab-3.1, ČSN EN 1998), součinitel pružné odezvy typ 2 – S = 1,0-1,35 (tab. 3.3), součinitel významu stavby $\gamma I = 1,2$ (třída významu pozemních staveb tab. 4.3 III) a součinitel tabulka NA 1.

Výpočet: $agS = agR * S * \gamma I = 0,03 * 1,175 * 1,2 = \mathbf{0,0423}$ g. V souladu s článkem národní přílohy NA 2.8. jsou za případy velmi malé seismičity považovány ty, kdy hodnota $agS \leq 0,05$ g. V ostatních případech **je nutné pro návrh konstrukce uvažovat její seizmické zatížení.**

Mikropaleontologie

Pro ověření stratigrafické příslušnosti neogenních jílu byly odebrány a na České geologické službě zkoumány a interpretovány 2 vzorky neogenních usazenin (Dr. Miroslav Bubík).

HV110 (1,9-2,0 m)

Planktonické foraminifery: *Orbulina suturalis*, *Globigerina bulloides*, *Trilobatusimmaturus*, *T. bisphericus*, *T. praeimmaturus*, *Paragloborotalia mayeri*, *Globigerinellapraesiphoniphera*. Bentické foraminifery: *Martinottiella karreri*, *Lenticulina* spp., *Dentalina* sp., *Lingulina* sp., *Siphonodosaria consobrina*, *Lobatula lobatula*, *Laevidentalina* spp., *Grigelis* sp., *Sphaeroidina*, *Nodosaria hispida*, *Heterolepa dutemplei*, *Bolivina antiqua*, *B. hebes*, *Lapugyina schmidj*, *Melonis pompilioides*, *Pullenia bulloides*, *Bulimina buchiana*, *Sigmoilinita tenuis*, aj. Ostatní: *Bivalvia*, *Echinoidea*, *Brachiopoda* (úlomky), *Ostracoda*.

Závěr: spodní baden – zóna *Orbulina suturalis*. Společenstvo bez křemitých mikrofosilií (radiloií a rozsivek), takže to není nehlubokovodnější biofacie. Četný výskyt *Melonis pompilioides* nicméně indikuje hloubky nehlubšího sublitorálu až batyálu.

J130 (8,5-8,6 m)

Zcela bezfosilní. Popis rezidua: poloostrohranná až ostrohranná zrna křemene a K-živce. Živce jsou většinou kaolinizované, ale některé i čerstvé. Tmavé minerály prakticky chybí. Akcesoricky zaznamenán ilmenit (?) a alfa-křemen.

Závěr: Reziduum lze interpretovat jako detrit granitoidu. V geologické mapě je v daném místě „leukokratní granit, místy až biotitický“. Na druhou stranu, hojná šedá jílovitá frakce může být sedimentárního původu a stejně tak alfa-křemen pochází z vulkanického zdroje a stěží z granitu. Vzorek lze tedy interpretovat jako fluvio-lakustrinní jíl s přeplaveným detritem ze zvětralé lokální horniny - snad stáří ottnangu.

Pedologie

Dle volně dostupných podkladů se jedná zejména o antropozemě, občasné hnědozemě a kambizemě. **Zeminy nespadají pod BPEJ.**

3. Terénní práce a metodika průzkumných prací

Geotechnický průzkum byl složen z kombinace různých terénních přímých i nepřímých metod: jádrové vrty, dynamické penetrace, statické zatěžovací zkoušky deskou ve spolupráci s průkazným laboratorním testováním mechaniky zemin a hornin.

Geologické prostředí je **rozděleno na kvazi homogenní geotypy G1 – G5.3** (charakteristika viz kap. 5.1). Vzhledem k velkému rozsahu zkoumaného území a variabilitě, budou fyzikální i mechanické vlastnosti zemin doporučeny se statistickým vyhodnocením jako medián + směrodatná odchylka a pro každý stavební objekt podrobněji. Klasifikace zemin proběhla podle ČSN 73 6133 a ČSN EN ISO 14688-2.

3.1 Vrtné práce

Vrtné práce byly realizovány firmou Geokrtek, s.r.o. a rozšíření na 156 m G-test s.r.o. Vrtné práce se skládaly z:

- Jádrové vrty vrtané TK do hl. 15 m
- Jádrové vrty vrtané dvojitou jádrovkou s výplachem v hloubkovém intervalu 0,0 - 30,0 m
- Jádrové vrty vrtané dvojitou jádrovkou s výplachem v hloubkovém intervalu 30,0 - 40,0 m
- Přibírka HG vrtu na $\varnothing 156$ mm
- Vystrojení HG vrtu PVC pažnicí $\varnothing 125$ mm, obsyp, těsnění
- Vystrojení vrtu inklinometrickou pažnicí $\varnothing 63$ mm, obsyp, těsnění (vratní dodání pažnice + obsypu)

Vrtná jádra i zarážené sondy byly fotografovány (viz Příloha 9 - Fotodokumentace).

Bylo realizováno 38 jádrových vrtů. Dokumentace vrtů jsou součástí přílohy 3.

3.2 Dynamické penetrační sondy

Pro ověření mechanických vlastností hlubšího podloží byly realizovány dynamické penetrace (10x). Těžká dynamická penetrace byla využita ve vlastnictví Projekce iGEO s.r.o. a jedná se o typ STITZ. Postup provádění byl zvolen podle ČSN EN ISO 22476-2 a průzkum byl vyhodnocen podle ČSN EN 1997-2. Jedná se o těžkou penetrační sondu se závažím (beranem) 50 kg s dopadem na kovadlinu z výšky 50 cm. Hrot je normový s pravým úhlem v řezu. Byly využity neztratné hroty. Vliv tření na tyčích byl stanovován za pomoci momentového klíče a stanovení parazitických úderů přepočtem podle ověřených počtů úderů a případně dalších publikovaných postupů (např. Matys a kol. 1990). Výsledkem penetračního

sondování jsou nalezená rozhraní mezi geologickými vrstvami, deformační vlastnosti, efektivní úhel vnitřního tření, konzistence jemnozrnných zemin a ulehlost hrubozrnných. Touto metodikou je zejména možné zkoumat zvětralé až navětralé skalní horniny. Efektivní smykovou pevnost složenou z úhlu vnitřního tření a koheze u jemnozrnných zemin není možné stanovit. Lze stanovit neodvodněnou smykovou pevnost jemnozrnných zemin a efektivní úhel u nesoudržných hrubozrnných zemin.

Vlastnosti zemin byly stanoveny kalibrací penetračních křivek podle průkazných laboratorních analýz, jak doporučuje ČSN EN 1997-2. Hlavním výstupem jsou interpretace křivek dynamické penetrace v příloze 3 (řezy v příloze 2). Zde jsou zeminy popsány z mechanického hlediska: reziduální zemina charakteru štěrku jílovitého obsahuje (granulometricky) klasty matečné horniny natolik zvětralé, že je možné jejich drcení pouze v ruce (mechanicky se nejedná o štěrk). Taková zemina je potom popsána jako prach, nebo jemnozrnný písek (závisí na velikosti krouticího momentu). **Mechanické vlastnosti byly kalibrovány s průkaznými laboratorními analýzami z laboratoře.**

Dle odst. 4.7.1 (4) ČSN 1997-2 lze stanovit pevnostní a přetvárné charakteristiky pomocí vhodných korelací. Více to rozvádí odst. 4.7.4, který mimo jiné doporučuje korelovat výsledky za pomoci zatěžovací zkoušky pilot a výsledků qc ze statické penetrace ale i jiné. Dle odst. 4.2.3 normy ČSN 1997-2 je nutné: *„...se ujistit, že poměry v podloží zkoumaného staveniště jsou srovnatelné s okrajovými podmínkami danými pro korelaci.“*

3.3 Bagrované a kopané sondy

V rámci provedeného inženýrskogeologického průzkumu byly realizovány 5x bagrované sondy a 2x kopané sondy, které sloužily k dokumentaci geologického podloží i pro odběry porušených, technologických vzorků a na měření neodvodněné smykové pevnosti vrtulkovou zkouškou (BS 1377, ČSN EN 1997-2). Dokumentace sond je obsahem přílohy 3. U soudržných zemin byla v terénu stanovena neodvodněná smyková pevnost za pomoci vrtulkové zkoušky (BS 1377-7:1990) a vyhodnocení proběhlo podle ČSN EN 1997-2. Při klasifikaci zemin bylo postupováno dle technické normy ČSN EN ISO 14688 případně ČSN P 73 1005.

Na základě geologických popisů průzkumných sond s ohledem na laboratorní výsledky odebraných neporušených vzorků bylo provedeno základní vymezení typů zemin, které se v posuzovaném území vyskytují a jejich ohodnocení v rozsahu potřebných parametrů.

3.4 Zatěžovací zkoušky deskou

Zkoušky stanovení deformačního modulu (3x) probíhaly v kopaných sondách S101 a S102 (zatěžovací deska měla průměr 300 mm podle metodiky ČSN 72 1006 příloha A) a dále v bagrované sondě BG 151 (portál tunelu, směr město - zatěžovací deska měla průměr 600 mm podle metodiky ČSN 72 1006 příloha B), připravených pro účel této zkoušky. Výsledky jsou součástí přílohy 3.

3.5 Laboratorní analýzy

Laboratorní analýzy probíhaly v laboratoři Projekce iGEO, s.r.o., laboratoři společnosti GEODRILL s.r.o, laboratoři Ústavu geotechniky Fakulty stavební VUT v Brně a laboratoři Katedry geotechniky, SvF STU v Bratislavě.

Průzkumné práce slouží k ověření mechanických vlastností zemin v přirozeném uložení, sestavení inženýrskogeologických řezů a k případnému ověření hladiny podzemní vody v trase nově budované trasy s příslušným tunelovým SO (viz pasport – příloha 8 a kap 9).

Umístění zájmové oblasti je patrné z obr. 1 a ze situačních map (viz přílohy pod číslem 1).

3.6 Mělká refrakční seismika (MRS)

Měření metodou MRS bylo realizováno na 11 příčných a 6 podélných profilech 24-kanálovou aparaturou Geode (Geometrics, Inc.). Pro registrování příchozích P vln byly použity geofony s vlastní frekvencí 10 Hz. Jako zdroj seismické energie bylo použito 8-kg seismické kladivo a vertikální údery do kovové destičky. Spínání elektrického obvodu o kovovou destičku sloužilo zároveň jako signál (tzv. trigger) pro spuštění seismického záznamu. Za účelem zlepšení poměru signál/šum byly údery na jednotlivých bodech sumovány. Délky profilů a rozestupy snímačů byly voleny s ohledem na efektivní pokrytí zadaný profilů a detailní rozlišení.

Změřená data byla zpracována v programovém balíku SeisImager standardní metodikou v programu a následným výpočtem rychlostního modelu. Výsledkem zpracování jsou 2D rychlostní řezy, udávající změny rozložení rychlostí šíření seismických vln s hloubkou podél profilu. Do změřených dat byla během procesu zpracování zavedena topografie, převzatá z Digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G, ČÚZK). Výsledné interpretace byly korelovány s vrtným průzkumem.

Naměřené rychlosti šíření seismických vln se pohybovaly v intervalu od prvních desetín až po 5,2 km/s. Nejnižší rychlosti šíření vyznačené ve výsledných profilech modrou barvou odpovídají kvartérním zeminám a zvětralinovému plášti, jejichž mocnosti dosahuje až 15 m. Zelená barva označuje zpravidla rozpukané skalní podloží pevnosti R5 až R4. Červenou barvou, která odpovídá nejvyšší rychlosti šíření seismických vln, jsou pak vyznačeny nejkvalitnější detekované polohy odpovídající třídám pevnosti R3 a vyšším. Na rychlostních řezech P-1 až P-6 a P-A až P-K je dobře patrný reliéf skalního podloží i rozložení jednotlivých poloh v horninovém prostředí. Výsledky ukazují, že kvalita horninového prostředí narůstá s hloubkou. Výsledky jednotlivých MRS měření jsou podrobně popsány v příloze 5 - geofyzika.

3.7 Elektrická odporová tomografie (ERT)

Měření metodou ERT bylo realizováno na 11 příčných a 4 podélných profilech pomocí aparatury ARES II a aktivních multielektrodových kabelových sekcí. Pro měření bylo využito Wenner-Schlumbergerova uspořádání elektrod ve variantně HD. V tomto uspořádání je proud zaváděn do zkoumaného prostředí dvěma proudovými elektrodami a zároveň je na dvou potenčních elektrodách měřeno napětí. Měřicí parametry jednotlivých profilů byly voleny za účelem optimálního

pokrytí studované oblasti s ohledem na dobrý detail výsledků.

Data byla zpracována v programu Res2Dinv jako inverzní odporový model zobrazující distribuci měrného odporu ve 2D vertikálním řezu podél profilu. Data byla zobrazena v jednotné škále pro všechny profily. Do změřených dat byla během procesu zpracování zavedena topografie, převzatá z Digitálního modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G, ČÚZK). Naměřené výsledky byly korelovány s výsledky vrtného průzkumu.

Naměřené hodnoty odporů se pohybují v rozsahu od jednotek po přibližně 500 ohm·m. Nejnižší hodnoty značené modrou barvou odpovídají vodivým zeminám jílového charakteru. Zelené odstíny zpravidla značí přechodné oblasti mezi jemnozrnnými a hrubozrnnými zeminami typu jílu štěrkovitého či písku prachovitého. Červenou barvou jsou značena odporová maxima, která odpovídají suchým štěrčkům nebo skalním horninám typu granodiorit. Na výsledných odporových řezech P1-3, P2-4, P5, P6 a P-A až P-K je patrná distribuce zemin, kontakty mezi vodivými a nevodivými zeminami (jíl/štěrk) a tektonická stavba studované oblasti. Výsledky ERT jednotlivých měření jsou podrobně popsány v příloze 5.

3.8 Vertikální elektrické sondování (VES)

Měření metodou VES bylo realizováno na 102 bodech pomocí aparatury ARES I a dvou párů měřících elektrod. Pro měření bylo využito Schlumbergerova uspořádání elektrod. V tomto uspořádání je proud zaváděn do zkoumaného prostředí dvěma proudovými elektrodami a zároveň je na dvou potenčních elektrodách měřeno napětí. Měřící parametry jednotlivých bodů byly voleny za účelem dosažení požadovaných hloubek průzkumu. Data byla zpracována v programu VesInterp jako model zobrazující distribuci měrného odporu v směrem do hloubky v daném měřícím bodě. Data byla zobrazena v jednotné škále pro všechny profily. Naměřené výsledky byly korelovány s výsledky vrtného průzkumu (viz příloha 5).

3.9 Karotáž

Karotážní měření byla provedena firmou SG Geotechnika a.s. ve vrtech HV117, HV121, INK116, INK118, INK119 a J122. Karotážní mělo proběhnout i na vrtu J120, který byl zničen vandaly. Jejich cílem bylo ověření litologických profilů vrtů, zhodnocení míry porušení hornin, detekce puklin a objasnění režimu proudění podzemní vody v hydrogeologických vrtech. Pro tyto účely byla provedena gama karotáž, neutron neutron karotáž, gama gama karotáž v hustotní modifikaci, elektrokarotáž, akustická karotáž, akustické skenování a inklinometrie. Pro objasnění hydrogeologických poměrů provedeno měření fyzikálně-chemických parametrů vody a resistivimetrie. Princip jednotlivých metod podobně jako výsledky jsou rozepsány v příloze 3.

Data získaná za pomoci akustického skenování byla v programu Statect vynesena jako oblouky a pro čitelnost přepočtena do podoby konturového diagramu.

3.10 Korozní průzkum

Pro účely projektování ochrany budoucího stavebního objektu před účinky

bludných proudů byl na dotčeném pozemku realizován korozní průzkum v souladu s ČSN 03 8363 na 10 stanovištích označených BP1 až BP10. Terénní práce sestávaly z měření mezielektrodových potenciálů a zjištění zdánlivého měrného odporu horninového prostředí.

Zdánlivý odpor prostředí byl stanoven Wennerovou metodou s rozstupem proudových elektrod až 10,6 m. Hloubkový dosah měření činil přibližně 8 m. Hodnoty zdánlivého měrného odporu byly, v souladu s normou ČSN 03 8363, opraveny o roční změny. Podle měřených odporů je možné prostředí klasifikovat stupněm agresivity, tak jak znázorňuje tabulka 2.1.1.

Podrobné výsledky korozního průzkumu jsou prezentovány v příloze 5. Rozdíl potenciálů byl měřen mezi měděnými nepolarizovatelnými elektrodami vzdálenými od sebe 10 m ve směrech sever – jih a východ – západ. Doba měření v každém směru činila 30 minut. Hodnoty napětí byly zaznamenávány každých 15 sekund.

Na základě naměřených dat byla vypočtena hustota proudů v půdě, dle které bylo zájmové území klasifikováno stupněm agresivity (dle ČSN 03 8375) a specifickým stupněm ochranných opatření (TP 124).

4. Geofyzikální průzkum - výsledky

V rámci průzkumných prací bylo provedeno velké množství geofyzikálních měření. Jednalo se zejména o profily realizované pomocí mělké refrakční seismiky (MRS), odporové tomografie (ERT), vertikální elektrické sondování (VES) a karotáže. Také bylo provedeno stanovení tzv. bludných proudů.

4.1 ERT, MRS a VES

Geofyzikální průzkum realizovaný pomocí metod MRS, ERT, VES a karotážních měření přinesl řadu poznatků o litologicko-strukturních vztazích na zkoumaném území. Na výsledných řezech jsou patrné především pozice a mocnosti zemních jednotek, kvalita hornin a jejich tektonické porušení.

Profily P1 a P2 a P-A až P-C dokumentují strukturně-geologické poměry v oblasti strže. Na výsledných profilech je patrný zlom, který predisponuje existenci strže. Dále je na lokalitě dokumentován rozsah třetihorních marinních sedimentů, které nasedají na paleozoické magmatické a metamorfované horniny.

Profily P3 a P4 a P-D až P-F dokumentují především mocnost zvětralinového pokryvu v oblasti plánovaného tunelu. Kombinací metod byla ověřena jejich mocnost v rozmezí 13 až 17 m v závislosti na reliéfu současném i podložním.

Profily P5 a P6 zaznamenávají několik poklesových zlomů, které ohraničují zakleslé neogenní sedimenty v kilometrů 0,3 až 0,5 budoucí tratě. Obdobně je na řezech také patrná vyzdvížená hrást tvořená metamorfovanými horninami.

Profil P-G dokumentuje mocnost kvartérních sedimentů, která činí přibližně 9 m, a neogenních jílo, která dosahuje přibližně 15 m.

Profily P-H a P-I zobrazují poklesový zlom se sklonem přibližně 30°, podél kterého byly zaklesnuty neogenní zeminy vedle štěrkovitých zvětralin metamorfovaných hornin.

Profily P-J a P-K zobrazují mocnost a průběh vrstev kvartérních zemin a zvětralinového pláště.

4.2 Karotáž

Pomocí karotážních měření byla upřesněna litologická stavba a míra porušení hornin. Akustický skener detekoval a zaměřil přes 700 diskontinuit. Karotážní data také poskytla informace o přirozené radioaktivitě prostředí, která nedosahuje zvýšených hodnot. Přesné výsledky jsou součástí přílohy 5.

Na získaném konturovém diagramu je patrných několik hlavních směrů porušení horninového masivu studované oblasti. Nejvýraznější maximum ve směru SSV-JJZ odpovídá porušení během terciérních tektonických procesů. Další směry pak představují starší deformace z variského období.

