

B.4.1

INVESTOR



ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR

HLAVNÍ PROJEKTANT

PK OSSENDORF s.r.o.

Tomešova 1, 602 00 BRNO



PROJEKTOVÁ KANCELÁŘ
OSSENDORF
BRNO

HLAVNÍ INŽ. PROJEKTU

ING. NOVÁK

ČÍSLO ZAKÁZKY

2020 - 020

VEDOUČÍ PROJEKTU

ING. HRUBAN

ODPOVĚDNÁ SKUPINA

KONCEPCE

ZHOTOVITEL ČÁSTI

Amberg Engineering Brno, a.s

Plášinského 10, 602 00 Brno



AMBERG
ENGINEERING

ZODP. PROJEKTANT

ING. BARÁK

VYPRACOVAL

ING. BARÁK, ING. HORÁK

KONTROLOVAL

ING. HORÁK



AMBERG
ENGINEERING

KRAJ: JIHO-MORAVSKÝ

DATUM

04 / 2021

STAVBA:

I/42 BRNO VMO VINOHRADY
TECHNICKÁ STUDIE

FORMÁT

A4

STUPEŇ PD

TS

ČÍSLO ZAKÁZKY

152-1/2

MĚŘÍTKO

-

ČÁST PD/PŘÍLOHA

PRŮVODNÍ ZPRÁVA - TUNEL

ČÍSLO PARÉ

ČÍSLO PD/PŘÍLOHY

B.4.1

Objednatel:

ŘSD ČR, závod Brno

Stavba:

I/42 Brno VMO Vinohrady

B.4.1. Průvodní zpráva -tunel

Obsah:

1.	Identifikační údaje objektu	3
1.1	Základní údaje o stavbě	3
1.2	Zadavatel dokumentace	3
1.3	Údaje o zpracovateli dokumentace:	3
1.4	Subzhotovitel:	3
2.	Vstupní podklady	4
3.	Odůvodnění	4
4.	Charakteristika území VMO Vinohrady	5
4.1	Inženýrsko-geologické a hydrogeologické poměry	5
4.2	Povrchová zástavba	7
4.3	Územní limity	7
5.	Základní parametry tunelu	8
6.	Trasování tunelu	10
6.1	Směrové poměry	10
6.2	Varianta A	10
6.3	Varianta B	10
6.4	Geotechnické podmínky pro ražbu	10
6.4.1	Hydrogeologické poměry	11
6.4.2	Stabilita čeleb, prognóza nadvýmů	11
6.4.3	Stabilita portálových úseků	11
7.	Závěry variantního řešení	11
7.1	Celkové shrnutí	11
7.2	Doplnění podkladů – podrobný geotechnický průzkum (PoGT)	11
7.3	Riziková analýza	12
8.	Technologie ražby tunelu	13
8.1	Ražba v neogenních sedimentech	13
8.2	Ražba v písčítých sedimentech	14
8.2.1	a) Zeminový štít kruhového profilu	14
8.2.2	b) Nožový štít	14
8.2.3	c) Zmrazování	15
8.2.4	d) Klasické injektáže prostředí kolem výrubu	16
8.2.5	e) Trysková injektáž kolem výrubu a před čelbou	16
8.2.6	f) Ražba členěným výrubem (Kernbauweise)	17
8.2.7	g) Změna trasy tunelu	18
8.2.8	Vyhodnocení variant ražby v písčítých sedimentech	19
8.3	Ražba ve skalních horninách	20
9.	Účinky ražeb na povrch a zástavbu	20
9.1	Účinky ražby v neogenních sedimentech	20
9.2	Účinky ražby v písčítých sedimentech	21
9.3	Účinky ražby ve skalních horninách	21
10.	Zóna ovlivnění	21
11.	Další požadavky	21
11.1	Trvalý a dočasný zábor pozemků	21
12.	Definice podrobných průzkumů pro další stupně projektové dokumentace	22
Příloha 1	Výpis dotčených pozemků	25

1. Identifikační údaje objektu

1.1 Základní údaje o stavbě

Název zakázky: I/42 Brno VMO Vinohrady, TS

Stupeň dokumentace: Technická studie

Silnice: I/42

Obec: Brno

Katastrální území: Brno – Židenice, Líšeň

Kraj: Jihomoravský

1.2 Zadavatel dokumentace

Ředitelství silnic a dálnic ČR

Adresa: Na Pankráci 56, 145 05 Praha 4

ŘSD ČR, Závod Brno

Adresa: Šumavská 33, 602 00 Brno

Odpovědný zástupce: Ing. Aleš Karda

1.3 Údaje o zpracovateli dokumentace:

PK OSSENDORF s.r.o.

Tomešova 503/1, 602 00 Brno

Odpovědný zástupce ve věcech smluvních **Ing. Vlastislav Novák**

Odpovědný zástupce ve věcech technických **Ing. Tomáš Hruban**

1.4 Subzhotovitel:

AMBERG Engineering Brno a.s.

Ptašínského 10, 602 00 Brno

Odpovědný zástupce ve věcech smluvních **Ing. Vlastimil Horák**

Odpovědný zástupce ve věcech technických **Ing. Ladislav Barák**

2. Vstupní podklady

- Katastr nemovitostí (Nahlížení do katastru nemovitostí)
- Návrh trasy tunelu Vinohrady
- Archiv stavebního úřadu Magistrátu města Brno
- I/42 Brno VMO, Tunel Vinohrady a MUK Líšeňská TES; Amberg Engineering Brno a.s.; 2014
- Dopravně-urbanistická studie vedení VMO ve východním sektoru města Brna, Ing. Vlastislav Novák, VIA Consult Projekt, 12. 2000
- Prověření trasy Brno silnice I/42-VMO, MÚK Rokytova - MÚK Ostravská - tunel Vinohrady, studie, Ing. Vlastislav Novák, VIA Consult Projekt, 09.2006
- Geofyzikální průzkum pro trasu Silnice I/42 VMO Brno – tunel Vinohrady, Stavební geologie Geotechnika a.s., 01.2007
- Silnice I/42 VMO Brno – tunel Vinohrady - inženýrsko-geologický průzkum, orientační inženýrsko-geologický průzkum, Stavební geologie Geotechnika a.s., 12.2007,
- I/42 VMO Brno - tunel Vinohrady, Vyhledávací inženýrsko-geologická studie, SAMSON Praha, spol. s r.o., 10.2013,

Ze zakázky „Souhrnné zpracování podkladů průzkumů a zaměření potřebných pro objektivní zpracování aktualizace TS dle aktuálních požadavků a jako podklad pro aktualizaci ÚpmB a podklad pro ZÚR“ jsou k dispozici následující

- I/42 Brno VMO, tunel Vinohrady a MÚK Líšeňská, Orientační průzkum, geotechnická a hydrogeologická rešerše HS geo, s.r.o., 05.2013
- Silnice I/42 VMO Brno tunel Vinohrady – Černovická, Rešerše - geodetické podklady a údaje v zájmovém území řešení VMO ve východní oblasti města Brna, GEODIS s.r.o., 06.2013.

Podklady pro vypracování technického řešení vodohospodářské části stavby ve vazbě na platné a výhledové limity v území a Generelu odvodnění města Brna, Orientační průzkum, rešerše, PÖYRY Environment a.s., 06.2013

- I/42 BRNO, VMO úsek tunel Vinohrady – ulice Černovická, Podklady limitů využití území - průzkum, rešerše, UAD Studio, 06.2013
- I/42 Brno-VMO, tunel Vinohrady, doplnění předb. GTP, GEOTest, a.s., 03.2021 – průběžné výsledky

3. Odůvodnění

Řešený úsek - tunel Vinohrady jako část komunikace I/42 BRNO VMO - navazuje na svém začátku směrově i výškově (směr JV) na stavbu VMO Jedovnická a MÚK Líšeňská. Ve směru SZ konec úpravy tunelu Vinohrady navazuje úsek VMO Rokytova a na MÚK Rokytova. Tunel Vinohrady překonává terénní nerovnost Vinohradského kopce a současně zástavbu na tomto kopci.

4. Charakteristika území VMO Vinohrady

4.1 Inženýrsko-geologické a hydrogeologické poměry

Území pro ražbu je budováno horninami s velmi odlišnými geomechanickými vlastnostmi. A to proterozoickými horninami zastoupenými granitoidy v různém stupni tektonického porušení, neogenními jíly s vysokou plasticitou a ulehými neogenními písky, místy až charakteru pískovce. Hloubka proterozoického skalního podkladu je v rámci zájmového území velmi proměnlivá a pohybuje se v rozmezí cca 9-60 m pod úrovní terénu.

Základní charakteristiky kvazihomogenních horninových celků, které mohou být ražbou tunelu zastiženy:

a) Granodiorit – brněnský masiv

Z geologického hlediska se jedná o horninový masiv, významně porušený tektonickými vlivy (z pradávne geologické minulosti). Granitoidy jsou reprezentovány granodioritem, dioritem a vyskytují se také aplitové žíly a polohy mylonitizované horniny až mylonitu. Při průzkumu byly partie silně alterovaných a tektonicky porušených hornin zastiženy pouze ojediněle. Převládají horniny zdravé (dle ČSN 721001 stupeň, resp. symbol W1, resp. A1), případně horniny slabě alterované (stupeň W2, resp. A2). Tam kde se granitoidy dostávají do blízkosti povrchu terénu je hornina zvětralá (stupeň W2, W3 až W4). Ve větších hloubkách, v úrovni předpokládaného tunelu, se pouze lokálně vyskytují alterované partie (většinou stupeň A2, ojedinělá je silnější alterace – stupeň A3 a A4). V masivu granitoidů převládají horniny třídy pevnosti v prostém tlaku R3 (pevnost v tlaku 15 – 50 MPa), v některých partiích horninového masivu je pevnost poněkud menší (třída R4 – pevnost v tlaku 10 – 15 MPa) a ojediněle je i větší (žilné aplity mají pevnost třídy R2, avšak jejich výskyt se omezuje na žíly menších mocností. Pro hodnocení rozpuštění horninového masivu je velmi důležitá následující skutečnost: Klasické diskontinuity, které představují predisponované, oslabené plochy v masivu se vyskytují generelně ve třech, navzájem zhruba kolmých systémech diskontinuit a jejich hustota je většinou stupně (symbolu) D3 (reálně většinou v oboru 200 – 400 mm), pouze lokálně v krátkých úsecích, resp. v lokálních partiích horninového masivu je hustota diskontinuit větší stupně D4 (60 – 200 mm). A pouze zcela ojedinělé a výjimečné jsou partie s hustotou stupně D5 (< 60 mm), jedná se jen o lokální polohy silně tektonicky porušené hornin. Portál Rokytova je situován do zvětralých, tektonicky porušených granodioritů brněnského masivu.

b) Písky až štěrky tzv. „brněnské písky“ (tercier)

Jedná se o žlutošedé, hnědošedé až hnědožluté, středně až hrubě zrnité místy štěrkovité, silně vápnité písky a hnědošedé, šedé až šedohnědé, proměnlivě písčité vápnité štěrky. Často jsou zbarveny hydroxidy železa. Zdrojem valounového materiálu spodnobadenských klastik byly především horniny brněnského masivu i sedimenty jury a paleozoika. V písčích jsou hojné zbytky schránek organismů.

c) Kvarterní pokryv (relevantní pouze v portálových oblastech)

MUK Líšeňská je situován do prostředí spraší a sprašových hlín. Jsou to světle žluté až žlutohnědé, silně vápnité a nepevněné sedimenty eolického původu. Charakteristickým znakem spraší je přítomnost bílých konkrécií, tvořených CaCO_3 . Následným odvápněním spraší působením zejména srážkových vod došlo k jejich

přeměně na sprašové hlíny. Charakter spraší se mění hlavně ve vertikálním směru (proplástky jemných písků a tzv. pohřbené, jílovitější horizonty), rovněž však ve směru horizontálním.