4.3 Korozní průzkum

Na základě znění zmíněných norem lze prostředí klasifikovat jako **kategorii III - prostřední se střední až zvýšenou agresivitou**. V bezprostřední blízkosti elektrizované trati je prostředí hodnoceno jako **kategorie IV - prostředí s velmi vysokou agresivitou**. Agresivita prostředí vzhledem k výskytu bludných proudů zjištěna na Ve smyslu směrnice TP 124 je nutné přijmout **základní ochranná opatření 4. stupně**.

Výztuže bude nutné svařovat bodovými svary, které budou zabraňovat vznik koroze přechodem mezi výztužemi. Při navařování zemničů je nutné použít svary min. 2x50mm. Pro mostní závěry je nutné dodat výrobky s osvědčením, že elektrický izolační odpor dodaného mostního závěru je větší než 5 k Ω (5.4.9). Primární ochrana by měla být krystalizační ochrana materiálem XYPEX (zabraňující průniku vody do betonu = zvyšuje vodotěsnost), provaření ocelové výztuže, krytí min. 50 mm a 100 mm od dna vrtu (pro piloty a mikropiloty). Umístit kontrolní měřicí vývody (nerezová deska s přivařenou černou výztuží). Pokud (sekundární ochrana) nebude projektovaná hydroizolace, bude nutné betonové konstrukce natřít 3x asfaltovým lakem např. ALP M (PARAMO). Pro mostní objekty je nutné vyloučení trhlin větších než 0,2 mm (TP 124 č. 4.3.2.1). Použití vodotěsných izolací proti zemní vlhkosti. **Nedoporučuje se projektovat konstrukce z předpjatého betonu**. V návrhu uzemnění bude nutná spolupráce mezi projektantem uzemnění a mostářem. Umístění bude korigovat mostář. Bude nutné vybudovat základové zemniče Vnější uzemňovací obvody zdvojený pásek 2 x FeZn 30x4 mm a v protilehlých jímkách (4) zkušební větve o délce 5 až 10m. Při rozpojení lze měřit stav ohrožení a intenzity bludných proudů (ČSN 03 8350). Všechny zemničí obvody propojit (optimálně zakruhovat). Spojení provádět nad zemí dle (ČSN 33 2050).

5. Výsledky terénního průzkumu – geologický model

Stavebně-geologické poměry v zájmovém prostoru jsou v následujících odstavcích popsány na základě údajů získaných z realizovaných jádrových a hydrogeologických vrtů a z interpretace penetračních sond DPH s přihlédnutím k výsledkům laboratorních analýz a zejména laboratorních informací samotných.

5.1 Geotypy

Geologické prostředí je rozděleno na kvazi homogenní geotypy G1 – G5.3. Vzhledem k velkému rozsahu zkoumaného území a variabilitě, budou fyzikální i mechanické vlastnosti zemin doporučované obecně v intervalu. Klasifikace zemin proběhla podle ČSN 73 6133 a ČSN EN ISO 14688-2.

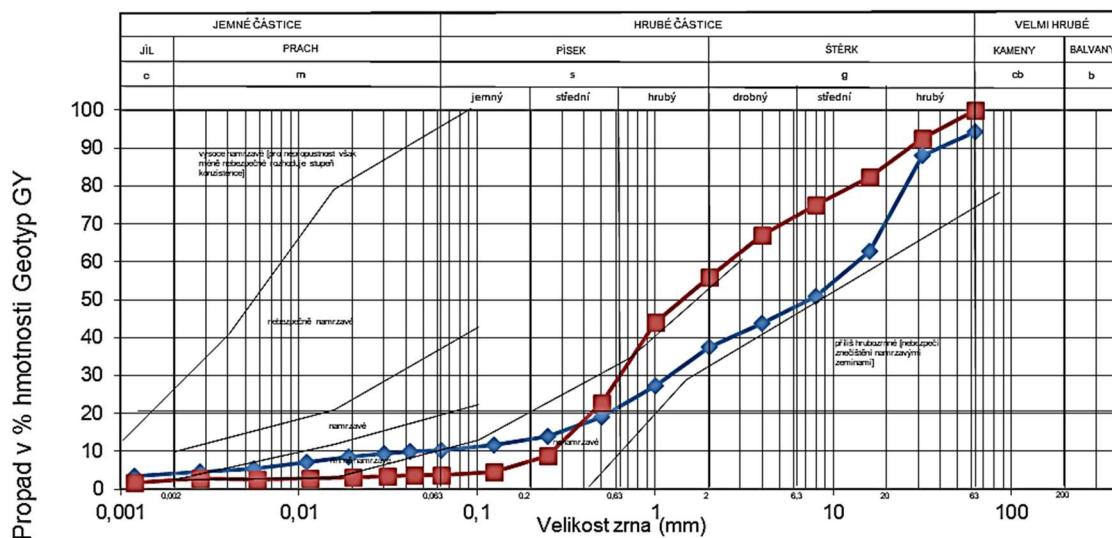
5.1.1 Geotyp G1 - Navážka a kulturní vrstva

Navážky jsou velmi variabilní. Jedná se zejména o zeminy, které byly odtěženy v blízkém okolí a byly použity do deponie a poté s nimi byly sanovány deprese vzniklé svahovými pohyby a zejména lidskou výstavbou. Jsou to zejména písčité až štěrkovité zeminy, které lze hodnotit dle ČSN EN ISO 14688 jako saGr, grSa. Konzistence zemin (navážek) se pohybuje od tuhé po pevnou. Konzistence jsou proměnlivé závislé na okolní teplotě, vlhkosti související s ročním obdobím. Celkové mocnosti navážek zastížených jak vrty, tak kopanými sondami a penetračním sondováním se většinou pohybují v rozmezí 0 – 1,3 m výjimečně mocnější.

Geotyp se vyskytuje v místě stávajících komunikací (kolejiště železnice). V následující tabulce jsou uvedeny vlastnosti odebraných technologických vzorků tohoto geotypu. Dále je uvedena křivka zrnitosti.

Tabulka 1 Vlastnosti geotypu G1 - navážky

Vhodnost do násypu	ČSN 73 6133	PV
Vhodnost pro podloží vozovky		PV
Scheibleho kritérium namrzavosti	Odhad z křivky zrnitosti	5



Obrázek 1 Křivka zrnitosti Geotypu GY

Tramvajový násyp

Navážka byla zastížená v hloubce 0,8-0,9 m pod úrovní pražce. Obsahuje drcené kamenivo šedo-černé frakce 0/63 mm se žlutohnědým písčitým podílem. Je vlhká a ulehlá. Zemina je opakovatelně využitelná. V sondě S02 byly zeminy podrobeny

geochemickým analýzám a byl zjištěn zvýšený obsah PAU. Tyto látky je možné odstranit pyrolýzou.

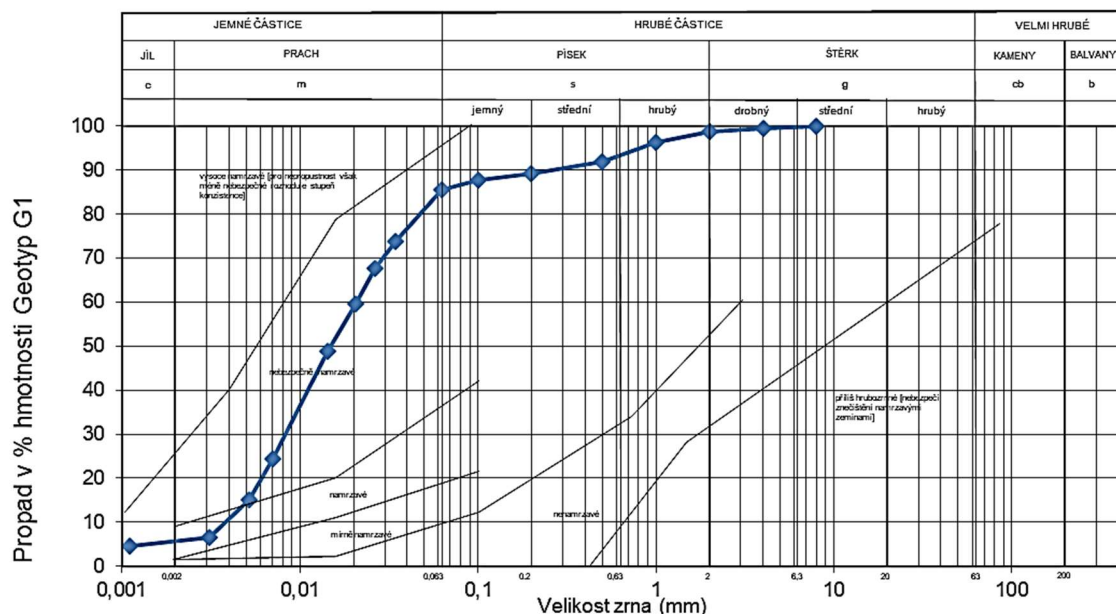
Kulturní vrstva, prach jílovitý s organikou

Kulturní vrstva je během celé trasy vlastně navážka, kdy není nutné respektovat zákon číslo 334/1992 Sb. Nicméně pokud se jedná o dále použitelnou ornici je doporučeno ji před zahájením prací odstranit. Chemické analýzy zemin dle vyhl. 273/2021 Sb. byly provedeny. V následující tabulce jsou uvedeny vlastnosti odebraných technologických vzorků tohoto geotypu. Dále je uvedena křivka zrnitosti.

Proctor standard		Vlhkost	Mez tekutosti	Mez plasticity	Index plasticity	Stupeň konzistence		
W_{opt}	ρ_{dmax}	W	W_L	W_P	I_P	I_c	ČSN 73 6133	ČSN EN ISO 14688-2
%	kg/m ³	[%]	[%]	[%]	[%]	[-]		
10,10	2099	7,80	28	20	8	2,46	tvrdá	velmi pevná

JÍL s nízkou plasticitou F6 CI (Si)

Vrstva byla zastižena v hloubce 0,0 – 1,2 m. Jíl je velmi pevný, zavlhlý, obsahuje organickou příměs, má hnědou barvu.



5.1.2 Geotyp G2 – Původ eolický – sprašová hlína

Na základě laboratorního zrnitostního rozboru, popisu, stanovení prosedavosti a obsahu uhličitánů by se mělo jednat o reliktu eolických sedimentů, které po usazení neprodělaly další transport. Mezi eolické zeminy zpravidla spadají spraše, které se vyznačují silně porézní neuspořádanou strukturou složenou zejména z prachu, podružně jílu a jemnozrnného písku. Zeminy vznikaly v dobách meziledových, kdy byly jemné částice vyfoukávány z ledovcových morén. V popisu geologických vrstev byl zaznamenán pohřbený půdní horizont. Jedná se tedy o spraše vzniklé během dvou interglaciálů (pleistocén). Spraše se vyznačují nízkou objemovou tíhou,

silnou reakcí s HCl, obsahem rhyzolitů a cicvárů (CaCO_3). Zeminy se označují jako prosedavé a rozbrídavé. Eolické zeminy jsou problematické jako základové půdy z důvodu prosedání, rychlé konsolidace na kontaktu s vodou a jsou také snadno odplavitelné a náchylné k erozi (např. ronové).

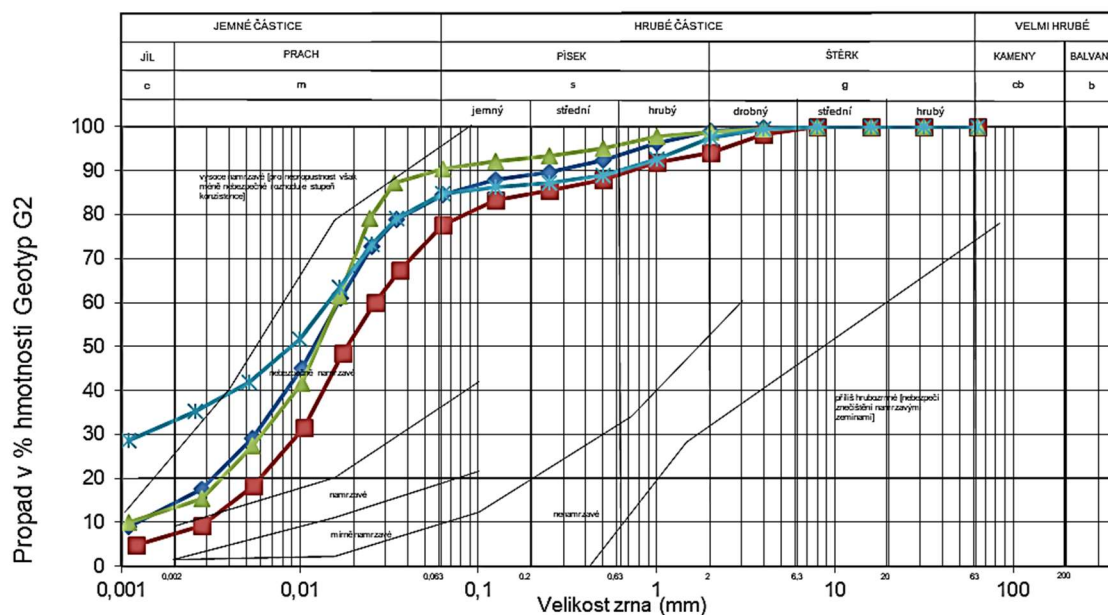
Vlhkost	Mez tekutosti	Mez plasticity	Index plasticity	Stupeň konzistence		
W	W_L	W_P	I_P	I_c	ČSN 73 6133	ČSN EN ISO 14688-2
[%]	[%]	[%]	[%]	[-]		
10,1-18,7	33-46	20-22	13-26	1,05-1,76	pevná	velmi pevná

CBR		CBR sat		CBR 1,5 % pojiva		IBI 1,5 % pojiva	
2,5 mm	5 mm	2,5 mm	5 mm	2,5 mm	5 mm	2,5 mm	5 mm
%		%		%		%	
8,04-18,85	10,7-17,56	7,74-12,56	9,95-11,53	16,3-46,06	17,32-41,41	9,53-19,75	12,91-17,73

Posuzované zeminy prosedavé nejsou a budou nazývány jako sprašové hlíny. Tento geotyp se vyskytuje běžně na úpatích svahů v nadloží pleistocenních (a možná i straších svahovin). Zeminy jsou nebezpečně namrzavé. V následující tabulce jsou uvedeny vlastnosti odebraných vzorků tohoto geotypu. Dále je uvedena křivka zrnitosti.

PRACH jílovitý F7 (clSi), F7 MH (clSigr)

Vrstva byla zastížena v hloubce 0,0 – 13,5 m. Obsahuje úlomky živců, které jsou polozaoblené až ostrohranné, jeho konzistence je měkká, je velmi vlhký a má hnědou barvu. Zeminy jsou klasifikovány dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako nevhodná do násypu ani aktivní zóny.



PRACH jílovitý F6 CI (clSi)

Vrstva byla zastížena v hloubce 0,0 – 15,0 m. Je pevný, zavhlý, nevápnitý, má hnědou barvu. V hloubce 5,0 - 5,2 m se vyskytuje vápnitá vrstva obsahující

čicváry o velikosti do 3 cm, béžové barvy. Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodná do násypu a nevhodná do aktivní zóny.

5.1.3 Geotyp G3 – Svahoviny (prach písčítý, jíl štěrkovitý aj.)

Svahoviny vznikly sklouzáváním a částečně i přeplavováním okolních zemin. Jedná se o štěrk, písek, prach i jíl, které jsou různě smíseny a tvoří často neprůběžné vyklíňující vrstvy. Ač se jedná o podrobný průzkum, tak nebylo možné průběh vymalovat. Byla také popsána šupina neogenního jílu, do kterého byl vhněten jemnozrnný ostrohranný štěrk. Mocnost vrstvy je variabilní a vyplňuje deprese na neogenních jílech. Ulehlost hrubých nesoudržných klastických sedimentů je většinou střední. Původ jsou svahové jevy (sesuvy).

Proctor standard		Vlhkost	Mez tekutosti	Mez plasticity	Index plasticity	Stupeň konzistence		
W_{opt} %	ρ_{dmax} kg/m ³	W [%]	W_L [%]	W_P [%]	I_P [%]	I_c [-]	ČSN 73 6133	ČSN EN ISO 14688-2
12- 13,7	1862-1952	10,4- 22,7	21,5-50	13-24	8,5-30	0,67- 1,89	tuhá- pevná	tuhá-velmi pevná

PRACH s příměsí štěrku F5 (Sigr)

Vrstva byla zastižena v hloubce 0,0 – 10,7 m. Je tvrdý, zavlhlý, obsahuje úlomky o velikosti do 0,5 cm, má žluto-hnědou barvu. Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodná do násypu a nevhodná do aktivní zóny.

ŠTĚRK prachovitý s příměsí písku G4 GM (sisaGr)

Vrstva byla zastižena v hloubce 0,0 – 17,7 m. Je vlhký až mokrý, obsahuje ostrohranné úlomky o velikosti do 8 cm, má hnědou barvu. Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodná do násypu i do aktivní zóny.

JÍL písčítý až prachovitý F4 CS (saCl) F6 Cl (siCl)

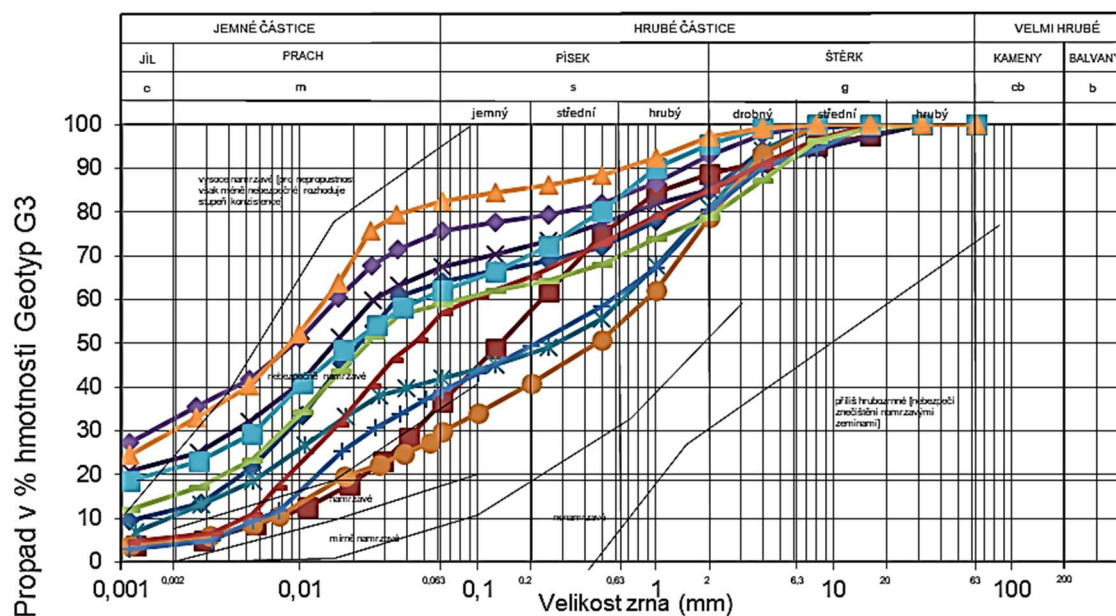
Vrstva byla zastižena místy na povrchu a až v hloubce 13,8 m. Její konzistence je tuhá až pevná, jíl je zavlhlý až vlhký a má hnědou barvu. Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodné do násypu a aktivní zóny. V případě **F6 Cl nevhodné do aktivní zóny bez náležité úpravy (nicméně dle provedených zkoušek prosedavosti zeminy - sprašové hlíny - nejsou prosedavé).**

PÍSEK jílovitý S5 SC (fgrclSa)

Vyskytuje se v hloubce 1,1-1,9 m (Vrt J113). Ulehlost je střední až ulehlá, zavlhlý a hnědé barvy. Obsahuje valouny amfibolitu a živce. Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodné do násypu a aktivní zóny.

Štěrkovitý jíl F2 CG (grsiCl)

Vrstva byla zastižena v hloubce 8,4-8,6 m (Vrt J105). Má pevnou konzistenci, je zavlhlý s hnědou barvou. Obsahuje polozaoblené klasty do 2 cm. Zeminy jsou klasifikovány dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodné do nasypu a aktivní zóny.



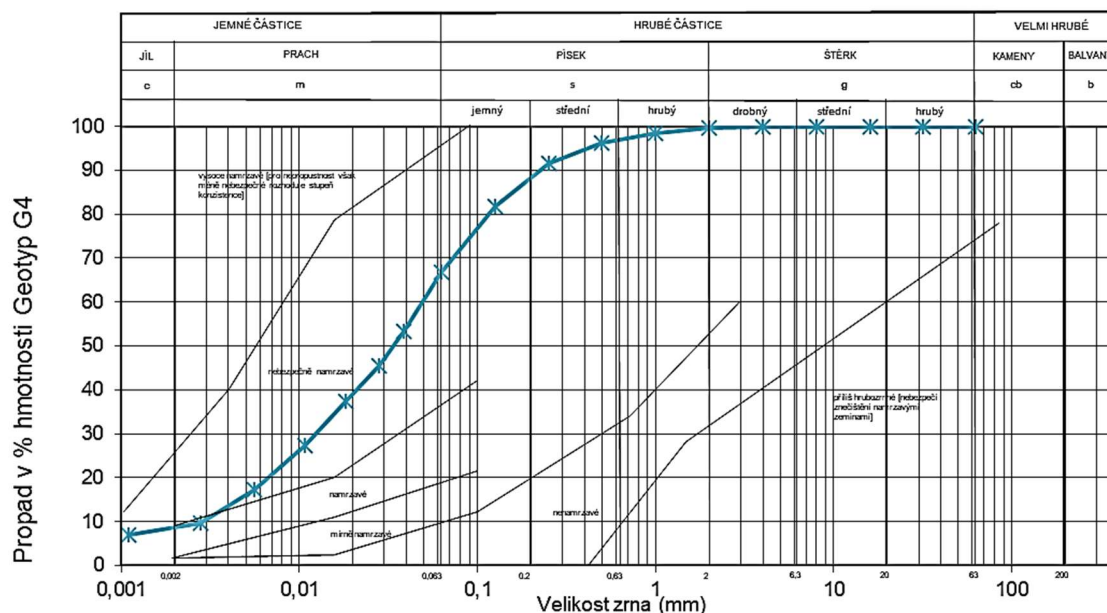
5.1.4 Geotyp G4 – Neogenní jíl (baden)

V některých vrtech a ve většině penetračních sond byl zastižen **neogenní jíl** (bádenského stáří), který dosahuje pevné případně až velmi pevné konzistence a dle klasifikace je to zemina Cl, siCl, **saciSi**. **Jedná se o hlubokovodní mořský lehce překonsolidovaný jíl v různých faciích.** Díky tektonickým pohybům došlo ke sblížení facií, takže se vedle sebe vyskytují badenské (jemnozrnné) a písčité jíly (ottnang G4.1). Současně probíhá rekrystalizace jílových minerálů z illitu na illit/smektit (který je objemově nestálý). Z důvodu komunikace s povrchem v zemině oxiduje pyrit, rozkládají se kalcitové fosilie a mikrofosilie a na smykových plochách, kde je možná omezená migrace podzemních fluid krystalizuje sádrovec. Mimo oxidační zónu nejsou smykové plochy snadno detekovatelné, neboť je není možné barevně odlišit. Ze zkušeností s neogenními jíly (např. ražba VMO tunelů Dobrovského) jsou jíly silně tektonicky porušeny tektonickými pohyby a sesuvy. **Není doporučeno realizovat výpočty s vrcholovými smykovými parametry.** Je možné očekávat bobtnací tlak 50-100 kPa. **Na základě předběžných výpočtů za pomoci reziduálních smykových parametrů, neogenní jíly v podloží představují stabilní fundament.**

Vlhkost	Mez tekutosti	Mez plasticity	Index plasticity	Stupeň konzistence		
W	WL	WP	IP	Ic	ČSN 73 6133	ČSN EN ISO 14688-2
[%]	[%]	[%]	[%]	[-]	pevná	velmi pevná
23,7	71	29	42	1,13		

Jíl s velmi vysokou plasticitou F8 CV (saclSi)

Tato zemina se nachází v 2,1-2,3 m (Vrt J112). Její konzistence je pevná, zvlhlý a hnědé barvy. Zeminy jsou klasifikovány dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako nevhodné do nasypu a aktivní zóny.



5.1.5 Geotyp G4.1 – Neogenní jíl a písek (ottnang)

Jedná se o limnickou facii zeminy, které obsahují velké množství hrubší klastické příměsi, kdy zemina může být zbarvena do šeda, zelena i béžova. Jsou to sedimenty, které vznikly splavením zvětralých vulkanických hornin (které se do dnešních dob nedochovaly) spolu s pískem a jílem, který vznikal erozí a zvětráváním tehdejších hornin. Dle názorů Dr. Bubíka z ČGS je původ zemín limnický. Písky jsou spíše jemnozrnné (jakoby plážové) ulehlé. Zeminy se vyskytují až za tunelem od km 1,3.

JÍL s příměsí písku F5 ML (siCI)

Vrstva byla zastižena v hloubce 0,0 – 0,4 m. Je tvrdý, zvlhlý, obsahuje poloostrohranné úlomky o velikosti do 4 mm, má žlutohnědou barvu. Zeminy jsou klasifikovány dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodná do násypu a nevhodná do aktivní zóny.

Vlhkost	Mez tekutosti	Mez plasticity	Index plasticity	Stupeň konzistence		
W	WL	WP	Ip	Ic	ČSN 73 6133	ČSN EN ISO 14688-2
[%]	[%]	[%]	[%]	[-]		
12-22,2	46-57	15-18	31-39	0,88-1,09	-	-

JÍL F8 (CI)

Vrstva byla zastižena v hloubce 3,5 – 15,0 m. Je tuhý, vlhký, vápnlitý, má šedou

barvu. Zeminy jsou klasifikovány dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako nevhodná do násypu ani do aktivní zóny.

5.1.6 Geotyp G5 – Eluvium proterozoických hornin

Eluvium skalních hornin rozdělujeme na dva typy:

1) **eluvium pod neogenními jíly**, kde se jedná o zcela rozloženou horninu na charakter ulehlého hrubozrnného písku a

2) **eluvium skalních hornin** na vrcholu kopce, kde je bez krytu mladšími zeminami. Tyto horniny jsou o poznání méně rozložené (ač mocnost zvětralé vrstvy dosahuje až 20 m). Jsou středně ulehlé (při povrchu) a ulehlé od hloubky 1-2 m (od rozhraní R/zemina). Místy sahají až na povrch, převážně v trase tunelu.

Jedná se o granodiorit, diorit a amfibolit. Jako rozložená ulehlá na zeminu je patrná v bagrovaných sondách i ve vrtech. Ve vrtech se jedná o rozvratnou horninu, která nedosahuje pevnosti v prostém tlaku odpovídající třídě R6. Je tvořena primárně písčitymi štěrky místy s jemnozrnnou příměsí. Tento geotyp bude velmi častým na čelbě tunelu.

Proctor standard		Vlhkost	Mez tekutosti	Mez plasticity	Index plasticity	Stupeň konzistence		
W_{opt} %	ρ_{dmax} kg/m ³	w [%]	w_L [%]	w_P [%]	I_p [%]	I_c [-]	ČSN 73 6133	ČSN EN ISO 14688-2
13,2	1863	5-24,0	26,5-44	16-23	10,5-21	1,25	pevná*	velmi pevná*

*pokud se jedná o soudržnou zeminu

CBR		CBR sat		CBR 1,5 % pojiva		IBI 1,5 % pojiva	
2,5 mm	5 mm	2,5 mm	5 mm	2,5 mm	5 mm	2,5 mm	5 mm
%		%		%		%	
12,84	12,99	12,14	11,53	16,3	17,32	16,23	14,78

PÍSEK štěrkovitý s valouny G2 GP (Cogr)

Vrstva byla zastižena v hloubce 0,0 – 15,0 m. Je středně ulehlý až ulehlý, obsahuje ostrohranné klasty o velikosti do 8 cm (granodiorit), má rezavohnědou barvu. Zeminy jsou klasifikovány dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodná do násypu i do aktivní zóny.

ŠTĚRK s příměsí písku G1 GW (saGr)

Vrstva byla zastižena v hloubce 0,3 – 13,6 m. Je ulehlý, vlhký, obsahuje ostrohranné úlomky do velikosti 8 cm, má šedou až hnědou barvu. Zeminy jsou klasifikovány dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako vhodná do násypu i do aktivní zóny.

PÍSEK šterkovitý S2 SP (grSasi)

Vrstva byla zastižena v hloubce 0,0 – 15,2 m. Je kyprý, suchý až zavlhlý, má světlehnědou barvu, obsahuje chloritizované úlomky granodioritu. Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodná do násypu i do aktivní zóny.

PÍSEK prachovitý s příměsí šterku S4 SM (siSagr)

Vrstva byla zastižena v hloubce 1,1 – 1,6 m. Je ulehlý, zavlhlý, nevápnitý, obsahuje ostrohranné klasty, má rezavožlutou barvu. Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodná do násypu i do aktivní zóny.

PÍSEK šterkovitý s příměsí jílu S3 S-F (grSacl)

Vrstva byla zastižena v hloubce 1,2 – 8,0 m. Je ulehlý, zavlhlý, vápnitý, obsahuje vápnité konkrece, ostrohranné klasty (křemen, granodiorit, metabazalt) o velikosti do 5 mm, má žlutorezavou barvu. Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako vhodná do násypu a podmíněčně vhodná do aktivní zóny.

ŠTĚRK prachovitý G5 GC (saclGr)

Vrstva byla zastižena v hloubce 3,8-4,0 m (VRT Ink116). Je kyprý až středně ulehlý, vlhký a hnědé barvy. Obsahuje úlomky do velikosti 4 cm, má hnědou barvu. Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodné do násypu a aktivní zóny.

ŠTĚRK s jemnozrnnou příměsí G3 G-F (saGr)

Vrstva byla zastižena v hloubce 1,6-15 m. Obsahuje zaoblené valouny do velikosti 1,5 cm (křemen, granodiorit, metabazalt). Má žlutou až rezavě žlutou, je středně ulehlý až ulehlý, zavlhlý až vlhký (J134, J141, J114), místy kyprý až velmi kyprý a vlhký až mokrá (J113). Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako vhodné jak do násypu, tak do podloží vozovky (aktivní zóny).

JÍL písčité F4 CS (saSi)

Vrstva byla zastižena na povrchu až do hloubky 1 m. Její konzistence je velmi pevná, jíl je zavlhlý a má hnědou barvu. Zeminy jsou klasifikovaný dle normy ČSN 73 6133 přílohy A, tab. A. 1 jako podmíněčně vhodné do násypu a aktivní zóny.

5.1.7 Geotyp G5.1 – Amfibolit

Amfibolit je regionálně metamorfovaná hornina se střední až hrubou velikostí zrn a jejich barva bývá šedá. Ve zdravém stavu a mimo Brno se jedná o velmi pevnou horninu. Jedná se o tektonické relikt, které jsou zakomponovány do megaintruze granodioritu. Amfibolit je zřejmě starší než granodiorit a může se jednat o tektonický útržek, ofiolit nebo později zavrásněnou (a rozvlečenou šupinu). Amfibolit je převážně velmi zvětralý až rozložený, kdy je jeho barva šedá až nazelenalá. Pevnost v prostém tlaku dosahuje prvních MPa a dle ČSN 73 6133 je

klasifikován jako R6-R5. Hornina je postižena tektonickým namáháním a obsahuje velké množství diskontinuit. **Tento typ se bude občasně vyskytovat na čelbě tunelu.**

objemová tíha (přirozená)	γ	kN/m ³	25,43-28,84
pevnost v prostém tlaku	σ_c	MPa	2,1

5.1.8 Geotyp G5.2 – Granodiorit R6-R5

Jedná se o tektonicky silně porušenou horninu, která se díky tomu stala dobře propustnou pro vsáknutou vodu, která způsobila zvětrání žilců, což se projevilo poklesem pevnosti v prostém tlaku. Tento geotyp následuje po eluviu G5. Pokud se jedná o silně porušenou horninu, tento geotyp může zasahovat až do velkých hloubek. V případě posuzování RQD se jedná o 0-10 %. Hrubost puklin dosahuje JRC 10-20 a pukliny bývají vyplněny jemnozrnnými zeminami, které jsou buď vzniklé na místě nebo přeplavené po puklinách. Pevnost v prostém tlaku dosahuje prvních MPa a dle ČSN 73 6133 je klasifikován jako R6-R5. Tento geotyp bude dosti četným na čelbě tunelu. **Občasné se vyskytly zlomy, které byly vyplněny neogenním jílem. S tím je nutné počítat při ražbě tunelu. Po puklinách vyplněných jílem bude docházet k vyjíždění klínů.**

objemová tíha (přirozená)	γ	kN/m ³	22,48-26,16
pevnost v prostém tlaku	σ_c	MPa	0,5-1,3

5.1.9 Geotyp G5.3 – Granodiorit R4+

Jedná se o poslední identifikovaný geotyp, který vychází z malého rozpuštění a menší alteraci žilců než výše položené horniny. Hornina se občasně jeví jako velmi kvalitní s pevností v prostém tlaku až 74,72 MPa (J120 22.5-23.0 m). Hornina obsahuje smykové plochy, na kterých je vysrážený chlorit, ve kterém bývá přítomné i tektonické rýhování. Tektonická výplň převážně nebyla pozorována. RQD dosahuje 30-50 %. **Tato hornina bude v trase tunelu zastižena zřídká.** Občasné bylo pozorováno RQD 100 %, ale tato kvalita je mimo projektovanou trasu tunelu.

objemová tíha (přirozená)	γ	kN/m ³	22,06-26,17
pevnost v prostém tlaku	σ_c	MPa	6,7-74,72

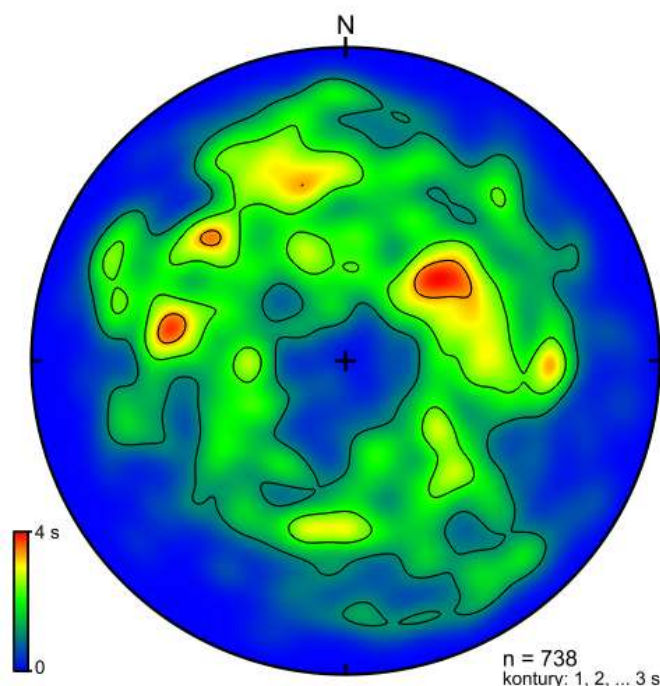
5.2 Tektonická stavba

Vzhledem k tomu, že Brunovistulikum prošlo dvě významnými vrásněnými, horniny jsou až na výjimky silně porušeny přítomností tektonických zlomů a puklin. Jedná se zejména o zlomy poklesového charakteru, kdy v místě trasy vnikly 3 příkopové propadliny, ve kterých zůstaly zaklesnuté jinak snadno erodovatelné neogenní sedimenty. **Neogenní jíly sedimentovaly na rovině v hluboké vodě a není možné, aby ke sblížení došlo jiným procesem než pomocí pohybu na zlomu. Podélně s trasou tunelu leží subvertikálně orientované těleso amfibolitu, které občasné bylo zachyceno ve vrtech (které jsou v rámci půdorysu ZIG-ZAG). Sklon zlomů lze odvodit ze sklonu puklin a zlomů ve vrtných jádrech na 60-75°.**

Vzhledem k tomu, že vrtná jádra nejsou orientovaná, nelze orientaci diskontinuit identifikovat. **Podélné řezy jsou 10x převýšené a zlomy se jeví jako subvertikální.**

Trasa 0,0 - 0,37 km bude budována ve sníženině, která vznikla díky poklesu několika zlomů (regionálního významu střední, mimo staveniště). Jsou zde přítomny sprašové hlíny (G2), svahoviny (G3) a neogenní jíly (G4, stáří baden). Možnost svažitého povrchu neogenního jílu, bez existence pleistocenních zlomů, byla posouzena geotechnickým výpočtem pomocí reziduálních smykových parametrů. Svah vznikl erozivní činností a byl překryt svahovinami a později sprašových hlín.

Následuje drobná hrásť jejíž jádro tvoří převážně amfibolit (G5.1) kombinovaný s granodioritem (G5.2), hrásť je oddělena poklesovými zlomy. V rámci hrásti je přítomen amfibolit, který je obklopen migmatitem (vznikl metamorfózou amfibolitu).



Obrázek 3: Konturový diagram znázorňující póly ploch puklin v měřených vrtech. Měření orientace puklin bylo získáno na základě vyhodnocení měření karotáže. Jedná se o celkový digram měření z 5 vrtů v trase tunelu (více viz příloha 5 – geofyzika).

Následuje **příkop (km 0,57 – 0,725)** vyplněný starými pleistocenními(?) sedimenty (G3) a níže neogenním jílem (G4, hlubokovodním, baden). Skalní horniny nebyly zastiženy.

Následuje další poklesový zlom (km $\pm 0,725$), za **kterým je přítomný zcela rozložený granodiorit G5**, pod kterým (mocnost až 17 m) následují geotypy G5.1, až G5.3, ve kterých bude probíhat ražba. Trasa tunelu (vč. portálových objektů) je rozdělena na 7 úseků (příloha 1 – geotechnický řez B-B'), který jsou od sebe zřejmě odděleny několika spíše málo významnými zlomy (může se jednat o poklesy, ale také o příčné zlomy). Tyto diskontinuity jsou dobře patrné na VRT. Kterou měřili pracovníci GEOTestu a.s. (Novotný a kol., 2016)

V místě **portálového úseku** (Žebětín, km ±1,160) je přítomen další poklesový zlom, který je patrný převážně morfologicky (vznik propadliny paralelní s osou trati). Dobře také patrný na geofyzikálním záznamu. Těleso amfibolitu je subvertikální čočka, která byla zachycena některými vrty.

Bývalá zahrádkářská kolonie (údolí) je **založena na poklesovém zlomu**, kdy v levé straně jsou horniny skalní (G5-G5.2) a na pravé straně je zaklesnutý neogenní jíla (G4) a neogenní písek stáří ottang (G4.1). Tento zlom je rozpoznatelný na geofyzikálních profilech. Jsou zde přítomné další poklesové zlomy, na kterých došlo k zaklesnutí hlubokovodních neogenních jíla (G4, baden) do starších jílovitých písků (G4.1, ottang).

V místě obřatiště Kamechy jsou přítomné také zlomy (km 1,5 až km 1,6), na kterých došlo ke sblížení různých facií neogénu G4 a G4.

6. Hydrogeologický model

V rámci průzkumných prací proběhla realizace vrtných sond, ve kterých byla stanovena naražená a ustálená hladina podzemní vody (tab. 6). Na základě těchto informací byla sestavena i mapa hydroizoips (příloha 6). Tyto výsledky byly využity pro konstrukci příčných řezů.