Kvartérní fluviální písky byly zjištěny v některých vrtech ve vrstvě o mocnosti do sedmi metru v podloží kvartérních sprašových hlín. Jedná se o písky hrubozrnné, místy středně zrnité, slabě zahliněné, suché až zavlhlé, středně ulehlé až ulehlé, ojediněle až stmelené, lokálně s obsahem štěrkových opracovaných valounů velikosti do 1-5 cm (20-30%), barvy světle šedožluté, žlutošedé a rezavě hnědé. Podle ČSN 731001 zařazujeme tyto písky do třídy S3/ S-F a uvádíme pro písky středně ulehlé $E_{def} = 12$ až 19 MPa, $\Phi_{ef,f} = 28^\circ$ až 31° , $c_{ef} = 0$ kPa.

d) Hydrogeologické poměry

V granodioritech brněnského masívu jsou podzemní vody soustředěny v puklinách a dalších predisponovaných zónách, tj. tektonických poruchách a silně zvětralých a rozložených polohách (pokud jsou tyto zóny dostatečně rozvolněny). Horninový masiv granitoidů brněnského masívu má ve větší hloubce (platí pro hloubku 40 m až 60 m pod terénem) převážně pouze slabou puklinovou propustnost, neboť diskontinuity i druhotné „pukliny“ jsou sevřené, případně mají nepropustnou jílovou výplň. V horninovém masivu lze pravděpodobně očekávat převahu technicky nepropustných úseků.

V souvrství „brněnských písků“ lze očekávat (vzhledem k zrnitostnímu složení a značné ulehlosti) převážně malou průlinovou propustnost. Významnější propustné vrstvy (polohy) jsou pravděpodobně zcela výjimečné, resp. ojedinělé.

Infiltrované srážkové vody jako prakticky jediný zdroj podzemní vody nevytvářejí v povrchových kvartérních sedimentech souvislé zvodnění. Srážková voda se tam, kde je rovinný rostlý terén vsakuje do nižších poloh. V prostoru sídliště Vinohrady je vsakování srážkové vody ovlivněno značnou zastavěností území a kanalizačním systémem. Z této plochy je proto podstatná část srážkových vod odváděna kanalizací mimo zájmové území. Otázkou je kvalita a těsnost dešťové kanalizace – možný druhotný zdroj dotace podzemních vod. Hlavní hydrogeologický kolektor je v zájmovém území tvořen průlinovým prostředím neogenních sedimentů, především písků až štěrků. Neogenní sedimenty jsou uloženy přímo na granodiority až diority Brněnského masívu s puklinovou propustností. Mezi nimi nebyl nikde během průzkumných prací zjištěn souvislý izolátor a v neogenních sedimentech rovněž nebylo zjištěno zvodnění. Proto lze předpokládat, že infiltrovanými vodami je dotován přímo puklinový kolektor proterozoických hornin.

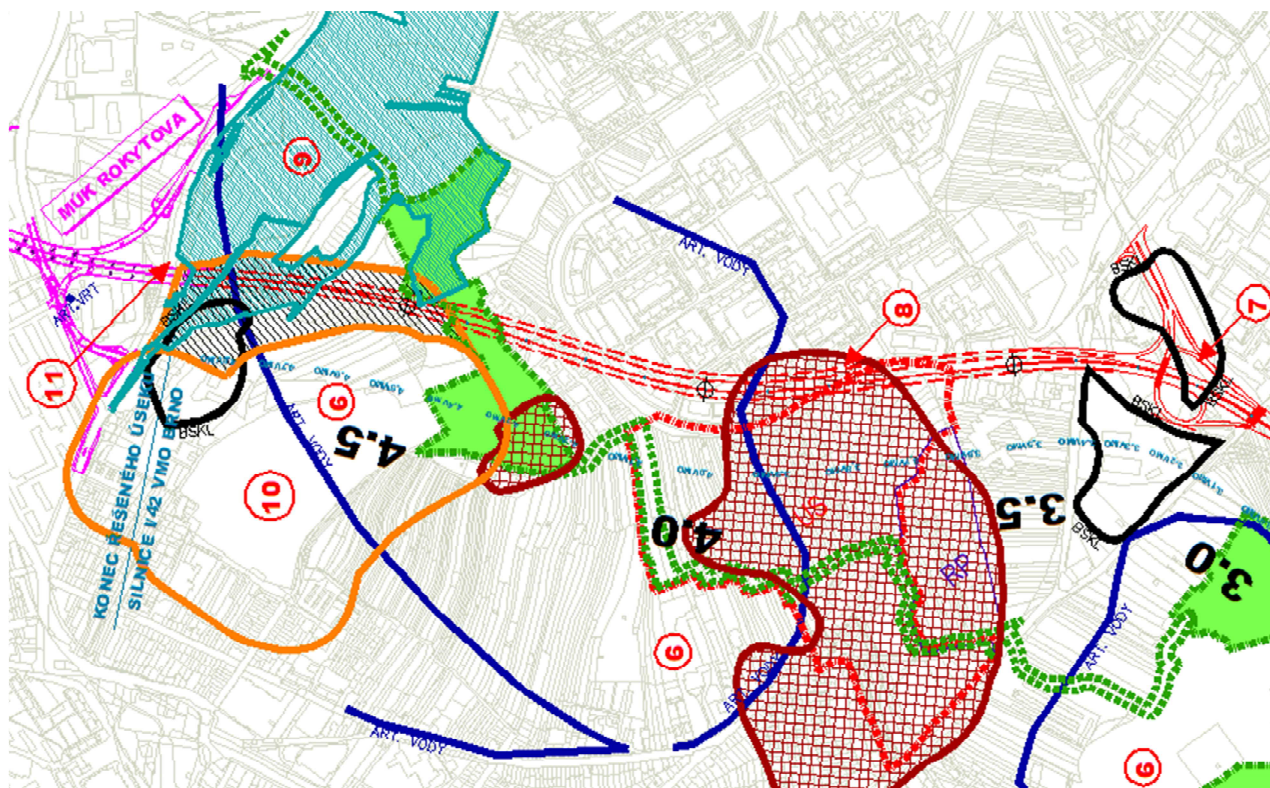
Do oblasti předpokládané trasy tunelu pravděpodobně zasahuje částečně i okraj oblasti výskytu artézských vod. Žádným, dosud provedeným průzkumným dílem (vrtem) v úrovni předpokládaného tunelu nebyly artézské vody zastíženy. V zájmové oblasti jsou provedeny hlubinné vrty cca v km 9,1. vrty jsou majetkem soukromých vlastníků Rodinných domu na ulici Révová (orientační čísla 8, 12, 14). Dle prohlášení majitele domu Révová 8 nachází se na jeho pozemku 3 hlubinné vrty (2 x 100 m vrt pro tepelné čerpadlo + 1 x 57 m vrtaná studna) Na pozemku Révová 12 se nachází 4x vrt pro tepelné čerpadlo délky 100 m a vrtaná studna obdobné délky. Na pozemku Révová 14 je 1 termální vrt hloubky nad 100 m. Existence dalších hlubinných vrtů není projektantovi v době zpracovávání studie známa.

Tunel Vinohrady prochází pod sídlištěm Vinohrady. Drtivou zástavbu sídliště tvoří 150 bytových domů postavených v 80. letech minulého století panelovou technologií. Stavebním systémem pro panelové domy je modifikovaný typ B 70 (B 70/R). Nachází se zde tři hlavní typy obytných objektů, kterými jsou deskové čtyř a osmipodlažní domy a výškové dvanáctipodlažní budovy.

Modifikovaný typ B70/R představuje nosnou soustavu s konstrukční výškou podlaží 2800 mm, stropní panely a nosné stěny jsou tl. 150 mm, dělicí příčky tl. 80 mm a obvodové panely jsou sendvičové s tloušťkou 270 mm.

U jižního portálu cca v km 8.7 kříží trasu tunelu velkoprofilové vodovodní potrubí DN800. V dalším stupni dokumentace bude nutné tuto skutečnost zohlednit a navrhnout přeložku jak trvalou tak dočasnou přeložku.

Problémové oblasti zájmového území jsou vyznačeny v následujícím obrázku.