Dále byly realizovány HG vrty, ve kterých proběhly čerpací a stoupací zkoušky (tab. 5). Vydatnost přítoků je spíše malá, a tak během řádově minut došlo vyčerpání veškeré vody, kam dosahovalo čerpadlo. Čerpaný objem byl stálý 0,57 l/s. Po vyčerpání vrtu probíhala stoupací zkouška, ze které byl vyhodnocen koeficient filtrace. Pro výpočet přítoku vody do tunelu jsou relevantní 2 vrty: J117 a J121.

Tab. 5: Vypočítané koeficienty filtrace ze stoupacích zkoušek, HV-13 a H133 nevhodné pro čerpací zkoušky – nebyly realizovány, *archivní podklady (2016)

sonda	koeficient filtrace k (m/s)
HV8 *	4,07143E-04
HV8-II*	5,54439E-04
HV117	1,23469E-06
HV110	3,55353E-05
HV121	1,77337E-06

Na začátku ražby budou přítoky do stavební jámy nejvyšší, kdy uvažujeme nad hladinou podzemní vody vysoko nad kalotou tunelu. Přítok by mohl být 0,5 l/s na 10 m délky. S postupující ražbou bude jednotlivých úseků s pravidelným přítokem přibývat a celkový přítok bude jejich sumou. S postupující ražbou a odtokem vody se budou průtoky pro jednotlivé úseky postupně snižovat, až dosáhneme **dlouhodobého přítoku do stavební jámy (Q) přibližně na 2 – 2,5 l/s.**

Voda bude samovolně vytékat systémem drenáží. Rozsah dlouhodobého snížení na každou stranu od okraje tunelu bude 34 – 41 m (závisí na koeficientu filtrace ~ rozpukánosti). Do výpočtů nejsou započítány případné anomálie mimořádných přítoků při vydatných deštích nebo při ražbu skrz tektonicky velmi porušenou horninu s vysokým puklinovým koeficientem filtrace.

Zkoumaná podzemní voda vykazuje mírnou agresivitu oxidu uhličitého a je hodnocená dle ČSN EN 206+A2 jako XA1. Po konzultaci

s projektantem je očekáván beton C30/37 XC2 XA1 S4.

Tabulka 6: Hladiny podzemní vody v provedených a archivních sondách

Sonda	HPV (m)		Sonda	HPV (m)	
	HPVn	HPVu		HPVn	HPVu
J140	2.5	2.7	J1	-	-
J124	12.5	12.9	J2	11.5	9.2
J130	2.5	2.7	J3		7.1
J123	11.2	7.38	J4	vlhko 9,5	14.7
J122	13.2	-	J5		14
J120	15.8	-	J6		14.2
J111	9.5	-	J7	-	-
J103	6	-	HV8	2.8	2.2
J106	12.7	12.95	J9	11.5	11.2
J104	9	9.8	J10		11.5
INK118	16.4	-	J11	11.5	11.2
INK119	17.7	-	J12	-	-
HV110	11.8	8.87	HV13	12.3	12
HV133	-	10	J14	12.5	10.6
HV121	-	14.25	J15	11.5	3.6
HV117	-	14.74	J16		3.4
H8	-	3.95	J17	11.5	10.7
H13	12,8 (tuhé bahno)		J17a	10.5	6
			HV18	8.3	8.3
			J19	8.7	5.9
			J20	2	1.3
			J21	5.8	4.1
			J22	6.7	3.1

Byly provedeny analýzy podzemní vody ve stávajících studnách a na základě zjištěných výsledků je to voda nevhodná k pití (vyhl. 252/2004 Sb.).

7. Mechanické vlastnosti podloží/základové půdy

V rámci realizovaného průzkumu byly mechanické vlastnosti zemín založeny na průkazných laboratorních analýzách jemnozrnných zemín. Mechanické vlastnosti nesoudržných hrubozrnných zemín se opírají o interpretaci dynamických penetrací kombinované s realizací krabicových smykových zkoušek a zatěžovacích zkoušek deskou (příloha 3). Penetrační křivky byly doladěny podle prostředí, jak předpokládá ČSN EN 1997-2. Byly využity koeficienty redukce počtu úderů, neboť s narůstající hloubkou dochází ke ztrátám mechanické energie vlněním tyčí a také plášťovým třením. Popis litologie vychází z realizovaných vrtů.

Výsledky interpretace penetračních sond jsou součástí přílohy č. 3. Laboratorní analýzy jsou uvedeny v příloze 4. Za návrh charakteristických

hodnot mechanických vlastností pro výpočet je zodpovědný konkrétní projektant. Je nutné brát na zřetel, **že se mechanické vlastnosti zemin i v rámci jedné horizontálně uložené vrstvy mění** z důvodu většího stlačení, jiné vlhkosti apod.

7.1 Laboratorní analýzy

Laboratorní analýzy probíhaly v laboratoři Projekce iGEO, s.r.o., laboratoři společnosti GEODRILL s.r.o., laboratoři Ústavu geotechniky Fakulty stavební VUT v Brně (příloha 4).

Bylo realizováno: 16 krabicových smykových zkoušek (ČSN CEN ISO/TS 17892-10), 1 velkoobjemový krabicový smyk, 13 stlačitelností v oedometru (ČSN CEN ISO/TS 17892-5), 1x stlačitelnost s časovým průběhem, 12 souborů horninových vzorků na pevnost v prostém tlaku (celkově 44 zkoušek), 24 klasifikačních rozborů zemin, 6x PS, CBR a IBI (+aditiva), 2x neodvodněná smyková pevnost, 2x pevnost v prostém tlaku s tenzometrickým měřením za účelem stanovení přetvárných charakteristik. Mechanické vlastnosti byly vyhodnoceny statisticky pro každý geotyp, který obsahoval dostatek informací za pomoci mediánu a směrodatné odchylky.

7.2 Těžitelnost zemin

Součástí geologických průzkumů bývá stanovení těžitelnosti zemin pro stanovení ceny zemních prací. Jediná platná česká norma pro stanovení těžitelnosti je ČSN 73 6133 (pro dopravní stavby). Jemnozrnné a hrubozrnné zeminy jsou I. třída těžitelnosti. Skalní hornina v zářezech a v trase tunelu je II., místy pokud by se jednalo o pevnost v prostém tlaku R2 a R1 může být třída těžitelnosti i III. třída. Dle TP 76A ŘSD je vrtatelnost zemin mimo navážky I., štěrk hrubozrnný středně ulehlý II. a pro ulehlý III.

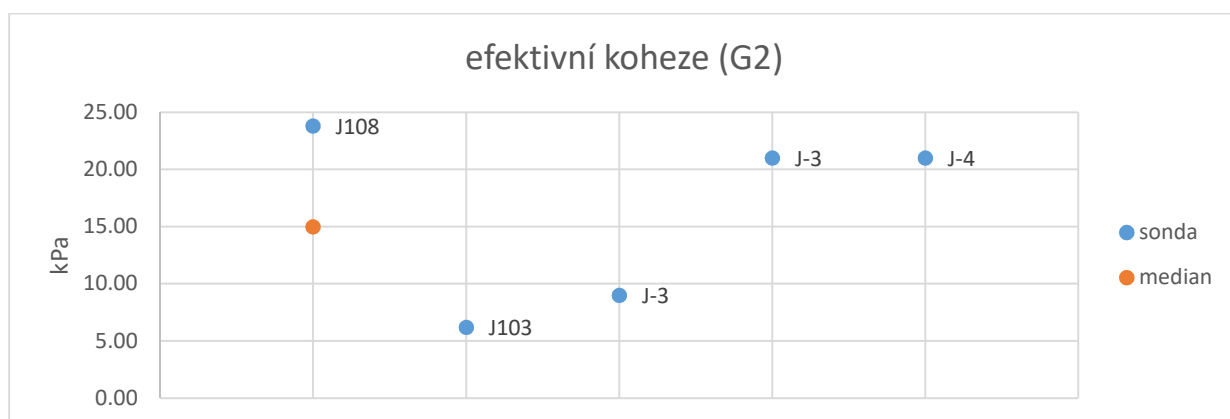
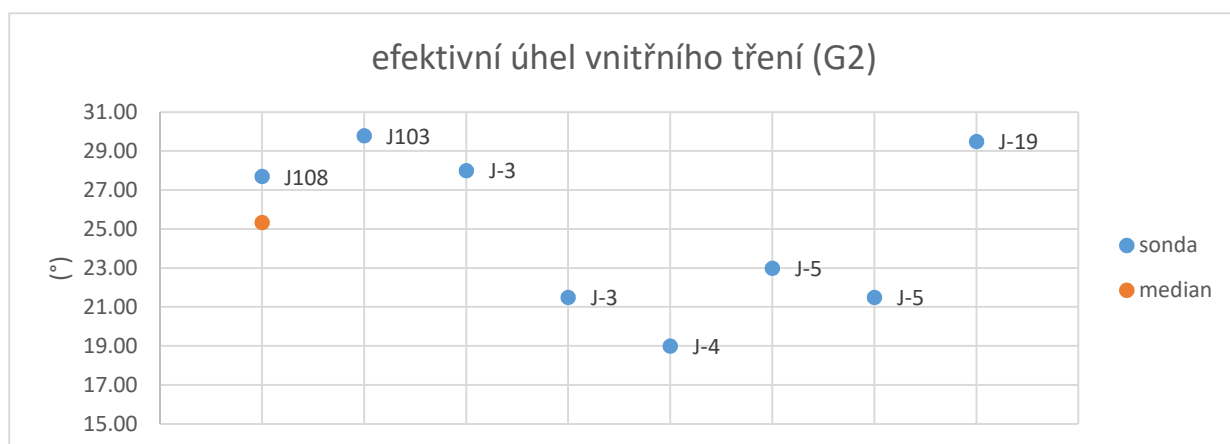
Zastižené kvartérní a neogenní zeminy povětšinou spadají do I. třídy vrtatelnosti, ve výjimečných případech se může jednat o II. třídu vrtatelnosti. V případě eluvia je třída vrtatelnosti III. – IV. Skalní hornina spadá do IV. třídy vrtatelnosti. Pokud by se jednalo o R2, potom by třída vrtatelnosti byla V.

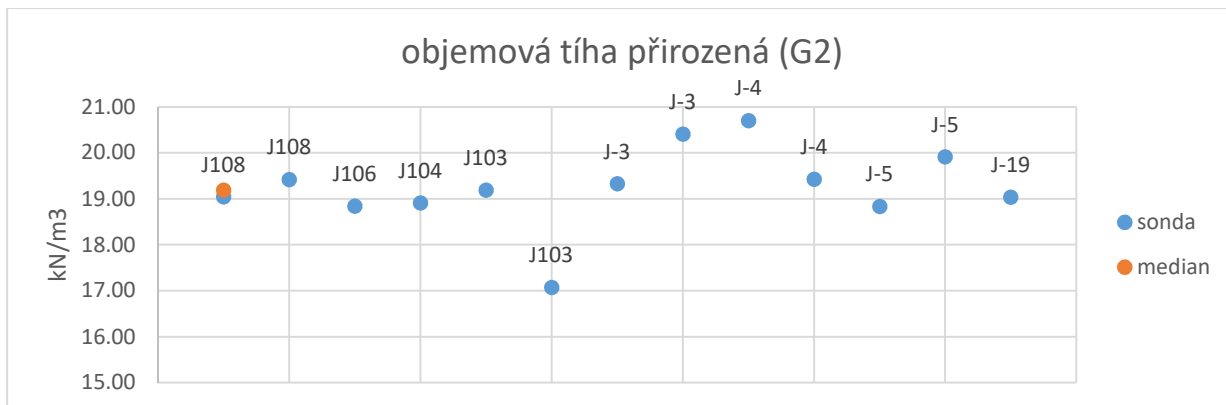
7.3 Mechanické vlastnosti zemin v geotypech

*Zeminy jsou rozděleny do 9 geotypů: G1 (+Y), G2, G3, G4, G4.1, G5, G5.1, G5.2 a G5.3. Ke každé stavbě (SO) je vypsáno, kolik geotypů se na daném místě vyskytuje a jsou popsány podrobné mechanické vlastnosti těchto zemin, které byly získány normovanými zkouškami (jedná se o model Mohr-Coulomb). Statisticky bylo možné vyhodnotit geotypy G2, G3 a G5. Geotypy mají pro přehlednost přiděleny barvy, které jsou stejné v geologických řezech i v tabulkách mechanických vlastností. Vlastnosti fyzikální (použitelnost) vychází z doporučení požadavků norem ČSN 73 6133, TP 170, ČSN EN 1997-2. Mechanické vlastnosti základové půdy byly stanoveny na základě mechanického laboratorního a terénního testování a postupů a korelaci doporučených ČSN EN 1997-2. **V tabulkách v kap. 7 pro každý SO jsou uvedeny typické hodnoty a projektant by měl zvážit použití vlastností upravených pomocí směrodatné odchylky pro dotýčný geotyp.** Mechanické vlastnosti pro G4 pochází ze zkušenosti po Brně (Poul, 2009). Stanovení mechanických vlastností*

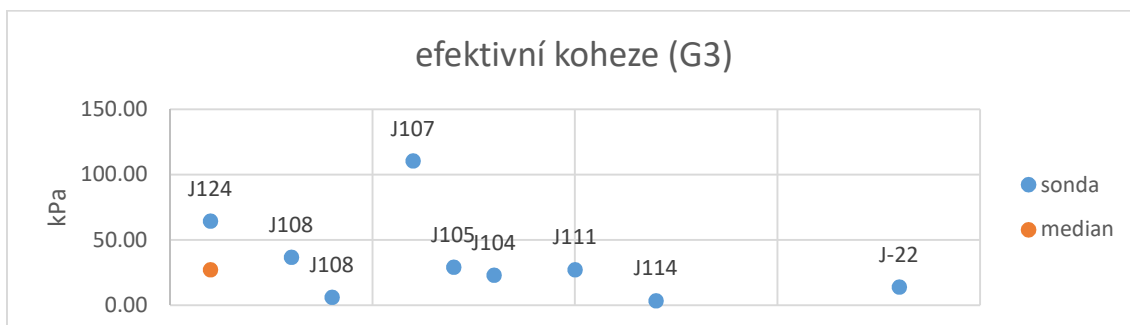
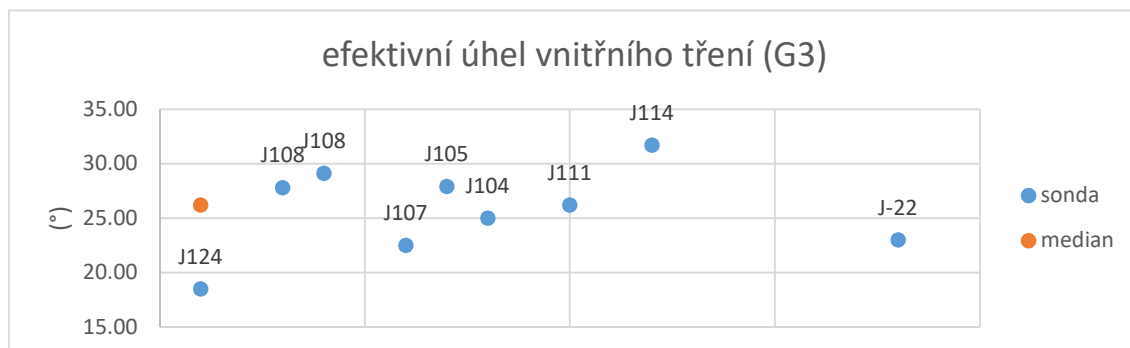
pro GT G5.1 až G5.3 byly stanoveny pomocí Hoek-Brownova kritéria, kdy k parabolické Mohrově obálce byla derivována tečna pro napětí odpovídající hloubce ražby a uložení (viz příloha 4). Zodpovědný projektant může takto doporučený výsledek dále upravit. Poissonovo číslo bylo pro horniny a zeminy (mimo G5.3) stanoveno na základě Jákyho vztahu pro výpočet z ef. úhlu vnitřního tření. Více viz následující tabulky bez označení.

G2	minimum	maximum	průměr	median	sm. odchylka	interval spolehlivosti
γ (kN/m ³)	17.07	20.70	19.24	19.19	0.8431	0.4583
γ_{sat} (kN/m ³)	19.55	19.85	19.68	19.64	0.1057	0.0927
φ_{ef} (°)	19.00	29.80	25.00	25.35	3.9383	2.7290
C_{ef} (kPa)	5.00	23.80	14.50	15.00	7.0079	4.8561
ν	0.40	0.33	0.37	0.36	0.4822	0.4878
E_{Oed} (0.1-0.2 MPa)	4.29	12.78	8.06	7.00	2.9374	1.9191
E_{Oed} (0.2-0.3 MPa)	7.30	9.60	8.68	8.90	0.7547	0.6615
E_{Oed} (0.3-0.4 MPa)	6.36	17.70	11.80	10.60	3.4658	2.2643

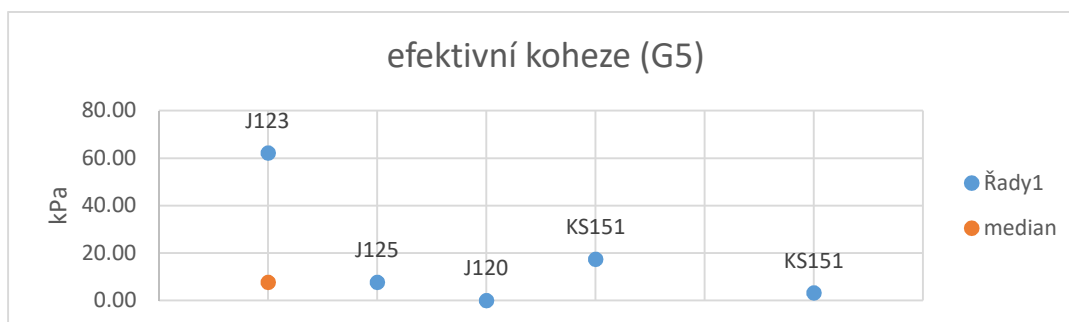
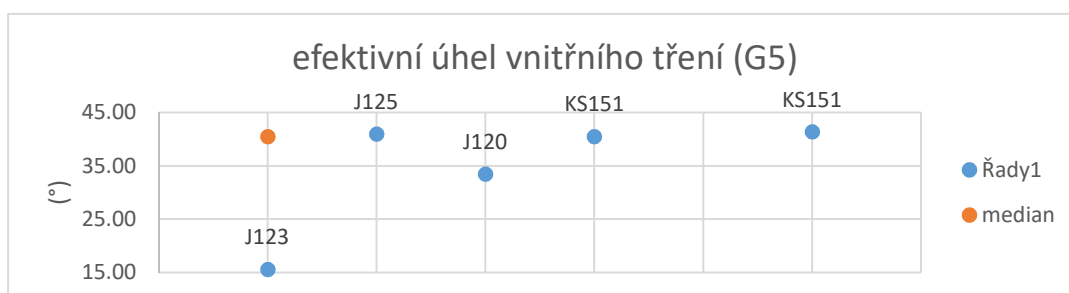




G3	minimum	maximum	průměr	median	sm. odchylka	interval spolehlivosti
γ (kN/m ³)	18.65	20.40	19.64	19.62	0.4508	0.2143
γ_{sat} (kN/m ³)	18.86	20.38	19.93	20.02	0.4266	0.2521
φ_{ef} (°)	18.50	31.70	25.74	26.20	3.7550	2.4532
C_{ef} (kPa)	3.40	110.50	34.97	27.10	31.7534	20.7452
ν	0.41	0.32	0.36	0.36	0.4831	0.4891
E_{oed} (0.1-0.2 MPa)	3.38	12.10	7.84	7.15	2.9824	2.0666
E_{oed} (0.2-0.3 MPa)	6.00	14.14	8.74	8.20	2.9390	2.5761
E_{oed} (0.3-0.4 MPa)	1.50	14.40	9.94	10.69	3.6140	2.3611



G5	minimum	maximum	průměr	median	sm. odchylka	interval spolehlivosti
φ_{ef} (°)	15.60	41.39	34.40	40.50	9.8375	3.3176
C_{ef} (kPa)	0.00	62.20	18.13	7.70	22.8125	7.6934
v	0.42	0.25	0.30	0.26	0.4533	0.4851
$E_{def,1}$ (0.0-0.4 MPa)	45.20					
$E_{def,2}$ (0.0-0.4 MPa)	63.80					
E_{oed} (0.0-0.4 MPa)	118.17					



8. Geochemie, podzemní voda a odpadové hospodářství

V rámci podrobného průzkumu v zájmové oblasti Brno – Bystrc, Kamechy byly odebrány vzorky zemín pro stanovení kontaminace těžkými kovy a organickými polutanty, vzorky vody z hydrogeologických vrtů pro stanovení agresivity prostředí na beton a ocel a vzorky vody ze studen zahrádkářské kolonie (ulice Vejrostova) pro monitoring potenciálních změn kvality pitné vody během stavebních prací.

Ze všech vzorků zemín testovaných pro jejich potenciální kontaminaci překračují povolené limity vzorky z vrtů J142, J148 a S102 (více viz příloha 7). Vzorek vrtu **J142** přesahuje několik limitů ale **nejvíce obsah rozpustných látek** RL=7490 (400) mg/l. Podle přílohy č. 10 vyhlášky 273/2021 **není vhodné použití tohoto materiálu k zasypávání. Je možné jej uložit na skládku typu S-inertní.** V případě zemín obsahující větší množství PAU (šterk kolejového lože) je doporučena pyrolýza.

Nadlimitní obsah organických polutantů byl nalezen u vzorků vrtu J148 a S102 (vzorek materiálu kolejového lože). Materiál v hloubce 0,4 m vrtu **J148** podle přílohy č. 10 vyhlášky 273/2021 **není vhodné použití této zeminy k zasypávání.** Podle přílohy č. 10 tabulky 10.2 **překračuje limit pro uložení na skládce S-**

003 (750 mg/kg sušiny). **Odstranění organických polutantů** je možné dosáhnout **kalcinací** tohoto materiálu v rámci povolených úprav před uložením na skládku D9 dle příloha č. 8 k vyhlášce č. 273/2021 Sb.

Materiál kolejového lože u konečné Ečerova přesahuje v jednom místě (**vrť S102**) limity na přítomnost polyaromatických uhlovodíků (**PAU**) a to **15,1 (6) mg/kg sušiny**. Podle přílohy č. 10 vyhlášky 273/2021 **není vhodné použít tento materiál k zasypávání. Možné uložit na skládku typu S-inertní. Odstranění organických polutantů** je možné dosáhnout **kalcinací** tohoto materiálu v rámci povolených úprav před uložením na skládku D9 dle příloha č. 8 k vyhlášce č. 273/2021 Sb. **Ostatní zeminy splňují** limity pro jejich využití k zasypávání popř. uložení na skládce odpadu S-inertní.

Ekotoxická výluhů všech zkoumaných zemín je v souladu s požadavky vyhlášky 273/2021.

Kvalita vody ve vrtech **HV110 a arch. HV8** přesahuje několik povolených limitů a tak ji **není možné klasifikovat jako pitnou**. Složení vody ve studnách zahradnické kolonie poblíž ulice Vejrostova **mírně překračuje limity dané dle vyhl. č. 252/2004 a vyhl. č. 70/2018** a to v koncentraci **chloridů anebo dusičnanů**.

Agresivita podzemní vody na ocel byla dle ČSN 03 8375 vyhodnocena jako střední II pro vrty HV117, HV121 a HV8 a **velmi vysoká IV pro vrt HV110** zejména z důvodu vysokého obsahu chloridů.

Agresivita podzemní vody na beton má ve vrtech HV110, HV117, HV133, arch. HV8 podlimitní hodnoty pro kategorii slabě agresivní chemické prostředí (XA1). Ve vrtu HV121 byla podzemní voda klasifikována jako **slabě agresivní XA1** z důvodu obsahu agresivního CO₂. Výsledky jsou konzistentní s výsledky předchozího IG a HG průzkumu realizovaného v roce 2016 společností GEOtest a.s. (Novotný a kol.). Pro betonové objekty na kontaktu s podzemní vodou ČSN EN 206+A2 tab. F doporučuje využití betonu C30/37.

9. Stavební objekty

Pro stavební objekty byly sestaveny přehledné tabulky doporučených mechanických vlastností, které by měl **projektant upravovat pomocí směrodatné odchylky pro jednotlivé geotypy**. Viz kap. 7.3.

9.1 Pozemní komunikace a parkovací plochy (C100)

Pro silniční komunikace a pro parkoviště bylo realizováno větší množství krátkých sond: J104 (hl. 15,0 m), J113 (hl. 15,0 m), HV117 (hl. 30,5 m), J131 (hl. 4,0 m), J132 (hl. 4,0 m), J134 (hl. 4,0 m), J139 (hl. 12,0 m), J146 (hl. 4,0 m), J148 (hl. 2,0 m), J149 (hl. 2,0 m), KS135 (hl. 1,2 m), KS136 (hl. 2,1 m), KS137 (hl. 1,1 m), KS150 (jl. 1,8 m) a archivní J1 (hl. 6,0 m), J4 (hl. 15,0 m), HV8 (hl. 6,0 m) a J20 (hl. 10,0 m), které byly zaměřeny převážně na odběry technologických vzorků z očekávaného podloží a aktivní zóny.

Zastiženými zeminami jsou zeminy spadající do G1 (navážky a kulturní vrstva, přemístěná ornice) a hlouběji jsou to zeminy GT G2 (sprašové hlíny) a G3 (svaho-

viny). V místech stávajících pozemních a tramvajových komunikací se jedná o podloží ze zlepšené zeminy a aktivní zónu charakteru a kvality vybudovanou dle TP a předpisů z dob dávno minulých.

Na základě klasifikačních rozborů zemin dle ČSN 73 6133 jsou zastižené zeminy **převážně podmínečně vhodné až vhodné do podloží**, záleží na křivce zrnitosti. Konzistence zeminy GT G2 a G3 je vysoká ($I_c > 1,0$, v létě) **je vodní režim difúzní až pendulární**. Zeminy jsou převážně nebezpečně namrzavé až namrzavé. Dle ČSN 73 6133 by měla proběhnout výměna 300-400 m zeminy za vhodnou sypaninu dle ČSN 73 6133. **Na základě stanoveného CBR, TP 170 klasifikuje podloží na PIII**, neboť CBR_{sat} se pro spodní podloží nepřesahuje 15 % a pohybuje se spíše v intervalu 3-10 % (Tab. A.4). V případě přidaného vápna se CBR posouvá do intervalu 17-41 % a potom by v rámci stabilizované zeminy spadaly do PII. Dle tabulky A.3 jmenovaného předpisu by byl návrhový modul pružnosti $E_{def,1} > 50$ MPa. Výsledky provedených analýz CBR, IBI a Proctor standard jsou vedeny v Tab. 7. **Zeminy G2 a G3 nejsou prosedavé. Je možné projektovat trativody a průlehy.**

Tab. 7: Výsledky CBR a IBI z technologických vzorků pro skupinu SO C100

CBR a IBI (v %)		minimum	maximum	průměr	median	sm. odchylka	interval spolehlivosti
CBR_{sat} 2,5mm		3.5	21.0	9.8	7.7	6.0423	2.0377
CBR_{sat} 5,0 mm		3.0	26.0	10.6	7.7	7.6760	2.5887
CBR s 1,5 % CaO (2,5 mm)		16.3	41.4	31.6	32.1	10.7352	3.6204
CBR s 1,5 % CaO (5,0 mm)		17.3	30.0	29.1	28.8	8.7426	2.9484
CBR s 2,0 % CaO (2,5 mm)				26.0			
CBR s 2,0 % CaO (5,0 mm)				25.0			
IBI 2,5 mm		13.0	41.0	27.5	26.5	10.7308	3.6189
IBI 5,0 mm		12.0	39.9	25.9	24.7	11.0282	3.7192
ρ_{dmax}	[kg/m ³]	1724.0	2099.0	1865.3	1862.0	119.1791	40.1925
W_{opt}	[%]	9.0	18.7	13.8	13.7	2.7562	0.9295

9.2 Mosty a lávky pro pěší (C200)

SO 201 Most přes TT, Šemberova - Vejroštova

Jedná se o most, který převede prodlouženou Šemberovu ulici (SO 103) přes tramvajovou trať v místě naproti novému vyústění Fleischnerovy ulice (SO 102) na ulici Vejroštovu. Z hlediska komunikace most převádí objekt SO 103 přes dvoukolejnou tramvajovou trať. Most je navržen jako železobetonový most o třech polích. Volná šířka mostu je navržena minimálně 9,0 m, šířka mezi obrubami 6,5 m, mostu je šikmý, šikmost pravá. Délka přemostění je 28,79 m a světlost krajních polí je 7,88 m (šikmá) 7,75 m (kolmá) a u světlost středního pole je 11,99 m (šikmá) 11,78 m (kolmá). Mostovka má konstantní tloušťku 650 mm. Most bude založen na vrtačných pilotách o průměru 900 mm. Délka pilot bude stanovena v dalším stupni dokumentace po doplnění IGP. Krajní opěry mostu jsou rámové stojky tl. 1,20 m (kolmo), střední podpěry jsou žb. stěny tl. 500 mm (kolmo) opřené do základových

pasů 1400 x 800 mm, připojeny k NK přes vrubové klouby. Na mostě jsou křídla, vetknutá do opěr a částečně založená na pilotách a částečně zavěšená.

Tab. 8 – pravá opěra SO 201

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Modul pružnosti	Deformační modul	Koef.	Ulehlost	Poissonovo číslo
	σ_c	γ	φ_{ef}	τ_0, c_{ef}	E_y	E_{def}	β	I_D	ν
	MPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa		-	-
G5	G4/R6	20.5	37	18	95	10	0.81	0.6	0.28
G5.2	R6-R5	23.8	47	100	1 360	650	0.88	-	0.21

Relevantními sodami jsou J2 (hl. 15,0 m), J139 (hl. 15,0 m), DPH138 (hl. 5,3 m) a DPH139 (hl. 2,1 m). Vzhledem k zastižené variabilitě mocnosti zvětralin jsou pro každou opěru doporučovány mechanické vlastnosti zvlášť. **Pravá opěra** 0-5,0 m eluvium G5 charakteru štěrku s $I_D = 0,56-0,6$ od 5,0 m skalní hornina tektonicky porušená G5.2 (dále viz tab. 8). Pro **levou opěru** je stěžejním vrt J139 a mechanické vlastnosti viz tab. 9. G5 dosahuje pouze malé mocnosti asi 1,0 m, níže je přítomna hornina geotypu G5.2. Beton pilot je možné zvolit ČSN 206+A2 C25/30 XA1 XC2.

Tab. 9 – levá opěra SO 201

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Modul pružnosti	Deformační modul	Koef.	Ulehlost	Poissonovo číslo
	σ_c	γ	φ_{ef}	τ_0, c_{ef}	E_y	E_{def}	β	I_D	ν
	MPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa		-	-
G5	G4/R6	20.5	40	18	95	45	0.81	0,9	0.26
G5.2	R6-R5	23.8	47	100	1 360	650	0.88	-	0.21

SO 202 Most přes TT, Kuršova - Vejrostova

Jedná se o most, který převede přes tramvajovou trať nové propojení Kuršovy a Vejrostovy ulice (SO 105) ve staničení v km 0,321 tramvajové trati. Most je navržen jako železobetonový rám. Volná šířka mostu je navržena minimálně 7,5 m, šířka mezi obrubami 6,5 m, mostu je kolmý. Délka přemostění je 16 m a kolmá světlost je 16 m. Mostovka má proměnou tloušťku vlivem náběhů nad opěrami. Podhled desky bude v příčném směru vodorovný. K mostu budou přiléhat gabionové stěny podél tramvajové trati, která budou pod mostem a u obou opěr upraveny, tak aby bylo možno provádět kontrolu opěr a podhledu NK. Most bude založen na vrtaných pilotách o průměru 900 mm. Opěry mostu jsou rámové stojky tl. 1,00 m, osazená na základových pasech šířky 1,40 m. Na mostě nejsou křídla, k mostu bude z obou stran dotažena opěrná gabionová zeď.

Relevantními sodami jsou (**levá podpěra**) J105 (hl. 15,0 m), J107 (hl. 15,0 m), (**pravá podpěra**) J106 (hl. 15,0 m) a J108 (hl. 15,0 m). Na levé straně je přítomno si 14,5 m sprašové hlíny (G2) a svahovin (G3) a hlouběji byl zastižen neogenní jíla (G4). Na pravé straně je mocnost kvartéru o 1 m menší. Konzistence G2 je tuhá a G3 je pevná s $I_c = 1,3$, (viz tab. 10). Prosedavost G2 je do 1,6 %. Hladina podzemní vody je situovaná v hloubce přibližně 10 m pod povrchem. Beton je možné zvolit ČSN 206+A2 C30/37 XC2.

Tab. 10 – Doporučené mechanické vlastnosti podloží pro SO 202

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemo vá tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnos t	Edometr ický modul	Deform ační modul	Koef.	Konziste nce	Poisso novo číslo
	C_u	γ	φ_{ef}	C_{ef}	E_{oed}	E_{def}	β	I_c	v
	kPa	kN/m³	°	kPa	MPa	MPa	-	-	-
G2	63	20.5	27	23	10	6.1	0.61	0.6	0.35
G3	128	19.5	28	30	10	6.1	0.63	1.3	0.35
G4	129	19.5*	22*	40*	7	3.6	0.52	1.2	0.38

*Typický neogenní jíł (baden, hlubokomořská facie) $I_c > 1,0$

SO 203 Lávka pro pěší přes TT, Kuršova - Vejrostova

Jedná se o lávku, která přes tramvajovou trať v jejím staničení km 0,339 převede pěší trasu a koridor inženýrských sítí (horkovod, teplovod, plynovod, sdělovací a elektrokabely). Nový most je navržen jako ocelová lávka o jednom poli. Most slouží pro převedení pěšího provozu a pro převedení teplovodního potrubí ve správě, přeložky STL, přeložky VO a sdělovacího vedení. Volná šířka mostu je 3,80 m, šířka mostu je 4,40 m, mostu je kolmý. Délka přemostění je 14,10 m, světlost pole je 14,10 m. Spodní stavba mostu je navržena jako jímka pro svedení teplovodního potrubí pod úroveň terénu s úložným prahem pro osazení ocelové konstrukce mostu. K mostu budou přiléhat gabionové stěny podél tramvajové trati, které budou pod mostem a u obou opěr vpravo upraveny, tak aby bylo možno provádět kontrolu opěr, ložisek a pohledu NK.

Relevantními sodami jsou: **levá podpěra** - J105 (hl. 15,0 m), J107 (hl. 15,0 m), **pravá podpěra** - J106 (hl. 15,0 m) a J108 (hl. 15,0 m). Na levé straně je přítomno si 14,5 m sprašové hlíny (G2) a svahovin (G3) a hlouběji byl zastížen neogenní jíł (G4). Na pravé straně je mocnost kvartéru o 1 m menší. Konzistence G2 je tuhá a G3 je pevná s $I_c = 1,3$, pro G4 $I_c > 1,1$ (viz tab. 11). Prosedavost G2 je do 1,6 %. Hladina podzemní vody je situovaná v hloubce přibližně 10 m pod povrchem. Beton základových konstrukcí je možné zvolit ČSN 206+A2 C30/37 XC2 XA1.

SO 204 Lávka přes TT, Listnatá - Přírodní

Jedná se o most, který přes tramvajovou trať v jejím staničení km 1,273 převede pěší trasu mezi ulicemi Přírodní a Listnatá a rovněž prostřednictvím chodníků (SO 109) umožní všesměrný příchod a odchod k nové tramvajové zastávce Říčanská. Most je navržen jako železobetonový integrovaný most o třech polích. Volná šířka mostu je 5,0 m, šířka mezi obrubami 4,0 m. Délka přemostění je 26,30 m a světlost krajních polí je 7,15 m a světlost středního pole je 11,00 m. Mostovka má konstantní tloušťku 650 mm. Šířka desky je 5,10 m. Most bude založen na vrtačných pilotách o průměru 900 mm. Délka pilot bude stanovena výpočtem. Krajiní opěry mostu jsou rámové stojky tl. 1,20 m, střední podpěry jsou ŽB stěny tl. 500 mm opřené do základových pasů 1400 x 800 mm, připojeny k NK přes vrubové klouby. Křídla jsou rovnoběžná, zavěšená na opěrách.

Relevantními sodami jsou: **levá opěra** - HV133 (hl. 12.5 m), DPH126 (hl. 7,8 m), **pravá opěra** J124 (hl. 20,0 m) a J140 (hl. 10,0 m). Na levé straně je přítomno asi 7 m zcela rozložené skalní horniny G5 a následuje G5.2. Na pravé straně je mocnost kvartéru (G2, G3) 5-10 m a následuje neogenní jílovitý písek a jíł (G4.1). Konzistence G2 je pevná a G3 je tuhá, (viz tab. 11 a 12). Přibližně

uprostřed údolí vede tektonický zlom (pokles) sblížující granitoidy s neogenním pískem (vhodné kontrolovat s geofyzikálními výsledky). Hladina podzemní vody je situovaná v hloubce 5 m pod povrchem (vztaženo k vrtům). Beton základových konstrukcí je možné zvolit ČSN 206+A2 C30/37 XC2 XA1.

Tab. 11 – Doporučené mechanické vlastnosti podloží pro SO 204 levá opěra

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Modul pružnosti	Deformační modul	Koef. $k_{E_{oed}}$	Ulehlost	Poissonovo číslo
	σ_c	γ	φ_{ef}	τ_0, c_{ef}	E_y	E_{def}	β	I_D	ν
	MPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa	-	-	-
G5	G5 GM	20.5	41.3	3.2	95	45	0.81	-	0.25
G5	R6	20.5	40	18	95	45	0.81	-	0.26
G5.2	R6-R5	23.8	47	100	1 360	650	0.88	-	0.21

Tab. 12 – Doporučené mechanické vlastnosti podloží pro SO 204 – pravá opěra

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Edometrický modul	Deformační modul	Koef. $k_{E_{oed}}$	Konzistence	Poissonovo číslo
	c_u	γ	φ_{ef}	c_{ef}	E_{oed}	E_{def}	β	I_c	ν
	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa	-	-	-
G2	63	20.5	27	23	10	6.1	0.61	1.2	0.35
G3	128	19.5	18	60	3	1.3	0.43	0.6	0.41
G4	129	19.8*	20*	20	5.5	2.6	0.47	1.2	0.40

9.3 Vysoké zárubní zdi výšky až 9 m (C200)

SO 211 Zárubní zeď podél TT km 0,210 - 0,480 vpravo

V rozsahu km 0,210 – 0,480 vpravo od tratě je zajištění zářezu tvořeno krytem ze stříkaného betonu s výztužnými kari sítěmi při obou površích. Stěna bude odkloněna o 15° od svislice směrem do svahu. Pata stěny (přední hrana) je navržena ve vzdálenosti cca. 4,00 m od koleje č.1. Stěna bude zajištěna trvalými ocelovými zemními hřebíky Ø 100 mm, dl. 6,00 m – 9,00 m. V místě přechodu mostů SO 202 a 203 bude zeď přizpůsobena konstrukci založení mostu. Před patou stěny ze stříkaného betonu se nachází železobetonový základ vystupující nad svršek tramvajové tratě. Tento základ má ukloněnou horní hranu o 15° od horizontály směrem dolů a do svahu tak, aby na něj bylo možné uložit obkladní gabiony. Gabiony budou přikotveny do krytu ze SB. Přibližně po 10,00 m stěny budou vynechány gabiony na vzdálenosti cca. 2,50 m čímž vzniknou výklenky pro trakční sloupy a pro popínavou zeleň. Za horní hranou stříkaného betonu bude umístěn odvodňovací žlab, který bude ukončen šachtou a voda svedena do kanalizace v kolejišti.