Legenda (výběr dotčených „problémových“ oblastí v předmětné lokalitě):

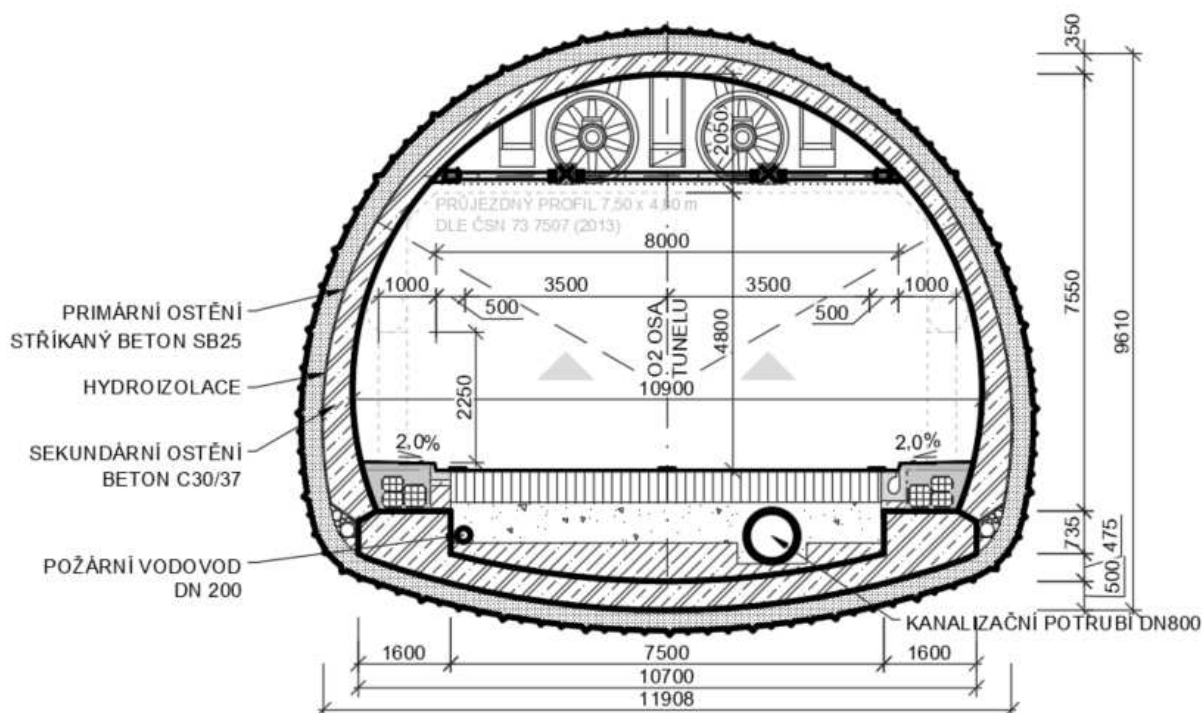
- 6 - oblasti artézských vod
- 7 - řešení odvodnění MÚK Líšeňská ve vazbě na tunel Vinohrady
- 8 - oblast sesuvu
- 9 - kontakt s nevýznamnější městskou zelení
- 10 - veřejné pohřebiště
- 11 - návaznost na VMO Rokytova – odvodnění tunelu

5. Základní parametry tunelu

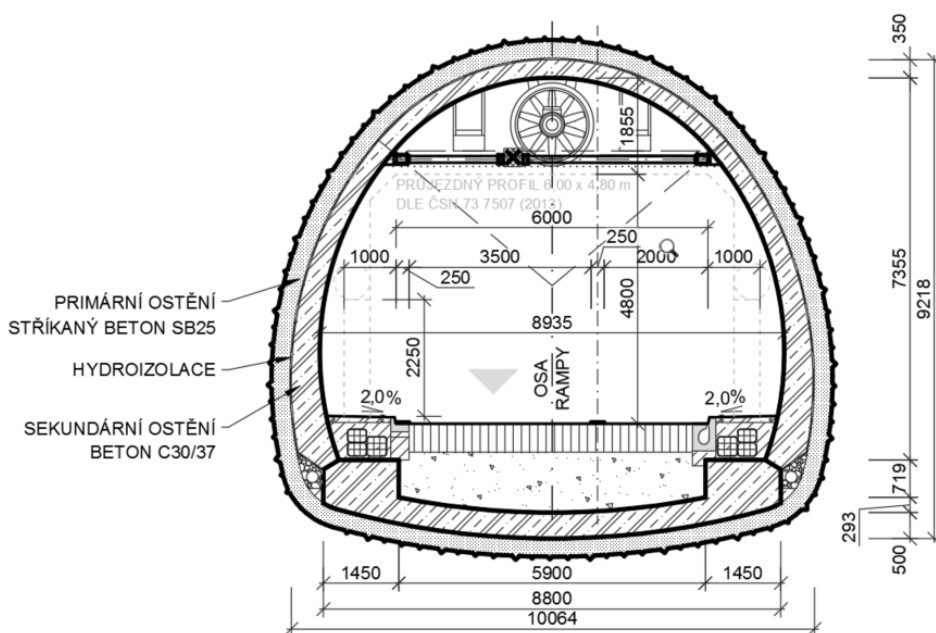
Tunel se skládá ze dvou dvoupruhových tunelových trub a jednopruhové sjízdny na ulici Rokytovu. Jednotlivé tunelové trouby jsou navrženy jako jednosměrné, v případě zvláštních stavů provozování tunelu (například mytí tunelu 2x ročně) lze tunelové trouby provozovat obousměrně avšak při dodržení podmínek které budou stanoveny v bezpečnostní dokumentaci tunelu (omezení rychlosti, vyšší dohled, atd.). Při obousměrném provozování jedné tunelové trouby nebude možné propojit všechny dopravní směry jako při provozování tunelových trub jednosměrně.

Základní průřezný profil tunelové trouby je navržen kategorie T8, pro sjízdnou rampu je zvolen profil T6.

Délka tunelu je navržena 1470 m, tunelová trouba ze směru Tomkovo náměstí – MÚK Líšeňská (pravá tunelová trouba = PTT) na navržena délky 1470 m a Tunelová trouba ze směru MÚK Líšeňská - Tomkovo náměstí (levá tunelová trouba = LTT) má délku 1455 m, Sjízdná rampy na ulici Rokytova (odbočovací tunelová trouba = OTT) je délky 256 m.



Obrázek 2: základní tunelový profil



Obrázek 3: tunelový profil síjzdné rampy

Z hlediska vybavení tunelu je tunel navržen v nejvyšší kategorii čili kategorii **TA**.

Na začátku PTT (ze směru Tomkovo náměstí – MÚK Líšeňská) je v prvních 85,5 m tunel rozšířen o připojovací pruh. LTT (ze směru MÚK Líšeňská - Tomkovo náměstí) je rozšířena na začátku o připojovací pruh v délce 306 m dále v km 8,956 je tato TT rozšířena od odpojovací pruh v délce 124 m a od km 8,832 do km 8,774 je profil tunelu rozšířen pro tunelový rozplet. Z tohoto rozpletu je vyústěn úsek TT km 8,774 – km 8,570 a tunelová trouba síjzdné rampy (OTT).

Tunelové trouby budou propojeny cca po 300 m tunelovými propojkami, dle této studie jsou navrženy čtyři tunelové propojky.

Tunel bude vybaven požárním vodovodem s hydranty po cca 150 m na levé straně TT a na portálech.

Dále bude vybaven SOS kabinami naproti hydrantů na pravé straně TT a na portálech SOS hláskami.

Větrání tunelu bude zajištěno proudovými ventilátory viz příloha B.4.6.2 Způsob větrání a základní vstupy pro rozptylovou studii.

Proti vodě je tunel z rubu chráněn deštníkovou hydroizolací napojenou na drenážní potrubí. Drenážní potrubí bude trvalé s čistícími šachtami. Drenážní potrubí bude na severním portále zaústěno do kanalizace viz část dokumentace C2. Koncepte vodohospodářského řešení.

Povrchové odvodnění v tunelu bude zajištěno šterbinovými žlaby s čistícími kusy s nornými stěnami proti prošlehnutí plamene po cca 25 m, viz část dokumentace C2. Koncepte vodohospodářského řešení.

Tunelem bude procházet také kanalizace povrchových vod z jižního portálu a z MÚK Líšeňská. Tyto vody budou na jižním portále svedeny do odlučovač lehkých kapalin a následně do potrubí DN800 procházející osou pravého jízdního pruhu v pravé tunelové troubě až na severní portál. Viz část dokumentace C2. Koncepte vodohospodářského řešení.

Podrobnosti týkající se odvodnění jsou uvedeny v části dokumentace „Vodohospodářské řešení tunelové části a MUK Líšeňská“.

6. Trasování tunelu

Prověřovány byly dvě varianty výškového řešení. Směrově je trasa v obou variantách stejná a drží se územního plánu města Brna. Oproti předchozí studii je navržena sjízdná rampa ze směru Líšeň – Tomkovo náměstí na ulici Rokytova.

6.1 Směrové poměry

Řešený úsek varianty s tunelem Vinohrady navazuje na začátku úpravy na VMO řešení MUK Rokytova v km 8,570 VMO v místě MUK Líšeňská v km 10,040 a na konci úpravy na. **Délka navrženého tunelu je 1470 m. Délka sjízdné rampy je 256 m.**

6.2 Varianta A

Výškové poměry varianty A jsou totožné s Červenou variantou I/42 Brno VMO, Tunel Vinohrady a MUK Líšeňská TES; Amberg Engineering Brno a.s.; 2014. výšková osa začíná vrcholovým obloukem ve výšce 241,19 m.n.m na který navazuje klesající úsek ve sklonu 2,6% cca do km 9,2 e výšce 231,12 následuje stoupání ve sklonu 3,5% až do konce tunelu ve výšce 255,88. Nevýhoda této varianty spočívá hlavně v nutnosti čerpat vodu z nejnižšího místa tunelu, které se nachází cca v km 9,200. Další nevýhodou jsou větší délka tunelu je ve vyšším podélném sklonu.

6.3 Varianta B

Výškové poměry varianty B byla upravena na základě provedených průzkumů. Významné klesání varianty A bylo zvoleno proto, aby se tunel razil více v horninovém masívu. Při průzkumech bylo prokázáno že kýžený efekt zvýšené klesání nemá. Proto byla navržena a dále je sledována varianta B. U této varianty výšková osa začíná vrcholovým obloukem ve výšce 241,19 m.n.m na který navazuje stoupající úsek ve sklonu 0,5% cca do km 9,858 e výšce 247,59 následuje stoupání ve sklonu 4% až do konce tunelu ve výšce 255,88. Odvodnění tunelu a křížovanky Líšeňská lze provést gravitačně s vyústěním na severním portále. Dále lze lépe provést připojení na VMO Rokytova která je v tomto úseku také ve stoupání.

6.4 Geotechnické podmínky pro ražbu

Ražba bude probíhat střídavě v podmínkách brněnského granodioritu a brněnských písků a štěrků, v kratším úseku u jižního portálu pak v neogenních sedimentech. V poměrném zastoupení obou typů převažují písky a štěrky, zastoupení částí, kde bude ražba probíhat v granodioritu, je dle současných podkladů minoritní.

Tři základní geotypy (soudržné zeminy, nesoudržné zeminy a skalní hornina) budou po délce ražené části tunelu zastoupeny následovně (ve směru předpokládané ražby, tj. od portálu Líšeňská do Údolíčku):

- Soudržné zeminy (píscité sedimenty) – cca 120 m

- Skalní hornina – cca 150 m (zde převážně zvětralé až zcela zvětralé eluvium brněnského masivu, nemusí být zastiženo v celém profilu tunelu)
- Nesoudržné zeminy (písčité sedimenty) – cca 420 m
- Skalní hornina (brněnský granitoidní masiv) – cca 320 m
- Soudržné zeminy / eluvium – max 60 m

6.4.1 Hydrogeologické poměry

V granodioritech brněnského masivu jsou podzemní vody soustředěny v puklinách, v souvrství „brněnských písků“ je převážně malá průlinová propustnost. Při ražbě by neměly být zastiženy žádné zvodnělé vrstvy ani souvislý horizont podzemních vod.