Relevantními sodami jsou J5 (hl. 22,0 m), J103 (hl. 15,0 m), J104 (hl. 15,0 m), J105 (hl. 15,0 m), J107 (hl. 15,0 m), J106 (hl. 15,0 m), J108 (hl. 15,0 m) a J109 (hl. 12 m). Na levé straně je přítomno si 14,5 m sprašové hlíny (G2) a svahovin (G3) a hlouběji byl zastižen neogenní jí (G4). V puklinách může být jí smísen se štěrkem. Na pravé straně je mocnost kvartéru o 1 m menší. Konzistence G2 je tuhá a G3 je pevná s $I_c = 1,3$, (viz tab. 13). Prosedavost G2 je do 1,6 %.

Od km 0,375 je v hlubším podloží přítomen geotyp G5.2 – silně tektonicky porušená skalní horniny R6/R5. Hladina podzemní vody nebude ovlivňovat projektování a stavbu. Beton konstrukce je možné zvolit ČSN 206+A2 C25/30 XC2.

Tab. 13 – Doporučené mechanické vlastnosti pro SO 211 a SO212

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Edometrický modul	Deformační modul	Koef. $k_{E_{oed}}$	Konzistence	Poissonovo číslo
	C_u	γ	φ_{ef}	C_{ef}	E_{oed}	E_{def}	β	I_c	ν
	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa	-	-	-
G2	63	20.5	27	23	10	6.1	0.61	0.6	0.35
G2*	-	19.8	22	18	3	1.6	0.52	0.95	0.38
G3	128	19.5	28	30	10	6.1	0.63	1.3	0.35
G4**	129	19.5	22	40	7	3.6	0.52	1.2	0.38
G5.2	500-5 000	23.8	47	100	1 360	650	0.88	-	0.21

*okolí vrtu J5 pro hloubku 2-6 m

**Typický neogenní jíł (baden, hlubokomořská facie) $I_c > 1,0$, E_{oed} laboratoř

SO 212 Zárubní zed' podél TT km 0,210 - 0,610 vlevo

Konstrukce stěny je obdobná jako SO 211 a zahrnuje stejné prvky. Stěna začíná v km 0,210, pata stěny (přední hrana) se nachází cca 6,26 m od osy koleje č.1. Hloubka stěny pod niveletou koleje č.1 je proměnná dle převýšení koleje, pohybuje se v rozmezí cca. 1,60 -1,70 m. V místě mostu (SO 202) a lávky (SO 203) je řešení obdobné jako u SO 211.

Tab. 14: Doporučené mechanické vlastnosti pro SO 212 (úsek 0,425 – 0,575)

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Obor napětí	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Modul pružnosti	Deformační modul	Poissonovo číslo
	σ_c	σ_n	γ	φ_{ef}	τ_0, C_{ef}	E_y	E_{def}	ν
	MPa	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa	-
G5	G5 GM	-	20.5	41.3	3.2	95	45	0.25
G5	R6	0-150	20.5	40	18	95	45	0.26
G5.1	R6-R5	100-200	26.0	47	83	385	183	0.21
G5.2	R6-R5	100-250	23.0	47	100	360	173	0.15

Tab. 15: Doporučené mechanické vlastnosti pro SO 212 (úsek 0,575 – 0,610)

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Edometrický modul	Deformační modul	Koef. $k_{E_{oed}}$	Konzistence	Poissonovo číslo
	C_u	γ	φ_{ef}	C_{ef}	E_{oed}	E_{def}	β	I_c	ν
	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa	-	-	-
G3	100	20	28	30	12	7.6	0.63	1.0	0.35

Celý objekt lze rozdělit na 3 úseky, kde byla zastížena rozdílná geologie. Geologická stavba i mechanické vlastnosti určené projektování jsou stejné jako pro SO 211. Po úsek 0,40 až 0,610 přibývají vrty J6 (hl. 15,0 m), J134 (hl. 4,0 m), HV110 (hl. 15,0 m) a J14b (hl. 15,0 m). V úseku km 0,425 až 0,575 bude probíhat hloubení v horninách G5 (malá mocnost hloubení do 1,5 m), G5.1 (zejména) a G5.2. Tento specifický úsek je pravděpodobně ohraničen tektonickými poklesovými zlomy. Hladina podzemní vody nebude ovlivňovat stavbu. Doporučené vlastnosti základové půdy viz tabulky 13 nahoře, 14 a 15. Beton konstrukce je možné zvolit ČSN 206+A2 C25/30 XC2.

SO 213 Zárubní zeď podél TT km 0,774 - 0,864 vlevo

Zárubní zeď bude zřízena v dočasném výkopu zajištěném stříkaným betonem a zemními hřebíky. Výška zdi je 4,50 – 6,00 m. Základ zdi je umístěn na dvě řady železobetonových pilot Ø 900 mm. Základ i dřík zdi jsou z monolitického železobetonu. Základ je předsazen před líc stěny tak, aby na něj bylo možné umístit gabionový obklad. Stěna bude na rubové straně chráněna asfaltovým hydroizolačním nátěrem. Za korunou zdi bude umístěn odvodňovací žlab, který bude ukončen šachtou a voda bude svedena do kanalizace v kolejišti. U paty dříku budou vytvořeny odvodňovací vrty.

Relevantními sondami jsou J7 (hl. 15,0 m), J111 (hl. 15,0 m), J112 (hl. 15,0 m), J113 (hl. 15,0 m) a J114 (hl. 15,0 m). Jedná se o geotypy G3 a G5. Hloubení proběhne částečně v G3 ($I_D = 0,8-0,9$, $I_C = 1,0-1,3$) a směrem v pokračujícím staničení tunelovému portálu narůstá mocnost těžené G5 ($I_D = 0,9-1,0$). V puklinách může být i neogenní jíł smísen se štěrskem. Hladina podzemní vody je velmi hluboko a neovlivní výstavbu. Doporučené vlastnosti viz tabulka 16. Beton konstrukce je možné zvolit ČSN 206+A2 C25/30 XC2.

Tab. 16: Doporučené mechanické vlastnosti pro SO 213

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Obor napětí	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Edometrický modul	Deformační modul	Poissonovo číslo
	σ_c	σ_n	γ	φ_{ef}	τ_0, C_{ef}	E_{eod}	E_{def}	ν
	kPa	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa	-
G3	128	0-100	19.5	28	30	10	6.3	0.35
G5	G5 GM	-	20.5	41.3	3.2	95	45	0.25
G5	R6	0-150	20.5	40	18	95	45	0.26

SO 214 Pilotová stěna u PTO

Pilotová stěna přímo navazuje na provozně-technologický objekt (SO 613) – dále jen PTO. Dle staničení koleje č. 1 se stěna nachází přibližně v km 0,790 – 0,862. Stěna je tvořena železobetonovými pilotami Ø900 mm po 1,20 m, piloty jsou v koruně spojeny železobetonovým věncem 0,80 x 1,20 m. Délky pilot budou v rozmezí 7,50 – 10,00 m, dle výšky odkopu konstrukce. Od výšky odkopu 5,00 m (včetně) bude stěna kotvena trvalými pramencovými kotvami, které jsou spojeny železobetonovou převázkou. Před pilotovou stěnou bude zřízen železobetonový základ pro umístění obkladních gabionů. Gabiony budou přikotveny do pilot. Na pilotovou stěnu navazuje stěna z gabionových košů, dl. 7,50 m, výška 2,00 m. Za korunou zdi bude umístěn odvodňovací žlab.

Pro projektování pilotové stěny jsou relevantní sondy J114 (hl. 15,0 m), J115 (hl. 25,0 m), J9 (hl. 30,0 m) a INK116 (hl. 30,6 m). Všechny jmenované vrty pod mělkou vrstvou kvartérních zemin vrtaly do zvětralé až navětralé skalní horniny. Zastiženy byly geotypy G3, G5, G5.2, G5.3.

Přímo v stavební jámě byl situován vrt INK116, prvních 11 m bude probíhat v G5 (zcela rozložená skalní hornina na písčité hrubé eluvium) s třídou vrtatelnosti II až III, hlouběji se bude jednat o zvětralou až navětralou skalní horninu G5.2 a G5.3. Piloty budou zřejmě vetknuty do G5.3 s třídou vrtatelnosti IV až V (příloha C ČSN P 73 1005). Od hloubky 14 m p.p. by skalní hornina měla být zvodnělá s puklinovou propustností. Vrtání by mělo probíhat pod ochranou výpažnice. Doporučené vlastnosti viz tabulka 17. Beton konstrukce je možné zvolit ČSN

206+A2 C25/30 XA1 XC2.

Tab. 17: Doporučené mechanické vlastnosti podloží pro SO 214

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Edometrický modul	Deformační modul	Koef. $k_{E_{oed}}$	Konzistence/ ulehlost	Poissonovo číslo
	C_u	γ	φ_{ef}	C_{ef}	E_{oed}	E_{def}	β	I_c, I_D	ν
	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa		-	-
G3	100	20	28	30	12	7.6	0.63	1.0	0.35
G5	G4 GM	20.5	41.3	3.2	27	23	0.83	0.75	0.25
G5	R6	20.5	40	18	95	45	0.81	1.0	0.26

SO 215 Opěrné zdi smyčky Kamechy

Přibližně v km 1,433 až 1,601 se bude nacházet monolitická železobetonová opěrná zeď, která je cca. v km 1,429 až 1,447 doplněna gabionovou opěrnou zídou. Gabionová zídka tvoří opěru tramvajové tratě v místě stoupání chodníku (ten je vynesena na opěrné železobetonové zdi). Výška železobetonové stěny se pohybuje v rozmezí 2,39 m až 5,13 m. Stěna je tvořena základem se šikmou základovou spárou, základ je předsazen před dřík stěny. U paty dříku budou vytvořeny odvodňovací vrty. Šířka v koruně zdi je 0,50 m. Deska tvoří chodník a postupně klesá tak, aby plynule navázala na chodník a schodiště nacházející se pod opěrnou stěnou. Beton konstrukce je možné zvolit ČSN 206+A2 C25/30 XC2. Konstrukce nebude přímo na kontaktu s podzemní vodou. Hladiny podzemní vody je relativně blízko pod povrchem.

Relevantní sondy jsou J130 (hl. 10,0 m), J145 (hl. 10,0 m), J149 (hl. 2,0 m) a DPH143 (hl. 8,0 m) a DPH144 (hl. 8,7 m). Zastiženy jsou geotypy G1, G2, G3, G4 a G4.1. Pro výpočet únosnosti pilot je doporučeno využití $I_c = 0,7$ pro jemnozrnné zeminy a $I_D = 0,6$ pro hrubozrnné nesoudržné zeminy (doporučené vlastnosti viz tab. 18).

Tab. 18: Doporučené mechanické vlastnosti zemín pro SO 215 a SO216

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Modul pružnosti	Deformační modul	Koef. $k_{E_{oed}}$	Edometrický modul	Poissonovo číslo
	σ_c	γ	φ_{ef}	C_{ef}	E_y	E_{def}	β	E_{oed}	ν
	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa		MPa	-
G2	63	20.5	27	23	-	10	0.61	6.3	0.35
G3	128	19.5	28	30	-	10	0.62	6.3	0.35
G4	129	19.5	22	40	-	3.6	0.52	1.2	0.38
G4.1	130	20.4	30/20	5/20	-	10	0.81	8/5	0.33/0.4

SO 216 Zárubní zeď smyčka Kamechy

Zárubní zeď je navržena ve staničení cca. 1,630 až 1,690 z pilot \varnothing 530 mm, á 0,75 m. Piloty budou v koruně spojeny železobetonovým věncem o rozměru 0,65 x 0,50 m. Stěna bude obložena obkladními gabiony, které k ní budou přikotveny. Gabiony budou umístěny na železobetonový základ 0,65 x 0,50 m. Maximální výška odkopu je 3,50 m. Podél chodníku vedoucího na nástupiště bude zeď vytvořena pouze z gabionů. Na koruně zdi bude umístěno zábradelní svodidlo.

Relevantní sondy jsou J130 (hl. 10,0 m), J145 (hl. 10,0 m), J149 (hl. 2,0 m) a DPH143 (hl. 8,0 m) a DPH144 (hl. 8,7 m). Zastiženy jsou geotypy G1, G2, G3, G4 a G4.1. Pro výpočet únosnosti pilot je doporučeno využití $I_c = 0,7$ pro jemnozrnné zeminy a $I_D = 0,6$ pro hrubozrnné nesoudržné zeminy. Beton konstrukce

je možné zvolit ČSN 206+A2 C25/30 XC2. Pokud by byly zastiženy zeminy, které by byly měkké až tuhé konzistence (silně stlačitelné), je možné jejich výměna za rubaninu z tunelu vyztuženou geobuňkami podloženými separační geotextilií (400 g/m²). Doporučené vlastnosti viz tab. 18.

9.4 Tramvajový tunel, částečně přesýpaný a částečně ražený (C600)

Pro všechny stavební objekty a výpočty řady 6 (SO 601 – SO 606) jsou doporučeny mechanické vlastnosti hornin a zemin v tab. 19.

Tab. 19: Mechanické vlastnosti hornin a zemin pro SO 601 – SO 606

Geotyp	Pevnost v prosté m tlaku	Obor napětí	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Modul pružnosti	Deformační modul	Poissonovo číslo
	σ_c	σ_n	γ	φ_{ef}	τ_0, C_{ef}	E_y	E_{def}	ν
	MPa	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa	-
G5	G4 GM	0-100	20.5	41.3	3.2	-	23	0.25
G5*	R6	100-300	20.5	40	18	95	45	0.26
G5.1	R6-R5	100-200	26.0	47	83	385	183	0.21
G5.1	R6-R5	200-350	26.2	42	128	385	183	0.25
G5.2	R6-R5	100-250	23.0	47	100	360	173	0.15
G5.2	R6-R5	250-350	23.8	44	140	360	173	0.23
G5.3	R4-R3	250-500	25.7	55	280	3 000	1 425	0.15
G5.3	R2	250-500	26.13	68	820	35 000	16 675	0.098

*Pro G5 je Mohrova obálka aproximována jako přímka (tečna) - vycházíme ze zkoušek SZZD600 a krabicové smykové zkoušky.

SO 601 Stavební jáma Bystrc

Provizorní portál tunelu je vytvořen z kotvené pilotové stěny ve tvaru „U“ ve staničení cca. km 0,892 50 až km 0,903 50.

Pro tento stavební objekt jsou relevantní následující sondy: J9 (hl. 30,0 m), J10 (hl. 25,0 m), J11 (25,0 m), J114 (hl. 15 m), J115 (hl. 25 m), INK116 (hl. 30,4 m), HV117 (hl. 30,5 m). Všechny jmenované vrty pod mělkou vrstvou kvartérních zemin vrtaly do zvětralé až navětralé skalní horniny. Zastiženy byly geotypy G1, G3, G5, G5.1, G5.2, G5.3.

Přímo v stavební jámě byl situován vrt INK116, prvních 11 m bude probíhat v G5 (zcela rozložená skalní hornina na písčité eluvium) s třídou vrtatelnosti II až III, hlouběji se bude jednat o zvětralou až navětralou skalní horninu G5.2 a G5.3. Piloty budou vetknuty do G5.3 s třídou vrtatelnosti IV až V (příloha C ČSN P 73 1005). Od hloubky 14 m p.p. by skalní hornina měla být zvodnělá s puklinovou propustností. Vrtání by mělo probíhat pod ochranou výpažnice.

SO 602 Přesýpaný tunel a portál Bystrc

Přesýpaný tunel tvořící připořádkový úsek na straně Bystrc je navržen v délce 40,0 m (přibližné staničení km 0,862 50 – km 0,902 50). Definitivní portálová stěna je tvořena konstrukcí z vyztužené zeminy s lícem z drátěných košů a skládaného kameniva. Sklon líce je 5:1. Vpravo od tunelu portálová stěna plynule přechází na konstrukci PTO (SO 613) a je ukončena kolmou gabionovou zídou navazující na pilotovou stěnu (SO 214).

Pro stavební objekt jsou relevantní stejné sondy jako pro SO 601. Těžena bude zejména zcela rozložená skalní hornina – eluvium G5 a v počvě budoucího tunelu G5.2 a G5.3. Všechny zastižené horniny vykazují relativně vysokou soudržnost a

svahy stavební jámy bude možné svahovat relativně strmě. Ochrana proti dešťové erozi může být stříkaný beton a kotvení pomocí hřebíků. Přtoky podzemní vody by měly být minimální – SO neprotíná HPV. Projektované gabiony budou posléze zejména poskytovat podporu, aby nedocházelo k opadávání betonu a vypadávání kamenů ze skalní stěny (v nižších polohách).

SO 603 Ražený tunel – ražba, primární ostění

Délka ražené části tunelu je cca 245,0 m (přibližné staničení km 0,902 50 – km 1,147 50 dle staničení koleje 1). Výrubová plocha činí cca 74 m². Primární ostění bude tvořeno svorníky, stříkaným betonem a výztužnými sítěmi. Během ražby bude docházet k opadům občasně silně rozpraskaného granodioritu. V HV117 byl v hloubce 17,1-17,8 zjištěn silný přítok vody, podobně v HV121 v hl. 17,0 m (viz zpráva – karotáž v příloze 6). V HV117 bylo v rozsahu 14,5-17,5 m a v J122 v rozsahu 14-16 m zjištěno silné tektonické porušení. **Agresivita podzemní vody na ocel byla dle ČSN 03 8375** vyhodnocena jako střední II. pro vrty HV117, HV121 a HV8 a pro **HV110 velmi vysoká IV** (velký obsah chloridů). S tím je nutné počítat při projektování primárního ostění a jeho dlouhodobé životnosti.

Stupeň	RMR	Popis kvality	Délka výrubu	Horninové kotvy, 20 mm v průměru, injektované	Stříkaný beton	Ocelová výztuž
4	21 až 40	špatná	rozdělení na kalotu a dno, rozestup obou 1,0–1,5 m, vyztužení současně s ražbou, kompletní vyztužení po 10 m	systematické kotvení 4–5 m dlouhé po 1,5–2,0 m	100–150 mm v klenbě a 100 mm po stranách	lehké až střední normíky po 1,5 m
5	méně než 20	velmi špatná	vertikální a horizontální členění výrubu, instalace výztuže současně s ražbou, stříkaný beton co nejdříve po ražbě	systematické kotvení, 5–6 m dlouhé kotvy po 1,0–1,5 m, kotvení dna	150–200 mm v klenbě a 150 mm po stěnách, 50 mm na čelbu	střední až těžké nosníky s rozpětím 0,75 m, vyuklenění KARI sítí, pokud je třeba využívá se hnané pažení (jehlování), uzavřený profil výztuže

Tab. 20: Vyhodnocení klasifikace Bienawského a doporučení pro stupeň 4 a 5.

Pro SO 603 a SO 604 jsou relevantní informace ze sond J10 (hl. 25,0 m), J11 (25,0 m), J15, J16, INK 116 (hl. 30,4 m), HV 117 (hl. 30,5 m), INK 118 (hl. 30,3 m), INK 119 (hl. 30,0 m), J 120 (hl. 30,0 m), HV 121 (hl. 30,0 m), J122 (hl. 35,77 m). Hodnocení kvality horninového masivu probíhalo pomocí **klasifikace Bienawski** (tab. 21), která je sice určena primárně pro dokumentace čeleb a případně skalních zářezů. Díky metodice zveřejněné E. Hoekem v publikaci např. Hoek 2007, bylo možné klasifikaci uplatnit. Bienawského klasifikace boduje 6 skupin popisných a mechanických vlastností a suma bodů ukazuje na návrh použité technologie. Orientace tektonických puklin masivu je středně nepříznivá (SV-JZ). Více viz výsledky karotáže v příloze 6 - geofyzika.

Vrty prošly skrz až 17 m mocnou vrstvu eluvia geotypu G5, kdy následuje různě mocná vrstva G5.1, G5.2 a G5.3. V trase tunelu bude probíhat ražba zejména v G5, u které je předpokládáno, že se bude drolit a z kaloty se bude hornina/zemina

sypan. Kvalitnější horniny budou raženy zejména v dolní polovině tunelové trouby.

Zakázka: Prodloužení tramvajové trati Bystrc – Kamechy, podrobný inženýrsko-geologický průzkum pro trasu a tunel

Projekce
iGEO s.r.o.
KLASIFIKACE BIENAWSKEHO

SO 601-607		SUMA bodů	18	18	28	25	30	29	29	21	
směr ražby	bodů	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	
podzemní voda	bodů	4	4	0	0	0	0	0	0	4	
povrch puklin	bodů	zvětrání	0	0	5	5	5	5	5	0	
	bodů	výplň	5	5	5	5	5	5	5	5	
	bodů	drsnost	0	0	2	4	4	4	4	2	
	bodů	odlúčnost	5	5	5	5	5	5	5	5	
	bodů	délka	6	6	6	6	6	6	6	6	
bodů			0	0	5	0	5	4	5	0	
hustota diskontinuit		více než 10	více než 10	6-10/víc 6	6-10/víc 10	6-10/víc 6	6-8/víc 6	6-10/víc 6	6-10/víc 10	6-10/víc 10	
bodů		3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
RQD		0.0	0.0	7.5	1.6	20.0	16.7	20.0	3.0		
bodů		0.0	0.0	2.0	2.0	2.0	2.0	1.0	1.0		
pevnost	váž. průměr celé čelby (MPa)	0.6	1.0	7.8	5.6	13.7	7.4	4.4	1.5		
geotyp (procentní zastoupení v čelbě)	G5.3	0	0	30	20	60	25	15	0	R4-R3 (R2)	21.3
	G5.2	0	0	30	15	10	50	15	35	R5	3.3
	G5.1	0	0	0	15	30	12	0	0	R6-R5	2.1
	G5	60	100	40	50	0	18	70	35	G3/R6	1
	G3	40	0	0	0	0	0	0	30	F6/F4	0
úsek	dle kap. 7.1.4	0*	1*	2	3	4	5	6	7*	σ_c	MPa

*Pozn. hloubené

Tab. 21: Model klasifikace budoucích čeleb podle Bienawského pro SO 601 – SO 607

Celý úsek tunelu SO 601 až 606 byl rozdělen z důvodu geologického modelu na 7 úseků (více viz příloha 2 – geotechnický řez B-B'), které jsou od sebe odděleny předpokládanými tektonickými rozhraními (poklesové zlomy) nebo puklinami či jiným přírodním jevem. Tato rozhraní lze identifikovat v geofyzikálním záznamu a také interpretovat pomocí náhlých přechodů horninových typů (zejména amfibolit – granit) a mírů zvětrání. Pro každý z úseků byl stanoven stupeň, kdy pro úseky 0 (bez ražby) – 2 (přesýpaný tunel/ražený tunel) se jedná

o 5 (kvalita velmi špatná). Pro úseky 3 – 6 se jedná o stupeň 4 (kvalita špatná) a pro úsek 7 (portálový SO 605) se opět jedná o stupeň 5 (viz tab. 20).

Pro všechny ražené úseky bude **nutné dělit čelbu minimálně horizontálně na kalotu v G5**, kde bude nutné využít jehlování nebo mikropiloty (ochranný deštník) v kombinaci se stříkaným betonem pro stabilizaci výrubu i čelby. **Počva a dno budou raženy v geotypech G5.1, G5.2 a občasné i G5.3**. Na rozdělení G5.1 a G5.2 bude možné použít bagr s impaktorem. Pro G5.3, kdy **RQD občasné může dosáhnout i 70-80 % bude občasné nutné použít trhavin pro přístřely**. Také je nutné počítat s přítokem podzemní vody. Několikrát ověřený koeficient filtrace puklinové propustnosti dosahuje $k_x = X \cdot 10^{-6}$ m/s (viz příloha 6 - hydrogeologie).

Dále byla použita klasifikace pro cyklické kontinuální ražení **ÖNORM B2203**. Kdy úseky 0 (bez ražby), 1 a 2 (SO 601 a SO 602), 3 a 6 (SO 603) a 7 (SO 605 a SO 606) byly klasifikovány jako **B3** – kdy se jedná o drobné a vysypavé horniny, kdy je ražba nestabilní z důsledku chybějící soudržnosti a dochází k závalům. Systematické pažení je nutné po celém obvodu a případně je nutné razit po částech a přijímat opatření na zlepšení masivu (jehly, mikropilotový deštník). Úseky 4 a 5 jsou klasifikovány jako **B2**, kdy se jedná o silně lámavé horniny (zejména G5.2), kdy rychle doznívají deformace, je zde vysoká rozpadavost. Je doporučeno horizontální členění výrubu a redukováná délka záběru.

Pomocí **nové rakouské tunelovací metody** (NRTM) byl výrub klasifikován jako třída výrubu **NRTM 4** pro úseky 0 až 3 a 6 až 7. Hornina je lámavá, drobná až slabě tlačivá a zajištění výrubu následuje bezprostředně po otevření. Razí se s horizontálně děleným průřezem (kalota, opěrná část a protiklenba). Délka výrubu je maximálně 2,0 m. Pokud je exponované čelo nestabilní (velmi pravděpodobně GT G5), je nutné využít stříkaný beton a kotvení. Výrub se zajišťuje stříkaným betonem tloušťky 150 – 200 mm. První oblouk má být umístěn max. 0,5 m od čelby. V úsecích 4 a 5 se jedná o třídu **NRTM 3**, kdy hornina je lámavá až drobná. Je doporučeno **razit s horizontálně členěným výrubem** po záběrech max. 2,5 m. Primární ostění je nutné umístit v minimálním časovém odstupu od vyražení. Předstih kaloty před výrubem opěrné části a dna nemá být delší než 50 m. Stříkaný beton se navrhuje v tloušťce 150 – 100 mm s jednou vrstvou KARI síť (Klepsatel a kol., 2003). Dno a počva (GT G5.3) může být ražena za použití trhavin. Je nutné počítat s přítokem podzemní vody z puklin v horninovém masivu.

Vzhledem k velké rozpukanosti (GT G5.2) a přítomnosti zlomů různých orientací, které mohou být (a nemusí) vyplněny neogenním jílem, je možné, že budou naraženy místa se zvýšenými přítoky (ne příliš vysoké vydatnosti). Voda bude proudit pod tlakem max. 100 kPa. Projektová příprava bude probíhat podle TKP_D_7 z r. 2016. Na některých místech podzemní voda vykazuje **velmi vysokou (chloridovou) agresivitu na ocel**.

SO 604 Ražený tunel – definitivní ostění

Sekundární ostění je navrženo z prostého betonu bez spodní klenby, v místě ražené rozvodny a na koncových částech tunelu je navrženo ostění ze železobetonu. Trvalá nosná konstrukce bude chráněna proti podzemní vodě mezilehlou foliovou deštníkovou izolací s patními drenážemi.

SO 605 Přesypaný tunel a portál Žebětín

Přesypaný tunel tvořící připortálový úsek na straně Žebětín je navržen v délce cca 35,0 m (přibližné staničení km 1,147 50 – km 1,182 50). V km 1,167 50 je

navržena přesýpaná rozvodna R1.

Pro tento stavební objekt jsou relevantní sondy J17a (hl. 16,0 m), J15 (hl. 24,0 m), J16 (hl. 24,0 m), J122 (hl. 35,77 m), J123 (hl. 25,3 m) a DP 129 (hl. 4,4 m). Hloubení bude probíhat zejména v GT G3 (svahoviny) a G5 (eluvium). Geotypy G5.2 a G 5.3 se budou vyskytovat pouze ve dně. Tyto horniny budou poskytovat dostatečnou podporu pro umístění ŽB konstrukce. Je nutné počítat s přítoky podzemní vody, které budou vzhledem k již vyraženému tunelu SO 603/604 spíše slabé (s malou vydatností). Svahování může být strmé vzhledem k relativně vysoké soudržnosti zemin a hornin jmenovaných geotypů.

SO 606 Stavební jáma Žebětín

Provizorní portál tunelu a zajištění stavební jámy je navrženo jako převrtávaná pilotová stěna v přibližném staničení km 1,146 50 – km 1,192 50. Pilotová stěna je na pravé straně tunelu odskočena tak, aby bylo možné zřídit rozvodnu R1.

Relevantní sondy jsou stejné jako pro SO 605. Na okraji stavební jámy byl situován vrt J122, prvních 14 m bude probíhat v G5 (zcela rozložená skalní hornina na písčité eluvium) s třídou vrtatelnosti II až III, hlouběji se bude jednat o navětralou skalní horninu G5.3. Piloty budou vetknuty do G5.3 s třídou vrtatelnosti IV až V (příloha C ČSN P 73 1005, TP76A). Vrtání by mělo probíhat pod ochranou výpažnice.

SO 608 Odvodnění tunelu

Budou instalovány dva oddělené odvodňovací systémy. Jeden systém odvádí vody dešťové z povrchu chodníků a PJD tramvajové tratě, které stékají z projíždějících tramvajových souprav. Druhý systém odvádí vody drenážní z rubu ostění. Během výstavby bude výrub odvodňován pomocí stavební drenáže ve středu počvy. Odvedení povrchových dešťových vod (resp. vody z tramvajových souprav) z tunelu je navrženo pomocí dvou podélných betonových žlabů šířky 210 mm. V příčném řezu jsou žlaby umístěny na krajích PJD vlevo a vpravo u obrub chodníků. Žlaby jsou ukončeny na portálech tunelu vpustími DN 300. V HV117 byl v hloubce 17,1-17,8 zjištěn silný přítok vody, podobně v HV121 v hl. 17,0 m (viz zpráva – karotáž v příloze 6). Na základě hydrogeologických měření a výpočtů se s postupující ražbou a odtokem vody budou průtoky pro jednotlivé úseky postupně snižovat, až dosáhneme **dlouhodobého přítoku do stavební jámy (půdorys tunelu, hornina plně saturovaná délky 240 m) přibližně na 2 – 2,5 l/s.**

9.5 Dvukolejná tramvajová trať převážně v zářezu (C660).

Pro projektování tramvajové trati v celé délce je možné použít hodnoty mechanických vlastností z tab. 22.

SO 661 Rekonstrukce tramvajové trati

Předmětem objektu jsou úpravy stávající tramvajové trati v mezizastávkovém úseku Ondrouškova – Ečerova, před stávající zastávkou Ečerova. Zde je postupně upravena směrová poloha koleje číslo 2 (do centra), upravena osová vzdálenost a nově řešeno odbočení koleje do smyčky Ečerova, kde dojde ke změně směru po jíždění (ze stávajícího obratu proti směru hodinových ručiček na nové řešení obratu ve smyčce po směru hodinových ručiček) – toto řešení zajistí mimo jiné sjednocení nástupní zastávky jak pro zde končící linky, tak pro linky vedené ve směru z prodloužení tramvajové trati do nově plánované konečné zastávky Kamechy.

Tab. 22 – mechanické vlastnosti geotypů pro SO 661-SO 664

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřní o tření	Efektivní soudržnost	Modul pružnosti	Deform ační modul	Koef.	Edometr ický modul	Poisson ovo číslo
	σ_c	γ	φ_{ef}	τ_0, C_{ef}	E_y	E_{def}	β	E_{oed}	ν
	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa		MPa	-
G2	63	20.5	27	23	-	10	0.61	6.3	0.35
G3	128	19.5	28	30	-	10	0.62	6.3	0.35
G4	129	19.5	22	40	-	3.6	0.52	1.2	0.38
G4.1	130	20.4	30/20	5/20	-	10	0.81	5	0.33/0.4
G5	100	20.5	41.3	3.2	-	23		-	0.25
G5.1	R6-R5	26.2	47	83	385	183		-	0.21
G5.2	R6-R5	23.8	47	100	360	173		-	0.15

Pro rekonstrukci smyčky byly realizovány sondy S101, S102, J3 (hl. 8,0 m), J4 (hl. 15,0 m) a J103 (hl. 15,0 m) a DPH1 (hl. 10 m) a DPH102 (hl. 10,0 m). Jsou zastiženy zejména navážky (G1), dále G2 a hlouběji mimo dosah zatížení další geotypy. Kolejové lože bylo testováno na přítomnost PAU a škodlivin dle vyhl. 273/2021 Sb. (**zeminy jsou kontaminovány!**). Také bylo testováno na únosnost statickou zatěžovací deskou (SZZD) SZZD-S101 a SSZD-S102. Zjištěné hodnoty $E_{def2} > 100$ MPa (70 cm pod pražcem). Zastižené zeminy jsou dle ČSN 73 6133 vhodné do podloží a nebude nutná jejich výměna (z pohledu mechaniky).

SO 662 Tramvajová trať

Na rekonstruovanou část stávající tramvajové tratě a úpravy obratiště Ečerova navazuje novostavba tramvajové trati. Ta je vedena nejprve v zářezu přimykajícím se k ulici Vejrostova a vedeném severně kolem původní bytové zástavby sídliště Bystrc k současné zastávce autobusů i nově navržené zastávce tramvají Ruda. Dále se tramvajová trať postupně odklání od ulice Vejrostova a přechází do navrženého tramvajového tunelu, kterým podchází ulici Říčanská a překonává výškový vrchol celého přilehlého území. Tunel jsou obsaženy v dokumentaci SO 601 – SO 614 a nejsou součástí objektu SO 662. Po vyústění z tunelu trať pokračuje zářezem mezi ulicemi Listnatou a Přírodní, kde je navržená zastávka Říčanská. Následuje levostranný oblouk, kterým se tramvajová trať stáčí jihozápadním směrem kolem nové zástavby sídliště Kamechy do nově navržené konečné zastávky Kamechy.

V podloží trati bude v úseku **od obratiště Ečerova do km 0,475** podloží G2 a G3, které obsahuje zeminy tříd F6, F4 a ojediněle S2. Tyto zeminy jsou podmíněně vhodné do podloží. Vzhledem ke konzistenci $I_c > 1,0$ je vodní režim difúzní až pendulární. Dle ČSN 73 6133 by měla proběhnout výměna 300-400 m zeminy za vhodnou sypaninu dle ČSN 73 6133. Podloží násypu by mělo být zhuťněno na 92 % PS a aktivní zóna (zemní plaň na 100 %). Na základě stanovení CBR pro sprašové hlíny a svahoviny je zřejmé, že se jedná o podloží PIII (TP 170). Dle TP je nutné na pláni dosáhnout $E_{def,2} \geq 45$ MPa. Sprašové hlíny G2 nejsou prosedavé. Zeminy nejsou objemově nestálé, ale namrzavé až nebezpečně namrzavé.

Dalším úsekem je km **0,475 až 0,575**, zářez ve skále, kde v podloží bude přítomna zcela rozložená až zvětralá hornina G5. Také se může vyskytnout G5.1 a G5.2. Vzhledem k ověřeným vlastnostem pomocí např. SZZD600 (KS151) se jedná o kvalitnější podloží dle TP 170 ozn. PII. Pro výpočty sedání a využití jako aktivní zóny lze využít hodnoty v tab. 22. Pokud budou horniny v dosahu promrzání,

bude jejich povrch nutné chránit např. asfaltovým povlakem zabraňujícím infiltraci vody a vymrzání.

Dalším úsekem je trať na **km 0,575 – 0,775** (na rovině až v zářezu před tunelem), kde v podloží budou přítomny svahoviny G3, které lze označit na podměnečně vhodné zeminy do podloží (ČSN 73 6133). Jmenovaná norma doporučuje výměnu, nebo zlepšení 300-400 mm. Podloží je vzhledem ke zjištěným výsledkům dle TP 170 klasifikováno jako PIII. Zeminy nejsou objemově nestálé, ale namrzavé až nebezpečně namrzavé.

Tab. 23: Doporučené mechanické vlastnosti pro SO 212 (úsek 0,425 – 0,575)

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Obor napětí	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Modul pružnosti	Deformační modul	Poissonovo číslo
	σ_c	σ_n	γ	φ_{ef}	τ_0, C_{ef}	E_y	E_{def}	ν
	MPa	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa	-
G5	G4	0-150	20.5	41.4	3.2	-	23	0.25
G5.1	R6-R5	100-200	26.0	47	83	385	183	0.21
G5.2	R6-R5	100-250	23.0	47	100	360	173	0.15

Tab. 24: Doporučené mechanické vlastnosti pro SO 212 (úsek 0,575 – 0,775)

Geotyp	Pevnost v prostém tlaku	Objemová tíha	Ef. úhel vnitřního tření	Efektivní soudržnost	Edometrický modul	Deformační modul	Koef. deformace	Konzistence	Poissonovo číslo
	C_u	γ	φ_{ef}	C_{ef}	E_{oed}	E_{def}	β	I_c	ν
	kPa	kN/m ³	°	kPa	MPa	MPa		-	-
G3	100	20	28	30	12	7.6	0.63	1.0	0.35

Následuje úsek v tunelu (viz odst. 9.1.4).

Dalším úsekem je **km 1,182 – 1,400**, který je veden částečně na povrchu, na násypu a částečně v mělkém zářezu. V podloží jsou přítomné zeminy GT G3. Trať bude procházet navážkami G1 (Y). Mechanické a jiné vlastnosti viz předešlý úsek a tab. 23 a 24. Navážky **bude vhodné odstranit, pokud by se jednalo o zeminy s organickou příměsí a měkké až tuhé jíly a případně domovní odpad apod.** Přítomné štěrkovité navážky je možné opětovně využít po přečištění a přehutnění. V hlubším podloží budou přítomny sprašové hlíny, které vykazují pouze nízkou míru prosevadosti na kontaktu s vodou (max. 2 %). Pro násyp bude zřejmě využita rubanina z tunelu.

SO 664 Tramvajová smyčka Kamechy

Novostavba tratě je zakončena tříkolejnou smyčkou pracovní nazvanou Kamechy. Obratiště je situováno mezi ulice Kocanovská a Hostislavova. Výstup cestujících je umožněn na dvojici výstupních zastávek (u vnější a u vnitřní koleje), za kterými následuje ještě rozdělení do tříkolejného úseku smyčky se střední kolejí. Užitečná délka obrátové koleje č. 5 (vnější) je cca 87 m, koleje č. 6 cca 75 m a koleje č. 7 (vnitřní) cca 86 m. Nástup cestujících je sjednocený na společné nástupiště za sjezdové výhybky.