6.4.2 Stabilita čeleb, prognóza nadvýlomů

V prostředí brněnských písků bude stabilita čeleb nízká. Rizika nadvýlomů jsou vysoká i přes vysokou relativní ulehlost zastižených písčitých sedimentů. Riziko tzv. „vykomínování horniny“ až na povrch lze označit za vysoké. Ražba v granitoidních horninách nepředstavuje výraznější rizika jak z hlediska stability čeleb, tak z hlediska ovlivnění povrchu poklesovou kotlinou. Ražba od jižního portálu v neogenních sedimentech je charakteristická nízkým nadložím, podchází těsně tramvajovou trať a vede kolem budov střediska sociálních služeb, kde se už předpokládá zastižení minimálně skalního eluvia. Podrobněji o možných způsobech ražby tunelu viz násl. kapitola 8. Technologie ražby tunelu.

6.4.3 Stabilita portálových úseků

Odřezem pro hloubené části nebude v napojení na VMO Rokytova ohrožena stabilita přilehlého úseku. Portálová oblast u ulice Věstonická prochází územím stávajícího sesuvu v bezprostřední blízkosti stávající kotvené pilotové stěny.

7. Závěry variantního řešení

7.1 Celkové shrnutí

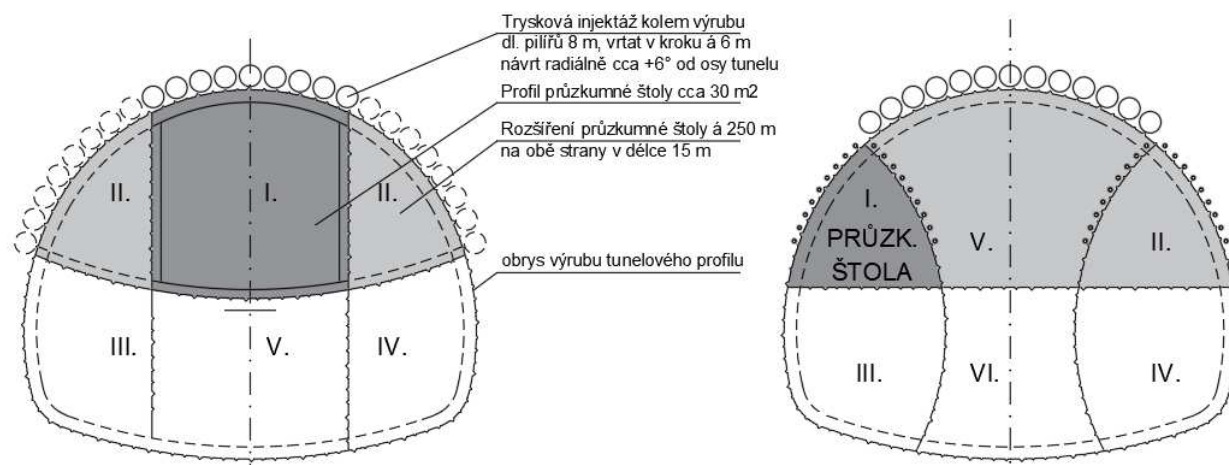
Obě varianty jsou technicky řešitelné a proveditelné. Na základě předběžného posouzení rizik pro jednotlivé varianty lze konstatovat, že případná rizika jsou pro obě varianty obdobná. Jedná se zejména o ohrožení povrchové zástavby a finanční náročnost stavby a zvýšení nestability sesuvu na ulici Věstonická. U varianty A je nutné po celou dobu životnosti stavby čerpat vody (podzemní i vody z vozovky) z nejnižšího místa tunelu.

Již dnes lze poměrně přesně identifikovat možná rizika během výstavby, a z toho vyplývající rizika při přípravě stavby – vznik občanských a ekologických hnutí a problémy při územním a stavebním řízení (viz známá fakta z přípravy a průběhu stavby Královopolského tunelu).

7.2 Doplnění podkladů – podrobný geotechnický průzkum (PoGT)

Zájmové území, ve kterém se bude nacházet tunel bylo již prozkoumáno. S IG průzkumem, který probíhá v současné době lze konstatovat, že území je z povrchu průzkumnými vrty dostatečně prozkoumáno.

Pro omezení možných dopadů stavby tunelu je vhodné provést průzkumnou štolu, která by měla vést trasou jedné tunelové trouby v místě ražené části tunelu.



Obrázek 4: příčný profil průzkumné štoly (levý obr. varianta ražby s tryskovou inekcí, pravý obr. Varianta ražby jádrovou metodou)

Štolu je vhodné provést v délce celé ražené části tunelu cca km 9,0 – km 10,0. Docílí se tím dokonalé prozkoumanosti prostředí ve kterém bude tunel ražen. Díky této štolě bude možné lépe určit případné dopady na povrch nad tunelem a stanovit vhodné zajištění pro minimalizaci případných dopadů.

Projektant předpokládá úpadní ražbu průzkumné štoly z pozemku 6637/2 KÚ Líšeň, v současné době se na pozemku nenachází trvalá stavba a je využíván jako autobazar. Tato plocha je dostatečná pro zřízení staveniště pro průzkumnou štolu. Provoz přilehlé benzinky ani tramvajové tratě by ražbou průzkumné štoly neměl být významně dotčen.

Průzkumná štola v celé délce raženého tunelu bude vhodná také z důvodu odvodnění štoly. Na rozhraní skalního masivu a zeminy lze předpokládat výskyt přítoků vody do štoly. Při ražbě štoly bude nutné vodu z čelby čerpat avšak po prorážce bude odvodnění štoly provedeno napojením na stávající vodoteč v Údolíčku. Pokud k prorážce nedojde bude nutné vody trvale čerpat do kanalizace na jižní portál do doby prorážky tunelu.

7.3 Riziková analýza

Vzhledem k významu stavby, poloze tunelu pod zastavěným územím a zkušenostem z přípravy a realizace městských tunelů (v ČR zejména Královopolského tunelu v Brně, tunelu Mrázovka a tunelového komplexu Blanka v Praze) je velmi žádoucí všechna případná rizika důkladně vyhodnotit. Tímto způsobem lze získat spoustu cenných argumentů pro realizaci stavby v případných konfliktech s odpůrci tunelu, kteří zde budou jistě chtít mít silné slovo.

Riziková analýza by se měla soustředit na následující oblasti:

- rizika během ražby v podzemí
- rizika výstavby na povrchu
- rizika provozu po dokončení stavby
- rizika ve vztahu k životnímu prostředí

- rizika finanční, ekonomická, územní a politická

8. Technologie ražby tunelu

Z geotechnického hlediska je možné trasu tunelu rozdělit na tři kvazihomogenní celky – neogenní sedimenty, písčité sedimenty a skalní prostředí. Každý z uvedených geotechnických typů představuje zcela odlišné podmínky pro ražbu a rovněž výrazně odlišná rizika jak pro ražbu, tak i pro povrch území, pod kterým tunelové trouby prochází. Orientační délky geotechnických typů pro ražbu (může se drobně lišit v LTT a PTT):

- neogenní sedimenty – cca 130 m (km 10,04 – km 9,91)
- skalní hornina (eluvium) – cca 180 m (km 9,91 - km 9,73)
- písčité sedimenty – cca 400 m (km 9,73 – km 9,34)
- skalní horniny (relativně zdravá hornina) - cca 310 m (km 9,34 - km 9,02)
- kvarterní pokryv a eluvium – cca 20 m (výchoz tunelu do Údolíčka)

8.1 Ražba v neogenních sedimentech

Zkušenosti s ražbou velkých tunelových profilů v tomto prostředí jsou v Brně dostatečné – viz např. ražba Královopolského tunelu (kompletně celá délka tunelu v neogenních jílech). Jde o tzv. jádrovou metodu „Kernbauweise“. Na základě těchto zkušeností lze doporučit ražbu s členěným výrubem a postup analogický jako u Královopolského tunelu. Uvedená metoda minimalizuje poklesovou kotlinu a rizika během ražby na dílčích čelbách. Ražba v těchto podmínkách bude charakterizována zejména proměnným nadložím od několika málo metrů po maximálně cca 23 m v délce cca 130 m.



Obrázek 5: Možné členění výrubu při ražbě v neogenních jílech (foto Královopolský tunel)

8.2 Ražba v písčitých sedimentech

Jde o nejrizikovější úseky, dl. cca 400 m každé tunelové trouby. Pro ražbu v nesoudržných horninách či zeminách s nestabilní čelbou a vysokým rizikem komínování horniny jsou možné následující způsoby:

8.2.1 Zeminový štít kruhového profilu (a)

Jde o nejbezpečnější způsob ražby s minimem rizik a obvykle s nejmenší poklesovou kotlinou. Pro tunel Vinohrady je tento způsob bohužel **nepoužitelný**, a to z následujících důvodů:

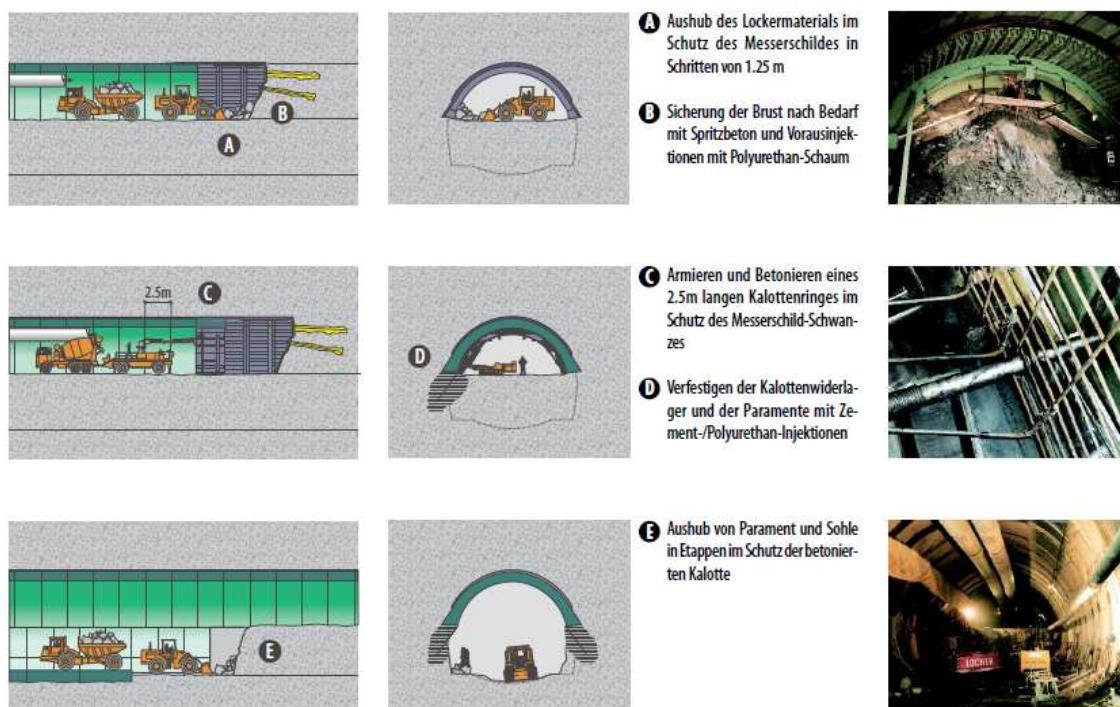
- Zeminový štít pro nesoudržné horniny nelze použít ve skalních horninách a jen omezeně (neefektivně) v soudržných zeminách, navíc s rizikem zastižení skalního podkladu v profilu výrubu a nutností bouracích prací před hlavou štítu.
- Kruhový profil vyražený tímto strojem je pro danou celkovou délku tunelu cca 1 500 m velmi neefektivní (prakticky nevyužitelná spodní část kruhového profilu). Naopak u dlouhých tunelů v řádu několika km je spodní část profilu pod vozovkou využitelná jako kolektor pro vedení kabelových a trubních sítí, případně větrání nebo i jako úniková štola).
- Při předpokládané ražbě od jihu by bylo nutné stroj po doražení ke skalní hornině v podzemí kompletně rozebrat, vyvézt ven před jižní portál a znovu smontovat pro ražbu druhé tunelové trouby a opakovat identický postup. Demontáž štítu toho typu v podzemí nebyla dosud nikde vyzkoušena, nelze vyloučit jeho zničení. Další možností pak je, přestavět štít v podzemí na ražbu ve skalních horninách (z hlediska investičních nákladů to znamená pořízení druhého prakticky stejně drahého stroje).
- Enormní pořizovací náklady na razicí stroj (hrubým odhadem se bude pořizovací cena jednoho takového stroje blížit 1 mlrd. Kč).

8.2.2 Nožový štít (b)

Jde o metodu vhodnou do nesoudržných zemin. V principu jde o zarážení cca 3 až 4 m dlouhých „nožů“ (profil nožů je obdobný jako pažnice LARSEN) po obvodu výrubu kaloty, pod jehož ochranou se vždy vyrazí a vybetonuje jeden pás ostění kaloty dl. cca 1 až 1,5 m. Viz schéma na obr. 6. Nepoužívá se příliš často a více méně pro ražbu menších profilů cca do 40 m². Pro ražbu profilu dálničního tunelu byl použit (vyzkoušen) při výstavbě tunelu Äschertunnel (Westumfahrung Zürich). Po závalu čelby při této metodě byl však tento stroj odstaven a problematický úsek byl doražen klasicky metodou Kernbauweise. Nevýhody nožového štítu u velkých profilů a důvody pro **vyloučení této metody**:

- Obtížná říditelnost stroje v daném geologickém prostředí (stroj váží přes 200 t a nemá se pořádně o co opřít) a z toho vyplývající nepřesnost vyraženého profilu (směrově i výškově).
- Příliš široká čelba v kalotě – ochrana čelby štítem je max. 3-4 m, což je při šířce kaloty cca 8 m nedostatečné (poměr 1:2 a menší) a čelba je v písčitých sedimentech nestabilní – riziko komínování. Poměr ochrany čelby deštníkem

či nožovým štítem by měl být v těchto podmínkách opačný (2:1 až min. 1:1), což je vzhledem k možnostem štítu a délky zarážení nožů technicky nemožné.



Obrázek 6: Princip nožového štítu

Nožový štít byl vyzkoušen i v českých zemích, konkrétně při ražbě kolektoru Panská v Praze, tedy při ražbě relativně malého profilu cca do 30 m². Výsledek tohoto pokusu byl naprosto negativní až katastrofální – po necelých 200 m ražby touto technologií byl stroj demontován a pokračovalo se klasickou ražbou tunelovým bagrem. V plné míře se i zde projevil výše zmíněné nedostatky, zejména naprostá „neřiditelnost“ stroje v potřebných a přípustných tolerancích.

8.2.3 Zmrazování (c)

Nejde o metodu ražby, ale o metodu zlepšení horniny, ve které se má následně razit, a to jakoukoliv metodou. Protože písčité sedimenty jsou bez vody, nepřichází zmrazování v přirozeném stavu sedimentů v úvahu. Možnou variantou je, prostředí kolem výrubu uměle zavodnit a následně zmrazit. Protože mrazicí potrubí musí být mimo obrys výrubu, bylo by nutné v předstihu vyrazit nad každou tunelovou troubou pomocnou štolu průměru cca 3,0 – 3,5 m, která by sloužila pro :

- rozvody vody a chladicího média (kapalný dusík),
- zavodňování prostředí kolem budoucího výrubu
- provedení vrtů a instalaci trubek kolem výrubu pro zmrazování potřebného úseku ražby.

Pro minimalizaci účinků na povrch při ražbách pomocných štol by bylo nejvhodnější použít štítování a s tybinkovým ostěním. Při naražení na skalní horninu by bylo nutné štít v podzemní demontovat (pravděpodobně rozřezat a tím zničit). Po ukončení ražeb by bylo nutné tyto štolky zaplnit (např. kopos – popílkocement, zafoukání stříkaným betonem apod.)

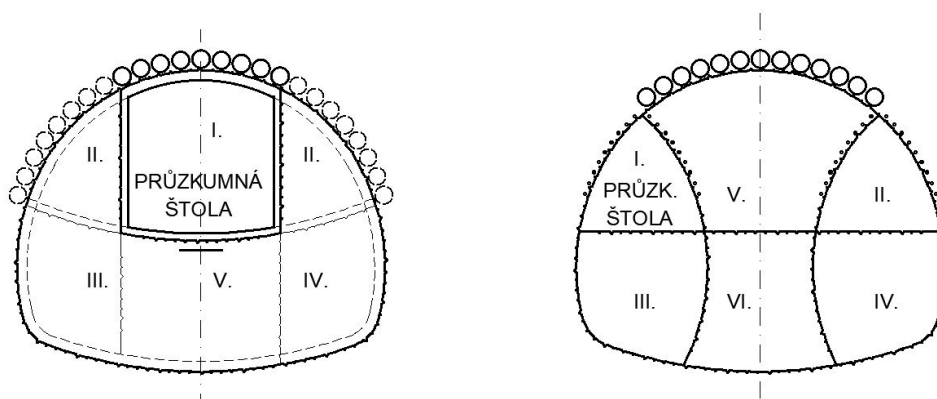
Další velkou otázkou jsou rozvody chladicího média, tedy zda je reálné vést chladivo štolou v délce několik set metrů, a teprve v této vzdálenosti aplikovat do horniny. Ve světě použité příklady nasazení (naposledy při ražbě žel. tunelu Albula ve Švýcarsku před několika lety) předpokládaly vždy zásobníky chladiv bezprostředně u vrtů, do kterých se kapalný dusík vháněl. Takto ražené úseky nikdy nepřesahovaly desítky až maximálně první stovky metrů. Zde by se jednalo až o 400 m plus dopravní vzdálenost k prvnímu nasazení dalších 300 m.

8.2.4 Klasické injektáže prostředí kolem výrubu (d)

I v tomto případě nejde o metodu ražby ale pomocné opatření, používané a použitelné prakticky při jakémkoliv způsobu ražení. Brněnské písky a nesoudržné zeminy písčitého charakteru jsou pro injektáž vhodné. Proinjektováním prostoru kolem výrubu lze vytvořit jakousi stabilizační obálku, čelbu lze stabilizovat a s těmito opatřeními lze razit tunel při standardním horizontálním nebo vertikálním členění čelby bez neúměrného rizika komínování písčité horniny. V dané lokalitě jde o písky ulehle až velmi ulehle, místy se stmelnými polohami, které se při klasické injektáži chovají poněkud odlišně. V důsledku injektáže prostřednictvím injekčních vrtů (standardní a běžně používaný způsob) se v nich může vytvořit klakáž, obdobně jako u soudržných zemín. Tzn., že injekční médium si najde cestu nejmenšího odporu a vzniklou „pseudoklakáž“ může unikat i do velkých vzdáleností, aniž by bylo bezprostřední okolí vrtu důkladněji (objemově konzistentně) proinjektováno. Nelze tedy předem garantovat, zda je potřebný prostor kolem výrubu odpovídajícím způsobem proinjektován a tudíž stabilní. Bez reálných zkoušek in situ v konkrétním geologickém prostředí je tato metoda zlepšování horniny poněkud riziková a nedá se na ni bez důkladného prověření úplně spolehnout. Riziko komínování je v daném prostředí brněnských písků velmi vysoké. Vyzkoušení této metody zvýšení stability horninového prostředí kolem výrubu v rámci ražby průzkumné štoly je zcela na místě a pro výběr této metody naprosto nezbytné.

8.2.5 Trysková injektáž kolem výrubu a před čelbou (e)

Efektivní metoda zlepšování horniny kolem výrubu pro eliminaci rizik jak v podzemí, tak pro eliminaci poklesové kotliny a rizika pro povrch území. Tryskovou injektáž je možné provádět z povrchu nebo přímo v podzemí na čelbě při vlastní ražbě. V daném prostředí lze bez problémů vytvořit pilíře proinjektované zeminy o garantovaném průměru cca 600 mm. Vzhledem k relativně vysokému nadloží 30 až 40 m nepřichází zlepšování písku kolem výrubu z povrchu v úvahu. Trysková injektáž z čelby je velmi nákladná – finančně i časově. Limitní délka deštníku z pilířů trykové injektáže (předstih před čelbou) je cca 8 m, což představuje jeden následný krok ražby pod touto ochranou limitně max. 4 až 5 m (dílčí kroky á 1 až 1,5 m) a opětovné vytváření dalšího deštníku. Schéma pilířů trykové injektáže kolem výrubu je na obr. 4. Není přitom vyloučena ani nutnost i injektování do čelby, pokud bude nestabilní. Opět se jeví jako nezbytné, tuto metodu a efektivitu TI vyzkoušet v rámci PoGTP, tedy při ražbě průzkumné štoly.



Obr. 4 Možné členění výrubu a poloha průzkumné štoly

Vytvoření jednoho deštníku kolem kaloty dl. 8 m představuje dobu cca 7 až 10 dní a následně ražba uvedených 4 až 5 m cca 2 dny. Ražba kaloty je tak možná s průměrnou rychlostí max. $4 : 9 = 0,45$ **bm za den, spíše však o něco méně**. Dobírka jádra může být cca dvakrát rychlejší, ale celkovou dobu ražeb v písku příliš neovlivní (celkem by vyrazení úseku jednoho tunelu v písku dl. 400 m znamenalo nejméně 2,5 roku – jde o téměř polovinu délky raženého tunelu). Pro srovnání uvádím data z ražeb Královopolského tunelu. Ražený úsek tunelu dl. 1 000 m byl vyrazen v plném profilu za dva roky, což představovalo průměrný výkon cca 1,40 m za den, tedy téměř třikrát rychlejší postup, než by trvala ražba v písku tunelu Vinohrady s použitím tryskové injecktáže.

Z hlediska nákladů představuje provedení jednoho deštníku tryskové injecktáže $26 \times 8 \times 9\,000 = 1\,872\,000$ Kč pro délku každých vyražených max. 5 m, tzn. náklady cca 400 000 Kč za běžný metr jedné tunelové trouby. K tomu je samozřejmě nutné připočíst náklady na vlastní ražbu a zajištění výrubu primárním ostěním, což představuje celkem 800 000 Kč za běžný metr jedné tunelové trouby. Pro srovnání lze uvést, že ražba obdobného tunelu ve stabilních skalních horninách představuje náklady vždy méně než 300 000 Kč za běžný metr plného profilu tunelu včetně kompletního vystrojení primárním ostěním. O rychlosti postupu ražby nemluvě (standardně cca 3,0 bm za den oproti výše uvedeným 0,45 bm za den).

8.2.6 Ražba členěným výrubem „Kernbauweise“ (f)

Tato metoda (též jádrová metoda) byla důkladně vyzkoušena při ražbě Královopolského tunelu včetně všech negativních účinků a jsou k dispozici data z poměrně rozsáhlého monitoringu jak v podzemí, tak i na povrchu. Členění výrubu je na obr. 4 na schématu vpravo. Tento systém ražby s dělenou čelbou na malé profily je realizovatelný nejen v jílech (Královopolský tunel), ale i v písčitých nesoudržných zeminách (např. morénové písky dálničních tunelů Uetliberg a Äschertunnel na obchvatu Zürichu, uvedených do provozu v r. 2006). Časové i cenové údaje z výstavby Královopolského tunelu je možno relativně jednoduše aplikovat na tunel Vinohrady a úseky ražby jak v neogenních, tak i v písčitých sedimentech. Použití této metody v geologickém prostředí písků tunelu Vinohrady může znamenat oproti Královopolskému tunelu menší stupeň vyztužení primárního ostění (písky nejsou na rozdíl od jílu tlačivé).

8.2.7 Změna trasy tunelu (g)

Vzhledem k uvedeným rizikům ražby v písčitých sedimentech a účinkům na povrchovou zástavbu (podrobněji viz též B.4.6.1 Výpočet poklesové kotliny) je ke zvážení i tato krajní možnost. Úvahy či rozhodnutí o změně trasy tunelu jsou podmíněny následujícími předpoklady:

- Nejdříve je nutný orientační vrtný průzkum, který potvrdí nebo vyvrátí možnost, vyhnout se při ražbě tunelu písčitým sedimentům. V případě potvrzení předpokladu skalního podloží v převážné délce raženého tunelu pak musí následovat podrobný geotechnický a IG průzkum celé lokality sídliště Vinohrady, dotčené novým trasováním tunelu.
- V případě potvrzení možnosti změny trasy (s vyloučením ražby tunelu v písčitých sedimentech nebo alespoň minimalizace těchto úseků řádově max. na desítky metrů) a následného rozhodnutí investora, novou trasu dále sledovat, bude nutná změna předmětné části Územního plánu města Brna.

Trasování tunelů na základě předběžných IG průzkumů a studií proveditelnosti je již dlouho zakotveno v české technické legislativě – ČSN 73 7507, TP 76 C, TKP-D a dalších.

Na závěr k úvahám o změně trasy a případných lepších podmínkách pro ražbu (a tím i menších rizicích – viz kap. 7.3) je potřebné zmínit, že v případě změny trasy s potvrzením předpokladu ražby ve skalní hornině není nutné / potřebné navrhovat a provádět průzkumnou štolu, která bude v daném případě představovat investiční náklady minimálně 300 milionů korun a časové zdržení jeden až dva roky. Na druhé straně Změna Územního plánu může znamenat časové zdržení velmi obtížně odhadnutelné.

8.2.8 Vyhodnocení variant způsobu ražby

Stručné vyhodnocení výše uvedených možností v nejkritičtějším úseku tunelu Vinohrady (písčité sedimenty) je přehledně uvedeno v následující tabulce.

Pro výběr varianty, zejména při potřebě ražby průzkumné štoly, je nutné zvážit důkladně všechna rizika (viz též kap. 7.3). Volba profilu průzkumné štoly, která by měla být již součástí raženého tunelu, determinuje i následný způsob ražby plného profilu tunelu. Přejít na jiné členění výrubu až při vlastní ražbě tunelu, než pro jaký byla průzkumná štola vyražena, by znamenal nemalé dodatečné finanční náklady a logicky i časové zdržení celé výstavby.

8.2.9 Vyhodnocení variant ražby v písčitých sedimentech

Varianty ražby a pomocných opatření	Pozitiva	Negativa	Závěr
(a) Kruhový štít	Minimální deformace na povrchu, plně zajištěná čelba, nejrychlejší postup ražby.	Příliš krátké úseky ražeb – neekonomické. Daný štít nelze použít ve skalní hornině, omezeně v soudržné zemině, nutnost rozebrat štít v podzemí (lze to vůbec ?)	NEVHODNÉ
(b) Nožový štít	Minimální deformace na povrchu.	Obtížná říditelnost, nákladné, nutnost stabilizace čelby injektáží, což komplikuje používání nožů.	NEVHODNÉ
(c) Zmrazování	Stabilní čelba, minimální deformace na povrchu	Extrémně finančně nákladné až technicky nerealizovatelné.	NELZE DOPORUČIT
(d) Klasická injektáž	Ekonomicky výhodné, injektáž čelby i okolí výrubu.	Riziko vzniku „pseudoklakaže“ a tím neproinjektování potřebného prostoru/objemu.	RIZIKOVÉ POUŽITELNÉ POUZE JAKO POMOCNÉ OPATŘENÍ
(e) Trysková injektáž	Stabilní čelba, garantované proinjektované okolí výrubu.	Extrémně nákladné (pouze TI představuje náklady cca 400 000 Kč/bm každé tunelové trouby), pomalý postup (méně jak 0,5 m za den)	VHODNÉ EXTRÉMNĚ POMALÝ POSTUP
(f) Kernbauweise (Jádrová metoda)	Malé plocha dílčích čeleb garantují stabilitu při ražbě, vyzkoušená metoda z ražby Královopolského tunelu, možná kombinace s variantami d) a e), relativně rychlý postup ražeb.	Nákladné, ale méně než výše uvedené metody.	VHODNÉ
(g) Změna trasy tunelu (za podmínky možnosti ražby převážně ve skalních horninách – IG doprůzkum)	Levný a rychlý postup ražeb s minimálním rizikem pro povrchovou zástavbu, menší profil raženého tunelu.	Nutné administrativní úkony – změna územního plánu – časově neurčitelné, pravděpodobně výrazné časové zdržení celé stavby Nutný IG průzkum – orientační vrtný	PODMÍNEČNĚ VHODNÉ
Kombinace variant	MOŽNÁ KOMBINACE d) + e) + f)		

8.3 Ražba ve skalních horninách

Lze předpokládat ražbu s horizontálním členěním na kalotu a jádro za použití trhacích prací a skalního tunelbagru (observační metoda, označovaná jako NRTM) a s postupem cca 3 m plného profilu za den. Nepředpokládá se žádné výraznější riziko v podzemí ani na povrchu. Vytvořená poklesová kotlina od této ražby bude vzhledem ke skalnímu nadloží kolem 30-ti metrů zřejmě neměřitelná, resp. prakticky nulová. Rizikovým místem může být přechod z písčitých sedimentů do skalní horniny, kterýžto úsek lze ošetřit při ražbě např. mikropilotovým deštníkem, klasickými injektážemi a jehlováním, případně chemickou nebo tryskovou injektáží kolem výrubu (úsek, kde spodní část profilu tunelu je již ve skále, kalota ještě v píscích).

9. Účinky ražeb na povrch a zástavbu

Pro stanovení účinků ražeb na povrch byly provedeny variantní statické výpočty – 2D modely v programu PLAXIS – podrobnosti viz příloha B.4.6.1 Výpočet poklesové kotliny. V zásadě jsou nejohroženějšími objekty v zóně možného ovlivnění panelové domy, zejména vysokopodlažní objekty na ulici Bořetická.

Způsob založení panelových domů (tuhá deska / poddajná deska / základový rošt) má značný vliv na celkovou tuhost objektu a jeho nerovnoměrné sedání v důsledku vytvoření poklesové kotliny. Založení zejména výškových panelových objektů není v současnosti exaktně ověřeno a je nutné je ověřit v dalších fázích přípravy stavby podrobným stavebně technickým průzkumem. Nadzákladová konstrukce panelových domů je tvořena velkoformátovými nosnými panely tvořící relativně tuhý krabicový systém. Tuhost tohoto systému je přímo závislá na kvalitě provedených styků jednotlivých nosných panelů (horizontální i vertikální styky / spoje). Dostatečnou kvalitu těchto spojů, zaručující potřebnou „krabicovou tuhost“ panelového objektu lze definovat jako „**100% provázání veškeré výztuže mezi panely a dokonalé prolití vhodnou a kvalitní betonovou směsí při výstavbě**“. Zda lze tento předpoklad brát jako bernou minci pro všechny dotčené panelové domy v zóně možného ovlivnění, nelze dnes jednoznačně prokázat ani ověřit, natož jakkoliv garantovat. Nedokonalé provedení kteréhokoli panelového spoje znamená vždy jistou deformaci a posuny v tomto oslabeném místě a přenos / redistribuci sil do sousedních spojů a panelů. V extrémním případě může několik nedokonalých panelových spojů vyvolat dominový efekt statického porušení celé stavby.

V každém případě je nutné počítat se vznikem škod na nadzemních objektech a infrastruktury v oblasti poklesové kotliny a s náklady na jejich odstranění.

9.1 Účinky ražby v neogenních sedimentech

Lze očekávat podobný vývoj deformací, jaký byl zaznamenán u Královopolského tunelu, v celkovém součtu však pravděpodobně o něco menší, pokud bude na průzkumnou štolu navazovat v krátkém časovém období ražba plného profilu tunelu (ražba Královopolského tunelu začala více jak pět let po dokončení průzkumných štol).

Poklesová kotlina bude mít šířku od 60 m do max. 80 m, sklon „svahů“ poklesové kotliny lze očekávat na hranici přípustnosti nerovnoměrného sedání nadzemních objektů dle ČSN 73 1004 Navrhování základových konstrukcí, příloha B, kde je pro panelové domy doporučená limitní hodnota:

$$(\Delta s/L)_{lim} = 0,0015 \text{ (poměrné naklonění cca 1 : 650)}$$

Přestože jsou s ražbou tunelu v neogenních jílech v Brně již bohaté zkušenosti, ověření účinků ražby průzkumnou štolou v případě tunelu Vinohrady je nezbytné a zcela na místě.

9.2 Účinky ražby v písčitých sedimentech

Výsledky matematického modelování poklesové kotliny ukazují obdobné deformace na povrchu jako v soudržných zeminách (o něco nižší), ke kterým je ale nutné připočítat riziko nestability čelby a vysoce nebezpečné komínování, které je nutné bezpodmínečně eliminovat či vyloučit vhodným postupem ražby a pomocnými opatřeními v čelbě. Na druhé straně matematický model nedokáže zcela zohlednit ani možné vytvoření jakési horninové pseudoklenby i v nesoudržných zeminách, které nelze vyloučit (dle IG průzkumu jde o „ulehlé až velmi ulehlé písky, místy se stmelnými polohami“). Tento stav při vytvoření horninové „pseudoklenby“ by mohl znamenat výrazné zmenšení dnes modelovaných a predikovaných deformací na povrchu.

Bez ověření účinků ražby průzkumnou štolou tzv. zpětnou analýzou skutečných a matematickým modelem predikovaných deformací lze výše uvedené předpoklady považovat pouze za možné / reálné hypotézy.

9.3 Účinky ražby ve skalních horninách

Kromě seismických vlivů ražby při trhacích pracích, které lze eliminovat na přípustnou mez velikostí náloží a šetrným postupem v podzemí, lze předpokládat minimální až nulový vliv ražby tunelu na povrchovou zástavbu.

10. Zóna ovlivnění

Vypočtený zálomový úhel dle B.4.6.1 je okolo 50° avšak je ovlivněn přitížením na povrchu. Zálomový úhel poklesové kotliny v km 9,500 je ovlivněn relativně velkým přitížením na povrchu, poklesová kotlina v oblastech s menším nebo žádným přitížením bude rovnoměrněji rozložena nad oběma tunelovými troubami. Tato geometrie poklesové kotliny je platná pro úsek od km 9,34 a dále směrem MÚK Líšeňská (tunel situován v píscích). V úseku před km 9,34 tunel prochází skalním masívem, šířka poklesové kotliny i maximální pokles povrchu zde budou zanedbatelné až nulové.

11. Další požadavky

11.1 Trvalý a dočasný zábor pozemků

Trasa tunelu stanovená v územním plánu a upřesněna v této studii klade požadavek na výkup pozemků dotčených stavbou tunelu. Jsou to zejména pozemky zahrad, lesních porostů a pěších cest v Údolíčku, nenachází se zde žádná významná stavba pouze na pozemcích zahrad jsou objekty pro rodinou rekreaci či zahradní domky. Na jižním portálu bude nutné pro účely provádění stavby i pro trvalý zábor pozemku tunelem a přilehlým MÚK Líšeňská vykoupit část komerčně využívaných pozemků jedná se zejména o pozemek autobazaru.pč 6637/2 v KÚ Líšeň. Na jižním portále je

také nutné počítat s dočasným pronájmem či odkupem čerpací stanice OMV (dlouhodobě mimo provoz bude během výstavby tunelu, během ražby průzkumné štoly bude možný provoz OMV pravděpodobně bez nutnosti výraznějšího omezení).

Výpis dotčených pozemků je uveden v příloze 1 této zprávy

12. Definice podrobných průzkumů pro další stupně projektové dokumentace

Specifikace podrobného GT průzkumu (PoGTP) by měla dle TP 76C vycházet především z výsledků předběžného GT průzkumu, který se právě realizuje a jehož výsledky nejsou ještě definitivní. Z hlediska potřeb budoucího projektanta tunelu jsou rozhodující informace o horninovém prostředí mající přímý vliv na stanovení (prognózu) velikosti a rozsahu poklesové kotliny. Tyto informace může poskytnout nejlépe jedna z doporučených metod dle TP 76C – **průzkumná štola a souvisící monitoring**. V následujících odstavcích jsou uvedeny předpoklady a požadavky na výsledky průzkumu z pohledu budoucího projektu tunelu Vinohrady.

12.1 Základní údaje průzkumné štoly

Průzkumná štola tunelu Vinohrady musí být chápána jako průzkumné dílo a požadavkům průzkumu musí být podřízeny souvisící stavební práce. Možné profily a umístění štoly v profilu budoucího tunelu jsou na ob. 4.

Obecně jsou cíle všech stupňů IG a GT průzkumů definovány v TP 76 C. Pro tunel Vinohrady lze tyto cíle upřesnit následovně :

- ověřit podmínky pro ražbu tunelu a parametrizovat horninové prostředí pro následné matematické modelování ražby tunelu Vinohrady,
- ověřit metody pomocných opatření pro snížení negativních účinků ražby,
- dokumentovat účinky ražby podzemního díla na povrch tak, aby byly využitelné pro následné matematické modelování ražby tunelu Vinohrady,
- stanovit exaktně zónu ovlivnění, zónu ohrožení pro následnou pasportizaci dotčených nadzemních i podzemních objektů a inženýrských sítí při ražbě tunelu Vinohrady,
- poskytnout podklady pro návrh eliminace negativních účinků ražby a pro návrh následné sanace poškozených objektů.

Konfigurace terénu, možné příjezdy a využitelné plochy vzhledem k povrchové zástavbě průzkumnou štolu determinují následujícím způsobem:

- Razit lze pouze z prostoru MÚK Líšeňská směrem do Údolíčku, tedy úpadně.
- Pro zařízení staveniště a příjezdy k portálu průzkumné štoly je nutné vykoupit pozemky dnešního autobazaru / autovrakoviště vedle benzínové pumpy OMV. Vstup na pozemky z titulu zákonného strpění provádění geologických průzkumů na dobu minimálně jednoho roku je asi stěží představitelný, zejména, když tyto pozemky bude nutné stejně vykoupit pro MÚK Líšeňská.
- V případě výskytu podzemních vod je vhodné štolu prorazit až do Údolíčka kvůli možnosti gravitačního odvodnění. Jinak by bylo nutné vodu ze štoly neustále čerpat.

- Pokud nebude podzemní voda ražbou zastižena, lze štolu ukončit ve skalním masivu po cca 600 až 700 m a ukončit ji tedy jako slepou. V tomto případě nebudou v lokalitě Údolíček nutné žádné výkupy ani zábory a ani zařízení pro odvádění vytékajících podzemních vod.

Součástí projektových dokumentací souvisejících s průzkumnou štolou musí být:

- projekt zařízení staveniště,
- příjezdové komunikace k portálu a vyústění průzkumné štoly v Údolíčku,
- přípojky IS pro provoz zařízení staveniště,
- deponie vytěženého materiálu,
- projekty odstranění škod, způsobených ražbou průzkumné štoly,
- provozní dokumentace průzkumné štoly po jejím dokončení (zajištění a provoz opuštěného báňského díla).

Návrh rozsahu průzkumných prací ve štole a na povrchu bude obsahem projektu PoGTP ve smyslu TP 76C. Výchozím podkladem pro návrh průzkumných prací budou požadavky předběžného GTP - v současnosti se zpracovávají, nejsou v době zpracování této studie k dispozici.

12.2 Geotechnický monitoring průzkumné štoly

Výsledky geotechnického monitoringu (GTM) budou jedněmi z nejdůležitějších výsledků celého průzkumu (PoGTP). Monitoring průzkumné štoly musí být navržen a prováděn tak, aby splňoval požadavky uvedené v předchozím odstavci a musí být základním prvkem budoucího monitoringu ražby tunelu Vinohrady. Jinými slovy – monitoring tunelu musí kontinuálně navazovat na monitoring průzkumné štoly. Základními prvky GTM (obecně) jsou :

- a) předstihová měření a pasporty před zahájením ražby štoly:
 - pasportizace objektů a IS v zóně ovlivnění,
 - vybudování potřebné měřické sítě na povrchu,
 - nulová měření na povrchu.
- b) měření v podzemí (zejména konvergence ve vztahu k povrchu),
- c) změny napjatosti horninového masivu,
- d) geologický a hydrogeologický sled a podrobné zařazení zastižených hornin pro optimální návrh výrubových tříd ražby tunelu,
- e) dokumentace postupu ražby a použitých razících technologií včetně dokumentace efektivity pomocných opatření (injektáže, tryskové injektáže, chemické injektáže apod.
- f) měření na povrchu:
 - nivelace poklesové kotliny na terénu,
 - nivelace objektů v zóně ovlivnění,
 - inklinometrická měření,

- extenzometrická měření (vzhledem k velké hloubce tunelu pod terénem budou tato měření spíše diskutabilní),
- náklonoměrná měření nadzemních objektů,
- pravidelné prohlídky objektů v zóně ovlivnění, a to včetně vybraných IS (kanalizace, kolektory),
- repasportizace nadzemních objektů a IS po dokončení ražby štoly a uklidnění deformací (exaktní stanovení způsobených škod ražbou štoly).

Podrobnější obsah monitoringu bude předmětem samostatné projektové dokumentace, koordinované s projekty průzkumné štoly i s projekty průzkumných prací ve štole a na povrchu.

V Brně, duben 2021

Ing. Ladislav Barák

Ing. Vlastimil Horák

AMBERG Engineering Brno, a.s.

Příloha 1 Výpis dotčených pozemků

Katastrální úzení	Parcelní číslo	Majitel	druh pozemku	způsob využití	výměra [m2]	poznámky
KÚ Židenice	6625 42	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	ostatní plocha	ostatní komunikace	2678	
	7486 5	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	ostatní plocha	ostatní komunikace	1325	
	7529 1	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	lení pozemek		91582	
	7529 44	Lesy České republiky, s.p., Přemyslova 1106/19, Nový Hradec Králové, 50008 Hradec Králové	lení pozemek		680	
	7529 3	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	lení pozemek		6154	
	7537 8	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	ostatní plocha	ostatní komunikace	889	
	7538 13	Pila Jaroslav Ing., Mikulčická 1075/12, Slatina, 62700 Brno	lení pozemek		409	
	7538 1	Špačková Jana, Elpova 2080/32, Líšeň, 62800 Brno Vítek Dušan Ing., Bezručova 71/8, Staré Brno, 60200 Brno Vítek Jiří Ing., Komenského náměstí 1518/5, 25101 Říčany Wiesmann Antonín, Bedřichovická 561/15, Slatina, 62700 Brno	lení pozemek		289	
	7538 8	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	lení pozemek		38361	
	7545 3	Česká republika, Úřad pro zastupování státu ve věcech majetkových, Rašínovo nábřeží 390/42, Nové Město, 12800 Praha 2	ostatní plocha	jiná plocha	4459	
	7547	STAVBA, k.s., Kobližná 71/2, Brno-město, 60200 Brno	zahrada		4634	
	7558	Martínková Zdenka, Údolní 579/47, Brno-město, 60200 Brno	zahrada		989	
	7559	Žilková Jitka, Kšírova 443/71, Horní Heršpice, 61900 Brno	orná půda		987	
	7562	Adámková Irena Ing., Šumavská 2277/30, Žabovřesky, 60200 Brno Konečná Eliška Ing., Šumavská 2277/30, Žabovřesky, 60200 Brno	orná půda		1434	
	7561	Adámková Irena Ing., Šumavská 2277/30, Žabovřesky, 60200 Brno Konečná Eliška Ing., Šumavská 2277/30, Žabovřesky, 60200 Brno	zahrada		294	
	7563 1	Adámková Irena Ing., Šumavská 2277/30, Žabovřesky, 60200 Brno Konečná Eliška Ing., Šumavská 2277/30, Žabovřesky, 60200 Brno	zahrada		772	
	7563 10	Jandlová Alena, Rostěnice 41, 68201 Rostěnice-Zvonovice Kostka Radomil, Tomášková 665/14, Zábrdovice, 61500 Brno SJM Kotvrda Jaromír a Kotvrdová Ludmila, Velkopavlovická 4068/17, Židenice, 62800 Brno SJM Mailbek Gustav a Mailbeková Vladimíra, Cejl 809/111a, Zábrdovice, 60200 Brno Paur Peter, č. p. 419, 73938 Dolní Domaslavice Shehu Zdenka, Botanická 933/39, Veveří, 60200 Brno	zahrada		519	
	7563	Soldán Josef, Husova 165/5, Staré Brno, 60200 Brno SJM Strakoš Radoslav a Strakošová Naděnka, Bohuslavice 4255, 69655 Kyjov Špišek Josef, Axmanova 528/7, Kohoutovice, 62300 Brno Špišek Milan, Zikova 2103/2, Líšeň, 62800 Brno Špišková Renata, Žebětínská 418/78, Kohoutovice, 62300 Brno Špišková Věra, Jugoslávská 639/80, Černá Pole, 61300 Brno Valíčková Darja, Horníkova 2131/8, Líšeň, 62800 Brno Zajíček Jaromír Ing., Wanklova 64/9, Stránice, 60200 Brno				
	7564 1	Adámková Irena Ing., Šumavská 2277/30, Žabovřesky, 60200 Brno Konečná Eliška Ing., Šumavská 2277/30, Žabovřesky, 60200 Brno	trvalý travní porost		175	
	7563 16	SJM Kotvrda Jaromír a Kotvrdová Ludmila, Velkopavlovická 4068/17, Židenice, 62800 Brno	zastavěná plocha a nádvoří		19	
	7563 9	SJM Kotvrda Jaromír a Kotvrdová Ludmila, Velkopavlovická 4068/17, Židenice, 62800 Brno	zahrada		330	
	7564 2	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	trvalý travní porost		64	
	7613	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	trvalý travní porost		9898	
	7563 20	SJM Kotvrda Jaromír a Kotvrdová Ludmila, Velkopavlovická 4068/17, Židenice, 62800 Brno Kovaříková Jitka, Bystřínova 2573/10, Královo Pole, 61200 Brno Soldán Josef, Husova 165/5, Staré Brno, 60200 Brno	zahrada		84	
	7563 8	Kovaříková Jitka, Bystřínova 2573/10, Královo Pole, 61200 Brno Soldán Josef, Husova 165/5, Staré Brno, 60200 Brno	zahrada		38	
	7563 18	Soldán Josef, Husova 165/5, Staré Brno, 60200 Brno	zahrada		69	
	7563 19	Soldán Josef, Husova 165/5, Staré Brno, 60200 Brno	zahrada		63	
	7563 15	SJM Mailbek Gustav a Mailbeková Vladimíra, Cejl 809/111a, Zábrdovice, 60200 Brno	ostatní plocha	jiná plocha	26	
	7563 7	SJM Mailbek Gustav a Mailbeková Vladimíra, Cejl 809/111a, Zábrdovice, 60200 Brno	zahrada		398	
	7563 6	Kovaříková Jitka, Bystřínova 2573/10, Královo Pole, 61200 Brno Shehu Zdenka, Botanická 933/39, Veveří, 60200 Brno Špišek Josef, Axmanova 528/7, Kohoutovice, 62300 Brno Špišek Milan, Zikova 2103/2, Líšeň, 62800 Brno Špišková Renata, Žebětínská 418/78, Kohoutovice, 62300 Brno Špišková Věra, Jugoslávská 639/80, Černá Pole, 61300 Brno Valíčková Darja, Horníkova 2131/8, Líšeň, 62800 Brno	zahrada		85	
	7563 22	Shehu Zdenka, Botanická 933/39, Veveří, 60200 Brno Špišek Josef, Axmanova 528/7, Kohoutovice, 62300 Brno Špišek Milan, Zikova 2103/2, Líšeň, 62800 Brno Špišková Renata, Žebětínská 418/78, Kohoutovice, 62300 Brno Špišková Věra, Jugoslávská 639/80, Černá Pole, 61300 Brno Valíčková Darja, Horníkova 2131/8, Líšeň, 62800 Brno	zahrada		265	
	7563 14	Shehu Zdenka, Botanická 933/39, Veveří, 60200 Brno Špišek Josef, Axmanova 528/7, Kohoutovice, 62300 Brno Špišek Milan, Zikova 2103/2, Líšeň, 62800 Brno Špišková Renata, Žebětínská 418/78, Kohoutovice, 62300 Brno Špišková Věra, Jugoslávská 639/80, Černá Pole, 61300 Brno Valíčková Darja, Horníkova 2131/8, Líšeň, 62800 Brno	zastavěná plocha a nádvoří		16	e.č.947
	7563 5	Kovaříková Jitka, Bystřínova 2573/10, Královo Pole, 61200 Brno Paur Peter, č. p. 419, 73938 Dolní Domaslavice	zahrada		81	
	7563 17	Paur Peter, č. p. 419, 73938 Dolní Domaslavice	zahrada		261	

	7563	13	Paur Peter, č. p. 419, 73938 Dolní Domaslavice	zastavěná plocha a nádvoří		17	e.č.942
	7563	4	Kostka Radomil, Tomáškova 665/14, Zábrdovice, 61500 Brno	zahrada		329	
	7563	12	Kostka Radomil, Tomáškova 665/14, Zábrdovice, 61500 Brno	zastavěná plocha a nádvoří		22	e.č.950
	7565		Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	orná půda		565	
	7567		Kobalčíková Věra, Šaumannova 1806/4, Židenice, 61500 Brno	orná půda		763	
	7569	7	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	zahrada		78	
	7569	1	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	zahrada		625	
	7569	2	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	zastavěná plocha a nádvoří		14	e.č.708
	7569	3	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	zahrada		271	
	7569	4	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	zastavěná plocha a nádvoří		14	e.č.710
	7569	9	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	zahrada		212	
	7569	8	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	zahrada		85	
	7569	6	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	zahrada		111	
	7569	11	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	zahrada		416	
	7570		Skutka Ivo, Kuldova 85/26, Zábrdovice, 61500 Brno	zahrada		381	
	7610		Černá Věra, Husova 165/5, Staré Brno, 60200 Brno	zahrada		3413	
			Černý Jan, Kosmákova 1453/23, Židenice, 61500 Brno				
	7609		Černá Věra, Husova 165/5, Staré Brno, 60200 Brno	ostatní plocha	jiná plocha	196	
			Černý Jan, Kosmákova 1453/23, Židenice, 61500 Brno				
	7605		Jurásková Pavla, Bezručova 694/21, Staré Brno, 60200 Brno	zahrada		2875	
	7606		Jurásková Pavla, Bezručova 694/21, Staré Brno, 60200 Brno	zahrada		1078	
	7607		Jurásková Pavla, Bezručova 694/21, Staré Brno, 60200 Brno	zahrada		3692	
KÚ Líšeň	6640	1	Statutární město Brno, Dominikánské náměstí 196/1, Brno-město, 60200 Brno	ostatní plocha	jiná plocha	3027	
	4292	2	BESSY INVEST a.s., Plotní 545/43, Komárov, 60200 Brno	zastavěná plocha a nádvoří		366	
	6637	2	Tůma Miroslav, Štefáčkova 2368/1, Líšeň, 62800 Brno	ostatní plocha	jiná plocha	4908	
			Tůma Pavel, Houbalova 2091/11, Líšeň, 62800 Brno				
	6637	24	OMV Česká republika, s.r.o., Štětškova 1638/18, Nusle, 14000 Praha 4	ostatní plocha	manipulační plocha	23	
	6637	21	OMV Česká republika, s.r.o., Štětškova 1638/18, Nusle, 14000 Praha 4	zastavěná plocha a nádvoří		49	
	6637	20	OMV Česká republika, s.r.o., Štětškova 1638/18, Nusle, 14000 Praha 4	ostatní plocha	manipulační plocha	963	
	6637	26	První brněnská strojírna, a.s., Olomoucká 3419/9, Židenice, 61800 Brno	ostatní plocha	jiná plocha	3310	
	6637	7	Hartmann Daniel, Tůmova 2266/50, Žabovřesky, 61600 Brno	ostatní plocha	jiná plocha	2517	
	6637	25	FCC Česká republika, s.r.o., Dáblická 791/89, Dáblice, 18200 Praha 8	ostatní plocha	jiná plocha	418	