Relevantní sondy jsou J130 (hl. 10,0 m), J145 (hl. 10,0 m), J149 (hl. 2,0 m) a DPH143 (hl. 8,0 m) a DPH144 (hl. 8,7 m). Zastiženy jsou geotypy G1, G2, G3,

G4 a G4.1. Pro výpočet únosnosti pilot je doporučeno využití $I_c = 0,7$ pro jemnozrnné zeminy a $I_D = 0,6$ pro hrubozrnné nesoudržné zeminy. Stavební objekt je projektován na mírné násypu vysokém 2-3 m. V podloží jsou přítomné mělké navážky (zřídka G2 – sprašová hlína) a hlouběji G3 (svahoviny), G4 a G4.1 což jsou neogenní jíly a písčité jíly. **Tyto zeminy nebudou přímo tvořit aktivní zónu ale hlubší podloží.** Mechanické vlastnosti zemin pro výpočet sedání jsou uvedeny na začátku kapitoly v Tab. 22. Vzhledem k přítomnosti velké množství rubaniny z tunelu bude možné zeminy G5 až S5 + zvětralé skalní horniny R6-R4 po zhutnění využít do násypu i podloží. Pod nové zeminy bude nutné umístit separační geotextilii (netkanou) o gramáži podle hrubosti navážky. **Vytěžené navětralé skalní horniny R3-R2 je možné po přečištění a přesítování využít ve frakci 31,5/63 jako kolejové lože. Horniny nesmí být nezasažené zvětrávacím procesem a výrazným rozpukáním (SŽDC S3).**

10. Geotechnické výpočty

Pro vybrané příčné řezy byly provedeny geotechnické výpočty návrhu svahu – výpočetní software GEO 5 – Stabilita svahu a pro řez km 1.550 byl proveden výpočet sedání podloží po přitížení násypem a dopravou GEO5 - MKP. Pro stabilitu svahu je dle ČSN 73 6133 požadován stupeň stability $FS \geq 1,3$. Vzhledem k možné variabilitě zemin je svahování doporučeno méně strmé.

10.1 Návrh svahování v zářezu

Modelování svahování v zářezu bylo provedeno pro řezy ve staničení **0.250 km, 0.350 km, 0.550 km pro SO 211 Zárubní zeď podél TT km 0,210 – 0,480 km vpravo a pro SO 212 Zárubní zeď podél TT km 0,210 - 0,610 vlevo.** Dále pro řez ve staničení **0.850 km pro SO 213 Zárubní zeď podél TT km 0,774 - 0,864 vlevo** a dále ve staničení **1.200 km pro SO 662 Tramvajová trať.** Pro modelování byly využity geotypy G2, G3, G5, G5.1, G5.2 (vlastnosti zemin viz výpočty, příloha 13). Mechanické vlastnosti zemin byly použity z tabulek příslušícím jednotlivým SO (doporučené pro projektování). Výpočty jsou součástí přílohy 13 – Geotechnické výpočty. Hladina podzemní vody je situována hluboko a nezasáhne do místa zářezu (nebyla uvažována do výpočtů).

Pro zářez ve staničení **0.250 km** byl výpočtem stanoven pro úhel 82° stupeň stability 1,54. Doporučený sklon je 75°

Pro zářez ve staničení **0.350 km** byl výpočtem stanoven pro úhel 58° stupeň stability 1,49. Doporučený sklon je 50°

Pro zářez ve staničení **0.550 km** byl výpočtem stanoven pro úhel 46° stupeň stability 1,66. Doporučený sklon je 45°

Pro zářez ve staničení **0.850 km** byl výpočtem stanoven pro úhel 65° stupeň stability 1,66. Doporučený sklon je 60°

Pro zářez ve staničení **1.200 km** byl výpočtem stanoven pro úhel 71° stupeň stability 1,53. Doporučený sklon je 70°

Svahy musejí být chráněny proti dešťové erozi. Bylo by vhodné využití nadzářezových příkopů a ochrany stříkaného betonu s hřebíky a také využití opěrných zídek a gabionů.

10.2 Sedání násypu

Sedání bylo modelováno pouze pro **řez km 1.550**. Bylo uvažováno s geotypy G3, G4, G4.1 a navážkou – rubanina G5-G5.3. Mechanické vlastnosti byly použity pro tyto geotypy doporučené pro projektování z tab. 22. Výpočet probíhal jako časosběrný, kdy výstavba násypu trvala 360 dní a následná tramvajová doprava byla aktivována okamžitě. Sednutí podloží vč. násypu bylo spočteno na 51 mm. Hladina podzemí vody je situovaná relativně hluboko. Vzhledem ke střednímu koeficientu filtrace $k_{h,v} = X \cdot 10^{-6}$ m/s konsolidace probíhala velmi rychle a je splněn požadavek ČSN 73 6133, aby 75 % proběhlo během výstavby. Celkové sedání může být až 58 mm, což lze eliminovat nadnásypem, nebo podbitím.

11. Pedologie

Zeminy v průběhu celé trasy **nejsou součástí BPEJ**. Jedná se převážně o antropozemě, jejichž ornice (často hnědozem, kambizem apod.) mohou být recyklovány a využity pro opětovné zatravnění stavebních ploch a svahů (více viz příloha 12).

12. Závěr

Realizovaný průzkum navazuje na předběžný z roku 2016 (GEOtest, a.s.) a týká se hloubení trasy pro novou tramvajovou trať, budování hloubeného a později raženého tunelu, mostních objektů a lávek. Podobná etapa je složena z jádrových vrtů, velkého množství geofyzikálních měření (VES, MRS, ERT, karotáž), hydraulických zkoušek, polního zkušebnictví a zkoušek mechaniky zemin a hornin. Popis přírodního prostředí pro každý stavební objekt je proveden v kap. 8.

Podzemní voda vykazuje mírnou agresivitu oxidem uhličitým hodnocenou dle ČSN EN 206+A2 XA1.

Agresivita podzemní vody na ocel byla dle ČSN 03 8375 vyhodnocena jako střední II pro vrty HV117, HV121 a pro HV8 **velmi vysoká IV. S tím je nutné počítat při projektování hlubinného založení a primárního ostění a jejich dlouhodobé životnosti.**

Tramvajová trať – zářez - **bude hloubena zejména ve kvartérních svahovinách a sprašových hlínách, které se vyznačují relativně vysokou smykovou pevností a jsou bez přítomnosti hladiny podzemní vody.** Konzistence zemin (I_c) je vyšší než jedna, vodní režim je příznivý až lehce nepříznivý. Zeminy v podloží jsou dle ČSN 73 6133 podmíněčně vhodné do podloží (F4, S3, F6) s požadovanou úpravou 300-400 mm. V případě stabilizace pomocí pojiv se jedná o podloží podle TP170 PIII-II. Podloží ve dně tunelu lze dle TP170 charakterizovat jako PII-PI. **Zeminy je možné do aktivní zóny nahradit vhodnou až velmi vhodnou (ČSN 73 6133) rubaninou z tunelu.**

V km 0,4 - 0,575 bude hloubení probíhat v metamorfovaných horninách charakteru amfibolitu a ruly (migmatitu?), kdy bude možné projektovat a hloubit relativně strmé stěny. Dál bude trasa hloubena opět ve štěrkovito-písečných svahovinách bez přítoku podzemní vody. V případě skalní horniny není nutné

provádět výměnu podloží tramvajové trati, ale bude **nezbytné zabránit infiltraci vody a její zamrzání ve struktuře** (led by skálu trhal). Toho lze docílit např. pomocí asfaltového krytu nebo izolačních fólií odolných proti proražení.

Od km 0,750 -1,250 (přibližné staničení raženého tunelu km 0,902 50 – km 1,147 50 dle staničení koleje 1) **bude probíhat hloubení a ražba v tektonicky středně až silně porušených (a v kalotě také zcela rozložených) granodioritech** a občasně amfibolitech. Kvalita horninového masivu byla hodnocena dle Bienawského body 18-30, což **představuje třídu 4 až 5, podobně 3-4 třída NRTM, B2 – B3 ÖNORM B2203**, kdy je doporučeno **razit s horizontálně dělenou čelbou**. Součástí také bude budování mikropilotového deštníku, primárního ostění ze svařovaných nosníků a stříkání stříkaného betonu. Je nutné **počítat s přítokem podzemní vody v prostoru čelby**. **Ražbu kaloty v G5 lze doporučit bagrem s impaktorem**. **Ražba počvy a dna bude v návaznosti na pevnost a míru rozpukání probíhat impaktorem a případně i přístřely.**

Pokud se narazí na tektonicky silně porušené pásmo, přítoky podzemní mohou činit první litry/s. Tento přítok bude rychle ustávat s vyčerpáním kolektoru a postupující ražbou. Horniny v místě budoucí ražby také komunikují s povrchem, kdy **silný déšť se může projevit v podzemí za 2-3 dny** (uvažujeme s $k_v = X \cdot 10^{-6}$ m/s). Tlak podzemní vody na ostění bude malý; bude vybudovaná účinná drenáž. **Je nutné počítat s dlouhodobým odváděním vody v objemu 2-2,5 l/s (SO 608) zejména po dobu výstavby**. Po vyčerpání / vypuštění recipientu podzemní vody a vytvoření deprese HPV lze očekávat snížení odtoku podzemní vody z tunelu až řádově.

Dle TP124 bude nutné použít opatření č. 4 proti působení bludných proudů (ač jsou naše výsledky klasifikovány pouze jako opatření 2-3).

Po opuštění podzemí směrem k Žebětínu bude tramvajová trať situovaná na 2-3 m násypu, do kterého **může být bez výrazných úprav pouze po zhutnění použita rubanina z trasy tunelu**. Jedná se o zvětralou horninu klasifikace (reziduální zemina) G5 GC až S5 SC a také horniny R6-(R2). Horniny pevnosti **tříd R3-R2 mohou být pro pročištění ve frakci 31,5/63 využity také jako kolejové lože.**

Ražba tunelu **bude mít lehce negativní vliv na hladinu podzemní vody**, kdy v místě osy tunelu dojde k poklesu hladiny podzemní vody o 4-12 m s horizontálním dosahem snížení asi 40 m. **Toto snížení se zřejmě mírně dotkne** (první cm až první desítky cm) **zahrádkářské kolonie za silnicí Vejrostova.**

Snížení HPV (aktuálně ustálená mírně nad projektovanou kalotou tunelu) **bude mít zanedbatelný vliv na konsolidaci zemin v nadloží** – jedná se o reziduální zeminy vzniklé rozložení granodioritu – nebudou výrazně konsolidovat z důvodu změny hydraulického režimu.

Ražba tunelu nebude mít vliv na okolní zástavbu, neboť je plánována pod dosud převážně nezastavěnou oblastí. Podle Protodjakova vznikne

poklesová kotlina pod úhlem $45^\circ - \varphi_{ef}/2$, což vzhledem k vysokému úhlu vnitřního tření a výšce nadloží nad dnem tunelu max. 22 m (poblíž J120), sahá max. pouze 9,3 m od kraje tunelu. **Současná zástavba tak leží mimo poklesovou kotlinu.**

Hluk ze stavby a prašnost (stříkaný beton, bourání) **bude mít negativní vliv na kvalitu života v blízkých BD.**

V místě **současného obratiště Ečerova** byly zjištěny zeminy, které **obsahují PAU a C10-C40**, tyto zeminy mohou být **recyklovány za pomoci pyrolýzy** a opětovně využity jako šterkové lože a podloží. Pokud by se nepočítalo s jejich využitím, lze je uložit jako odpad S-inertní na skládku.

Zeminy v místě **plánovaných silničních komunikací a parkovišť** (nad úrovní tramvajové tratě) **spadají dle ČSN 73 6133 mezi podmíněčně vhodné zeminy** do podloží. Dle TP170 je to PIII. Tyto zeminy mohou být v místě aktivní zóny **nahrazeny zhutněnou rubaninou** v mocnosti 300-400 mm. Nebo sanovány za využití pojiv a přehutnění (viz výsledky laboratorních testů).

Povrchové zeminy (travní drn, navážky) **nepadají pod BPEJ**. Jsou však recyklovatelné a využitelné pro opětovné zatravnění stavebních ploch. V místě, kde vychází na povrch zvětralina granodioritu G5 jsou přítomné kambizemě, které jsou pro recyklaci půdy nepoužitelné. Dotčeny budou pouze minimálně.

Na základě provedených výpočtů byly stanoveny sklony zářezů a vypočítané sedání pro násyp (km 1.550). **Zeminy jsou dosti únosné a tak jsou navrženy sklony svahu relativně strmé.** Smykové vlastnosti byly v laboratoři stanovovány v souladu s normami, za plné saturace, což je na kopci mimo dosah HPV, nepravděpodobný stav. Využité vlastnosti jsou tedy konzervativní (bezpečné, kap. 10, příloha 13, pasporty pro jednotlivé SO příloha 8). **Sedání podloží pod násypem** vzhledem k nízké hladině podzemní vody (km 1,550) a střednímu koeficientu filtrace **proběhne ze 75 % v průběhu stavby**, což je v souladu s ČSN 73 6133.

12.1 Porovnání výsledků s předešlou etapou GTP a zhodnocení

Předložený průzkum splnil očekávané požadavky stanovené v předběžné etapě GTP. Nastaly drobné zádrhly při realizaci vrtaných sond, kdy byly hloubky sond upravovány na základě konzultace s AD a objednatelem. Úprava rozsahu prací byla schvalována ze strany objednatele. Jeden z vrtů určených pro karotáž byl před jeho využitím zasypán místními obyvateli. Nad původní rámec byla realizována zkouška v hluboké bagrované sondě SZZD průměru 600 mm, která stanovila E_{def1} a E_{def2} pro zvětralý granodiorit. Výsledky DP penetrací byly kalibrovány pomocí laboratorních a terénních polních testů.

Po odsouhlasení objednatelem, bylo v rámci průzkumných prací analyzováno větší množství neporušených vzorků zemin (TKO 1A), než očekával projekt GTP. Byl proveden menší počet analýz podzemní vody.

V rámci průzkumných prací bylo provedeno velké množství analýz a testů, které měly za úkol doplnit stávající model. Geologický model byl zjednodušen

z původních 10 geotypů na současných 9. **Zjednodušena byla zejména klasifikace hornin (G5-G5.3), která reflektuje zejména mechanické vlastnosti a míru tektonického porušení bez přihlédnutí ke genezi.**

V rámci hydrogeologických měření a hydrodynamických zkoušek jsou námi stanovené koeficienty filtrace výrazně nižší než v předešlém průzkumu. Tento rozdíl je zřejmým důsledkem nestejného tektonického porušení v místě provedených vrtů a testů (v námi provedených vrtech byla nižší puklinatost, nebo se volná hladina nevyskytla).

Chemismus a agresivita podzemních vod si navzájem odpovídá (XA1 na beton, IV na ocel) v obou průzkumech.

V trase tunelu byly v předešlé etapě geofyzikálního průzkumu interpretovány tektonické zlomy střední důležitosti. Tento model byl potvrzen a dále rozvíjen zejména díky litologickému mapování neogenních sedimentů. **Třídy NRTM v trase tunelu byly sníženy na 3-4** (oproti 1-3 po předběžném GTP). Velké zpřesnění přinesly zejména výsledky karotáže, díky kterým se podařilo stanovit přednostní orientace a sklony puklin. Proběhlo porovnání s očekávanými orientacemi z geologické mapy. Sklony puklin jsou ve skutečnosti strmější (45-75°) než stanovila předešlá etapa GTP.

Měření bludných proudů stanovilo nutnost opatření pouze 2-3, kdy **TP 124 pro ŽB konstrukce v blízkosti elektrizovaných tratí, vyžaduje 4.**

Pro geotyp G5 byla provedena velkoobjemová smyková zkouška (vz. 96-118-1) v krabicovém smykovém přístroji (300x300x150 mm) jejímž výsledkem bylo stanovení vrcholové smykové pevnosti (rekonstituovaného vzorku) pro středně ulehlou zeminu s $\varphi_{ef} = 41,4^\circ$ a $c_{ef} = 3,2$ kPa (vhodné pro napětí 0-150 kPa, 0-8 m p.t.). Zemina, eluvium, pokud je středně ulehlá se chová spíše jako štěrk s malou dilatancí. Ve skutečnosti bude mít zemina in situ vyšší soudržnost (nebude porušená odběrem). Pro stav ulehlý smykové vlastnosti eluvia stanovil laboratorní test 96-118.

12.2 Rizika pro stavbu a doporučení pro další stupeň průzkumu

- Pro tramvajovou trať v místě současného obratiště je nutné uvažovat s přítomností kontaminovaných zemín zejména PAU a C10-40.
- Pro trasu v zářezu může nastat vypadávání kamenů až balvanů ze stěn (km 0,4-0,575 a km 0,8-0,9) hloubených v G5 a G5.1. Bude nutné stabilitu dlouhodobě zlepšit postupnou výstavbou, nebo pomocí stříkaného betonu a hřebíkování. Návrhy sklonů svahu v zářezích bylo doporučeno v kap. 10.
- Pro tunel v zářezu a při ražbě bude docházet k rozpadu zvětralých hornin G5 a bude nutné razit pod ochranou deštníku a stříkaného betonu, případně dalších podpůrných opatření pro zajištění stability výrubu, jako jsou např. injektáže, členění výrubu apod. Pravděpodobné je také vypadávání kamenů a vyjíždění klínů horniny z dolní poloviny čelby kaloty.
- Během ražby se bude měnit struktura, tektonické porušení a pevnost skalních hornin (často nahodile).

- v km 1,075 – 1,100 a 1,150 – 1,175 je nutné očekávat výrazné tektonické linie, viz řez A-A' a geofyzikální výsledky GEOTestu 2016 (P1). Tyto linie mohou vést k poklesu třídy NRTM až na 5 s krátkodobě vydatnějšími přítoky vody.

- Nelze přesně stanovit místa čelby, kdy je nutné očekávat zvýšené přítoky vody. Silný přítok byl detekován karotáží (HV121 17,0 m).

Informace a poznatky z dosud provedených průzkumných prací charakterizují relativně velmi podrobně geologické a geotechnické prostředí pro předmětnou stavbu, které je zejména v úseku budoucího tunelu poměrně chaotické. Nelze důvodně předpokládat, že jakékoliv další geologické průzkumné práce z povrchu území by mohly významnějším způsobem získané poznatky upřesnit. Rizika a nejistoty získaných poznatků jsou uvedeny výše. Vzhledem k předpokládanému způsobu vypsání soutěže na zhotovitele stavby (FIDIC yellow book), lze ponechat plně na zhotoviteli, aby sám vyhodnotil výsledky PoGTP a sám rozhodl, zda bude pro svoji stavební činnost další průzkumy potřebovat a zda si je zahrne do své cenové nabídky, nebo rizika a nejistoty „rozpustí“ do cen stavebních prací. Během prací na čelbě, budou de facto probíhat průzkumné práce, které budou spojeny s realizací např. mikropilotového deštníku (nebo podobné konstrukce) chránícího ražbu kaloty.

V rámci stavebního monitoringu bude nutné brát ohled **na kontaminace zemin v místě současných parkovišť a pozemních**. Může se jednat o C10-C40 a NEL pod parkovišti (vsáknuté oleje a ropné látky) a PAU mezi živičnými vrstvami pozemních a parkovacích komunikací. Pokud budou zjištěny tyto kontaminace, lze zeminy (šterk) recyklovat pomocí pyrolýzy, nebo odvést na skládku jako inertní odpad.

Brně dne 20.11.2023

Vyhotovil: RNDr. Mgr. Ivan Poul, Ph.D., GIPENZ
(jednatel Projekce iGEO s.r.o.)

autorizovaný inženýr pro geotechniku, č.a. 1005146
odborná způsobilost v inženýrské geologii 2101/2009
odborná způsobilost v hydrogeologii 2138/2011
odborná způsobilost ve zkoumání geologické stavby 2321/2016
odborná způsobilost v geofyzice 2560/2021
odborná způsobilost v sanační geologii, geochemii 2561/2021
oprávnění k provádění průzkumných a diagnostických prací pozemních komunikací
534/2022

PŘÍLOHY: