

**Universita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta**

studijní obor Aplikovaná geologie
zaměření Inženýrská geologie



Bc. Václav Sedláček

Tunel Blanka, inženýrskogeologické problémy a rizika ražby
The Blanka tunnel, geological hazards and problems during boring

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jan Král

Praha 2016

Abstrakt

Tunel Blanka má dva ražené úseky: tunel Brusnice a tunel Královská Obora. Každý z těchto ražených úseků byl ražen ve složitých geologických podmínkách a každý tunel má jiné geologické podmínky a z nich vycházející rizika. Na tunelech byla použita řada různých opatření pro snížení rizikovosti ražeb a pro jejich hladký průběh. Přesto došlo v průběhu ražeb ke vzniku 3 mimořádných událostí. Ve všech případech došlo ke vzniku kráteru na povrchu, každá z mimořádných událostí ale měla jinou příčinu.

Cílem práce je popsat jak probíhal průzkum pro stavbu a z jakých zdrojů dat vycházel, jaké vnější činitelé ovlivnily ražbu tunelů, jak ražba samotná probíhala a co předcházelo vzniku propadů. Práce neřeší ekonomickou stránku ražby ani vlivy konkrétních osob na průběh ražby.

Klíčová slova

Tunel, ražba, Blanka, Brusnice, Letná, Stromovka, Vltava, podzemní voda, geologie, ordovik, Nová rakouská tunelovací metoda, průzkumná štola, kalota, opěří, dno, klenba, svorníky, ostění, injektáže, propad, havárie, tunelová trouba, břidlice, křemence, zemina, spraše, šterky, jíly

Abstract

The Blanka tunnel has two boring sections: Brusnice tunnel and Královská obora tunnel. Both tunnels were boring in difficult geological conditions, but the geology conditions of these tunnels are not same. Also they had not the same hazards during boring. There was used a spectrum of different technical works with hazard reduction purpose and safety process of boring. There were three serious accidents, which everyone made a crater on the surface, but they have not the same causes.

This text has a task to describe a geological survey before and during the boring of both tunnels. How other reasons affected the process of boring? How the tunnels were bored? What events preceded the everyone of three major failure?

This text does not deal with economical things of boring and effects of specific personal influence on the process of boring.

Key words

Tunnel, excavation, Blanka, Brusnice, Letná, Stromovka park, Vltava river, underground water, geology, ordovik, New Austrian Tunnelling method, pilot tunnel, calotte, bench, bottom, arche, bolt, lining, grouting, collapse of ceiling, failure, tube, shale, quartzite, soil, loess, ballast, clay

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 31. 7. 2016

Poděkování

Děkuji mému školiteli RNDr. Janu Králi za ochotu a připomínky při vedení mé práce. Dále děkuji doc. RNDr. Karlu Drozdovi a doc. RNDr Alexandru Rozsypalovi za cenné informace a připomínky ohledně mimořádných událostí na ražených tunelech Královská obora.

Obsah

- Úvod strana 8
- Seznámení se zájmovou stavbou strana 9

- **Kapitola 1: Rešerše již provedených průzkumných prací v trase stavby.**
Shrnutí rizik pro ražbu tunelů strana 11
- 1.1 Publikace Inženýrská geologie od autorů Záruby a Mencla strana 12
- 1.2 Průzkum pro 1. etapu sanace Rudolfovy štoly od V. Havelky strana 13
- 1.3 Inženýrskogeologické mapování v trase ražby - různí autoři strana 16
- 1.4 Podrobný průzkum pro plánovanou silniční komunikaci
Prašný most – Bubenská od J. Vorla a kolektivu strana 18
- 1.5 Hydrogeologický průzkum ve Stromovce od M. Herčíka a kolektivu strana 22
- 1.6 Podrobný geotechnický průzkum v trase tunelů Královská obora
od B. Březiny a kolektivu strana 23
- 1.7 Geotechnický monitoring staveb městského okruhu dle
R. Morávka a J. Šilhavého strana 29
- 1.8 Shrnutí inženýrskogeologických podmínek strana 30

- **Kapitola 2: Inženýrskogeologická rizika vzniklá ražbou tunelů.**
Monitoring objektů ovlivněných ražbou strana 34
- 2.1 Očekávané deformace a jejich měření strana 35
- 2.2 Objekt Na výšinách 3/1075 jako vzorový sledovaný objekt
v nadloží tunelu strana 36

- **Kapitola 3: Numerické hodnocení inženýrskogeologického rizika** strana 45
- 3.1 Metodika hodnocení inženýrskogeologického rizika ražby strana 46

- **Kapitola 4: Problémy při ražbě. Projevy inženýrskogeologického rizika** strana 53
- 4.1 Problémy v průběhu průzkumné ražby strana 54
- 4.2 Událost ze dne 20. 5. 2008 strana 55
- 4.3 Událost ze dne 12. 10. 2008 strana 60
- 4.4 Událost ze dne 5. 7. 2010 strana 67

- **Kapitola 5: Závěrečné vyhodnocení vztahu inženýrského rizika,
vzniklých problémů a provedených protiopatření** strana 72

- Závěr strana 80
- Seznam použité literatury strana 81
- Přílohová část strana 83

Seznam použitých norem

ČSN 72 1001 „Pojmenování a popis hornin“ - ZRUŠENÁ

ČSN 73 1001 „Základová půda pod plošnými základy“ - ZRUŠENÁ

ČSN 73 3050 „Zemní práce“ - ZRUŠENÁ

ČSN 73 7010 „Klasifikace zemin“ - ZRUŠENÁ

ČSN 73 6133 „Navrhování a provádění zemního tělesa pozemních komunikací“

ČSN EN ISO 14 688 – 1 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemin - Část 1: Pojmenování a popis

ČSN EN ISO 14 688 – 2 Geotechnický průzkum a zkoušení - Pojmenování a zařídování zemin - Část 2: Zásady pro zařídování

Katalog popisů a směrných cen stavebních prací 800-2

Seznam použitých zkratk

ČD – České Dráhy a. s.

ČSD – Československé Státní Dráhy n. p.

JTT – jižní tunelová trouba

MÚK – mimoúrovňová křižovatka

NRTM – nová rakouská tunelovací metoda

PÚDIS – Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb

QTS – Quality Testing System

RMR – Rock Mass Ratio

STT – severní tunelová trouba

SŽDC – Správa Železniční Dopravní Cesty s. o.

TBM – Tunnel Boring Machine

TGC – technologické centrum

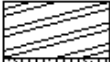









TS – texturní a strukturní znaky

Legenda k autorským řezům:





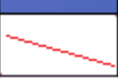
Zeminy

	OR – Humózní horizont
	AN – Navážky
	CF – Povodňové jíly
	ME – Sprašové hlíny
	MO – Povodňové organogenní hlíny
	MD – Deluviální hlíny
	MF – Fluviálně-Deluviální hlíny
	SC – Jílovitý písek
	GL – šterkopísky až šterky letenské terasy
	GS - šterkopísky až šterky (oblast Stromovky)
	GB – hrubozrnné šterky s úlomky do velikosti 30 cm.

Horniny

	slídnaté břidlice letenského souvrství
	droby letenského souvrství
	drobové břidlice letenského souvrství
	křemence letenského souvrství
	křemence libeňského souvrství (řevnické křemence)
	břidlice s křemenci letenského souvrství
	písčité břidlice letenského souvrství
	jílovité břidlice libeňského souvrství
	jílovité břidlice dobrotivského souvrství
	prachovité břidlice letenského souvrství

Technický stav hornin

	Hornina zcela rozložená (eluvium), materiál charakteru jílu (R6)
	Hornina silně zvětralá (R5)
	Hornina slabě zvětralá (R5-R4)
	Hornina technicky zdravá (R4-R3, u křemenců až R2)
	Tektonická porucha/puklina/výrazná diskontinuita

Úvod

Jen několik málo hlavních měst evropských států je položeno ve výškově tak členitém terénu jako Praha. V dnešních administrativních hranicích našeho hlavního města dosahuje celkové výškové rozpětí 224 m (při plzeňské silnici 399 m. n. n., hladina Vltavy pod Suchdolem 175 m. n. m.) .

Tento ukazatel je sice v Praze menší než ve Vídni v Budapešti, avšak uvedená zahraniční velkoměsta mají k dispozici rozsáhlé rovné plochy v okolí starého městského jádra, tedy dostatek prostoru pro další rozvoj. Praha, jejíž historické jádro je sevřeno v poměrně úzké Pražské kotlině, má možnost rozvoje jen na okolních plošinách, položených o 100 i 200 m výše. Ale i tyto plošiny jsou rozčleněny těsnými údolími a roklemi vltavských přítoků. Proto je značná i horizontální členitost pražského území a její vyjádření délkou vrstevnic na jednotce plochy dosahuje patrně nejvyšších hodnot z evropských hlavních měst.

(Hudek J. a kol., 1979)

Právě rozdělením Prahy na obytné čtvrti na svazích vltavského údolí a na centrum města dole v údolí Vltavy vznikla potřeba dopravního spojení centra se zástavbou na severozápadě města (Dejvice, Břevnov, Petřiny) a vzhledem na ne zrovna strategické svedení tranzitní dopravy do centra města také směrem z Prahy ven na Chomutov a Karlovy Vary. Jednou z těchto staveb je tunelový komplex Blanka, který po dokončení velmi odlehčil přetíženým ulicím Veletržní a Milady Horákové, a uklidnil silniční dopravu v oblasti Dejvic, Letné a Holešovic/Bubnů. S navazujícím Strahovským tunelem a tunelem Mrázovka vytvořil kapacitní alternativní trasu k severojižní magistrále, tedy ulicím Wilsonova, Sokolská/Legerova a 5. května.

Tunelový komplex se skládá ze dvou ražených úseků – tunelů Brusnice a Královská obora a navazujících hloubených úseků. Ražba obou úseků probíhala v geologicky pestrém prostředí ordovických hornin i kvartérních uloženin v oblasti Dejvic, dolní Bubenče a Tróji. Tunely taktéž podchází pod Vltavou a jde o první pražské silniční tunely ražené pod Vltavou. Zatím všechny ostatní tunely ražené pod Vltavou byly technologické ,nebo šlo o tunely sítě pražského metra, které byly raženy razíciemi štíty sovětské výroby, nebo jako v případě úseku metra IV.C1 došlo k položení tubusu přímo do rýhy vyhloubené ve dně Vltavy.

Taková náročná stavba je také o inženýrském riziku. Inženýrské riziko je pravděpodobnost vzniku nežádoucího jevu při stavbě. Při provádění ražeb se jedná v lepším případě o vypadávání bloků hornin z nadloží či čelby, průvaly podzemních vod, v horším případě vznikem závalu, v některých případech ústících až na povrch a rovnou pod nějaký objekt nebo silnici. Taková nehoda obvykle končí velkou materiální škodou a nezřídka tragicky. Proto je snaha o omezení nehod. Zabránit nehodám úplně nelze, protože vždy je určitá pravděpodobnost selhání. Riziko můžeme snížit, ale ne zcela eliminovat. Například nehodám vzniklým selháním lidského činitele se zabránit nedá. Také ne vždy jsou všechna inženýrská rizika dostatečně známá dopředu.

Při ražbě tunelů komplexu Blanka došlo ke třem vážným haváriím, které všechny skončily vznikem kráteru až na povrch. Každá měla jinou příčinu, ale všechny se staly jedné firmě (Metrostav a. s.) a v jedné tunelové troubě. Shoda okolností nebo nikoliv? Tato práce se v rámci možností pokouší dát odpověď.

Cílem práce je ukázat, jak průzkum identifikoval inženýrská rizika, jaká opatření se provedla pro snížení rizika a co vedlo ke vzniku 3 velkých mimořádných událostí v průběhu ražby.

Seznámení se zájmovou stavbou

Tunelový komplex Blanka začíná na mimoúrovňové křižovatce (MÚK) Malovanka, kde se kříží Strahovský tunel s Patočkovou ulicí. Trasa dále pokračuje hloubeným úsekem pod Patočkovou ulicí východním směrem, podchází Myslbekovu ulici a následně vstupuje do ražených tunelů Brusnice. Ražené tunely mají tvar písmene S a jsou umístěné ve spádu 5% směrem k východu. Na ražené tunely plynule navazuje MÚK Prašný most, která je umístěná pod křižovatkou ulic Svatovítská a Milady Horákové/Patočkova. MÚK Prašný most a následný úsek až ke křižovatce ulic Milady Horákové a U Vorlíků vede trasa komunikace shodně s ulicí Milady Horákové hloubeným tunelem. U křižovatky u Vorlíků je zřízena další MÚK, nazvaná podle blízké konečné tramvají Špejchar. I ta je zřízena jako hloubené tunely.

Na MÚK Špejchar navazují ražené tunely Královská obora. Nejdřív se ražené tunely poměrně ostře stáčí k severozápadu a ve spádu 5% směrem k Tróji. Pod Stromovkou v blízkosti bývalé Šlechtovy restaurace se tunely stáčí do táhlého pravotočivého oblouku, který podchází Stromovku i Vltavu a končí až na pravém břehu Vltavy v Tróji. Zde ražené tunely přechází do závěrečného tunelu. Tunel Blanka končí křižovatkou s ulicí Povltavskou.

Stavba je rozdělena na 3 úseky:

Brusnický tunel : MÚK Malovanka až MÚK Prašný most (Stavba 9515)

Dejvický tunel: MÚK Prašný most až MÚK Špejchar (Stavba 0080)

Bubenečský tunel: MÚK Špejchar až ke křižovatce s Povltavskou ulicí. (Stavba 0079),

Ražené úseky jsou dílčí úseky staveb č. 9515 a 0079, stavba 0080 byla v celé délce stavěná z povrchu.

Přesné délky jednotlivých úseků ukazuje tabulka č. 1.

V rámci práce jsou zájmové ražené úseky Brusnického a Bubenečského tunelu. Pro ražené úseky Bubenečských tunelů bude v rámci práce používáno pracovní označení „ražené tunely Královská obora“, pro odlišení od přilehlých hloubených úseků.

Tunelový úsek (TÚ)	STT (m)	JTT (m)
TÚ Brusnice		
hloubený úsek	546,07	539,29
ražený úsek	534,95	550,26
hloubený úsek	323,96	308,72
celkem	1404,98	1398,27
TÚ Dejvice		
hloubený úsek	1006,82	1004,98
celkem	1006,82	1004,98
TÚ Královská obora		
hloubený úsek	290,69	294,93
ražený úsek	2230,77	2223,83
hloubený úsek	568,94	537,22
celkem	3090,4	3055,98
hloubené úseky celkem	2736,48	2685,14
ražené úseky celkem	2765,72	2774,09
délka tunelů celkem	5502,2	5459,23

Tabulka 1: Rozdělení stavby na úseky a jejich délka

Kapitola 1

Rešerše již provedených průzkumných prací v trase stavby

Shrnutí rizik pro ražbu tunelů

1.1 Publikace Inženýrská geologie od autorů Záruby a Mencla (1957)

Tato dnes již zcela klasická kniha, kterou dodnes používají studenti při studiu inženýrské geologie, nabízí několik zajímavých geologických údajů o horninách v trase tunelů.

V publikaci je například uvedena vrtatelnost vybraných hornin. Mezi nimi jsou 3 horniny zastižené tunelem

Blanka:

číslo	hornina	místo	kladivo	průměr vrtu	rychlost vtání	práce na 1 cm ³ vrtu
5	křemenec drabovský*	II. Vinohradský tunel	AT 18	40 mm	8,6 cm/min	15,8 kgm
17	břidlice letenské pevné**	II. Vinohradský tunel	AT 18	40 mm	30,5 cm/min	4,4 kgm
18	jílovité břidlice dobrotivské	II. Vinohradský tunel	AT 18	40 mm	36 cm/min	3,8 kgm

* řevnický křemenec

** drobové břidlice

Tabulka 2: Vrtatelnost vybraných hornin v trase tunelu Blanka (Mencl V. a Záruba Q., 1957)

Z tabulky je patrné, že vyvrtání metr dlouhého vrtu by v řevnických křemencích trvalo 11,5 minuty, zatímco v drobových břidlicích letenského souvrství jen něco přes 3 minuty a v dobrotivských břidlicích by byl vrt hotov ani ne za 3 minuty. Protože jak bude ukázáno později, tvoří poslední dvě zmíněné horniny podstatnou délku ražených úseků, neměla by být rychlost ražby tunelů větší překážkou. Jak dobrotivské, tak letenské břidlice patří mezi nejsnáze vrtatelné pražské horniny.

Publikace také zmiňuje potenciální riziko pro ostění tunelů, totiž výskyt agresivní podzemní vody v blízkosti stavby:

„Se síranovými vodami se setkáváme v přírodě dosti často, všude tam, hornina obsahuje pyrit a jiné sloučeniny síry. Jsou to například některá ordovická souvrství v okolí Prahy, zejména letenské a černínské (dnes vinické – pozn. autor) břidlice, které mají polohy se silnou příměsí pyritu. Na Plzeňsku jsou to algonkické kyzové břidlice, tzv. kamenečné břidlice. Okrajové polohy uhlí obsahují také pyrit nebo markasit a vody, které jím protékají, jsou vysloveně síranové.

Na území Prahy se objevují agresivní podzemní vody v pásnu od Malé Strany přes Klárov do Holešovic a dále do Vysočan, hlavně na styku černínských a letenských vrstev.“

(Mencl V. a Záruba Q., 1957)

1.2 Průzkum pro 1. etapu sanace Rudolfovy štoly od V. Havelky (1971)

První informace o geologii v oblasti Letné jsou z druhé poloviny 16. století. Na pokyn císaře Rudolfa II. měla být v prostoru pod Letnou zřízena obora s několika rybníky. Zdrojem vody měla být Vltava v prostoru nad dnešním Helmovským jezem. Spád řeky mezi dnešním Helmovským jezem a Trójou je dostatečný, zbývalo jen dostat vodu pod Letenskou plání. V letech 1583 až 1593 byla postupně vyhloubena 1111,7 metrů dlouhá štola ve směru JJV – SSZ s průměrným spádem 0,977 promile ke Stromovce spolu se 6 přístupovými šachtami z povrchu. Toto dílo je dodnes v provozu. Z 5 přístupových šachet 4 dodnes existují a slouží větrání, na štole č. 3 (číslována od Stromovky k Vltavě) došlo při ražbě k vážné nehodě (závalu) a její ražba byla předčasně ukončena. Štola dosahuje maximální hloubky 44 m pod terénem.

„Počátek štoly je na levém břehu Vltavy, poblíž Švermova (dnes Štefánikova – pozn. Autor) mostu, v domku označovaném Havírna. Původně byla v těchto místech Vltava přehrazena jezem. Od Havírny, kde jsou dvoje stavidla, směřuje štola nejprve v délce 33 m k severovýchodu, přibližně v místech opěrné zdi letenského svahu se stáčí k severu-severozápadu. Do tohoto ohbí z nové nábrežní zdi byla ražena spojovací chodba, kterou je štola dnes přístupná. Od ohbí směřuje štola dále pod Letnou, směrově se ztotožňuje s horní částí a výjezdovou rampou z letenského tunelu, vede pod křižovatkou u Ministerstva vnitra a Čechovou ulicí do Stromovky, kde ústí ve svahu nad rybníčky nedaleko bývalé zahradní restaurace.“ (Havelka V., 1971)

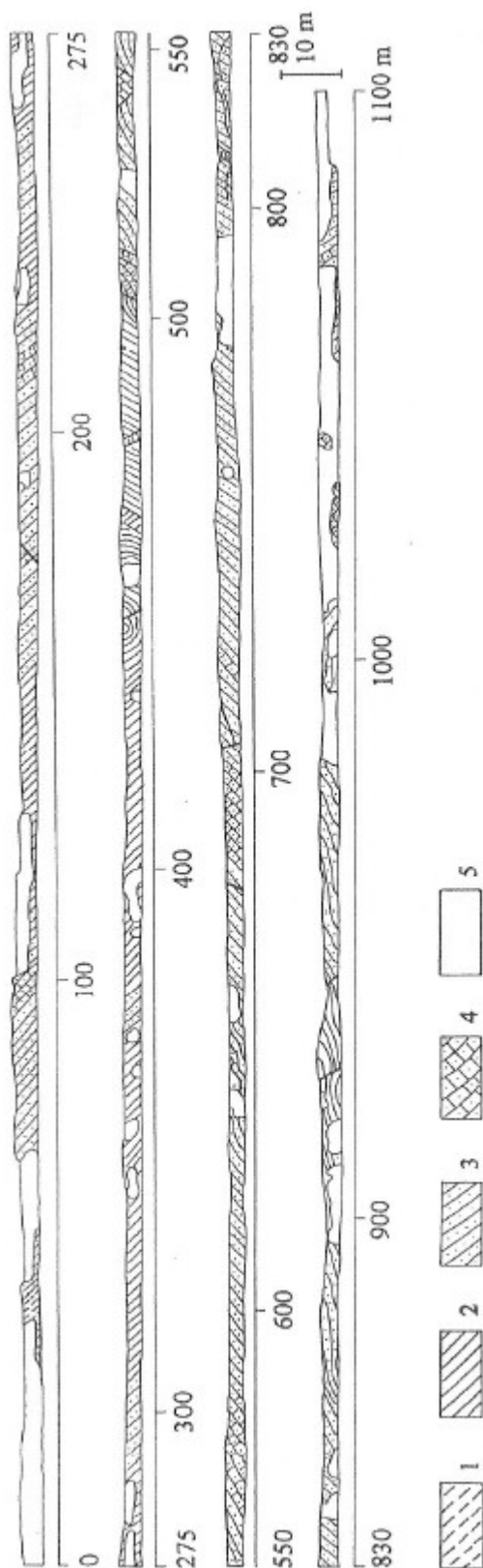
Pro tunel Královská obora je důležitých prvních 300 metrů délky štoly ve směru od Stromovky, kde vede tunel Královská obora souběžně ve vzdálenosti 130 – 150 m západně od Rudolfovy štoly. Pote se tunel Královská obora stačí vpravo k MÚK Špejchar, zatímco Rudolfova štola drží přímý směr až k Havírně.

Letenské souvrství je proti ostatním souvrstvím zastížená zájmovou stavbou značně odlišná. Jde o velmi pestré souvrství, kde se často střídají břidlice, droby a křemence. Jen Rudolfova štola na svých 1117 metrech zastihla břidlice jak slídnaté, tak písčité či prachovité, droby, křemenné droby a křemence. Střída se zde monotonní vývoj s vývojem flyšoidním.

Základní rizika se s úsekem pod dolní Stromovkou neliší – spádnice hlavního systému diskontinuit směřuje k jihu, spad kolísá mezi 30 a 50°. Pro jižní úsek štoly je však typický úklon vrstev k ZSZ. Rozhraní je tvořeno výrazným pásem tektonicky porušené horniny na metrů 480 m od portálu Stromovka, tedy již mimo zájmový úsek štoly.

Štola je vzhledem ke svému stáří dobrou ukázkou jak se bude chovat horninový masiv k vlastnímu tunelovému objektu. Při vlastní ražbě způsobovaly největší problémy přítoky podzemní vody, ale jak bude zmíněno později, v dnešní době už nepředstavuje velký problém, rozhodně ne ve srovnání se severním úsekem Královské obory (viz část 1.6 a textová příloha č. 2). Rizikové úseky jsou lavice křemenců, kde je zjištěna vysoká míra rozpukání, případně i s výskytem podrcené horniny a s tím související riziko uvolňování bloků ze stropu tunelu. Ve srovnání se severním úsekem Královské obory však křemencové lavice v letenském souvrství nepředstavují tak velké riziko, jako poruchová pásma pod Stromovkou.

Z hlediska hydrogeologie v zájmovém úseku je jen malé riziko ohrožení stavby. V letenském souvrství je propustnost omezena rozpukáním skalního masivu, které není velké a diskontinuity bývají sevřené. Větší přítoky podzemní vody lze očekávat v pásmech křemenců, ale výraznější přítok podzemní vody je značně nepravděpodobný. Jde o následek výskytu břidličných proplátek v křemencích. Z chemického hlediska je podzemní voda mírně alkalickou (pH 7,5 – 7,7), voda je typu $Ca_{2+} SO_{4}^{2-}$ s obsahem síranů max. 273,24 mg/l, výskyt HCO_3^- nebyl zjištěn. K potvrzení vysokých obsahů síranů dle Záruby a Mencla (viz předchozí část), kde autoři uvádí hodnoty síranů až 1192 mg/l, tedy nedošlo.



Obr 1: Zjednodušený geologický profil Rudolfovou štolou (Mikuláš R., 1994)

profil představuje východní stěnu štoly. Profil je veden ve směru proti proudu vody, tedy ze Stromovky směrem k Vltavě.

Legenda: 1 – černé jílovité břidlice Libeňského souvrství

2 – Letenské s. – převládají břidlice

3 – Letenské s. – rytmický vývoj (břidlice, droby, křemence v polohách do prvních decimetrů mocných.

4 – Letenské s. - pískovce a křemence

5 – stěny vyzděny / vybetonovány

Popis skalního masívu je bohužel neúplný. V průběhu času byla štola vícekrát opravována a již nemá původní profil. V některých úsecích bylo použito vyzdění z cihel, maltových směsí a z poloviny 20. století i betonu.

V Textové příloze č. 1 této práce jsou uvedeny přesné délky jednotlivých horninových celků (je-li jejich délka známá) v zájmovém úseku štoly. Uvedeno je prvních 450 metrů štoly od portálu ve Stromovce směrem k Havírně.

Geologické údaje z této zprávy posloužily jako cenné informace pro tvorbu geologického řezu v trase tunelů Královská obora v úseku od Šlechtovy restaurace k MÚK Špejchar.

Obecně lze rozdělit zájmový úsek Rudolfovy štolý na dva úseky. Prvních 300 metrů představuje úsek s pestrou geologickou stavbou, druhý úsek (od 300 m dále k jihu) je proti předchozímu úseku odlišný monotónní geologií, kde se vyskytují pouze drobové břidlice, případně droby.

Proti severnímu úseku Královské obory je zde problém vypadávání bloků z nadloží nepravděpodobný, protože diskontinuity tektonických poruch jsou orientovány ve velké většině o 180° otočené proti spádnicí dané vrstevnatostí. Jejich výskyt je zde navíc zcela ojedinělý. V rámci Rudolfovy štolý se vyskytují jen jednotlivé diskontinuity, nikoliv celá poruchová pásma jako v případě úseku pod dolní Stromovkou.

1.3 Inženýrskogeologické mapování v trase ražby - různí autoři (1948 až dodnes)

Na území hlavního města Prahy je od roku 1969 prováděno důkladné inženýrskogeologické mapování. Již začátkem 50. let 20. století bylo území Prahy provedeno IG mapování v měřítku 1:25 000, ale s pokračující výstavbou a snahou o urychlení předprojektové přípravy staveb se toto měřítko ukázalo jako příliš malé a pro rostoucí počet dokumentačních bodů zcela nedostatečné. V roce 1948 vydal Quido Záruba podrobnou IG mapu centra Prahy v měřítku 1:12 500, ale s masivní výstavbou na předměstí Prahy vznikla v 60. letech potřeba nových IG map s ještě větším měřítkem. V letech 1967 až 1974 je proto PÚDISem provedena série 40 až 50 mapování (přesný počet není znám) pro mapy v měřítku 1:5000 a 1:2000.

Ve spolupráci s Geoindustrií n. p. vzniklo v letech 1969 až 1981 celkem 96 listů zabírající celé území Prahy. Každý list obsahuje průvodní zprávu a 4 mapy:

A- Mapa geologických poměrů

Je to podrobné geologická mapa odkrytá do hloubky dvou metrů, která zobrazuje jak horniny předkvartérního podkladu (v mapě značené hnědošedou šrafovou), tak i horniny pokryvných útvarů (v mapě značené barvou plochy - pokud leží na povrchu, nebo barevnými proužky, pokud leží pod jiným pokryvným útvarem ve druhé vrstvě). Sytostí barev se pak odlišují hloubky báze pokryvných útvarů od povrchu v rozmezí 2 - 4 m, 4 - 6 m, 6 - 10 m a více než 10 m. Dále jsou na tomto listě znázorněny navážky, lomy, strže, zářezy, pískovny, hlinišťe, chráněná území, geodynamické jevy, ochranná pásma apod. Tato mapa je základní, nejobsažnější a nejdůležitější a vždy se ní vychází při studiu geologických poměrů určitého území. Ostatní listy B,C,D tuto mapu geologických poměrů doplňují.

B- Mapa mocnosti pokryvných útvarů

Je mapou pomocnou, znázorňuje celkovou mocnost pokryvných útvarů a vrstevnice předkvartérního povrchu (červeně). Mocnost je znázorněna různými barvami a je odstupňována po 2 m (do hloubky 20 m) a po 5 m (do hloubky 30 m). Tato mapa je dobrým podkladem pro zakládání ve větších hloubkách v místech s velkou mocností pokryvných útvarů.

C- Mapa hydrogeologických poměrů

Mapa zobrazuje nejvyšší zjištěnou hladinu podzemní vody modrými čarami (hydroizohypsy) po 1 m a po 5 m, barevně hloubku hladiny podzemní vody pod povrchem (černé čáry - hydroizobaty) po 2 m (do hloubky 20 m) a po 5 m (do hloubky 30 m). Dále je zde vyznačeno horninové prostředí výskytu podzemní vody, propustnost, směr proudění podzemní vody, prameny, zamokřená území, chemické vlastnosti vody apod. Kromě vyhodnocení hydrogeologických poměrů může být tato mapa použita i k posouzení vlivu výstavby na změnu režimu podzemních vod v širším okolí.

D – Mapa dokumentačních bodů

Je to mapa pomocná, která shromažďuje veškerou dostupnou geologickou dokumentaci s detailním členěním. Popisy dokumentačních bodů jsou přiloženy k průvodní zprávě.

Tento mapový komplet je dodnes používán jako základní zdroj geologických informací na území Prahy, velká většina později vydaných publikací či zpráv ohledně geologie na území Prahy z velké části vychází právě z těchto map. Podobným způsobem bylo vydáno dalších 10 mapových listů v měřítku 1:25 000, taktéž pokrývající celé území Prahy.

IG mapy prošly v nedávné době digitalizací a jsou nově veřejně přístupné na webu Institutu plánování a rozvoje hlavního města Prahy.

(adresa map je http://app.iprpraha.cz/js-api/app/ig_mapy/)

1. 4 Podrobný průzkum pro plánovanou silniční komunikaci Prašný most – Bubenská od J. Vorla a kolektivu (1979+1986)

Další zdroj geologických informací z oblasti Letné jsou průzkumy pro střední dopravní okruh Prahy, stavba Prašný most - Bubenská ; v souvislosti s plánovanou stavbou rychlostní komunikace v trase tratě SŽDC 528/ČD 120 mezi stanicemi Praha Bubny a Praha Dejvice, plánovanou od konce 60. let 20. století. Stavba nebyla nikdy zahájena, přestože geologický průzkum byl dokončen s výsledkem dobrým a stavba připravena k realizaci. Z průzkumů jsou k dispozici podrobné údaje z trasy komunikace, včetně výsledků zkoušek mechaniky zemin a hornin, které v průzkumu o Rudolfově štole (viz část 1.2) zcela chybí. Trasa této komunikace měla vést odlišnou trasou od později realizovaného díla Královská obora, kde se v jednom místě obě trasy kříží – je to železniční zářez tratě ČD 120 v souběhu s ulicí Nad Královskou oborou , mezi křižovatkami s ulicemi Havanská a Jana Zajíce.

V rámci předběžného průzkumu (viz Kaprasová E. a kol., 1979) byla provedena série jádrových vrtů, zájmové vrty jsou:

vrť J8 (y= 742 849,75, x= 1 041 303,64)

umístění: Křižovatka ulic Nad Královskou oborou X Havanská, cca 35 m Z od trasy STT tunelu

Královská obora (přibližně v km 5,680), nadmořská výška ústí 224,5 metru (Balt)

Kalota tunelu Královská obora se v místě vrťu nachází v nadmořské výšce asi 180 metrů nad mořem, zatímco dno vrťu je v nadmořské výšce 200,50 metrů nad mořem. Zdravá skalní hornina se zde nachází v hloubce 13,2 metrů pod povrchem. V místě vrťu tvoří zdravá skalní hornina asi 31 m mocnou vrstvu skalního nadloží, 7,55 metru nadloží vrstev tvoří antropogen s kvartérem a 5,65 metru nadloží vrstev tvoří zvětralinový plášť. Lze předpokládat vytvoření horninové klenby a tím i usnadnění ražby.

„13,20 – 24,00 m 6 – 80% šedočerná písčité břidlice (droba)

7 – 20% hrubě slídnatá, s písčitymi závalky a místy prokřemenělá, s vložkami křemenců do 10 cm v hloubce 15,50 – 16,00 m, 17,15 – 17,35 m, 19,60 – 19,75 m, 20,50 – 20,70 m, 21,10 – 21,30 m, deskovitě vrstevnatá, sklon vrstev cca 20 - 30° , většinou středně rozpukaná, v hloubce 19,75 – 20,00 m tektonická porucha s výplní jílu a střípků břidlic, v hloubce 17,30 – 19,75 m hornina rozvrtána na drť charakteru hrubého písku. (Kapasová E. a kol., 1979)

Při pohledu do popisu Rudolfovy štol (viz popis výše) je vidět nápadná shoda v popisu geologického prostředí s úsekem kolem metráže 180 metrů od portálu ve Stromovce.

vrť J12 (y=742 660,97, x=1 041 264,50)

umístění: Park Stromovka, nadmořská výška ústí vrťu 222,30 m.

Vrť je zřízen přímo nad Rudolfovou štolou v metrži 165 metrů od portálu Stromovka

„10,30 – 22,00 m: Pevné šedé písčité břidlice (droby), hrubě slídnaté, s písčitymi laminami 2-5 mm a závalky křemenných pískovců, deskovitě vrstevnaté vrstevnaté, sklon 60 – 50°, středně až málo rozpukané.

22,00 – 28,00 m: 7-20% pevné, šedé písčité břidlice s vložkami až 5 cm šedých křemenců, masivních, velmi tvrdých až pevných, pyritizovaných, středně až málo rozpukaných –NEZVĚTRALÉ VRSTVY LETENSKÉ

(Vorel J., 1986)

Součástí průzkumu pro stavbu MO Prašný Most – Bubenská bylo množství dalších vrtů v okolí, šlo však o mělké vrty nedosahující hloubky kaloty tunelu Královská obora (hloubka alespoň 30 metrů), a pro průzkum pro vlastní ražbu nepoužitelné. Cenné údaje zanechala jedna ze šachtic vykopaných v trase. Jedná se o šachtici označovanou jako Š1, která byla vyhloubena v zářezu tratě u křižovatky ulic Nad Královskou oborou a Havanská. Místo šachtice se nachází jen 30 metrů JZ od severní tunelové trouby (STT). Šachtice měla popsány všechny stěny, zde je popis severovýchodní stěny, která směřuje k raženým tunelům.

„Severovýchodní Stěna:

- 0,0-0,2 šedá hlína humózní a písčítá s vložkami škváry
- 0,2-0,5 navážka, škvára
- 0,5-1,5 hnědá hlína písčítá s úlomky cihel a křemenců – navážka
- 1,5-7,6 okrový hlinitopísčítý štěrk s valouny 4-7 cm, max 15 cm. Do hloubky 6 m až 20 cm. fluviální sedimenty letenské terasy
- 7,6-8,0 hnědá jílovitá hlína se střípky zvětralých písčítých břidlic, tuhá - eluvium letenských břidlic
- 8,0-11,5 šedohnědá písčítá břidlice slídnatá s pískovcovými závalky a vložkami křemenců 3-4 cm mocnými, cca 10-15% úlomkovitě až střípkovitě odlučné, hornina značně rozpukána- zvětralé vrstvy letenské
- 11,5-14,5 šedá písčítá břidlice s pískovcovými závalky, s hojnou slídou na zvlněných vrstevních plochách, místy s výplní limonitu a ojedinělými vložkami křemenců 3-17 cm, hornina značně rozpukána - navětralé letenské vrstvy
- 14,5-20,0 šedé až tmavošedé písčité břidlice slídnaté, pevné s ojedinělými vložkami křemenců 5-8 cm místy s tektonickými poruchami, středně až málo rozpukané - navětralé letenské vrstvy
diskontinuity 170/30, vrstevní úklony azimut 150-180, spád 30-50 stupňů. Typická je orientace 164/40
Mocnosti vrstev - velmi malá až malá (L5-L4) rozteč diskontinuit velmi malá, s hloubkou se zvyšuje na střední

PODZEMNÍ VODA: Souvislá mělká zvodeň, málo vydatná (hladina PV naražená v hloubce 7 metrů, přítok 0,1-0,2 l/s, v letenských břidlicích PV vázána jen na puklinovou propustnost.
Chemismus: zjištěna vyšší přítomnost SO_4^{2-} a HCO_3^- , proměnlivé složení v profilu.
(Vorel J., 1986)

Popis vrstvy	objemová hmotnost v přirozeném uložení (kg/m ³)	Hydraulická vodivost (m/s)	zařídění dle ČSN 73 7010 (klasifikace)	zařídění dle ČSN 73 3050 (těžitelnost)	Úhel vnitřního tření Φ (°)
Písčito-hlinité navážky	1800 - 2000	$x \cdot 10^{-4}$	IX - VIII	3 - 4	20 - 28
písčité hlíny s úlomky, tuhé	1900 - 2100	$x \cdot 10^{-5} - x \cdot 10^{-6}$	IX - VIIa	2 - 3	18 - 24
spraše tuhé až měkké	1700 - 1900	$x \cdot 10^{-6}$	IX - VIIa	2 - 3	10 - 15
sprašové hlíny a úlomky tuhé	1900 - 2100	$x \cdot 10^{-6}$	IX - VIII	2 - 3	18 - 22
Hlinitopísčité šterky Letenská terasa	2200 - 2500	$x \cdot 10^{-4}$	VIIa	3 - 4	19 - 38
písky se šterkem Dejvická terasa	2200 - 2400	$x \cdot 10^{-3} - x \cdot 10^{-5}$	IX - VIII	2 - 3	30 - 35
písky se šterkem až písčité šterky Údolní terasa	2100 - 2200	$x \cdot 10^{-2} - x \cdot 10^{-3}$	VIIa	3 - 4	28 - 38
Letenské vrstvy rozložené s úlomky	2000 - 2200	$x \cdot 10^{-6}$	VIIa	3 - 4	22*
Letenské vrstvy zvětřalé, úlom. roz.	2200 - 2400	$x \cdot 10^{-4}$	VII - Va	4 - 5	28 - 30*
Letenské vrstvy navětřalá, stř. roz.	2400 - 2600	$x \cdot 10^{-4} - x \cdot 10^{-5}$	VI - Va	5 - 6	32 - 37*
Letenské vrstvy zdravé, stř. roz.	2600 - 2700	$x \cdot 10^{-4} - x \cdot 10^{-5}$	Va - IVa	6 - 7	33 - 43*

* hodnota odpovídá úhlu pevnosti

Tabulka 3 : Popisné vlastnosti a zařídění zemin a hornin v oblasti Letné a Bubnů (Vorel J., 1986)

Tunel Královská obora bude v blízkosti šachty ražen ve zdravé skalní hornině, která je tvořena střídavě monotónním a pestrým sledem Letenských břidlic, okolo místa šachtice Š1 zastihla Rudolfova štola pískovce s vložkami křemenců (viz část 1.2).

Rozhraní Letenského a Libeňského souvrství není z archivních průzkumů patrné, protože rozhraní nebylo zastiženo ani průzkumem pro tunel Královská obora, ani není patrné v Rudolfově štole. Rozhraní lze pouze odhadnout v úseku vymezeném km 5,65 a km 5,82 tunelu Blanka.

Popis vrstvy	Modul pružnosti E ₀ (MPa)	Youngův modul E (MPa)	Poissonovo číslo	Soudržnost (kPa)
Písčito-hlinité navážky	6 - 15	20 - 50	0,43	20 - 50
písčité hlíny s úlomky, tuhé	8 - 20	20 - 80	0,40	20 - 40
spraše tuhé až měkké	0,7 - 5	5 - 14	0,45	20 - 40
sprašové hlíny a úlomky tuhé	0,7 - 6	15 - 40	0,40	20 - 35
Hlinitopísčité štěrky Letenská terasa	70 - 150	140 - 300	0,15	0 - 17
písky se štěrkem Dejvická terasa	40 - 80	80 - 160	0,30	0
písky se štěrkem až písčité štěrky Údolní terasa	60 - 100	120 - 200	0,30	0 - 10
Letenské vrstvy rozložené s úlomky	10 - 30	30 - 100	0,43 – 0,45	20
Letenské vrstvy zvětralé, úlom. roz.	30 - 150	100 - 250	0,25 – 0,35	30 - 50*
Letenské vrstvy navětralá, stř. roz.	150 - 700	250 - 1000	0,20 – 0,25	50 - 200*
Letenské vrstvy zdravé, stř. roz.	400 - 3000	600 - 4500	0,15 – 0,20	100 - 450*

* hodnota odpovídá zdánlivé soudržnosti

Tabulka 4 : Přetvárné vlastnosti zemin a hornin v oblasti Letné a Bubnů (Vorel J., 1986)

1. 5 Hydrogeologický průzkum ve Stromovce od M. Herčíka a kolektivu (1992)

V roce 1992 provedla firma GMS a. s. na zakázku hlavního města Prahy podrobný hydrogeologický průzkum ve Stromovce. Úkolem průzkumu bylo vysledovat mocnost a propustnost kvartérních sedimentů pod Stromovkou a určit zdroje podzemní vody. Součástí průzkumu byla série jádrových vrtů rovnoměrně rozložená po celé ploše dolní Stromovky.

Výsledky průzkumu byly následující:

- a) Kvartér v dolní Stromovce se skládá ze dvou základních jednotek – jemnozrnných povodňových sedimentů v horní a hrubozrnných štěrků s úlomky v dolní vrstvě
- b) Mocnost kvartéru je proměnlivá (od 7 do 11 metrů) a větších mocností dosahuje u Letenského návrší
- c) Zdrojem podzemní vody pod Stromovkou je tok Vltavy, nikoliv rybníky.
- d) Hladina podzemní vody komunikuje s Vltavou – předpoklad autorů, potvrzeno až při podrobném průzkumu pro tunel Blanka.

Vrty byly prováděny jen na bázi skalního podloží a vzhledem k poměrně řídké hustotě vrtů jsou rozhraní hornin určeny se značnou nejistotou. Ani jeden vrt nebyl proveden až na úroveň zdravé horniny.

Přesto byly tyto vrty vzhledem k omezením při podrobném průzkumu (viz následující část) použity pro sestavení geologického řezu pod Stromovkou. Jeden z těchto vrtů (vrt SP-18) bude mít později klíčovou úlohu při jedné z mimořádných událostí při ražbě.

1. 6 Podrobný geotechnický průzkum v trase tunelů Královská obora

(Březina B. a kol, 2002 – 2005)

Z dostupných archivních materiálů byl znám úsek s vysokým inženýrským rizikem. V úseku ražby mezi km 6,200 a km 5,800 se očekávala ražba v prostředí s nízkým nadložím ze skalních hornin a současně s mocnou vrstvou zvodnělých kvartérních sedimentů. Síť mělkých vrtů v oblasti je řídká a žádný vrt výrazněji nezasáhl skalní prostředí pod Stromovkou. Kontakty jednotlivých horninových celků byly z předchozích prací velmi nejasné a znalost důležitých parametrů pro ražbu (dosah zvětralé vrstvy, azimut a sklon diskontinuit, přetvárné vlastnosti) zcela nedostatečná. Přestože o podzemní vodě v horninách pod Stromovkou nebyly žádné přesnější informace, očekávaly se s ohledem na geologickou stavbu v trase tunelů její silné přítoky.

Podrobný geologický průzkum měl za úkol doplnit tyto chybějící informace o geologickém prostředí. V obvyklých podmínkách by průzkum probíhal jako kombinace vrtného průzkumu, průzkumné štoly v trase tunelů a série geotechnických a geofyzikálních měření. Zde však tento postup nešel použít. Investor (Hlavní město Praha), s ohledem na status Stromovky jako přírodní rezervace, nesouhlasil s provedením jakýchkoliv prací, které znamenají výraznější zásah do zeleně v celé oblasti Stromovky. To znamenalo ve výsledku vážnou komplikaci nejen při vlastních průzkumných pracích, ale i při pozdější ražbě tunelů.

Musela být opuštěna varianta s těžní věží přímo ve Stromovce, protože vyvážení rubaniny nákladními auty bylo nepřijatelné. Vrtný průzkum byl omezen na území mimo přírodní rezervaci. Přímo ve Stromovce bylo vyhloubeno jen několik šachtic do hloubky kontaktu se skalní horninou a dovrchních vrtů ze štoly, protože síť archivních vrtů (viz Herčík a kol., 1992) byla v zájmovém území značně nepravidelná a pro ražbu nepoužitelná.

Průzkumné práce byly zahájeny v květnu 2002 stavbou těžebního areálu v km 7,515 (západně od tramvajové zastávky Trojská) a následnou ražbou přístupové šachty do budoucí štoly. Šachta byla umístěna severně od budoucích portálů Trojská. Takto zvolené řešení mělo tu výhodu, že práce v průzkumné štole mohly pokračovat i při již běžící stavbě připortálového úseku Trojská – Povltavská. Ražba přístupové šachty (profil 32,8 m² při hloubce 19 metrů) byla ukončena již v červenci a následovala ražba vlastní průzkumné štoly.

Po vyražení 20 metrů ale přišel 13. srpen 2002 a s ním nepředpokládaný nepřítel – říční voda. Povodeň mimořádného rozsahu (v profilu Trója Vltava kulminovala na kótě 187,45 m. n. m.), znamenala přerušení jakýchkoliv průzkumných prací, protože terén v celém úseku budoucích tunelů od portálů Trója až ke Šlechtově restauraci byl zaplaven místy až 6 metry vody. Došlo k zatopení těžebního pracoviště a voda vnikla i do již vyraženého díla. Následkem povodně došlo ke škodám na strojním zařízení a především ke dvouměsíčnímu zastavení ražby v důsledku čerpání vody a oprav zaplaveného díla.



Obr 2 na předchozí straně: Stav areálu s těžní věží po povodni v srpnu 2002 – voda dosáhla až k parapetům okem v patře administrativní budovy. (Metrostav a. s.)

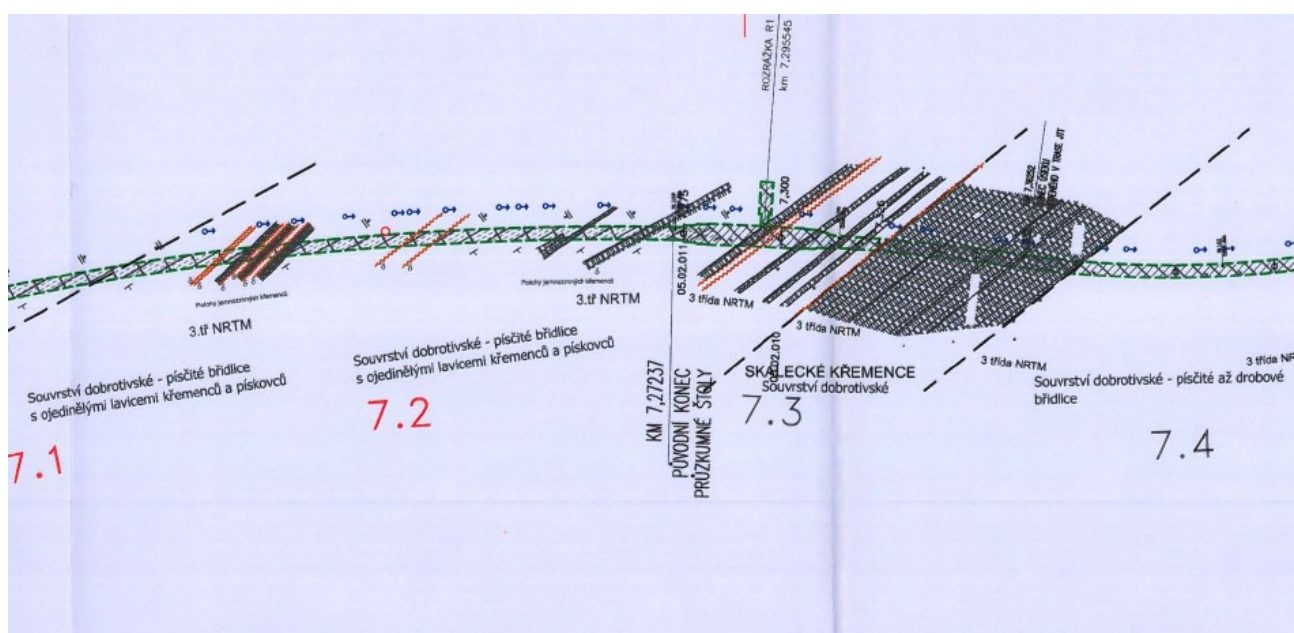
Vlastní průzkumná štola byla ražena vejčitým profilem o ploše výrubu 10,5 m². Každých 150 metrů byl profil zvětšen na 18,7 m² při délce úseku 38 m . Rozšířený profil byl zřízen v místě výhyben důlní drážky, štola byla jinak ražena jen pro jednu kolej.

Průzkumná štola byla ražena v období od září 2002 do srpna 2005. Vyraženo bylo celkem 1949 m štoly: Zatímco v trase budoucí JTT byla štola vyražena v celé délce až ke Šlechtově restauraci, v trase budoucí STT byla vyražena jen v očekávaných kritických úsecích – průchod STT pod Vltavou a od km 6,081 (budoucí průjezdná propojka tunelových trub) do km 5,820 (prostor za Šlechtovou restaurací směrem k Letné). V nejnižším místě trasy (pod Císařským ostrovem) byly vyraženy 2 chodby profilem 2x22 m, každá o celkovém prostoru 160m³, určené pro zachytávání podzemní vody přitékající do díla. V místě chodeb byla vyražena vertikální šachta pro čerpání podzemních vod a větrání (listopad – prosinec 2003). Po zkušenostech z tunelu Mrázovka byla štola umístěna v budoucí kalotě tunelů. Toto řešení se ukázalo výhodnější, než umístění štoly do budoucího dna tunelů.

Štola byla ražena novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM) za pomoci trhacích prací. Maximální délka kroku ražby byla 1 metr. Pro zajištění díla sloužilo primární ostění složené z 15 cm silné vrstvy stříkaného betonu a armování složeného ze dvou vrstev kari sítí a příhradových nosníků BRETEX. Ostění bylo doplněno použitím lepených kotev GEWI o délce 2,5 metru. V Důsledku zjištěných nepříznivých geologických podmínek při průchodu pod Vltavou, v oblasti rybníků ve Stromovce a před Šlechtovou restaurací bylo 306 metrů štoly vyraženo pod ochranou předvrtů ze sanační injektáže o délce 2,5 metru. Ani to však na zajištění stability km 6,110 nestačilo a muselo se v délce jedné výhybny (38 metrů) razit pod ochranou deštníku z jehel o profilu 25 mm a délkách 3 až 3,5 metru.

První metry štoly byly v písčitých břidlicích dobrotivského souvrství, ale ještě před portály štola, po 150 m ražby, zastihla štola pás skaleckých křemenců . Pás má v místě průchodu směr 225°-45°, tento směr budou s malými odchylkami mít všechny zastižená pásma skaleckých křemenců.

Na posledních 40 metrech štoly před vstupem do vlastních tunelů přechází štola zpět do dobrotivských břidlic, přičemž projde další 4 několikametrová pásma křemenců. Štola tak ještě před začátkem vlastního průzkumu pro ražené tunely upozornila na pestré geologické podmínky v úseku hloubených připortálových úseků. Stihla přitom navíc upozornit na tektonické porušení u pásma křemenců nejbližší k budoucím portálům.



Obr 3: Ukázka z důlní mapy průzkumné štoly v trase JTT v připortálovém úseku na trojské straně. (Březina B. a kol., 2006)

Souběžně s ražbou štoly probíhalo seismické měření, měřila se subsidence terénu vlivem ražby, prováděla se řada geofyzikálních měření. V oblasti portálů Trója byla navíc zřízena rozrážka pro měření smykových vlastností hornin in-situ.

Výsledkem bylo rozdělení trasy tunelů mezi Trójou a Šlechtovou restaurací na 11 kvazihomogenních celků pro Jižní a 12 pro Severní tunelovou troubu. Celky jsou číslovány od Trojského portálu (1) ke Šlechtově restauraci (11 celků pro JTT a 12 pro STT)

úsek	kilometráž	délka	Zastižené horniny + zatřídění dle ČSN 72 1001 (zrušená)
1	7,265 – 7,135	60 m	Písčité až drobové břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R3 ojedinele lavice jemnozrnných křemenců (Skalecká facie) třída R2
2	7,135 - 7,050	100 m	Písčité až drobové břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R3
3	7,050 – 6,850	200 m	Písčité až drobové břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R3
4	6,850 – 6,668	182 m	Písčité až drobové břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R3
5	6,668 – 6,583	85 m	Písčité až drobové břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R3
6	6,583 – 6,455	128 m	Písčité, písčitoprachovité i prachovité břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R3
7	6,455 – 6,142	313 m	Jílovitoprachovité a prachovité břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R4-R3
8	6,142 – 6,034	108 m	Prachovitojílovité břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R4
9	6,034 – 5,980	54 m	Jílovitoprachovité až prachovitojílovité břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R4
10	5,980 – 5,918	62 m	Jemnozrnné křemence řevnické (Libeňské souvrství) zdravé až navětralé, třída R2
11	5,918 – 5,840	78 m	Jílovitoprachovité břidlice (Libeňské souvrství) zdravé, třída R4 - R3

Tabulka 5: Vymezení kvazihomogenních celků v jižní tunelové troubě (JTT)

(Březina B. a kol., 2006)

úsek	kilometráž	délka	Zastižené horniny + zatřídění dle ČSN 72 1001 (zrušená)
1	7,269 – 7,180	89 m	Písčité až drobové břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R3 ojediněle lavice jemnozrnných křemenců (Skalecká facie) třída R2
2	7,180 - 7,010	170 m	Křemenné pískovce zdravé, třída R2 (Skalecká facie)
3	7,010 – 6,830	180 m	Křemenné pískovce zdravé, třída R2 (Skalecká facie) s vložkami písčitých břidlic, třída R3
4	6,830 – 6,745	85 m	Křemenné pískovce zdravé, třída R2 (Skalecká facie) od km 6,800 přechod do písčitých břidlic, třída R3
5	6,745 – 6,636	109 m	Písčité až drobové břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R3
6	6,636 – 6,558	128 m	Písčité až drobové břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R3
7	6,558 – 6,410	148 m	Písčité, písčitoprachovité až prachovité břidlice zdravé (Dobrotivské souvrství), třída R3
8	6,410 – 6,110	300 m	Jílovitoprachovité až prachovitojílovité břidlice zdravé (Dobrotivské souvrství), třída R3-R4
9	6,110 – 5,990	120 m	Prachovitojílovité břidlice (Dobrotivské souvrství) zdravé, třída R4 Skalní masiv tektonicky porušen, výskyt poruchových pásem o délkách 1 metr a více
10	5,990 – 5,942	52 m	Jílovitoprachovité až prachovitojílovité břidlice zdravé (Dobrotivské souvrství), třída R3-R4
11	5,942 – 5,880	62 m	Jemnozrnné křemence zdravé až navětralé, třída R2 (Libeňské souvrství, řevnické křemence)
12	5,880 – 5,820	60 m	Jílovitoprachovité břidlice zdravé, třída R3-R4 (Libeňské souvrství)

Tabulka 6: Vymezení kvazi homogenních celků v severní tunelové troubě (STT)

(Březina B. a kol., 2006)

Povšimněte si, prosím, že JTT neprochází žádným výraznějším pásmem skaleckých křemenců, přestože takové pásmo zastihla krátce před portály (viz obrázek č. 3) a vzhledem k jeho orientaci se očekávalo jeho opětovné zastižení kolem plavebního kanálu (km 6,5 – 6,4). Nestalo se tak, pásmo musí někde pod Vltavou vyznívat.

Výsledkem průzkumu byl velký objem dat, který dalece přesahuje rámec této práce. Geologické údaje a z nich plynoucí rizika uvádí samostatná příloha této práce (Textová příloha č. 2)

1. 7 Geotechnický monitoring staveb městského okruhu dle R. Morávka a J.

Šilhavého (2011)

Již v průběhu ražby průzkumné štoly bylo zřejmé, že se štola nestihne vyrazit v celé délce tunelu Královská obora. U chybějícího úseku bylo možné sáhnout po archivních datech (viz části 1.2 až 1.4). V závěrečném úseku tunelů Královská obora se však trasa tunelů odklání od Rudolfovy štoly k západu. Zprávu o průzkumu z Rudolfovy štoly nelze použít pro závěrečný úsek. V rámci podrobného průzkumu zde byla provedena pouze série geofyzikálních zkoušek, ale podrobnější údaje o geologii v závěrečné zprávě o průzkumu chybí. Území je zastavěno činžovní zástavbou z doby počátku 20. století bez větších pozdějších zásahů. Nejmladší stavba v tomto úseku je blok „elektrických domů“ v ulici Milady Horákové č. o. 72 – 96, zvaný též jak blok „Molochoch“ z roku 1938.

V rámci monitoringu byla provedena série pozorovacích vrtů pod Letnou a v trase Brusnických tunelů. Provedené vrty za účelem doplňkového průzkumu pro ražbu tunelů jsou jediným dostupným zdrojem geologických informací v oblasti tunelů Brusnice. Geologická data ze zprávy o podrobném průzkumu jsou ve vlastnictví hlavního města Prahy a nebylo umožněno jejich použití pro tuto diplomovou práci.

1. 8 Shrnutí inženýrskogelogických podmínek

A) tunel Brusnice

Zájmové území bylo původně návrším, později využito k obranným účelům. Reliéf terénu je silně ovlivněn člověkem.

Antropogen tvoří převážně přemístěné spraše (F3Y- F5Y) s častou příměsí stavebního odpadu z hradeb (opukové či cihlové zdivo), méně písek nebo jiný materiál. Mocnosti se pohybují kolem 3 – 4 metrů a maximální mocnosti dosahuje u východní zdi bastionu XIII (Benedikt), kde přesahuje 10 metrů.

Kvartér v celém zájmovém území nevystupuje na povrch. Dominantní složkou kvartéru jsou zde „sprašové hlíny“, zpravidla jde o okrově hnědý tuhý až pevný jíl (třída F4-F6 dle ČSN 73 1001). V místech původních svahů se dochovaly deluvia. Kolem ulice u Brusnice jde o rezavě hnědý písčité jíl třídy F4 tuhé konsistence. V oblasti bastionu XII tvoří deluvia písčité hlíny o nízké plasticitě (F3 až F5). Pod bastionem XIII byl zjištěn zásah dejvické terasy v podobě přelavení původních deluviálních hlín a příměsí štěrku. Mocnost kvartéru je v zájmovém území silně proměnlivá od 2 do 8 metrů.

Eluvium letenských břidlic tvoří materiál charakteru tuhého jílu. Zastihnut byl na velké většině trasy mimo oblast Hládkova, kde byl patrně v minulosti odtěžen, a dále na několika místech kde jsou indikace, že se zde původně nacházel svah (zejména kolem ulice U Brusnice).

Skalní podklad tvoří břidlice letenského souvrství s ojedinělým výskytem křemenců. Břidlice pod Brusnicí se vyznačují silnou proměnlivostí od jílovitých až po písčité břidlice, převažují břidlice prachovité. Skalní hornina je silně postižena zvětrávacími procesy, zdravá skalní hornina byla zastižena až v hloubkách 25 až 33 metrů pod terénem. Trasu tunelu lze rozdělit na dvě části – západní (do metráže 310 m od portálu Myslbekova) a východní (od metráže 310 m k MÚK Prašný most). Západní část je ražena v technicky zdravé či jen mírně zvětralé hornině, hornina samotná zde nepředstavuje významné riziko.

Od metráže 310 m dochází k rychlému zhoršení geologických podmínek. Vrt 50-15-010 na metráži 331 m byl provrtán do hloubky 28 metrů, přičemž prošel 14 metry velmi zvětralé břidlice třídy R5 a zdravou skalní horninu vůbec nezastihl. Východní úsek se proto musel razit ve navětralých až velmi zvětralých břidlicích a se snižujícím se nadložím tvořené skalní horninou. Posledních asi 50 metrů je u STT skalní nadloží minimální nebo žádné (razilo se v materiálu charakteru jílu – eluvium letenských břidlic), v případě JTT je situace o něco lepší a razilo se skalním nadloží o mocnosti do 2 metrů. Řez A zobrazuje problémovější severní tunelovou troubu.

Ve východním úseku byl dále zjištěn výskyt 3 poruchových pásem o mocnostech do 1,7 metru v přibližné metráži 440, 460 a 500 metrů od portálů Myslbekova.

V celém úseku nebyl zjištěn jediný vydatnější přítok podzemní vody. Pokud došlo k naražení podzemní vody, zanedlouho následovalo slábnutí jejího přítoku. Jedná se o následek velmi málo propustného kvartérního pokryvu tvořeného sprašovými hlínami a jíly.

CELKOVOU GEOLOGICKOU SITUACI UKAZUJE ŘEZ Č. 5 V PŘÍLOHOVÉ ČÁSTI PRÁCE

B) Letná

Jedná se o úsek tunelů Královská obora od MÚK Špejchar do km 5,840 STT / 5,820 JTT.

Kvartér a antropogen tvoří na letenské pláni vrstvu mocnou 8 – 9 metrů až ke svahu letenského návrší. Antropogen má na letenské pláni mocnost až 5 metrů, v zastavěném území se jeho mocnost pohybuje do 1 metru, většinou jde o přemístěné původně kvartérní šterkopísky. Kvartér na letenské pláni tvoří fluviální sedimenty Vltavy – šterkopísky až šterky s klasty do 10, ojediněle až do 15 cm. Vrstva kvartéru je narušena pouze železničním zářezem tratě č. 12, který je v místě křížení s tunely vyhlouben na skalní podklad.

Na letenském svahu je vzhledem k jeho relativní prudkosti mocnost kvartéru do 1 metru. Tvoří ho zde vrstva deluviálních hlín.

Zvětralinový plášť tvoří materiál charakteru tuhého jílu v podloží štěrků. Tvoří pod letenskou plání vrstvu mocnou do 1 metru, místy zcela chybí.

Skalní podklad tvoří dva horninové celky letenského souvrství – tzv „monotónní“ a „pestrá“ série hornin. Pestrá série představuje sled ostře ohraničených vrstev hornin letenského souvrství od rozhraní libeňské/letenské souvrství (u km 5,8) až ke km 5,5. Monotónní série tvoří břidlice s proměnlivým složením od jílovitých až po drobové, ale bez ostrého ohraničené a jen s ojedinělým výskytem křemenců. Pestrou sérii tvoří pásy břidlic, drob, a křemenců.

Horniny pod Letnou má proti stavu na Brusnici mnohem lepší technický stav. Navětralé horniny obvykle nepřesahují mocnost 4 metrů, pukliny a tektonické poruchy se vyskytují jen zcela ojediněle. Pokud už jsou zjištěny, mají směr buď souhlasný (spád k jihu), nebo přesně opačný (spád k severu). Přítoky podzemní vody jsou vázány na pukliny a jde o slabé přítoky s vydatností menší než 1 l/s.

CELKOVOU GEOLOGICKOU SITUACI UKAZUJE ŘEZ č. 4 V PŘÍLOHOVÉ ČÁSTI PRÁCE

C) Vltavské údolí

Jedná se o úsek tunelů Královská obora od M km 5,840 STT / 5,820 JTT k portálům Trója.

Antropogen se v trase tunelů vyskytuje jen ojediněle (okolí Šlechtovy restaurace, železniční či silniční násypy.)

Kvartér se zde skládá z několika vrstev zeminy roztríděných dle velikosti zrn. Svrchní vrstva kvartéru je tvořena organickou hlínou (humózní vrstva) kolem 30 cm mocnou. Pod ní se nachází kolem 2 metrů mocná vrstva povodňových sedimentů (organické hlíny a jíly střídané s písky). Bázy kvartéru tvoří vrstva ostrohranného štěrku s úlomky hornin. Velikost úlomků roste směrem dolů s největšími úlomky mající délku až 30 cm. Mocnost kvartéru je největší v oblasti rybníků a Šlechtovy restaurace (až 11 metrů, z toho štěrky až 7 metrů), směrem k Vltavě se postupně snižuje na 7 - 8 metrů. Vrstva štěrků vytváří vydatný aquifer pod celým vltavským údolím. Výška hladiny podzemní vody koresponduje s hladinou Vltavy.

Pouze v okolí svahu letenského kopce je situace odlišná, zde se vyskytují deluviální hlíny. V zájmovém území tvoří málo mocnou vrstvu na letenském svahu, nebo jsou překryty vrstvou antropogenního materiálu pod Šlechtovou restaurací.

Skalní podklad

V tomto úseku stavba prochází dvěma souvrstvími: souvrství dobrotivské (Dobrotiv) a libeňské (Beroun). Tunely zastihují rozhraní Dobrotiv/Beroun následovně: JTT v km 5,980 a STT v km 5,950.

Dobrotivské souvrství je v trase tunelů zastoupeno břidlicemi s pásmy křemenců (skalecké křemence). V trase tunelů je pozvolný přechod od písčitých břidlic na severu k jílovitým břidlicím na jihu. Skalecké křemence tunely zastihly jen na trojském břehu Vltavy. Zatímco JTT prošla jen několika pásmy křemenců o mocnostech v prvních metrech, STT zastihla v délce 280 metrů (km 7,180 – km 6,800) pásmo křemenných pískovců. Výskyt tektonických poruch je ojedinělý mimo nejjižnější úsek (od km 6,200 k rozhraní Dobrotiv/Beroun), kde se k četným tektonickým poruchám přidává rychle zvětrávající břidlice.

Libeňské souvrství je v dolní části Stromovky zastoupeno jílovitými břidlicemi a křemenci (řevnické křemence).

Řevnické křemence zastihují tunely v úseku dlouhém přibližně 80 metrů. Křemence jsou jemnozrnné, silně tektonicky porušené a mají vysokou puklinovou propustnost. Navzdory vysoké pevnosti v tlaku (třída R2 dle ČSN 73 1001) vytváří rizikové skalní prostředí pro ražbu.

Jílovité až jílovitoprachovité břidlice se vyskytují v jižní části úseku v libeňském souvrství. Technickými vlastnostmi jsou velmi podobné břidlicím dobrotivského souvrství.

Kapitola 2

**Inženýrskogeologická rizika vzniklá ražbou tunelů
Monitoring objektů ovlivněných ražbou**

2.1 Očekávané deformace a jejich měření

Měření deformací tunelové trouby je základním pilířem observační metody ražby tunelů. Dle výsledků měření deformace tunelové trouby se upravuje technologie ražby tunelů. Následující tabulka uvádí maximální a průměrné deformace průzkumné štoly pro jednotlivé kvazihomogenní celky:

č. typu	sedání		příčná deformace		w _{max} [mm]	typ horniny [-]	nadloží [m]
	max	průměr	max	průměr			
0	10,7	2,2	5,7	2,1	9,2	písčité břidlice	11,4-12,2
1	29,6	6,2	7,6	3,9	11,6	písčité břidlice	12,2-15,3
2	4,5	2,4	18,1	3,4	1,9	písčité břidlice	15,3-17,3
3	10,0	3,7	18,1	2,3	5,5	písčité břidlice	17,3-20
4	9,2	2,0	6,1	1,9	10	písčité břidlice	20-22
5	4,7	1,6	4,4	2,1	4,4	písčité břidlice	22-22,3
6	3,4	1,5	3,6	1,4	3,4	písčitoprachovité břidlice	22,3-20,5
7	3,8	1,3	7,8	1,6	6,9	jílovitoprachovité břidlice	20,5-17,1
8	2,8	1,2	12,9	4,0	12,6	jílovitoprachovité břidlice	17,1-15,9
9	3,4	1,0	6,4	3,6	18,2	jílovitoprachovité břidlice	15,9-14,6
10	4,2	1,5	5,9	3,1	11,6	jemnozrné křemence	14,6-16,1
11	6,0	1,8	7,8	3,8	21,7	jílovitoprachovité břidlice	16,1-23

Tabulka 7: Maximální a průměrné hodnoty deformací v průzkumné štole ražené v trase JTT (Březina B. a kol, 2006)

č. typu	sedání		příčná deformace		w _{max} [mm]	typ horniny [-]	nadloží [m]
	max	průměr	max	průměr			
9	4,1	1,8	4,1	2,5	12,6	jílovitoprachovité břidlice	17,1-15,9
10	2,7	1,3	5,1	2,9	18,2	jílovitoprachovité břidlice	15,9-14,6
11	2,2	1,2	4,6	2,7	11,6	jemnozrné křemence	14,6-16,1
12	4,8	1,4	6,6	3,3	21,7	jílovitoprachovité břidlice	16,1-23

Tabulka 8: Maximální a průměrné hodnoty deformací v průzkumné štole ražené v trase STT (Březina B. a kol, 2006)

Maximální hodnota deformace ve svislém směru byla změřena v km 7,180 (30 mm), a vodorovném směru v km 7,100 (18 mm). Průměrná hodnota sedání kaloty byla menší než 5 mm, v příčném posunu byla průměrná deformace štoly do 3 mm.

S ohledem na horninové prostředí úseku v letenském souvrství nejsou předpokládány výraznější deformace díla. S ohledem na velikost díla v horním úseku (třípruhové tunely, strojovna vzduchotechniky) je nutné přísné dodržování technologické kázně, už jen s ohledem na zástavbu v nadloží.

Předpokládané sednutí terénu při ražbě tunelů Královská obora:

příportálový úsek s nízkým nadložím v písčitéch břidlicích	50 – 60 mm
písčité břidlice k Vltavě	15 – 30 mm
písčité břidlice v prostoru Trojského ostrova	15 – 25 mm
jílovitoprachovité břidlice pod Stromovkou kolem železniční tratě	10 – 20 mm
jílovitoprachovité břidlice v oblasti rybníků dolní Stromovky	50 – 70 mm
řevnické křemence	30 – 40 mm
letenské souvrství	do 50 mm

2. 2 Objekt Na Výšinách 3/1075 jako vzorový sledovaný objekt v nadloží tunelu

Provádění ražby štol/tunelů či kaveren vždy provází změny napjatosti skalního masívu. Projevem této změny napjatosti je pokles terénu v nadloží. Míra sednutí terénu se odvíjí od velikosti výrubu, moci nadloží, horniny, jejího technického stavu a metody ražby. Nejmenší sednutí provází ražba metodou TBM (Tunnel Boring Machine – ražba pomocí razícího stroje), kdy razící stroj okamžitě po ražbě umísťuje definitivní výstroj.

Na Blance však TBM použit nebyl a při ražbě NRTM je míra sednutí terénu značná – při ploše výrubu 198 m² se předpokládalo sedání terénu až 50 mm (viz předchozí část). Nejkritičtější místo je nedaleko křižovatky ulic Na výšinách / U Sparty, kde v km 5,198 STT, pod objektem Na Výšinách č. 3/1075, ústí propojka z JTT do STT (průchozí) a hned následně je do STT zaústěn technologický tunel vzduchotechniky (schéma viz obr. 4).

S ohledem na nepříliš vhodnou horninu v podzemí (prachovitá břidlice) se očekávalo sedání terénu až 50 mm, u objektů se předpokládalo sednutí do 20 mm.

Největší riziko pro nadzemní objekty není samotné sednutí objektu jako spíše jeho nerovnoměrné sedání. Není-li sedání objektu rovnoměrné, dochází ke vzniku prasklin ve střední části objektu, nebo v místech kontaktu částí stavby s nestejnou hloubkou založení. Toto způsobuje problémy zejména stavbám na okraji poklesové kotliny, kdy část objektu má náklon směrem k tunelu, zatímco zbytek stavby zůstává stabilní.

Objekt Na Výšinách 3/1075 byl záměrně vybrán pro svou pozici vůči tunelu. Jak je patrné na obrázku č. 4, leží východní část objektu přímo nad křížením tunelů, zatímco západní část leží mimo tunely.



Obr 4: Rozmístění ražených děl pod objekty v ulicích Milady Horákové/Na Výšinách. Červeně vyplněný objekt je sledovaný objekt 3/1075. Červeně orámované objekty byly ovlivněny ražbou, modře orámované objekty byly ovlivněny částečně a žlutě orámované objekty byly sledovány bez zjištěných deformací. (Zdroj: Satra s.r.o.)

Popis sledovaného objektu

Projektant: Pražský projektový ústav, Ing.Arch. Vladimír Pýcha

Projekt vyhotoven: 1977

Realizace stavby: 1978

Stavební úpravy: 1994 (zasklení atria, stavba 3. NP u budovy B2 a několik menších úprav)

autor Ing. Arch. Vlado Milunič

Poslední větší oprava objektu: srpen 2007

Jedná se o objekt tvořený dvěma budovami vzájemně propojenými schodišti a střechou kryjící atrium.

Jižní budova (B1) je třípodlažní objekt (1. NP, 2. NP, 3. NP) a slouží jako učební část. Severní budova (B2) je čtyřpodlažní objekt (1. PP, 1. NP, 2. NP, 3. NP + střecha) a slouží jako hospodářský objekt.

Obě budovy stojí na společném základu (betonová základová deska), hloubka založení objektu je v celé ploše stejná.

Učební část (B1)

Jedná se o stavbu z příčného cihlového zdiva. Stropy jsou z prefabrikovaných železobetonových panelů.

Střecha je plochá, jako střešní krytina jsou použity asfaltové pásy.

Budova má vnější plášť krytý hladkou štukovou omítkou s částečným keramickým obkladem.

Hospodářská část (B2)

Jedná se o stavbu z příčného cihlového zdiva. Stropy 1. PP, 1. a 2. NP jsou z prefabrikovaných železobetonových panelů. Strop 3. NP je z ocelových válcovaných I profilů a stropních cihelných desek Hurdis. Střecha je plochá, jako střešní krytina jsou použity asfaltové pásy mimo část střechy nad 3. NP (pozdější dostavba), kde je použita sedlová střecha s dřevěným krovem. Jako krytina jsou použity bitumenové šindele.

Budova má vnější plášť krytý hladkou štukovou omítkou s částečným keramickým obkladem.

Atrium

V atriu se nachází 3 schodiště, všechny jsou dvouramenná s mezipodestami a vyloženými podestami, se stupni uloženými na středních ocelových schodnicích. Stupně jsou železobetonové montované s teracovým povrchem. Svislé konstrukce kryjící atrium ze stran jsou z ocelových stojek se zasklením z PVC profilů.

Střecha je dvoupultová se středním odvodňovacím žlabem, krytina je z polykarbonátových komůrkových desek. Nosná konstrukce je z ocelových svařovaných budov s ukotvením v nosném zdivu obou objektů.

Objekt trafostanice TS 5722

Jedná se o jednoduchou zděnou budovu s pultovou střechou krytou bitumenovou krytinou. Objekt se nachází přímo nad jižní tunelovou troubou

Oplocení a zahrada

Pozemky jsou od ulice U Sparty a částečně i od ulice Na Výšinách odděleny zdí z betonových cihel o tloušťce 0,3 m a výškou 3 metry. Ostatní strany pozemků jsou oploceny pomocí ocelové mřížoviny na podezdívkách. Na zahradě je dále několik stavebních prvků (socha, skluzavky, amfiteátr a pískoviště).

Prvotní dokumentace stavu objektu proběhla již v průběhu února 2002 firmou Satra s.r.o.

První repasport byl proveden dne 24. 10. 2007 s následujícím výsledkem:

„Nebyly zjištěny žádné závady negativně ovlivňující konstrukci budov. Nosné konstrukce nebyly stavebními změnami výrazněji dotčeny.

Na zahradě u vjezdů jsou popraskané betonové dlaždice.

V suterénu ve sklepních prostorech místy stopy zvýšené vlhkosti zdiva.

Ve všech podlažích místy prokreslené spáry mezi stropními panely, na stropě několik stop po havarijních zátecích.

Z polykarbonátového zastřešení se místy uvolňují těsnící profily. Ocelové nosníky pod tímto zastřešením jeví na několika místech známky lehké koroze.

Fasádní omítky na několika místech odpadlé, místy sítě prasklin na velkých plochách. V nadzemních podlažích nečetné trhliny v nedostatečně založených příčkách nebo neopravovaná poškození vzniklá při údržbářských pracích.“

(Zpráva o repasportu objektu ze dne 24. 10. 2007)

Před zahájením ražby byl každý roh objektu osazen odrazkami pro měření jejich přesné pozice pomocí totální automatické stanice. Cílem měření bylo měřit celkový pohyb budovy a dohlédnout na její rovnoměrné sednutí. V případě nerovnoměrného sednutí by se muselo přistoupit ke kompenzační injektáži. Několik málo zjištěných prasklin bylo osazeno deformetry pro měření rozevírání.

Ražba pod objektem probíhala v období říjen 2009 – červenec 2010, k prvním projevům ražby došlo 7. 10. 2009 ražbou kaloty v km 5,261, posledním dnem ražby pod objektem byl 29. červenec 2010, kdy byla ukončena ražba technologické propojky obou tunelových trub.

Vliv ražby	Předpoklad	Skutečnost
Doba ražby:	9 měsíců	10 měsíců
Sednutí objektu:	15 – 20 mm	B1: -3,6 až -11,8 mm, B2: -2 až -8,4 mm
Nerovnoměrnost poklesů sednutí:	1 ku 1000	1 ku 2615
Max seizmická odezva konstrukce:	15 mm/s	6,4 mm/s
Max rozšíření stávajících trhlin:	Do 1 mm	0,2 mm

Tabulka 9: porovnání předpokládaných a skutečných hodnot parametrů vzniklých při ražbě pod objektem Na Výšinách 3/1075.

V průběhu října 2009 se objevily první známky pohybu stavby. V přízemní části budovy B1 začalo docházet k rozevírání spár podlahy z PVC. Rozevírání spár bylo viditelné v JV rohu budovy B1 a v menší míře i v SZ rohu budovy B02. V případě budovy B1 se jednalo o viditelné rozjíždění podlahy s mezerami mezi PVC deskami od 1 mm až do 10 mm. U budovy B2 šlo o popraskanou betonovou podlahu s prasklinami do šíře 0,3 mm. Postupně se v celém přízemí objektu B1 objevovaly trhliny v podlaze s jednotnou orientací Z-V (souběžně s objektem) o rozevření do 0,2 mm.

Nejzajímavější viditelné poruchy vznikly na SV rohu budovy B2, kde je k původní budově přistavěna přízemní část. Zde se objevily praskliny v horní části o šířce do 3 mm ukazující na ohyb objektu. Další poruchy vznikly ve všech místech ukotvení stropních překladů do nosných zdí. Zde došlo ke vzniku horizontálně orientovaných trhlin o rozevření do 2 mm v celé délce budovy B2. Na budově B1 k podobným poruchám nedošlo.

Výsledky sledování byly velmi dobré, hodnoty sednutí i náklonu objektů byly nižší než předpokládané a nedošlo k žádnému citelnějšímu poškození objektu. Východní strana objektu poklesla o 11,8 mm (nejvíce v místech nad TP obou TT), v místě kde východní stěnu podchází STT došlo k poklesu jen o 6,6 mm a severozápadní roh budovy B2 poklesl jen o 2 mm.

17 zjištěných prasklin na objektech bylo osazeno páskovými deformetry. Po ukončení ražeb byla zjištěna změna jejich rozevření od -0,2 do +0,3 mm. Některé trhliny měly tendenci se svírat, zatímco jiné se rozevíraly.

Obr 5 dole : Letecký snímek na areál Mateřské školy Na Výšinách 3/1075 s vyznačenou pozicí učební budovy (B1), hospodářské budovy (B2) a trafostanice TS 5722 (Mapy.cz)





**Obr 6 : Pohled na objekt Na Výšinách 3/1075 na východní část budovy B1 vlevo a B2 vpravo.
Opadnutí omítky na budově B2 nesouvisí s ražbou tunelů. (stav léto 2008, archiv MŠ Na Výšinách)**



**Obr 7 : Pohled na objekt Na Výšinách 3/1075 na západní část budovy B2 a atrium
(stav léto 2008, archiv MŠ Na Výšinách)**



Obr 8 : Archivní snímek poškozené podlahy v místnosti lehárny/herny v JV rohu budovy B1 v důsledku nerovnoměrného sedání objektu (archiv MŠ Na Výšinách).

Závěrečný repasport ze dne 30. 8. 2010 už další nové poškození objektu neodhalil. Objekt 3/1075 přečkal rážbu v podstatě bez viditelnějšího poškození.

Kapitola 3

Numerické hodnocení inženýrskogeologického rizika

3. 1 Metodika hodnocení inženýrskogeologického rizika ražby

Pro popis míry rizika při ražbě v jednotlivých úsecích je nejvhodnější použít některou z indexových klasifikací. Při průzkumu se pracovalo se dvěma klasifikacemi vzájemně přepočitatelnými – QTS (Quality Testing System) dle Tesaře (1990) a Rock Mass Rating (RMR) dle Bieniawského (1989). Klasifikace RMR je určena pro globální použití, klasifikace QTS je regionální specializovaná na pražské geologické podmínky.

Rock Mass Rating (RMR) dle Bieniawského (1976, v roce 1989 modifikována) je klasifikace určena pro globální použití. Hodnotí se zde 6 parametrů horninového prostředí:

- A) Pevnost horniny v prostém tlaku
- B) Parametr Rock Quality Desintegration (RQD)
(podíl úlomků jádra o délce nad 10 cm vs celková délka jádra)
- C) Rozteč diskontinuit
- D) Drsnost diskontinuit
- E) Podzemní voda
- F) Orientace diskontinuit

každý parametr je hodnocen v určité bodové škále

Výsledná hodnota se vypočítá následovně: $RMR=A+B+C+D+E-F$

Standardní rozpětí hodnot RMR je 0 až 100. RMR=0 představuje pro ražbu zcela nevhodné geologické prostředí, RMR=100 představuje prostředí zcela bez rizika pro ražbu tunelu o průměru 10 metrů při kroku 3 metry a to bez nutnosti zajištění výrubu. Klasifikace udává jak maximální doporučenou délku kroku při ražbě, tak i doporučuje jaká opatření provádět pro zajištění výrubu.

Příklad na JTT v úseku č. 1:

-Pevnost v prostém tlaku se zde pohybuje od 12 až do 35 MPa. Pro pevnost do 25 MPa se udělují 2 body, za pevnost nad 25 MPa 4 body.

-Výnos jádra s úlomky délky nad 10 cm se pohybuje nad 90% celkové délky jádra – 20 bodů, nad 75% celkové délky jádra – 17 bodů

-Rozteč diskontinuit se pohybuje od 3 do 10 cm. Za rozteč diskontinuit nad 6 cm se uděluje 8 bodů, pro rozteč nižší než 6 cm se uděluje 5 bodů.

-Diskontinuity jsou průběžné (žádný bod), uzavřené (5 bodů), hladké (1 bod), bez výplně (5 bodů), nezvětralé až navětralé (5 bodů).

-Podzemní voda: Přítoky vody v rozsahu 0,X až X l/s na metr délky tunelu, voda vytéká pod malým tlakem. Generelně vlhké podmínky → 10 bodů. Ojediněle podmínky mokré s vyššími přítoky v křemencích → 7 bodů.

-Hlavní systém diskontinuit míří z čelby do tunelu se sklonem 40-60° → Nepříznivá orientace, redukce o 10 bodů.

RMR = 4 + 20 + 8 + 16 + 10 – 10 = 48 bodů pro nejlepší podmínky ražby, minimum je 41 bodů.

Dle hodnot RMR se horninové prostředí dělí na 5 tříd. Každá třída má nejen doporučenou délku kroku ražby, ale také návrh zajišťovacích opatření:

Třída RMR	Délka kroku ražby	Použití svorníků o průměru 20 mm	Použití stříkaného betonu	Použití žebrování
I-Velmi dobrá hornina RMR 100 - 81	3 m při plném profilu	Není vyžadováno	Není vyžadováno	Není vyžadováno
II – dobrá hornina RMR 80 - 61	1 – 1,5 m při plném profilu Primární ostění musí být zřízeno 20 a méně metrů od čelby	Místně o délkách 3 metry v rozestupech 2,5 metru	50 mm silná vrstva na klenbě je-li potřeba	Není vyžadováno
III – středně kvalitní hornina RMR 60 - 41	1,5 – 3 m při horizontálním členění výrubu Provizorní zajištění výrubu nutno zřídit hned za čelbou, primární ostění musí být zřízeno 10 a méně metrů od čelby	Sít svorníků o délkách 4 metry v rozestupech 1 až 1,5 metru v klenbě a bocích. Použití kari sítí v klenbě	50-100 mm silná vrstva na klenbě a 30 mm na bocích	Není vyžadováno
IV – nekvalitní hornina RMR 40 - 21	1 – 1,5 m při horizontálním členění výrubu Provizorní zajištění výrubu nutno zřídit hned za čelbou, primární ostění musí být zřízeno 10 a méně metrů od čelby	Sít svorníků o délkách 4-5 metrů v rozestupech 1 až 1,5 metru v klenbě a bocích. Použití kari sítí v klenbě i bocích	100-150 mm silná vrstva na klenbě a 100 mm na bocích	Slabá nebo střední žebra v rozestupech 1,5 m je-li potřeba
V – velmi nekvalitní hornina RMR 20 - 0	0,5 – 1,5 m při vertikálním členění výrubu. Provizorní zajištění výrubu nutno zřídit hned za čelbou, stříkaný beton nutno použít co nejdříve po odstřelu	Sít svorníků o délkách 5-6 metrů v rozestupech 1 až 1,5 metru v klenbě a bocích. Použití kari sítí v klenbě i bocích	150-200 mm silná vrstva na klenbě, 150 mm na bocích a 50 mm na čelbě	Středně silná až silná žebra v rozestupech 0,75 m.

Tabulka 10: Doporučená opatření a postupy ražby dle dosaženého bodového hodnocení RMR (Bieniawski Z. T., 1989) – překlad autor práce

V 1. úseku JTT je RMR mezi 48 a 41 body, to odpovídá 3. třídě RMR. Tabulkové doporučení je tak krok 1,5 – 3 metry při použití sítě svorníků a ostění ze stříkaného betonu.

V úvahu se ale musí vzít skutečnost, že v místě ražby se mocnost skalního nadloží pohybuje od 4 do 8 metrů při mocnosti kvartéru 5 metrů a více. Vztah mocnosti kvartéru a skalní horniny v nadloží RMR ani většina dalších klasifikací neřeší. Tuto skutečnost musíme zohlednit použitím doplňujících opatření dle místních možností (mikropilotový deštník z tunelu, případně injekční clona z povrchu).

Mimo RMR se při průzkumu pro tunel Blanka použila klasifikace **QTS (Quality Testing System)**. Tato klasifikace vznikla v Praze na základě zkušeností při ražbě metra linek C a A. Tato klasifikace je tak „ušíťá na míru“ i obou raženým úsekům tunelu Blanka. Stupnice má škálu od 30 bodů (zcela nevhodné prostředí) do 110 bodů (extrémně dobré prostředí). QTS lze použít i při minimu informací o hornině a postupně upřesňovat. Tuto klasifikaci lze navíc přímo využít při ražbě metodou NRTM, což je případ právě Blanky.

Klasifikace QTS se určí dle vzorce: $QTS = TS - \sum(\alpha + \beta + \gamma + \delta)$

kde $TS = A + B + C = 10 \log \sigma_d + 26,2 \log d + 6,2 \log D + 61,4$

A – pevnost úlomků horniny v prostém tlaku σ_d (MPa)

B – průměrná rozteč diskontinuit (m)

C – hloubka zkoumané horniny pod bází pokryvných útvarů D (m)

α – Použije se při sklonech hlavních ploch diskontinuit mezi 30° a 80°, jestliže jsou ukloněny proti směru ražení nebo rovnoběžné s osou tunelu o sklonu 30° – 90° při úhlu vnitřního tření $\varphi > 25^\circ$ anebo při $\varphi < 25^\circ$ jakéhokoliv směru a sklonu

β – Použije se při: Nepříznivé orientaci diskontinuit, jsou-li diskontinuity hladké, rovné či vyplněné jílem

γ – Vytéká-li volně podzemní voda do díla

δ - Vytéká-li podzemní voda do díla pod hydrostatickým tlakem

Redukce může v krajně nepříznivých podmínkách dosáhnout až 30 bodů.

Hodnoty α , β , γ a δ jsou tabelované dle Tesaře (1990) – viz tabulka č. 11. Hodnoty parametrů A, B a C ve vybraném úseku od portálů Trója ke Šlechtově restauraci jsou uvedeny v textové příloze č. 2 této práce.

Provedeme si ověření opět na 1. kvazihomogenním celku JTT:

Pevnost v prostém tlaku: minimální 12 MPa, maximální 35 MPa a více → $TS_{A \min} = 7$ bodů

$TS_{A \max} = 12$ bodů

Rozteč diskontinuit: minimální 0,1 m, maximální 0,3 m

$TS_{B \min} = 26$ bodů , $TS_{B \max} = 39$ bodů

Mocnost pokryvných útvarů se pohybuje kolem 5 metrů

$TS_C = 17$ bodů

Po dosazení do vzorce pro výpočet Technických a Strukturních znaků (TS) dostáváme hodnoty 50 bodů pro minimální a 69 bodů při použití pevnosti v prostém tlaku = 35 MPa jako maximální hodnotu. Stejně hodnoty jsou uvedeny ve zprávě o průzkumu (viz textová příloha 2) jako hodnoty QTS pro daný úsek.

Protože ale $QTS=TS$ platí jen ve zcela ideálních podmínkách, je uvedená hodnota QTS ve zprávě o podrobném průzkumu (Březina a kol., 2006) nesprávně uvedená jako hodnota QTS, protože skutečná hodnota parametr QTS je nižší než uvedená → výrazné podhodnocení rizika ražby. Zde jsou podmínky vzdálené od ideálních (hladké a průběžné diskontinuity, nepříznivá orientace diskontinuit vůči ražbě, přítoky podzemní vody). Odpovídající hodnota QTS by měla být výrazně nižší.

Na 1. kvazihomogenním celku se musí provést odečet bodů podle příslušné hodnoty TS o odpovídající hodnotu redukce α (nepříznivá orientace diskontinuit), β (hladké průběžné diskontinuity) a γ (nesoustředěné přítoky podzemní vody):

$QTS_{\min} : TS = 50 \rightarrow \alpha=3,5 \quad \beta=5 \quad \gamma=2,5$

$QTS_{\min} = 50 - (3,5 + 5 + 2,5) = 40$ bodů

$QTS_{\max} : TS = 70 \rightarrow \alpha=6,5 \quad \beta=10 \quad \gamma=2$

$QTS_{\max} = 70 - (6,5 + 10 + 2) = 51,5$ bodu

Tesař (1990) uvádí následující vzorce na přepočtení mezi RMR a QTS:

$$RMR = 1,13 * QTS - 26,55$$

$$QTS = (RMR + 26,55) / 1,13$$

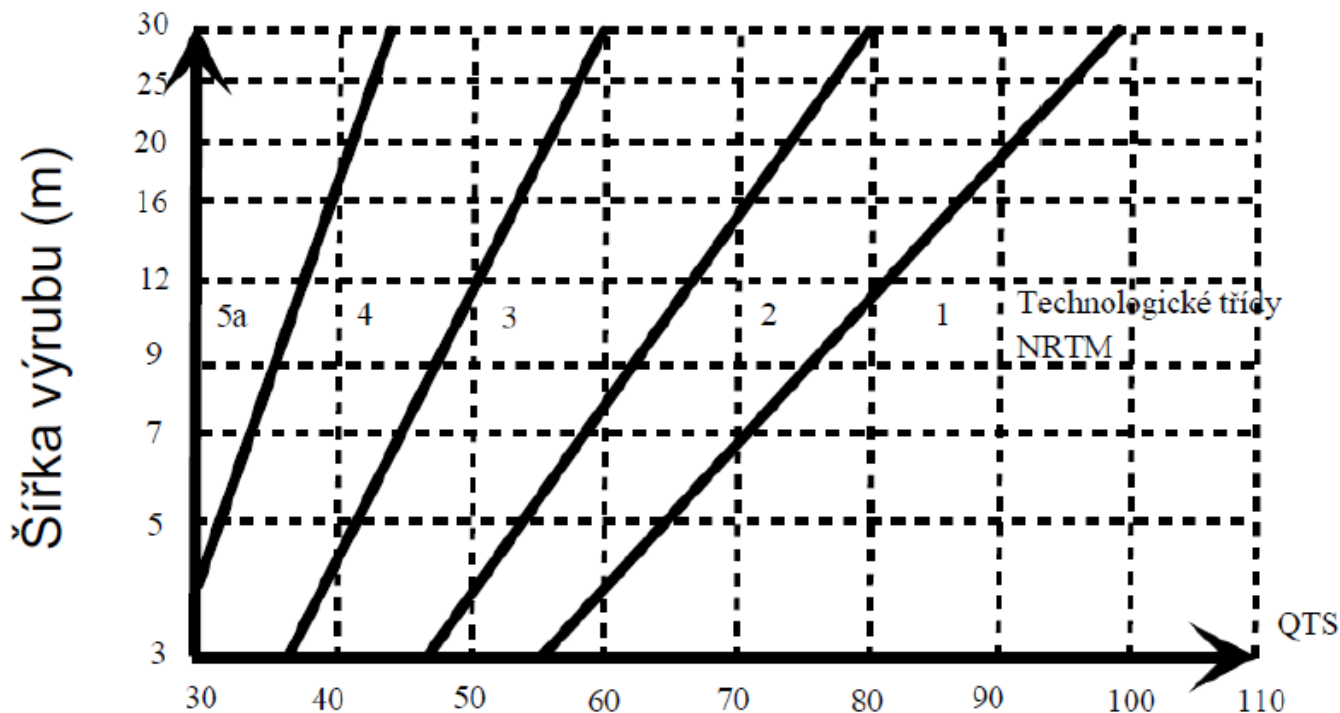
Pro provedení přepočtu vychází $QTS_{\min} = 61$ bodů a $QTS_{\max} = 66$ bodů

V 1. kvazihomogenním celku se QTS vykazují horninové prostředí jako výrazně rizikovější proti klasifikaci RMR.

Počet bodů TS	Hodnoty redukcí při použití parametru			
	α	β	γ	δ
>30	0	0	4	12
30	0	0	3,5	10,5
35	1	1,5	3	10
40	1,2	2,5	3	9,5
45	2,5	3,5	3	8
50	3,5	5	2,5	8
55	4	6	2,5	7,5
60	5	7,5	2	7
65	6	9	2	6
70	6,5	10	2	5,5
75	7,5	11	1,5	5
80	8,5	12,5	1,5	4
85	9	14	1	3,5
90	10	15	1	3
95	11	16	1	2,5
100	11,5	17,5	0,5	2

Tabulka 11: Hodnoty redukčních parametrů v závislosti na hodnotě texturních a strukturních znaků (Tesař O., 1990)

Technologické třídy NRTM dle QTS (používáno nyní)



Obr 9: Graf vztahu mezi QTS a technologickými třídami NRTM v závislosti na šířce výrubu. (Tesař O., 1990)

V 1. kvazihomenném celku je šířka tunelové trouby 12 metrů. Při rozsahu QTS mezi 50 a 70 body by úsek spadl do 3. třídy NRTM. Ve skutečnosti úsek spadl do 4. třídy NRTM a připortálový úsek se razil podle třídy 5a. QTS vypočítané při podrobném průzkumu pro tunely Královská obora nelze použít pro určení technologické třídy NRTM bez provedení redukce. Při porovnání teoretické a skutečně použité třídy NRTM vychází přibližně 15 - 20 bodů redukce hodnoty QTS proti výsledku TS. Dalším problémem QTS jsou poruchová pásma. RMR tento problém řeší přímo jako místa s RQD=0, zatímco QTS je musí řešit jako místo s velmi vysokou hustotou diskontinuit.

Autor práce výpočtem ověřil nesprávně uváděnou hodnotu klasifikace QTS ve zprávě o podrobném průzkumu (použita hodnoty TS – technické a strukturální znaky místo hodnocení QTS, nebyl proveden odečet redukčních parametrů).

Vzhledem k orientaci diskontinuit v úseku s provedeným podrobným průzkumem se nedoporučuje používat přepočet hodnocení pro příznivou orientaci diskontinuit.

Součástí této práce je grafický výstup ukazující průběh klasifikací RMR na tunelu Královská obora jako
Obrazová příloha č. 7. Klasifikace QTS podhodnocuje riziko tektonicky porušených úseků a vykazuje je jako bezpečnější, než ve skutečnosti jsou. Na tunelu Brusnice s ohledem na ražbu v materiálu charakteru zemin nelze provést hodnocení pomocí klasifikace určené pro skalní horniny.

Kapitola 4

Problémy při ražbě

Projevy inženýrskogeologického rizika

4. 1 Problémy v průběhu průzkumné ražby

Už v průběhu ražby průzkumné štoly docházelo k problémům. Jednak se při ražbě musela čerpat podzemní voda v objemech desítek l/s, dále se při ražbě pod Stromovkou začaly objevovat nadvýlomy. V průběhu ražby průzkumné štoly došlo k následujícím větším nadvýlomům:

JTT:

km 6,240 nadvýlom 1,0m

km 6,165 nadvýlom 1,4m

km 6,130 nadvýlom 1,4m

km 6,124 nadvýlom 3x2,2x2m

km 6,045 nadvýlom 1,5m

km 5,980 nadvýlom 1,2m

km 5,960 nadvýlom 1,0m

STT :

km 6,045 nadvýlom 1,0m

km 6,032 nadvýlom 1,8m

km 5,990 nadvýlom 1,8m

Mimo nehodu v km 6,124 JTT uvedené nadvýlomy neznamenal vážnější problém při ražbě.

Diskontinuita, která měla vliv na nehodu v km 6,124 JTT, měla vliv na ještě vážnější nehodu v STT.

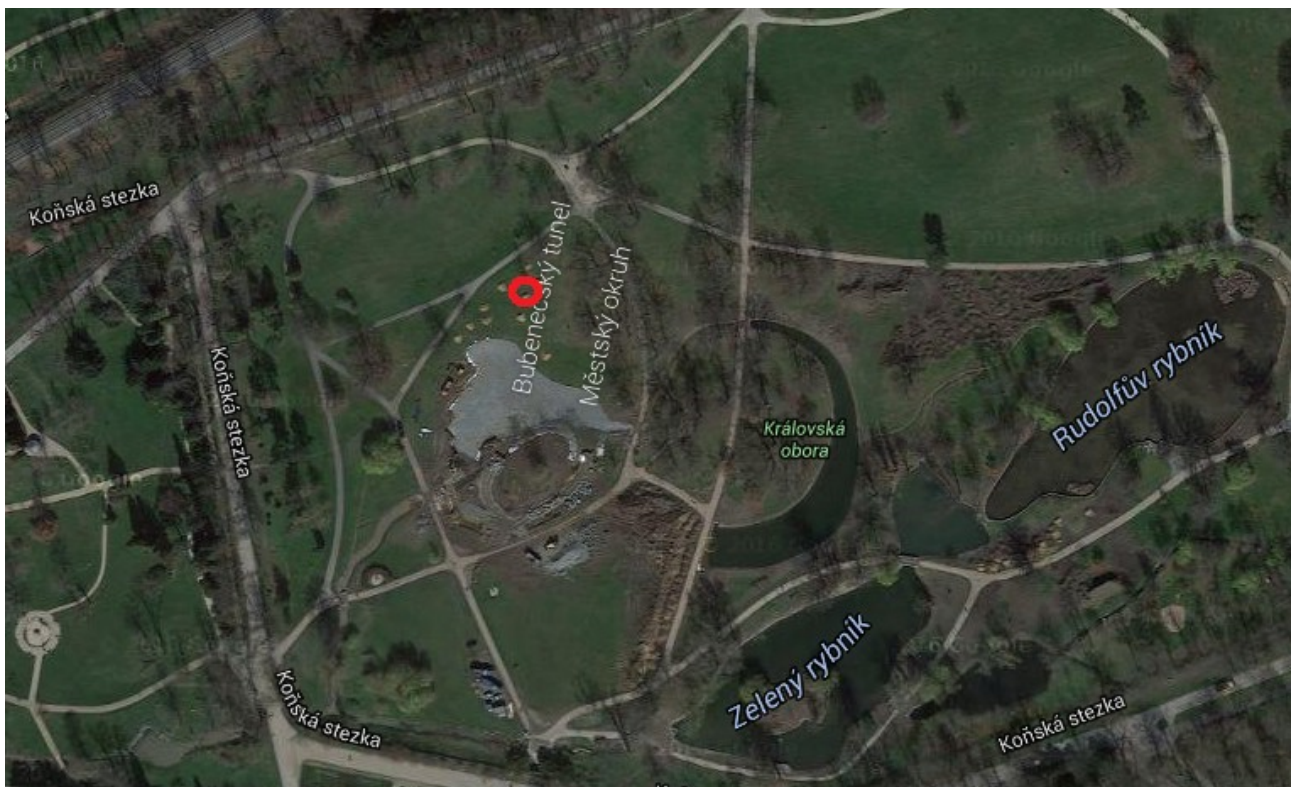
4. 2 Událost ze dne 20. 5. 2008

V předchozím textu byla zmíněna problematičnost úseku od km 6,150 do km 5,85 u obou tunelových troub. Množství tektonických poruch v tomto úseku nejen zpomalilo a zkomplikovalo průběh ražby (technologická třída NRTM je zde na většině úseků číslo 4 a jsou tu úseky zařazené do tříd 5a). 9 z 10 výše zmíněných nadvýlomů se stalo právě v krátkém úseku od km 5,950 do km 6,150.

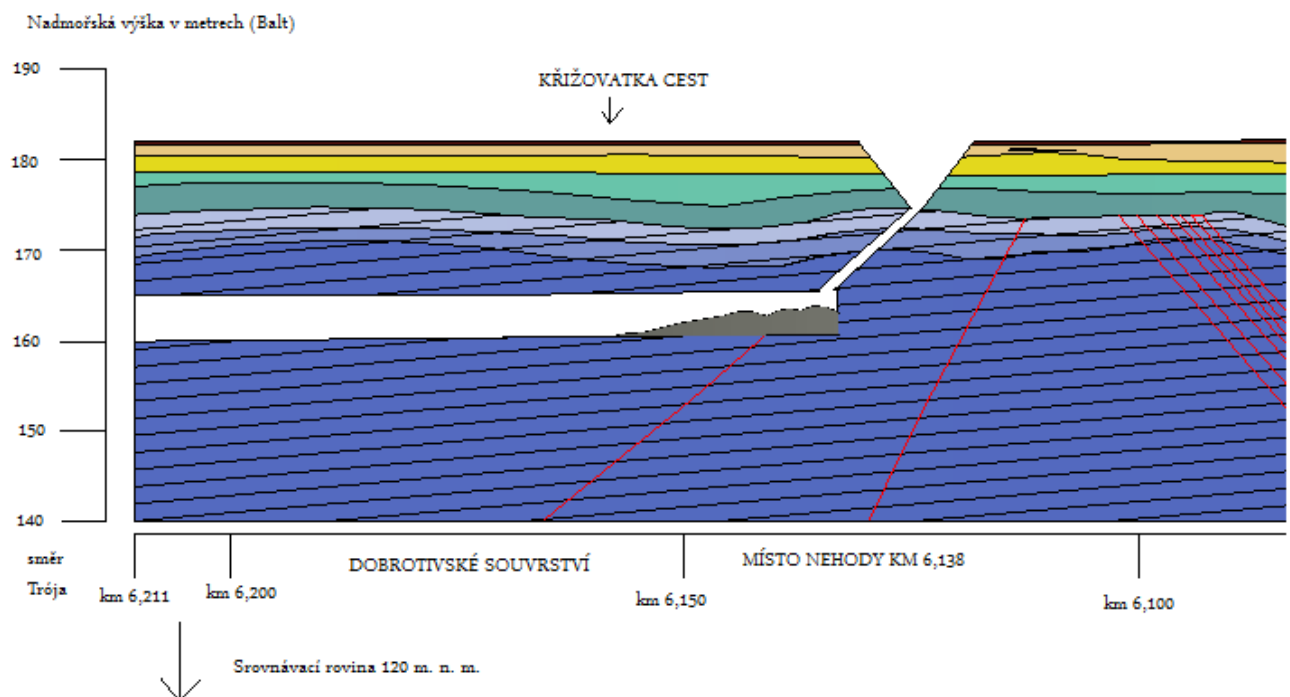
Při ražbě kaloty vlastního tunelu se situace opakovala a po dosažení km 6,150 se výskyt nadvýlomů výrazně zvýšil. Metrostav byl proto nucen provést zkrácení kroku ražby z 1,5 metru na 1 metr. Až do 19. 5. 2008 se dařilo pokračovat v ražbě bez většího zdržení.

„V ranních hodinách dne 20.5 došlo k uvolnění bloku horniny o délce strany nad 2 metry ze stropu kaloty v km 6,138 následnému poškození primárního ostění. Po vypadnutí bloku následovalo rychlé progresivní šíření nadvýlomu do nadložních vrstev. V okamžiku vniknutí kvartérních sedimentů do tunelu byla již jakákoliv záchrana díla marná. Celkem asi 1400 m³ kvartérních sedimentů zavalilo prostor kaloty . Současně začala vnikat do díla voda z kvartérních vrstev o průtoku až 70 litrů za sekundu. Sesuv zavalil kalotu do vzdálenosti 40 metrů od místa nehody.“ (vyprávění přímých účastníků havárie)

Nehoda jen díky velmi brzké ranní hodině neskončila újmou někoho z četných návštěvníků parku Stromovka. Samotná čelba byla po vypadnutí bloku evakuovaná a ke zranění osob nedošlo. Na povrchu vznikl v těsném sousedství asfaltové cesty kráter o průměru 17 metrů a hloubce 20 metrů.



Obr 10: Letecký snímek dolní části Stromovky, červený kruh označuje místo nehody. (Google Earth)



Obr 11: Řez místem nehody v km 6,138 ze dne 20. 5. 2008. Řez je veden osou tunelu. Červené linie označují tektonické projevy (pukliny, poruchová pásma, výrazné diskontinuity).

Geologická situace v místě nehody:

Kolem km 6,150 kříží trasa tunelu výraznou tektonickou poruchu směřující s orientací SSZ (azimut 340°) a spádem 40° . Spád vrstev je zde $240/70^\circ$, tedy skoro přesně v pravém úhlu. Z průzkumu je znám úhel vnitřního tření v rozmezí $30-34^\circ$. Podmínky pro vznik nadvýlomů se zde velmi vhodné, protože v místě nehody byly diskontinuity označeny jako „hladké a průběžné“. O problematičnosti tohoto úseku vypovídají dva nadvýlomy těsně za sebou při ražbě průzkumné štoly, z toho v případě toho pozdějšího v km 6,124 šlo o nadvýlom podobné velikosti, jako tento. Rozdíl byl pouze v tom, že tehdy nedošlo k progresivnímu šíření nadvýlomu do nadloží a událost se tak obešla bez následků.

Nadloží v místě nehody mělo mocnost 16,2 metru, z toho asi 8 metrů tvořila skalní hornina. Kvartér má v místě nehody mocnost kolem 8 metrů. Jedná se zejména o štěrkopíský až hrubozrnné štěrky které jsou velmi propustné. Tomu odpovídá následný přítok vody z kvartéru do tunelu v místě nehody.



Obr 12: Situace ve Stromovce v ranních hodinách dne 20.5.2008 (Autor: Jan Brož, Aerodata)

Sanace nehody

Téměř okamžitě byly zahájeny práce na sanaci závalu. V první fázi bylo nutné uzavřít vzniklý kráter a zastavit přítoky podzemní vody z kvartérního akviferu do tunelové trouby. Nejdříve byl kráter uzavřen betonem a na povrchu byla zřízena zátka ze směsi elektrárenského popílku a pojiva. Přes tuto zátku byly vyvrtán sled mikropilot po obou stranách tunelové trouby. Následně se provedla chemická injektáž propadlého místa, čímž poklesl přítok podzemní vody na 1 l/s.

V druhé fázi došlo k odtěžení vlastního závalu a vytvoření svahu o přirozeném sklonu v místě propadu. Po provizorním zajištění vytvořeného svahu byla pod deskou provedena trysková injektáž a prostor za závalem byl zajištěn tlakovou injektáží. Teprve po proinjektování prostoru před novou čelbou byl v místě závalu zřízen mikropilotový deštník a ražba mohla pokračovat.



Obr 13: Pohled na zavalenou čelbu krátce po vzniku havárie dne 20.5.2008 (Satra spol s r. o.)

Mimořádnou událostí se zastavila ražba kaloty a opěří na téměř přesně dva měsíce. Teprve v druhé polovině července se práce na ražbě kaloty opět rozběhly. Během zmáhání nehody se v STT rozběhla ražba dna. Následkem mimořádné události a zhoršených geologických podmínek v místě ražeb byl u obou tunelových troub zkrácen krok na 0,8 m . Vlastní sanace nehody byla ukončena parkovými úpravami v první polovině srpna 2008.

Příčina nehody

Příčinou nehody jsou velmi nepříznivé podmínky pro ražbu v podobě křížení dvou systémů diskontinuit, z toho jeden směřuje kolmo na směr ražby a druhý směřuje z čelby ven. Špatné geologické podmínky ještě umocňuje skutečnost, že oba systémy diskontinuit mají větší spád než je úhel vnitřního tření horniny. Tím jsou dány příznivé podmínky pro uvolňování bloků hornin z čelby či stropu tunelu. V místě nehody jsou diskontinuity hladké a průběžné, takže nelze počítat s výraznějším třením na diskontinuitách.

Předvídatelnost nehody

Nehoda se stala v úseku, kde již při průzkumné ražbě došlo k více podobným nadvýlomům, takže se předpokládala vysoká pravděpodobnost vzniku dalších, což se krátce před vlastní nehodou potvrdilo. Přesná situace v místě nehody známá nebyla, protože v tomto úseku se průzkumná štola v trase dotčené tunelové trouby nerazila. V místě nehody ve výsledku nebylo ani provedení průzkumné štoly potřeba, protože rozdíly v chování skalního masivu mezi tunelovými troubami byly zanedbatelné.

Dalo se nehodě předejít ?

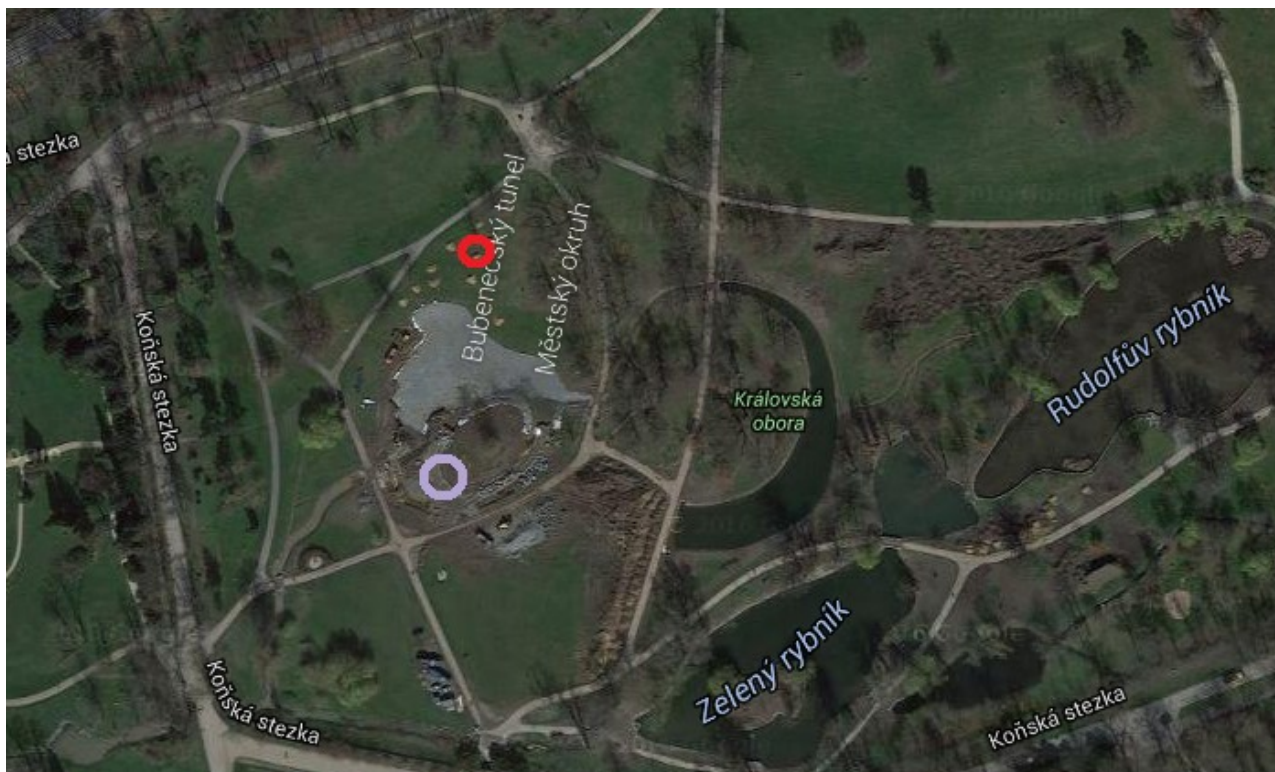
Této nehodě s největší pravděpodobností zabránit nešlo, protože k podobným nehodám (byť mnohem menšího rozsahu) opakovaně docházelo v celém úseku km 6,2 až 6,1 a to v obou tunelových troubách. Otázkou je pouze, zda by při použití stabilizačních opatření do nadložních hornin a kvartéru (tlakové injektáže) by se podařilo zabránit šíření nadvýlomu do nadloží, a tím by nedošlo ke vzniku kráteru na povrchu.

4.3 Událost ze dne 12. 10. 2008

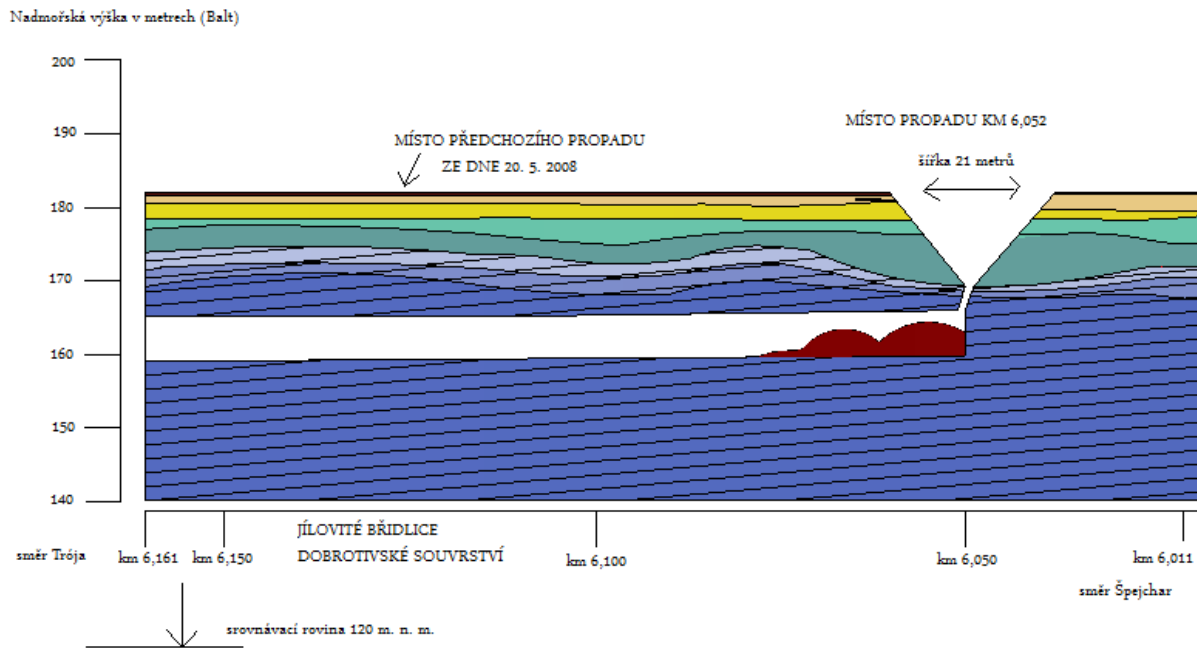
Tunel Královská obora byl vyražen v délce od portálů Trója až pod Letnou jako dva dvoupruhové tunely. Z bezpečnostních důvodů jsou tunelové trouby přibližně každých 300 metrů vzájemně propojeny – střídavě průchozí a průjezdnou propojkou. Průjezdná propojka umožňuje nouzové otočení vozidel údržby, průchozí propojka slouží pouze pro umožnění průchodu mezi tunelovými troubami. U každé tunelové propojky je tunel v délce 55 metrů rozšířen na třípruhový profil, aby v případě nutnosti (porucha, dopravní nehoda) bylo možné odstavit silniční vozidla mimo komunikaci.

Jedna průjezdná propojka tunelových troub byla naplánovaná v úseku km 6,070 – km 6,040 severní tunelové trouby.

Při ražbě kaloty bezpečnostního zálivu však došlo 12. 10. 2008 v 10:02 k propadu nadloží a vyvalení kvartérních sedimentů do tunelové trouby.



Obr 14: Letecký snímek dolní části Stromovky, červený kruh označuje místo nehody ze dne 20. 5. 2008. Fialový kruh označuje pozici kráteru vzniklého po nehodě dne 12. 10. 2008 (Google Earth)



Obr 15: Řez místem nehody ze dne 12. 10. 2008. Řez je veden v ose tunelu.

Průběh nehody

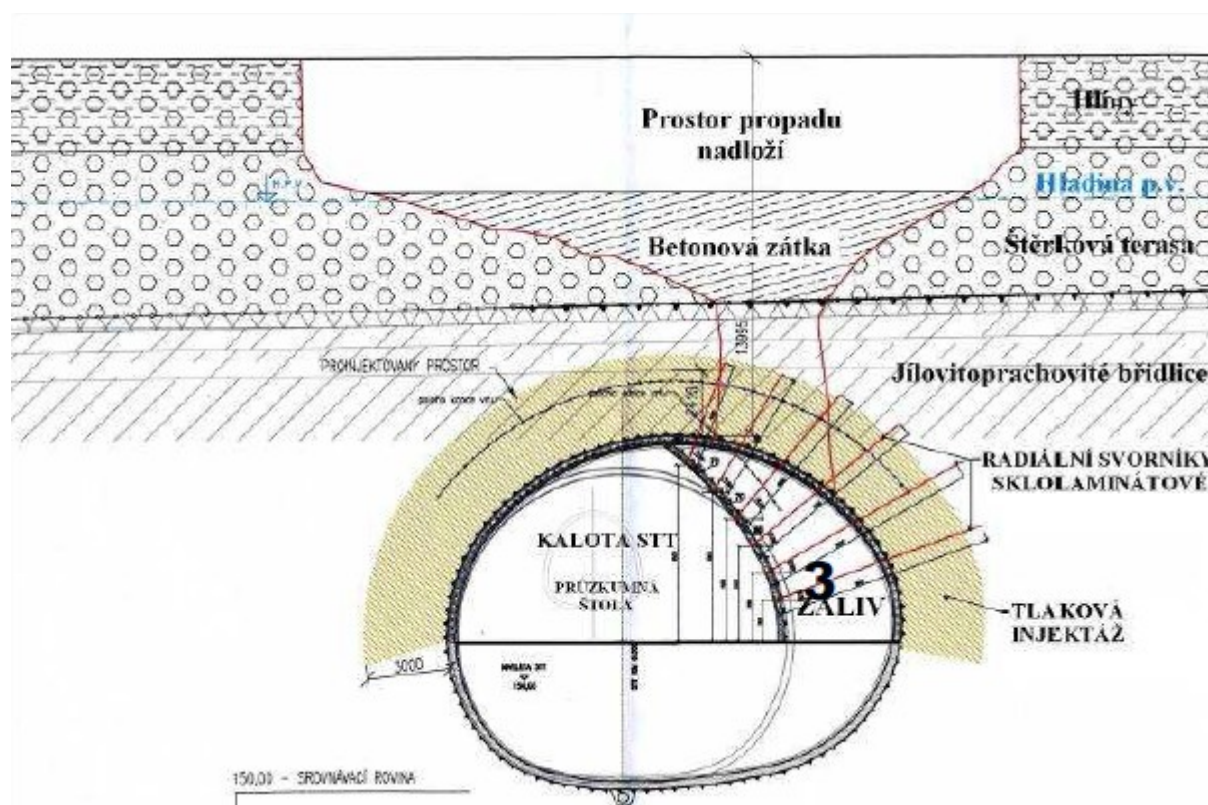
V místě nehody se tunelová trouba razila kombinovaným způsobem. Razilo se v pořadí levá kalota, pravá kalota, kalota v místě zálivu, postupně celé opěří a nakonec dno. V km 6,052 byla levá kalota vyražena již v průběhu září. Začátkem října následovala pravá kalota, čímž vznikl profil dvoupruhového tunelu. Tento profil byl zajištěn pomocí sklolaminátových svorníků nad budoucím zálivem a výrub byl několik dní stabilní. V ranních hodinách dne nehody se razila kalota v místě vlastního zálivu. Do devíti hodin ráno se vyrazily postupně dva kroky po metru délky. Když chtěli pracovníci zahájit stavbu primárního ostění na čerstvě vyraženém úseku, začalo docházet k vypadávání destiček břidlice ze stropu tunelu. Okamžitě provedený postřík stříkaným betonem se však ukázal jako nedostatečné opatření a množství vypadávané břidlice rychle rostlo. V 10:02 se rychlost vypadávání břidlice skokově zvýšila a do tunelu začaly padat úlomky šterku – jasná známka že nadvýlom se rozšířil až do nadložních vrstev kvartéru. Nastala okamžitá evakuace místa nehody. Stejně jako v předchozí nehodě i tentokrát došlo k průvalu kvartérních šterků do tunelu i s mohutným přítokem podzemní vody z kvartérních sedimentů. V 10:15 již mohli pracovníci pozorovat denní světlo prosvítající nově vzniklým kráterem. I tato nehoda se obešla bez zranění osob.

Geologická situace:

Předpoklad: Nadloží tvořené skalní horninou (jílovité břidlice dobrotivského souvrství) o mocnosti 6 – 6,5 metru (z toho zdravá skalní hornina 4 metry) a kvartérní sedimenty o mocnosti 9,5 – 10 m. V místě zálivu je hornina tektonicky porušená, orientace tektonické poruchy je 170/70°, orientovaná po směru ražby s úhlem větším než úhel vnitřního tření horniny. Směr tektonické poruchy je totožný s vrstevnatostí. Pravděpodobnost vypadávání bloků z čelby minimální. Možnost vypadávání horniny ze stropu tunelu.

Skutečnost byla ale odlišná – skalní nadloží mělo v místě nehody mocnost jen 4 metry, z toho 2,5 metru zdravé skalní horniny.

Složení a parametry kvartérního nadloží se od místa předchozí nehody významněji neliší.

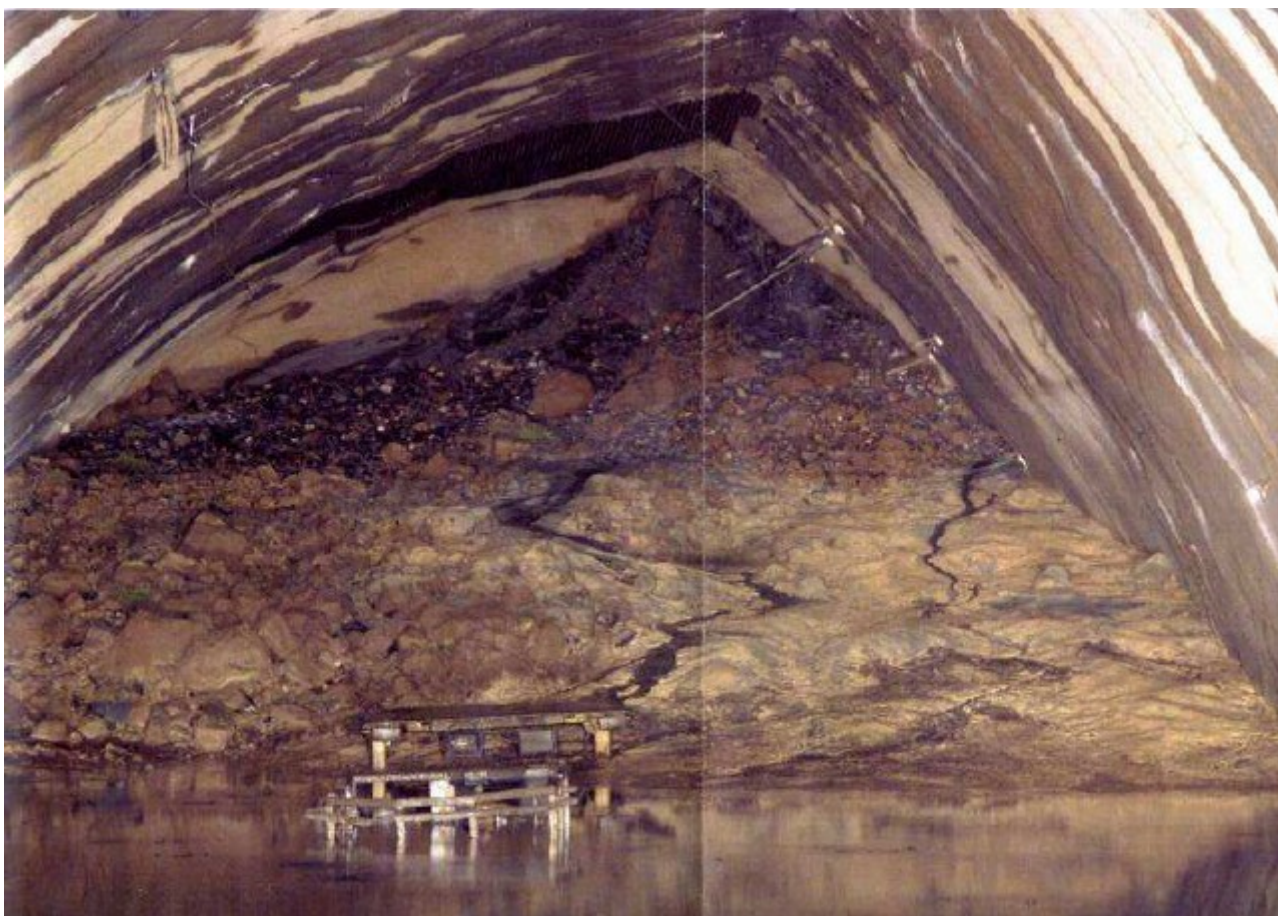


Obr 16: Situace v místě havárie ještě s nezakreslenou sníženou mocností skalního nadloží (Satra spol s r. o.)

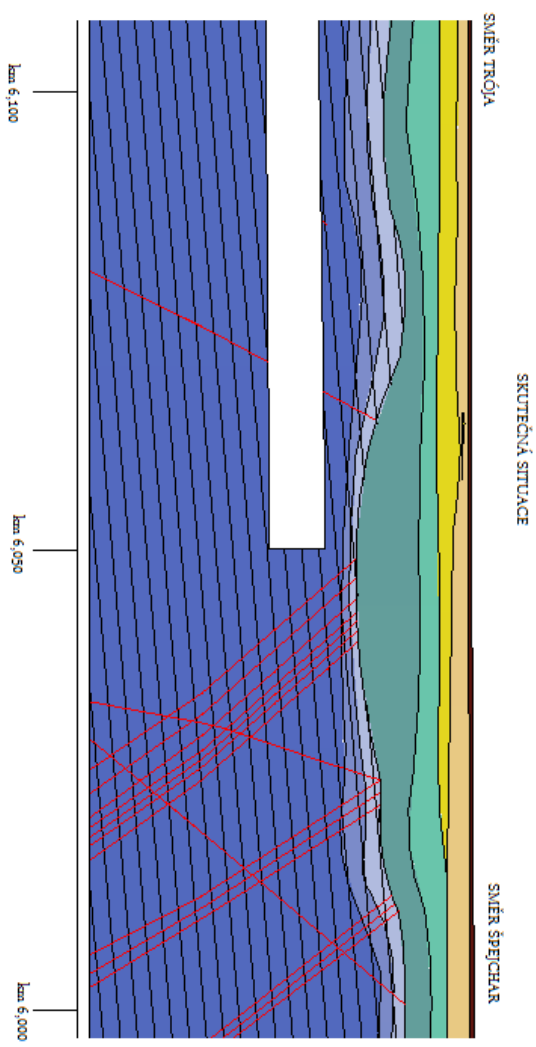
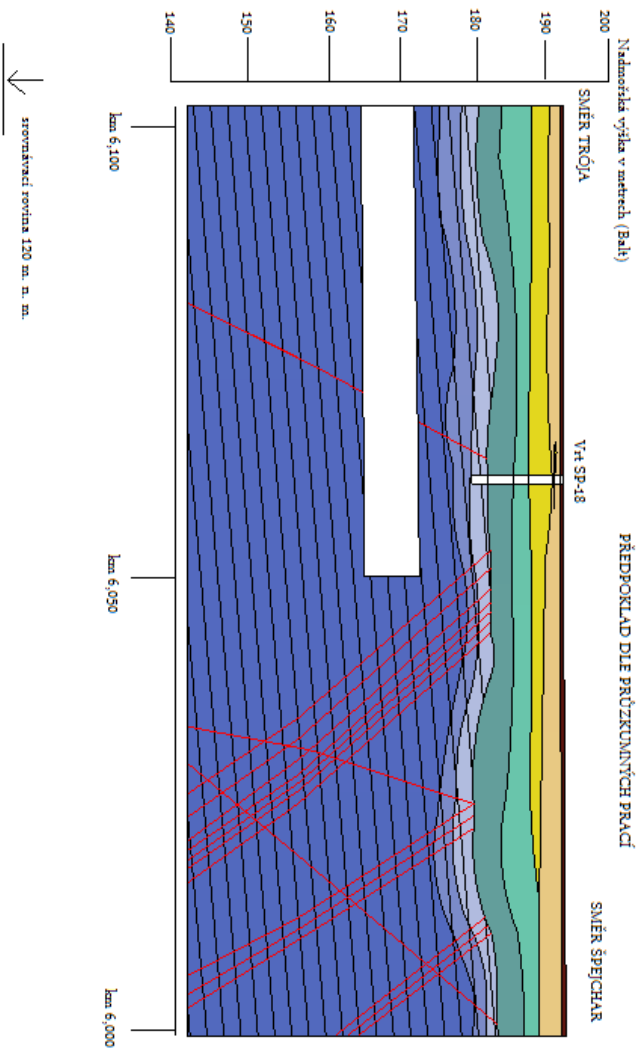
Sanace nehody

Následkem havárie byly rozhodnutím obvodního báňského úřadu v Kladně zastaveny veškeré práce na ražbě obou tunelových troub. V listopadu se práce na ražbě opět rozběhly. V STT se však zatím razilo pouze dno, zatímco v JTT se pracovalo na hydroizolaci. Bylo rozhodnuto za každou cenu předejít dalším haváriím. V kritickém úseku před Šlechtovou restaurací se využilo vhodné období (vegetační klid) k provedení doplňující tlakové injektáže.

Obr 17: Prostor havarované čelby v km 6,052 krátce po nehodě. (Foto Alford Duriš)



Obr 18 na následující straně: Porovnání předpokládané (řez vlevo) a skutečné (řez pravo) geologie v místě nehody



Od ledna 2009 se v STT reprofilovala tunelová trouba v místě havárie, zatímco v JTT jednotlivé dílčí čelby se blížily ke kritickému místu. Žádná z čelb ale nesměla pokračovat do kritického úseku před jeho zajištěním a vyražením smolného bezpečnostního zálivu v km 6,052 STT. Postup za kritické místo byl možný teprve začátkem dubna 2009. Severní tunelová trouba tak měla nelichotivý rychlostní rekord: ražba 157 metrů dlouhého úseku trvala 332 dní. Průměrný denní postup byl 0,47 metru za den. Ani jižní tunelová trouba na tom nebyla o moc lépe, protože vlivem havárie v sousední tunelové troubě ražba kaloty od října 2008 do dubna 2009 nepokračovala.

Příčina nehody

K nehodě došlo shodou geologických podmínek a nevhodného technologického postupu.

Jílovité břidlice dobrotivského souvrství pod Stromovkou v případě odhalení rychle podléhají degradaci a to v řádu prvních týdnů. V případě ražby tunelu je proto nutné provést co v nejrychlejší době zajištění stropu tunelu ostěním. Při ražbě dvoupruhového profilu není problém vyrazit kalotu v plném profilu během několika málo dní. Zde se však ražba kaloty protáhla na více než dva týdny a po celou dobu byla kalota jen provizorně zajištěna.

Další důležitou skutečností byla nižší mocnost nadloží tvořené skalní horninou než byla předpokládána.

Místo očekávaných 6 metrů jílovitých břidlic byla mocnost skalní horniny v nadloží místa nehody jen 4 metry. Tato skutečnost nebyla známá až do nehodové události.

Při určování nadloží stropu se totiž ukázalo, že pod Stromovkou lze ověřit úroveň skalního podloží jen pomocí vrtů. Geofyzikální metody se vzhledem ke kombinaci větší mocnosti kvartéru a vysoké hladiny podzemní vody ukázaly jako nepoužitelné. Průzkum georadarem z povrchu byl ve Stromovce zcela nepoužitelný (přílišná mocnost kvartérních sedimentů), geoelektrické metody také neukázaly žádný použitelný výsledek (velmi vysoká vodivost kvartéru + jeho velká mocnost). Refrakční seismika také nic neodhalila.

Ke smůle stavby nebylo provedeno geofyzikální měření ve vrtech (tzv. karotáž), ani geofyzikální měření přímo v tunelové troubě. Odhad mocnosti skalního nadloží byl proveden na základě zastižení skalního podkladu v blízkých vrtech SP15 a SP18, vyvrtaných v roce 1992 při hydrogeologickém průzkumu Stromovky. Oba vrty se však nachází několik desítek metrů od místa nehody.

Ke vzniku nehody ale největší mírou přispěl nevhodný postup ražby zálivu. Jak již bylo zmíněno výše, razila se jako první kalota vlevo v profilu tunelu, následně se vyrazila kalota do profilu dvoupruhového tunelu, pak se provizorně zajistila a teprve s odstupem se razil vlastní bezpečností záliv. Sklolaminátové svorníky, které měly tunel provizorně zajistit, paradoxně přispěly k jeho destrukci. Svorníky byly paprscitě rozmístěny kolem pravé strany dvoupruhového profilu v celém jeho obvodu. Při ražbě zálivu proto muselo dojít k destrukci všech těchto svorníků. Po dobu asi dvou až třech hodin stál výrub zcela nezajištěný. Před vlastní ražbou byla sice břidlice do vzdálenosti 3 m od profilu tunelu proinjektována, ale toto opatření nemělo ve výsledku větší vliv.

Následkem nezajištění výrubu měl výrub vydržet nějakou dobu nejistištěný (tzv. „Stand-up time“). Stand-up time je dán technickou kvalitou horniny, šířkou výrubu a délkou nezajištěného výrubu. Při použití doporučené doby dle Bieniawského RMR byla maximální délka nezajištěného výrubu stanovena na 1,5 metru při „co nejrychlejším zajištění výrubu bezprostředně po odstřelu“ (Bieniawski, 1989). Jak se při nehodě ukázalo, „stand-up time“ byl v místě nehody skutečně minimální.

Předvídatelnost nehody

Vzhledem k neznalosti skutečných geologických podmínek v místě nehody se žádná mimořádná událostí daného rozsahu neočekávala. Předpokládaly se pouze menší nadvýlomy.

Dalo se nehodě předejít ?

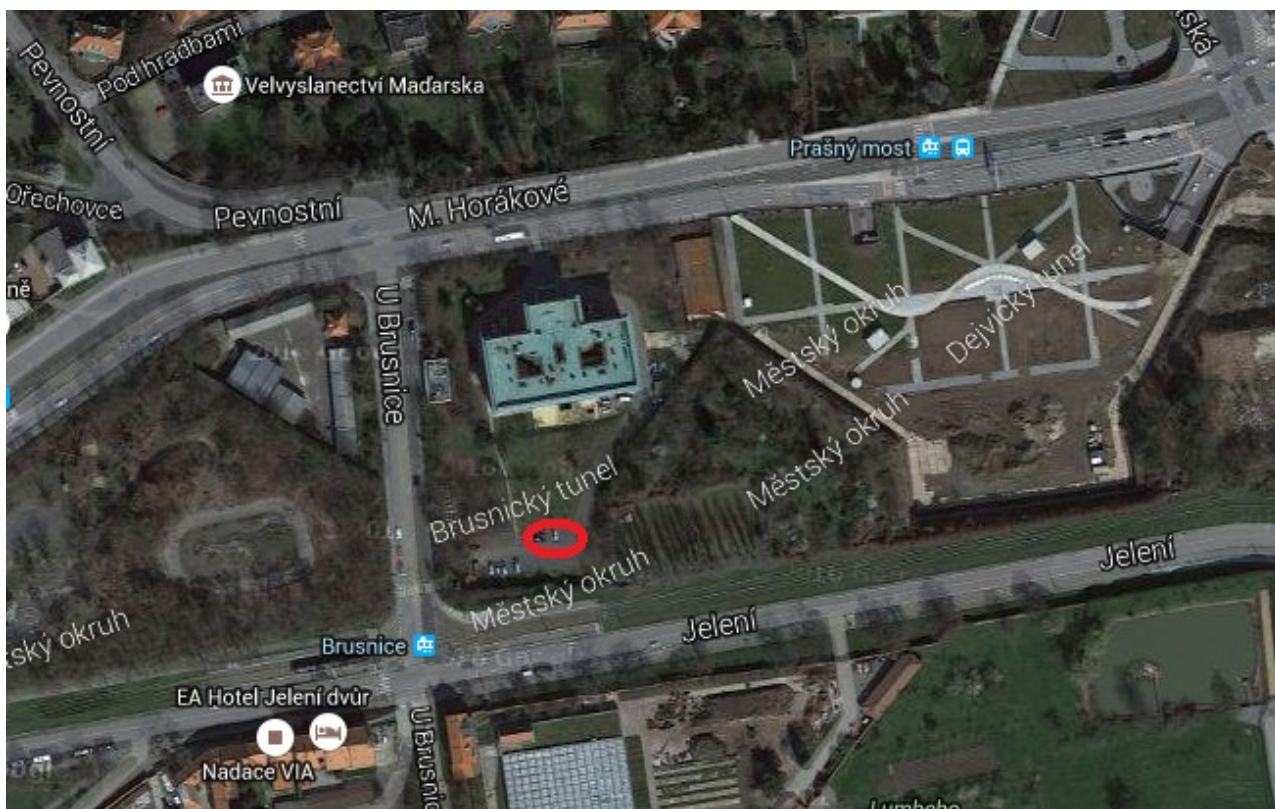
Ze sledu událostí vyplývá, že v případě změny metody ražby v místě nehody nemuselo k nehodě dojít. Zcela určitě by k nehodě nedošlo v případě přemístění zálivu na místo s lepšími geologickými podmínkami.



Obr 19: Přítoky vody z kvartérních sedimentů do otvoru vzniklého propadem v km 6,052 (Barták J., 2010). Snímek je výbornou ukázkou vysoké propustnosti kvartérních uloženin v dolní části Stromovky. Do místa havárie přitéká z kvartérních sedimentů více než 10 litrů vody za sekundu.

4. 4 Událost ze dne 5. 7. 2010

Ražba posledního 150,71 metrů dlouhého předportálového úseku tunelů Brusnice probíhala v prostředí ,kde je nadloží tvořené jen první metry mocnou vrstvou zvětralé letenské břidlice, nebo v případě severní tunelové trouby skalní hornina v nadloží místy zcela chybí a ražba probíhá v eluviu letenských břidlic. S ohledem na umístění tunelů ve větší hloubce (mocnost nadloží se v místě ražby pohybuje kolem 20 metrů) a skutečnosti, že ražba probíhá pod areálem Ministerstva kultury ČR a památkově chráněným bastionem č. XIII (Benedikt), nebylo možné zřídit tunel v otevřené jámě a následně zasypat (metoda „cut and cover“). Aby bylo možné odtěžit materiál přímo z prostoru čelby, musela být napřed v celém úseku provedena tlaková injektáž a následně proveden mikropilotový deštník. Samotná ražba pak probíhala rozčleněním výrubu na 6 dílčích čelb a razilo se bez použití střelných prací jen odtěžování pomocí bagru při zkráceném záběru 0,8 m. Po každém kroku bylo v dílčím segmentu neprodleně zřízeno provizorní ostění ze stříkaného betonu.



Obr 20: Letecký snímek na areál Ministerstva kultury ČR a přilehlé bastiony (zleva č. XII, XIII a XIV).

Červeně označená oblast je místo kráteru vzniklého při nehodě dne 5. 7. 2010. (Google Earth)

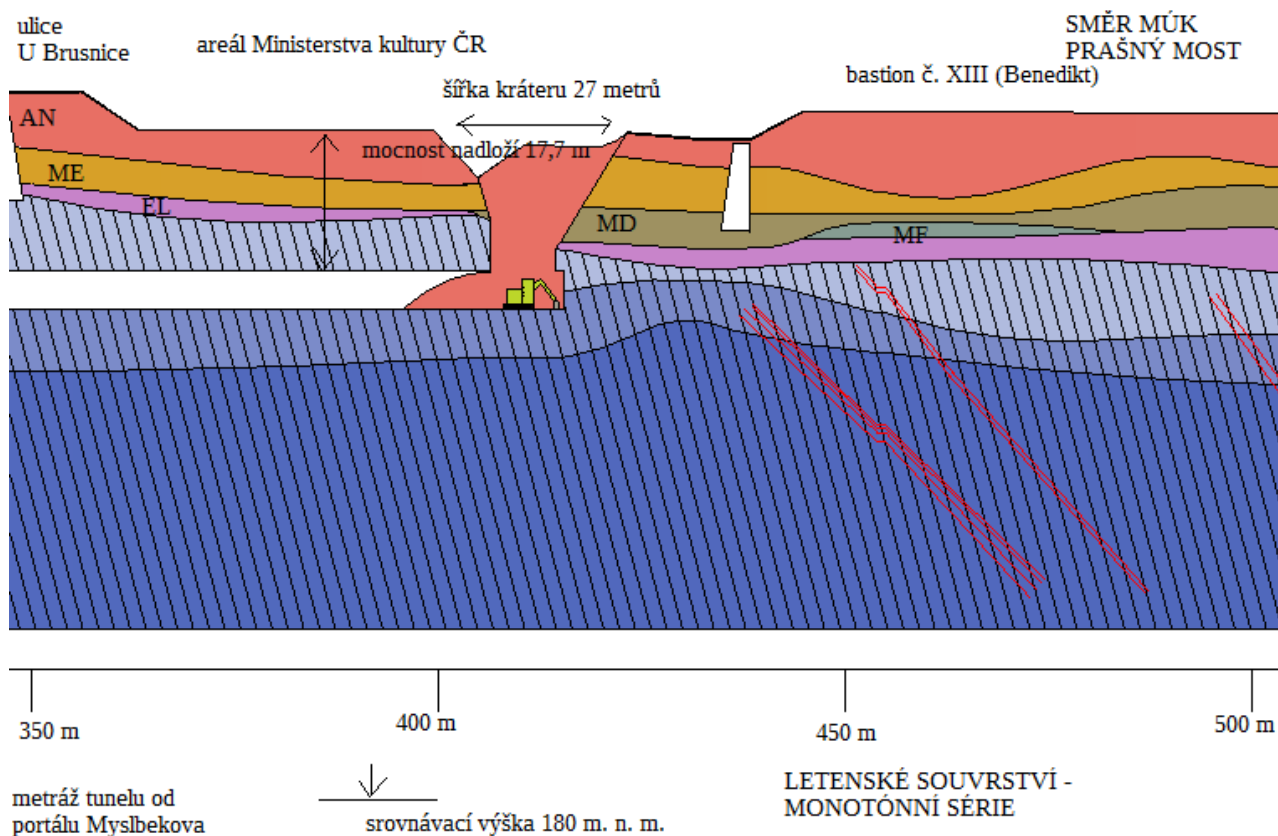
Ve večerních hodinách dne 5. 7. 2010 probíhala v podzemí práce na střední kalotě severní tunelové trouby. V 23:30 došlo k porušení stropu střední kaloty a k následnému zcela nečekanému závalu, kdy vzniklý kužel dosáhl povrchu a vznikl kráter o průměru 30 metrů a 20 metrů hluboký. Následkem závalu došlo ke zničení části zpevněné plochy přilehlého parkoviště užívaném zaměstnanci přilehlé budovy Ministerstva kultury ČR. Vzhledem k pozdně večerní době ,a protože byl následující den státní svátek, se zde v době nehody nenacházelo žádné zaparkované vozidlo.



**Obr 21: Situace následující den po propadu fotografovaná od křižovatky ulic U Brusnice a Jelení .
(archiv hlavního města Prahy)**

Geologická situace v místě nehody:

V místě nehody je v nadloží 2,5 metru přemístěné spraše (antropogen), dále 6 metrů mocná vrstva spraší, 4 metry mocná vrstva deluviálních hlín a 2 metry eluvia letenských břidlic (materiál charakteru tuhého jílu). Skalní hornina v nadloží má mocnost pouze kolem 1 metru a jde o silně zvětralou prachovitou břidlici. Výskyt podzemní vody nebyl při propadu zjištěn.



Obr 22: Řez místem nehody ve směru Z-V (nepřevýšeno)

Záchranné práce a sanace nehody

V okamžiku závalu pracoval v místě nehody zaměstnanec obsluhující strojní zařízení (bagr). Strojník byl při závalu uvězněn v kabině bagru, ale jinak nebyl zraněn. Druhý den ráno byl kolem půl sedmé vyproštěn pomocí báňských záchranářů.

Při následném průzkumu se zjistilo, že došlo k porušení stropu kaloty, ale oba dílčí opěrné tunely zůstaly stát byť měly poškozené ostění. Vzhledem k absenci podzemní vody byl zvolen odlišný způsob sanace havárie než byl použit u propadů ve Stromovce. Nejdříve bylo provedeno okolo propadu 6 vrtů z povrchu na úroveň tunelové trouby. Následně firma Zakládání Staveb a. s. provedla celkem 59 kusů mikropilot o délce 12 metrů a průměru 110 mm. Teprve pak se pokračilo k zaplnění kráteru směsí elektrárenského popílku a pojiva.

S ohledem na vyšetřování nehody a provádění sanačních opatření probíhalo zmáhání závalu až od 24. 1 do 30. 3. 2011. Bylo rozhodnuto obě poškozené stěny vybourat a ostění vybudovat celé znovu.

K odstranění závalu se z důvodů bezpečnosti používala fréza. Sloupy tryskové injektáže měly vysokou kvalitu a umožňovaly razit krokem dlouhým až 1,25 metru. Nicméně uvolnit zavalený bagr se podařilo až v průběhu zmáhacích prací..

Nehoda měla za následek změnu postupu ražby v posledním úseku, kdy po nehodě padlo rozhodnutí zahájit původně neplánovanou protiražbu v obou tunelových troubách. Zahájením protiražby se podařilo dodržet časový harmonogram stavby.

Příčina nehody

Nehodu způsobil zaměstnanec obsluhující strojní zařízení (bagr) při ražbě střední kaloty. Neopatrnou manipulací s bagrem došlo při ražbě k poškození primárního ostění a tím k jeho vyřazení z činnosti.

S ohledem na minimální mocnost nadloží tvořeného silně zvětralou břidlicí neměl ničím nezajištěný strop tunelu šanci nehodě zabránit.

Předvídatelnost nehody

Selhání lidského faktoru je velkým rizikem pro jakoukoliv ražbu pro jeho nepředvídatelnost. Nehoda s podobnou počáteční příčinou se může stát kdykoliv při provádění ražby. Na vznik vážné nehody často stačí i jen velmi krátká nepozornost při obsluze strojů.

Tato nehoda byla ze všech tří velkých nehod nejbližší velké materiální škodě a újmě na zdraví a životě lidí. Nejde jen o zasypaného zaměstnance fy. Metrostav, ale také o nezúčastněné osoby a jejich majetku. Prostor v místě kráteru se běžně používá jako parkoviště pro zaměstnance Ministerstva kultury ČR. Jen shodou náhod se nehoda stala mimo pracovní dobu a den před státním svátkem, takže parkovací plocha byla prázdná. V pracovní den v místě kráteru postává až 7 zaparkovaných vozidel.

Kapitola 5

Závěrečné vyhodnocení vztahu inženýrského rizika, vzniklých problémů a provedených protiopatření

5.1 Vyhodnocení vztahu ražeb a staveb na povrchu

Škody vzniklé na objektech jsou pro zhotovitele velkou nepříjemností navíc. Tomu odpovídala i provedená opatření. Před ražbou proběhlo vytipování potenciálně ohrožených objektů a jejich pasportizace. K samotnému sledování se používaly totální automatické stanice a pevné body na budovách. Ke sledování prasklin postačily extenzometry. Dle sdělení místních obyvatel byly zaměstnanci firmy provádějící geotechnický dozor (Satra spol s r. o.) velmi ochotní a vstřícní. Po skončení ražeb proběhla opětovná pasportizace objektů s dobrým výsledkem. V průběhu ražeb nedošlo ke větším škodám, budovy poklesly nejvíce až o cca 50 mm a sedly si rovnoměrně.

I Šlechtova restaurace ve Stromovce přečkala ražbu tunelů bez viditelné újmy.

5.2 Vyhodnocení geologického průzkumu pro ražené tunely

RT Brusnice:

Vzhledem k nedostupnosti zprávy o podrobném průzkumu nelze říct, nakolik byl průzkum detailní. Z odborných článků nicméně vyplývá, že průzkum byl pro většinu trasy vyhovující. Pouze pro podchod bastionu č. XIII musel být vzhledem k dodatečné změně trasování tunelů doplněn dalším průzkumem.

RT Královská Obora

Provádět průzkum ve složité geologii pro tak náročnou stavbu, jakým ražené tunely bez pochyby jsou, naráží na střet zájmů pokud tato situace nastane v oblasti s ochranou přírody. Tento problém nastal ve Stromovce, která má status přírodní rezervace. Investor jako správce přírodní rezervace Stromovka to vyřešil jednoduše – omezil viditelné zásahy na minimum. Tím ale znemožnil jakýkoliv vrtný průzkum. Alternativní geofyzikální metody vzhledem ke skladbě kvartéru se ukázaly být zcela nedostatečné. Poněkud záhadně chybí ve zprávě o podrobném průzkumu celá část stavby od km 5,800 k portálům Špejchar.

Není známo jaké průzkumné práce se mimo doplňkového průzkumu vlastně provedly. Archivní data z předchozích průzkumů nicméně nabízí komplexní pohled na letenské souvrství včetně mechanických zkoušek na horninách přímo v trase tunelu.

5.3 Vyhodnocení celkové účinnosti provedených opatření

Obecně byly na ražbě tunelových objektů použito velké množství různých opatření a úkonů. Primární ostění pokud bylo zřízené, plnilo zdárně svou funkci. Všechny vážné havárie se staly v situaci, kdy primární ostění nebylo funkční. Při nehodě ze 20.5.2008 došlo k poškození primárního ostění vlivem uvolnění bloku hornin z nadloží, v ostatních případech šlo o následky nesprávných technologických postupů. V případě nehody ze dne 12.10.2008 jsou důležitými faktory nevhodné umístění technologického objektu vzhledem ke geologické situaci a nepřizpůsobení technologie ražby skutečným podmínkám. U nehody ze dne 5.7.2010 šlo zřejmě čistě o vliv lidského činitele.

Pokud ale byly geologické podmínky známy a dána investorem volná ruka na doplňující opatření, byla výsledná opatření účinná až místy předimenzovaná. Výsledkem byly minimální deformace terénu (poklesy do 50 mm), žádné nebo jen drobné škody na objektech v nadloží. Zhotovitel se dále snažil o omezení nežádoucích průvodních vlivů ražby na okolí, jako jsou otřesy při trhacích pracech. Při ražbě RT Královská obora ve směru od MÚK Špejchar se musely používat netypické rozbušky, menší nálože a v nočních hodinách byl zákaz provádění trhacích prací. Nejsou známy žádné větší poškození objektů, i Šlechtova restaurace přečkala ražbu tunelů bez poškození. Největší deformace nastaly při ražbě v zeminách pod Bastionem XIII, kde však není zástavba na povrchu.

5.4 Vyhodnocení identifikace rizikových úseků

Průchod pod Vltavou: Ražba proběhla dle očekávání.

Stromovka: Kritický úsek od km 6,100 do km 5,860 se podařilo indentifikovat, nicméně při nedostatku informací došlo k podcenění situace v úseku mezi km 6,150 – 6,000, kde provedení ražby neodpovídalo skutečné situaci. S havárií v km 6,127 se vzhledem k rozpukanosti masivu dalo počítat. Nehoda v km 6,052 by ale nejspíše nenastala, pokud by se záliv umístil mimo kritický úsek. Ražba zálivu v km 6,052 se ukázala jako příliš riskantní a následovalo nevyhnutelné – havárie. Ke vzniku druhé havárie přitom nemuselo dojít.

Letná: Archivní průzkumy nabízejí podrobný popis horninového prostředí pod Letnou včetně mechanických vlastností hornin. Zejména Rudolfova štola nabízí celkový geologický řez pod Letnou. Průzkumy pro plánované i následně realizované stavby v poválečném období (Letenský tunel, komunikace Prašný most – Bubenská) dále rozšířily geologické znalosti.

Brusnice: Zde se podařilo se zdarem vyřešit všechna důležitá rizika a problémy. Vzniklá havárie zde (pravděpodobně) nebyla projevem inženýrského rizika.

5.5 Vliv ražby na objekty na povrchu

I při kombinaci nejnepříznivějšího způsobu ražby a špatných geologických byly maximální poklesy terénu menší než očekávané. V místě nejnepříznivějších podmínek pod bastionem č. XIII v místě s absencí skalního nadloží byla maximální svislá deformace terénu 50 mm, průměrná hodnota se pohybovala kolem 30 mm. V lepších geologických podmínkách se dosahovalo ještě menších deformací. Niveleta ulice U Brusnice poklesla o 17 mm proti plánovaným 19 mm při maximálním sklonu 1:1250. (Hilar M a kol., 2011)

Na tunelech Královská obora byly nejohroženější objekty bloku domů „Molochov“ v ulici Milady Horákové, přílehlý areál mateřské školy v ulici Na Výšinách a objekt Šlechtovy restaurace. Došlo k výraznému ovlivnění celkem 53 objektů na Letné nacházející se jednak přímo nad tunely, ale zejména ve vzniklé poklesové kotlině.

Když vynecháme již několikrát zmíněnou Šlechtovu restauraci, tak nejnepříznivější podmínky pro ražbu jsou v úseku od portálů Špejchar k bloku domů „Molochov“, dále se podmínky rychle zlepšují. Ovlivnění objektů bylo však menší než předpokládaná nejvyšší hodnota poklesu o 20 mm. Největší sednutí bylo změřeno na JV rohu objektu Na Výšinách 3/1075 a to o 11,8 mm.

Trhliny u vchodů Milady Horákové 849/88, 848/90, 847/92 (vše blok Molochov) sice odpovídají pozici v poklesové kotlině tunelu Královská obora, jedná se však o poruchy dané tepelným namáháním objektu a nikoliv poklesem terénu.

V létě 2014 byla opravena fasáda z jižní strany na vchodech Milady Horákové 848/90 a 847/92, v rámci této práce je použita archivní dokumentace.



Obr 23: Objekt Milady Horákové č. p. 849/88 při pohledu od Letenské pláně. Ostatní domy bloku „Molochova“ mají od jihu identický vzhled. V posledním patře nad vchodem je patrná vertikálně orientovaná trhлина vzniklá pravděpodobně teplotní roztažností objektu a nikoliv vlivem ražby . Dle sdělení místních obyvatel je trhлина staršího data než tunel.



Obr 24: Detail trhliny na objektu Milady Horákové 849/88. Trhlina je dlouhá přes 1 metr a široká 1 cm.



Obr 25: Podobná trhlina na východní části sousedního objektu Milady Horákové 848/90. Archivní snímek z jara 2014 (Google)



Obr 26: Objekt Milady Horákové 848/90 byl postaven jako dvojdům, trhliny se objevily na obou částech objektu, zde trhlina na západní části domu. Archivní snímek z jara 2014 (Google)



Obr 27: Opět Molochoch a opět trhlina nad vchodem, tentokrát na objektu Milady Horákové 847/92. I tato trhlina je starší než tunel Blanka. Archivní snímek z jara 2014 (Google)

Závěr

Tunel Blanka po dobu plánování a realizace narážel na řadu překážek. S některými se stavba vypořádala zdárně, jako byl průchod pod zástavbou na Letné či ražba pod Vltavou. Někdy si musela pomoci „těžkým kalibrem“, jako byla sanační opatření ve Stromovce či na bastionu č. XIII. Některé úseky stavby zase nebyly připraveny na očekávané podmínky (km 6,08-6,00). Při ražbě tunelů Brusnice se zase drželi daleko na straně bezpečnosti. Není jednoduché hodnotit stavbu jako celek. Stavba se stavěla jako většina velkých tunelů: Neplánované prodloužení doby ražby, neplánované vícenáklady, zpoždění dokončovacích prací. Od zahájení stavby dne 30. 10. 2006 nakonec uplynulo 8 let a 11 měsíců, než došlo k otevření komplexu pro silniční dopravu. Mimo obtíže související s vlastní ražbou došlo k velkému zpoždění stavby vinou jednoho ze subdodavatelů. Použitím nesprávného (vodě neodolného) typu kabeláže v tunelu došlo při zkouškách opakovaně ke zkratování kabelů a muselo dojít k celkové výměně kabeláže v tunelu Královská obora.

Vlastní ražba tunelu byla z geologického hlediska velmi poučná a posloužila jako výborná exkurze do pražského ordoviku, složení zemin v oblasti Pražského hradu (rozhraní spraší a bývalého dejvického meandru) a zejména do Pražské Stromovky. Ražba přinesla velké množství současně aplikovaných řešení. Rozsah provedených sanačních opatření neměl v Praze do té doby obdoby. Možná, kdyby protáhly sanační opatření až k Vltavě a vznikla jedna dlouhá clona, by nedošlo k havarijním událostem. To už ale nikdo nezjistí.

Dílo stojí a již nezbývá než popřát tunelu co nejdelší provoz jako nová městská magistrála.

V Praze 31. 7. 2016

Seznam použité literatury

-Bartošová V., Herichová I., Kašička F., Tomková K. (2010) Barokní opevnění Prahy v trase stavby tunelu Blanka; Zprávy památkové péče ročník 70 číslo 4, str 239-247

-Bieniawski Z. T. (1989) Tunnel design by rock mass classifications; Pennsylvania State University; 74 stran

-Březina B., Butovič A., Chmelař R., Němeček J. (2006) Městský okruh Myslbekova – Pelc-Tyrolka, soubor staveb MO, stavba č. 0079 Špejchar – Pelc-Tyrolka, podrobný geotechnický průzkum, závěrečná zpráva, 125 stran

-Butovič A. (2004) Průzkumná štola pro tunely Blanka; Tunel ročník 13 číslo 1; str 13-18

-Havelka V. (1971) Rudolfova štola, I. etapa, předběžná geologická dokumentace a návrh sanačních prací, Geoindustria Praha, 23 stran

-Herčík M., Kučera M., Štětina K. (1992) Hydrogeologický průzkum Královské obory v Praze; GMS a. s.; 20 stran

-Heřt J. (2011) Dokončení ražeb a primárního ostění na tunelu Brusnice, stavba č. 9515 Myslbekova - Prašný most; Tunel ročník 20 číslo 4; str 62-74

-Hilar M., Nosek J., Srb M.(2011) Numerické modelování tunelu Brusnice, 6 stran

-Hudek J., Pašek J., Píchal Z., Řezniček T., Součková H., Šimek R., Tesař O.(1979) Praha a inženýrská geologie; Československá vědeckotechnická společnost stavební, pobočka Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, 79 stran

- Kapasová E., Němec J., Vorel J. (1979) Předběžný inženýrskogeologický průzkum pro ZKS – SDO, úsek Prašný most – Bubenská 1. stavba, PÚDIS, 18 stran
- Kumšta V. (2007) Objekt č. 009 - Na Výšínách 3/1075, Praha 7, 1. repasport ke dni 24.10.2007, Satra s.r.o., 25 stran
- Kumšta V. (2010) Objekt č. 009 - Na Výšínách 3/1075, Praha 7, Závěrečný repasport ke dni 30.8.2010, Satra s.r.o., 39 stran
- Kvaš J., Salač M. (2011) Městský okruh v Praze – tunelový komplex Blanka, ražený tunel Královská obora, zhodnocení průběhu ražen; Tunel ročník 20 číslo 3; str 14-19
- Mencl V. a Záruba Q. (1957) Československá akademie věd, 486 stran
- Mikuláš R. (1994) Rudolfova štola v Praze – významný profil v barrandienském ordoviku; Journal of Czech Geological Society, ročník 39 dvojčíslo 2-3; str 245-249
- Morávek R., Šilhavý J. (2011) Geotechnický monitoring staveb městského okruhu: stavba č. 9515 Myslbekova – Prašný most, stavba č. 0800 Prašný most – Špejchar, stavba 0079 Špejchar – Pelc-Tyrolka, vrtné práce, závěrečná zpráva; INSET s. r. o. , 6 stran
- Remeš M. (2008) Realizace sanačních opatření tunelu Blanka v Královské oboře; Zakládání staveb ročník 20 číslo 3; str 19-24
- Tesař O. (1990) Klasifikace skalních a poloskalních hornin pro podzemní stavby, doktorská disertační práce, Přírodovědecká fakulta UK v Praze, 173 stran
- Vorel J. (1986) Zpráva o podrobném inženýrskogeologickém průzkumu pro SDO Špejchar – Argentinská, 1. stavba tunelový komplex „Stromovka“, PÚDIS, 77 stran

Přílohová část

Textová příloha č. 1

Rudolfova štola – geologický popis s metráží

(Dle V. Havelky, 1971)

Geologický popis hornin Rudolfový štoly od portálu Stromovka do metráže

- 0 – 38 m : Písčité až drobové břidlice mírně slídnaté, tence vrstevnaté
převažující orientace diskontinuit 170/55°
- 38 - 65 m: Břidlice s ojedinělými vložkami křemenců o mocnosti do 3 cm
převažující orientace diskontinuit 170/50°, drobné přítoky podzemní vody
- 65 – asi 90 m: Břidlice s vložkami křemenců, vložky mají mocnost do 3 – 5 cm, podíl křemenců
přibližně 50%, převažující orientace diskontinuit 185/35°,
drobné přítoky podzemní vody
- asi 90 – 108 m: Pásmo s výraznou převahou křemenců tvořící lavice o mocnosti 30 – 40 cm
s proplásky jílovité břidlice, převažující orientace diskontinuit 170/40°,
drobné přítoky podzemní vody
- 108 – 113 m: Břidlice jemně slídnatá tence vrstevnatá, s vložkami křemenců
o mocnosti do 3 – 5 cm
převažující orientace diskontinuit 160/50°
- 113 – 132 m: Slídnatá břidlice, převažující orientace diskontinuit 165/45°
- 132 – asi 147 m: Břidlice s ojedinělými vložkami křemenců o mocnostech do 5 cm
převažující orientace diskontinuit 160/35°
- asi 147 – 152 m: Břidlice jemně slídnatá s ojedinělými vložkami křemenců o mocnosti do 2 – 3 cm
převažující orientace diskontinuit 150/40°
- 152 – 172 m: Břidlice s vložkami křemenců o mocnostech do 10 cm, podíl křemenců 30 – 40%
převažující orientace diskontinuit 150/45°, drobné přítoky podzemní vody
přibližně v metráži 162 – 169 na západní stěně tektonická porucha,
orientace diskontinuit 320/15°
- 172 – 197 m: Drobová břidlice, místy s vložkami křemenců o mocnostech do 3 cm
převažující orientace diskontinuit 150/45°
kolem metráže 180 m na obou stěnách štoly tektonické poruchy, orientace 0/70°
- 197 – 224 m: Pásmo s vysokým podílem křemenců (až 90%), mocnost vrstev do 15 cm
převažující orientace diskontinuit 175/60°
- 224 – 243 m: Břidlice s ojedinělými vložkami křemenců o mocnostech do 1 – 2 cm
převažující orientace diskontinuit 185/50°
- 243 – asi 280 m: Jemně slídnaté břidlice
převažující orientace diskontinuit 160/45°
Kolem metráže 260 m na západní stěně tektonická porucha, orientace 25/85°

asi 280 m – asi 300 m: Písčité břidlice

převažující orientace diskontinuit 160/35°

asi 300 m – 370 m : Drobová břidlice až droba, v lavicovitém vývoji

převažující orientace diskontinuit 160/40°

370 m – 380 m: Drobová břidlice, převažující orientace diskontinuit 130/40°

380 m – 420 m : Drobová břidlice s vločkami křemenců

V dalším úseku se tunel Blanka vzdaluje od trasy Rudolfovy štoly směrem na západ.

Textová příloha č. 2

Tunel Královská obora – severní část

**Podrobný soupis geologických informací dle zprávy
o podrobném průzkumu**

Část A – Jižní tunelová trouba (Portály Trója – km 5,820)

(Dle B. Březiny a dalších autorů, 2006)

Jižní tunelová trouba

Úsek 1: Km 7,265 – 7,135

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 9 metrů, z toho tvoří skalní hornina: 4 metrů

Maximální mocnost nadloží: 13 metrů, z toho tvoří skalní hornina: 8 metrů

Popis horninového prostředí: Břidlice písčité až drobové, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté. Ojediněle lavice jemnozrnných křemenců až křemenných pískovců (Skalecké křemence).

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: většinou zdravá, místy navětralá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn. Ojediněle je tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozeč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 40-60°, vedlejší SZ-JV, spád 70°

Úhel vnitřního tření: Břidlice 29-35°, křemence 36-40°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit křížící se prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s rizikem ojedinělého vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: Zdravé břidlice 12- 35 MPa, ojediněle více

Navětralé břidlice 4 – 20 MPa

Skalecké křemence 30 – 120+ MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X – X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 41 bodů, max 48 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 70 bodů

Úsek 2: Km 7,135 – 7,050

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 13 metrů, z toho tvoří skalní hornina: 8 metrů

Maximální mocnost nadloží: 15 metrů, z toho tvoří skalní hornina: 10 metrů

Popis horninového prostředí: Břidlice písčité až drobové, lavicovitě vrstevnaté.

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn. Ojediněle je tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 40-60°, vedlejší SZ-JV, spád 70°

Úhel vnitřního tření: Břidlice 29-35°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit křížící se prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s rizikem ojedinělého vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: Zdravé břidlice 12- 35 MPa, ojediněle více

Navětralé břidlice 4 – 20 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X – X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 41 bodů, max 46 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 58 bodů

Úsek 3: Km 7,050 – 6,850

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 15 metrů, z toho tvoří skalní hornina: 10 metrů

Maximální mocnost nadloží: 19 metrů, z toho tvoří skalní hornina: 15 metrů

Popis horninového prostředí: Břidlice písčité až drobové, lavicovitě vrstevnaté.

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn. Ojediněle je tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 20 – 30 cm (střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 40-60°, vedlejší SZ-JV, spád 70°

Úhel vnitřního tření: Břidlice 29-35°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit křížící se prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s rizikem ojedinělého vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 12- 35 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X – X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

Zvláštní riziko: Průchod díla pod korytem Vltavy → potenciální riziko průvalu říční vody do díla

RMR: min 41 bodů, max 46 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 58 bodů

Úsek 4: Km 6,850 – 6,668

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 19 metrů, z toho tvoří skalní hornina: 14 metrů

Maximální mocnost nadloží: 21 metrů, z toho tvoří skalní hornina: 15 metrů

Popis horninového prostředí: Břidlice písčité až drobové, lavicovitě vrstevnaté.

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn. Ojedinele je tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 40-60°, vedlejší SZ-JV, spád 80°, další vedlejší systém v podobné orientaci a spádem 40°

Úhel vnitřního tření: Břidlice 29-35°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit, který se kříží s hlavním systémem diskontinuit prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s rizikem ojedinělého vypadávání bloků. Při ražbě průzkumné štoly dále zjištěno riziko vzniku malých nadvýlomů.

Pevnost v prostém tlaku: 12- 35 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X – X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: ANO, křížení díla s žumpovní chodbou v km 6,770

RMR: min 41 bodů, max 46 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 58 bodů

Úsek 5: Km 6,668 – 6,583

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 19 metrů, z toho tvoří skalní hornina: 13 metrů

Maximální mocnost nadloží: 21 metrů, z toho tvoří skalní hornina: 13 metrů

Popis horninového prostředí: Břidlice písčité až drobové, lavicovitě vrstevnaté.

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn. Ojediněle je tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 20 – 30 cm (střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 60-70°, vedlejší SZ-JV, spád 65°

Úhel vnitřního tření: Břidlice 29-35°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace hlavního systému diskontinuit křížící se s vedlejším systémem diskontinuit prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s rizikem ojedinělého vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 12- 35 MPa, místy i více

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X – X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

Zvláštní riziko: Průchod díla pod plavebním kanálem → potenciální riziko průvalu říční vody do díla

RMR: min 41 bodů, max 46 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 58 bodů

Úsek 6: Km 6,583 – 6,455

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 19 metrů

Maximální mocnost nadloží: 21 metrů

z toho tvoří skalní hornina 13 metrů

Popis horninového prostředí: Břidlice písčitoprachovité a prachovité, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté.

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn. Ojediněle je tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ spád 50-70°, vedlejší S-J, spád 40° a SZ-JV, spád 40°

Úhel vnitřního tření: Břidlice 29-35°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace hlavního systému diskontinuit křížící se s vedlejším systémem diskontinuit prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s rizikem ojedinělého vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 12- 35 MPa, místy i více

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 41 bodů, max 46 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 58 bodů

Úsek 7: Km 6,455 – 6,142

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 16 metrů, z toho 8 metrů skalní horniny

Maximální mocnost nadloží: 19 metrů, z toho 13 metrů skalní horniny

Popis horninového prostředí: Břidlice jílovitoprachovité až prachovitojílovité, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté. Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn. Ojediněle je tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 40 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 60-70°, vedlejší S-J, spád 70° a SZ-JV, spád 60-70°

Úhel vnitřního tření: Břidlice 30-34°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace hlavního systému diskontinuit křížící se s vedlejším systémem diskontinuit prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s rizikem ojedinělého vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 8- 25 MPa, místy i více

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

Zvláštní riziko: Průchod díla pod železniční tratí SŽDC 526/ČD 090

RMR: min 25 bodů, max 35 bodů → málo kvalitní hornina

TS: min 45, max 50 bodů

Úsek 8: Km 6,142 – 6,034

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 16 metrů, z toho 8 metrů skalní horniny

Maximální mocnost nadloží: 13 metrů, z toho 5 metrů skalní horniny

Popis horninového prostředí: Břidlice prachovitojílovité, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté.

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je tektonicky silně porušen, výskyt poruchových pásem o mocnosti 1 – 3 metry vyplněné mylonitizovanou břidlicí charakteru zeminy

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozeč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

v místech tektonických poruch 2-4 cm (velmi velká až extrémně velká)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 60-70°, vedlejší S-J, spád 60-70° a SV-JZ, spád 40°

Orientace poruchových pásem: SZ-JV, spád 60-70°

Úhel vnitřního tření: Břidlice 25-28°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace hlavního systému diskontinuit křížící se s vedlejším systémem diskontinuit prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření+výskyt poruchových pásem → úsek s rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 1,5- 8 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 3 bodů, max 17 bodů → nevhodná hornina

TS: min 36, max 38 bodů » QTS = 30 → nevhodná hornina pro ražbu

Úsek 9: Km 6,034 – 5,980

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 13 metrů, z toho 4,5 metrů skalní horniny

Maximální mocnost nadloží: 13 metrů, z toho 5 metrů skalní horniny

Popis horninového prostředí: Břidlice jílovitoprachovité až prachovitojílovité, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté.

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozeč diskontinuit: 6 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 40-60°, vedlejší S-J, spád 60-70° a SV-JZ, spád 70°

Orientace poruchových pásem: SZ-JV, spád 60-70°

Úhel vnitřního tření: Břidlice 30-34°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace hlavního systému diskontinuit křížící se s vedlejším systémem diskontinuit prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 8- 25 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 25 bodů, max 35 bodů → málo kvalitní hornina

TS: min 45, max 50 bodů

Úsek 10: Km 5,980 – 5,918

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 14,5 metrů, z toho 1,5 metru skalní horniny

Maximální mocnost nadloží: 11,5 metrů, z toho 3 metry skalní horniny

Popis horninového prostředí: Jemnozrnné křemence (řevnické křemence), místy s rezavými povlaky puklin, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté, s vložkami jílovitých břidlic deskovitě vrstevnatých Libeňské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá, místy navětralá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 50-60°, vedlejší V-Z, spád 70°

Úhel vnitřního tření: křemence 33-37°, břidlice 30-34°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace hlavního systému diskontinuit křížící se s vedlejším systémem diskontinuit prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: křemence 10 – 70 MPa, břidličné vložky 8-25 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 30 bodů, max 40 bodů → málo kvalitní hornina

TS: min 48, max 55 bodů

Úsek 11: Km 5,918 – 5,840

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 14,5 metrů, z toho 1,5 metru skalní horniny

Maximální mocnost nadloží: 22 metrů, z toho 15 metry skalní horniny

Popis horninového prostředí: Břidlice jílovitoprachovité, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté.

Libeňské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozeč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 0-75°, vedlejší V-Z, spád 80°

Úhel vnitřního tření: 28 - 34°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace hlavního systému diskontinuit křížící se s vedlejším systémem diskontinuit prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 8-25 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

Zvláštní riziko: Průchod pod památkově chráněným objektem Šlechtovy restaurace v úseku s minimální mocností nadloží tvořeného skalní horninou.

RMR: min 25 bodů, max 35 bodů → málo kvalitní hornina

TS: min 45, max 50 bodů

Textová příloha č. 2

Tunel Královská obora – severní část

**Podrobný soupis geologických informací dle zprávy
o podrobném průzkumu**

Část B – Severní tunelová trouba (Portály Trója – km 5,840)

(Dle B. Březiny a dalších autorů, 2006)

Úsek 1: Km 7,269 – 7,180

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 9 metrů, z toho 4 metru skalní horniny

Maximální mocnost nadloží: 13 metrů, z toho 8 metry skalní horniny

Popis horninového prostředí: Písčité až drobové břidlice, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté.

Ojediněle lavice jemnozrnných křemenců křemenných pískovců (skalecké křemence)

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: navětralá až zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: Hlavní SV-JZ, spád 40-60°, vedlejší SZ-JV, spád 70°

Úhel vnitřního tření: břidlice 32 – 36° , skalecké křemence 36 – 40°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace hlavního systému diskontinuit křížící se s vedlejším systémem diskontinuit prakticky v pravém úhlu, vyšší sklon spádnice než úhel vnitřního tření → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: břidlice 12-35 MPa, skalecké křemence 30 – 120 a více MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X až X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 41 bodů, max 48 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 70 bodů

Úsek 2: Km 7,180 – 7,010

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 12 metrů, z toho 8 metru skalní horniny

Maximální mocnost nadloží: 17 metrů, z toho 12 metry skalní horniny

Popis horninového prostředí:

křemenné pískovce lavicovitě vrstevnaté (skalecké křemence) s vložkami písčitých břidlic

km 7,180 – 7,156 přechod od písčitých břidlic do skaleckých křemenců

od km 7,156 už pouze skalecké křemence

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, spád 40-60°

Úhel vnitřního tření: břidlice 32 – 36° , skalecké křemence 36 – 40°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace systému diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: břidlice 12-35 MPa, skalecké křemence 30 – 120 a více MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X až X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 41 bodů, max 48 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 70 bodů

Úsek 3: Km 7,010 – 6,830

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 12 metrů, z toho 8 metru skalní horniny

Maximální mocnost nadloží: 17 metrů, z toho 12 metry skalní horniny

Popis horninového prostředí:

křemenné pískovce lavicovitě vrstevnaté (skalecké křemence) s vložkami písčitých břidlic

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozeč diskontinuit: 10 – 50 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, spád 40-60°

Úhel vnitřního tření: břidlice 32 – 36°, skalecké křemence 36 – 40°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace systému diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: břidlice 12-35 MPa, skalecké křemence 30 – 120 a více MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X až X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

Zvláštní riziko: Průchod pod korytem Vltavy

RMR: min 41 bodů, max 48 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 70 bodů

Úsek 4: Km 6,830 – 6,745

Dvoupruhový profil tunelu

Mocnost nadloží : 21 metrů, z toho 14 metru skalní horniny

Popis horninového prostředí:

křemenné pískovce lavicovitě vrstevnaté (skalecké křemence) s vložkami písčitých břidlic

od km 6,800 přibývá podíl písčitých břidlic směrem

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 50 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, spád 40-60°

Úhel vnitřního tření: břidlice 32 – 36° , skalecké křemence 36 – 40°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace systému diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: břidlice 12-35 MPa, skalecké křemence 30 – 120 a více MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X až X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: ANO, křížení díla s žumpovní chodbou v km 6,770

RMR: min 41 bodů, max 48 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50 bodů, max 70 bodů

,

Úsek 5: Km 6,745 – 6,636

Dvoupruhový profil tunelu

Mocnost nadloží : 21 metrů, z toho 13 až 14 metrů skalní horniny

Popis horninového prostředí: Písčité až drobové břidlice lavicovitě vrstevnaté

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 20 – 30 cm (střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, spád 60-70° (hlavní)

SZ-JV, spád 60°

Úhel vnitřního tření: 32 – 36°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 12-35 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 41 bodů, max 46 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 58 bodů

Úsek 6: Km 6,636 – 6,558

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 19 metrů, z toho 13 metrů skalní horniny

Maximální mocnost nadloží : 21 metrů, z toho 14 metrů skalní horniny

Popis horninového prostředí: Písčité až drobové břidlice lavicovitě vrstevnaté

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 20 – 30 cm (střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, spád 60-70° (hlavní)

SZ-JV, spád 60°

Úhel vnitřního tření: 32 – 36°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 12-35 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

Zvláštní riziko: Průchod pod plavebním kanálem → potenciální riziko průvalu říční vody do díla

RMR: min 41 bodů, max 46 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 58 bodů

Úsek 7: Km 6,558 – 6,410

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 19 metrů, z toho 13 metrů skalní horniny

Maximální mocnost nadloží : 21 metrů, z toho 13 metrů skalní horniny

Popis horninového prostředí: Písčité , písčitoprachovité až prachovité břidlice, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté. Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, spád 50-70° (hlavní)

S-J, spád 60-70°

SZ-JV, spád 40°

Úhel vnitřního tření: 32 – 36°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 12-35 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

Zvláštní riziko: Průchod pod podzemní trafostanicí a přípojným kabelem vysokého napětí

RMR: min 41 bodů, max 46 bodů → středně kvalitní hornina

TS: min 50, max 58 bodů

Úsek 8: Km 6,410 – 6,110

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 19 metrů, z toho 13 metrů skalní horniny

Maximální mocnost nadloží : 16 metrů, z toho 8 metrů skalní horniny

Popis horninového prostředí: Prachovitojílovité až jílovitoprachovité břidlice, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté. Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 40 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, spád 60-70° (hlavní)

S-J, spád 60-70°

SZ-JV, spád 40°

Úhel vnitřního tření: 30 – 34°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 8-25 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

Zvláštní riziko: Průchod díla pod železniční tratí SŽDC 526/ČD 090

RMR: min 25 bodů, max 35 bodů → málo kvalitní hornina

TS: min 45, max 50 bodů

Úsek 9: Km 6,110 – 5,990

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 16 metrů, z toho 8 metrů skalní horniny

Maximální mocnost nadloží : 13 metrů, z toho 5 metrů skalní horniny

Popis horninového prostředí: Prachovitojílovité břidlice, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté.

Častý výskyt poruchových pásem o mocnostech 1 – 3 metry vyplněné mylonitizovanou břidlicí charakteru zeminy.

Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: tektonicky porušená, mimo místa poruch zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je silně tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

v místech tektonických poruch 2-4 cm (velmi velká až extrémně velká)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, sklon 60-70° (hlavní)

Z-V, sklon 60-70°

SZ-JV, sklon 40°

Poruchová pásma mají orientaci SV-JZ, sklon 60-70° a SZ-JV se sklonem 70°

Úhel vnitřního tření: 30 – 34°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 8-25 MPa, v místech tektonických poruch 1,5 – 8 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X až X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 3 body, max 17 bodů → nevhodná hornina

TS: min 36, max 38 bodů » **QTS = 30** → nevhodná hornina

Úsek 10: Km 5,990 – 5,942

Dvoupruhový profil tunelu

Mocnost nadloží : 13 metrů, z toho 4,5 až 5 metrů skalní horniny

Popis horninového prostředí: Prachovitojílovité až jílovitoprachovité břidlice, deskovitě až lavicovitě vrstevnaté. Dobrotivské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: Zdravá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je ojediněle tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 6 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, sklon 60-70° (hlavní)

Z-V sklon 60-70°

SZ-JV, sklon 40°

Poruchová pásma mají orientaci SV-JZ, sklon 60-70° a SZ-JV se sklonem 70°

Úhel vnitřního tření: 30 – 34°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 8-25 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 25 body, max 35 bodů → málo kvalitní hornina

TS: min 45, max 50 bodů

Úsek 11 Km 5,942 – 5,880

Dvoupruhový profil tunelu

Mocnost nadloží : 11 až 14,5 metrů, z toho 1,5 až 3 metry skalní horniny

Popis horninového prostředí: Jemnozrnné křemence (řevnické) deskovitě až lavicovitě vrstevnaté, místy tektonicky porušené s vložkami jílovitých břidlic. Libeňské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: Zdravá, místy navětralá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je místy tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, sklon 60-70° (hlavní)

Z-V sklon 70°

SZ-JV, sklon 40-60°

Úhel vnitřního tření: řevnické křemence 33-37° ,břidlice 30–34°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: řevnické křemence 10-70 MPa, břidlice 8-25 MPa

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X až X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

RMR: min 30 body, max 40 bodů → málo kvalitní hornina

TS: min 48, max 55 bodů

Úsek 12 Km 5,880 – 5,820

Dvoupruhový profil tunelu

Minimální mocnost nadloží : 14,5 metrů, z toho 2,5 metru skalní horniny

Maximální mocnost nadloží : 22 metrů, z toho 20 metrů skalní horniny

Popis horninového prostředí: Jílovité břidlice zdravé, lavicovitě až deskovitě vrstevnaté.

Libeňské souvrství, ordovik

Technický stav horniny: Zdravá, místy navětralá

Předchozí tektonika: ANO, horninový masív je generelně zvrásněn.

Skalní masív je místy tektonicky porušen.

Horninová napjatost: Pouze primární napjatost, hornina netvoří horninovou klenbu

Rozteč diskontinuit: 10 – 30 cm (velká až střední hustota diskontinuit)

Popis diskontinuit: Hladké, zvlněné, sevřené, průběžné

Orientace diskontinuit: SV-JZ, sklon 60-70° (hlavní)

Z-V sklon 70°

SZ-JV, sklon 40-60°

Úhel vnitřního tření: řevnické křemence 33-37° ,břidlice 30–34°

Vyhodnocení diskontinuit: Nepříznivá orientace dvou systémů diskontinuit → úsek s potenciálním rizikem vypadávání bloků.

Pevnost v prostém tlaku: 3 – 25 MPa, směrem k Letné pevnost roste

Očekávané přítoky podzemní vody: 0,X l/s

Chemická agrese vody: NE

Riziko antropogenního původu: NE

Zvláštní riziko: Průchod pod památkově chráněným objektem Šlechtovy restaurace v úseku s minimální mocností nadloží tvořeného skalní horninou.

RMR: min 25 body, max 35 bodů → málo kvalitní hornina

TS: min 45, max 50 bodů

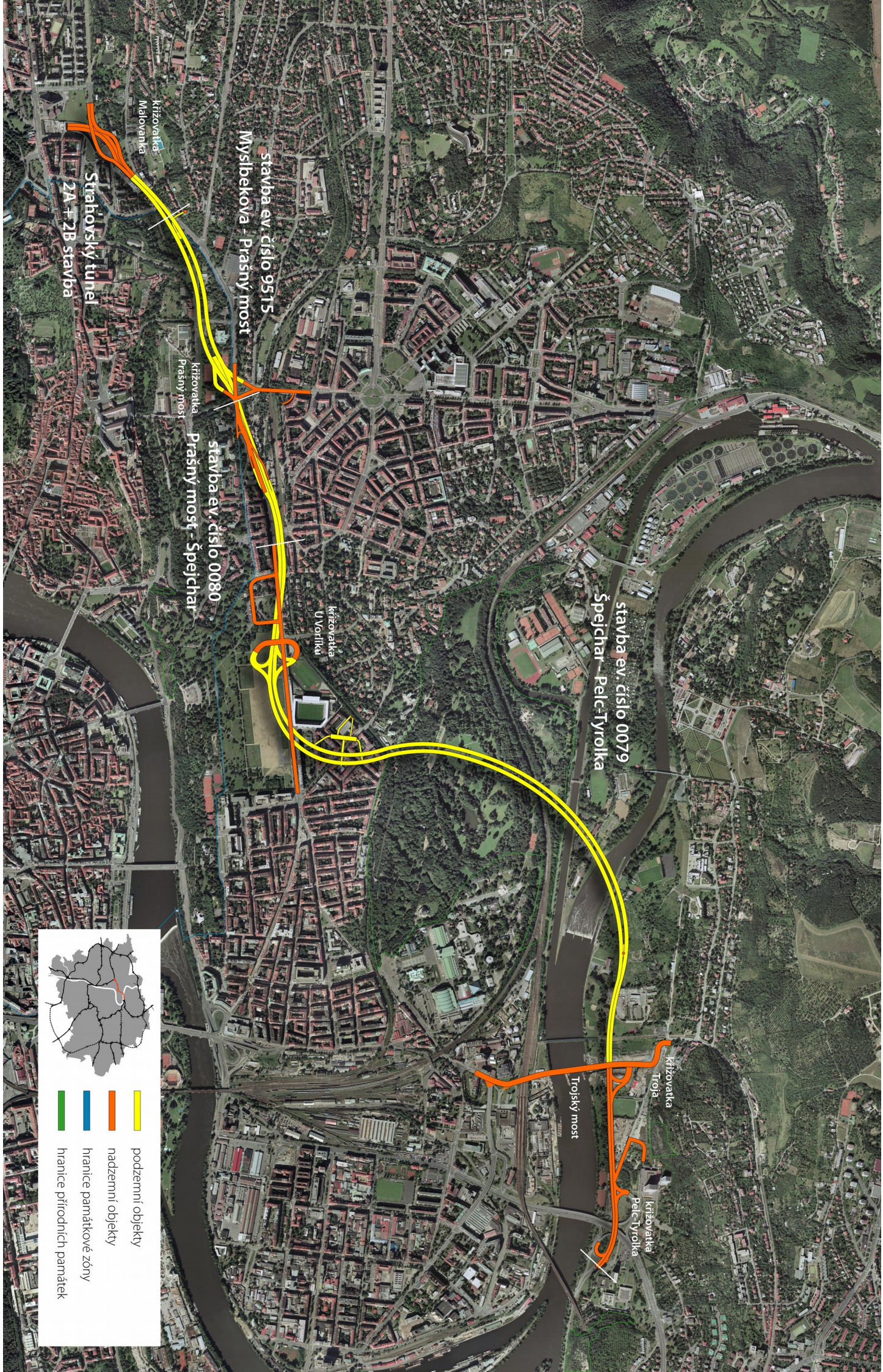
Přílohová část č. 2

Obrazové přílohy

Příloha č. 1

Přehledová mapa zájmové stavby

(Satra s. r. o.)



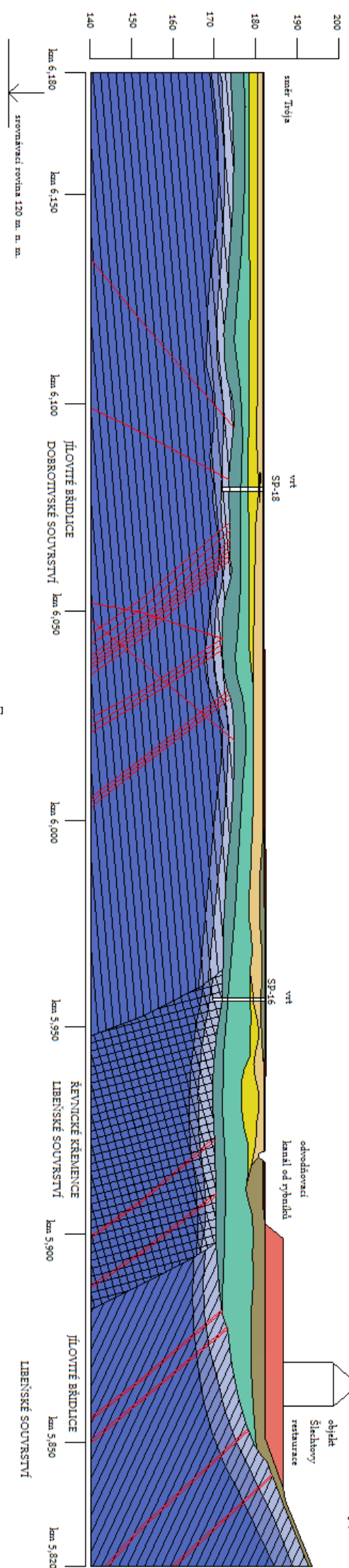
- podzemní objekty
- nadzemní objekty
- hranice památkové zóny
- hranice přírodních památek

Příloha č. 2

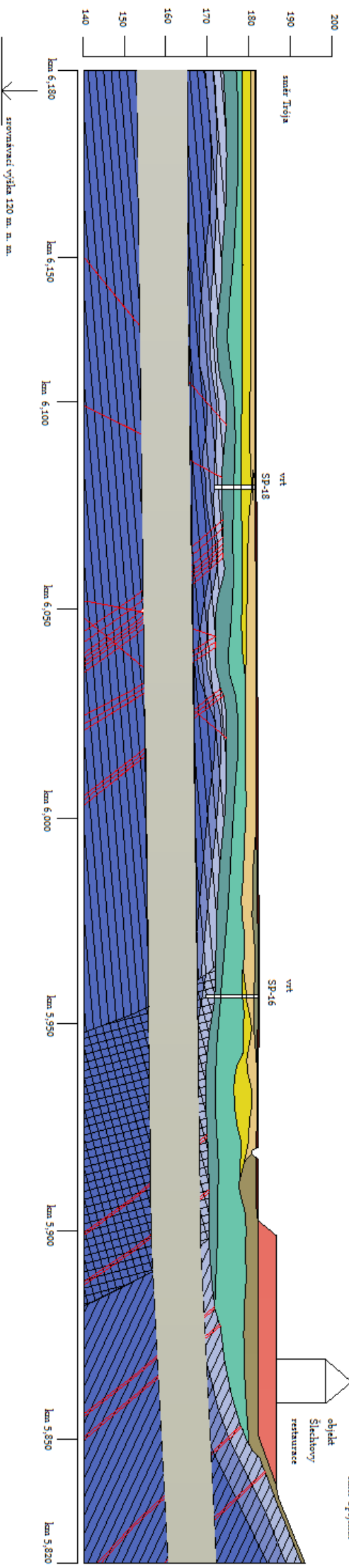
Ražené tunely Královská obora

Geologický řez osou JTT v úseku km 6,180 – 5,820

Nadmořská výška v metrech (Balt)



Nadmořská výška v metrech (Balt)

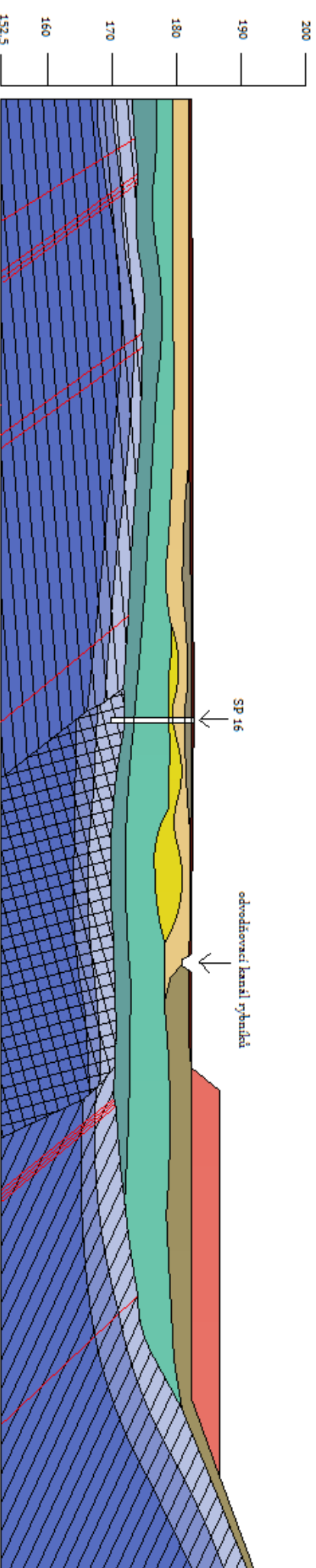


Příloha č. 3

Ražené tunely Královská obora

Geologický řez osou STT v úseku km 6,069 – 5,840

Nadmořská výška v metrech (Balt)



směr km 6,069 km 6,050 km 6,000 km 5,950 km 5,900 km 5,850 km 5,840 směr
Třeja DOBROTVSKÉ SOUVRSTVÍ LIBEŇSKÉ SOUVRSTVÍ RĚVNICKÉ KŘEMENCE LIBEŇSKÉ SOUVRSTVÍ Špejchar

↙
Srovnávací rovina 130 m. n. m.

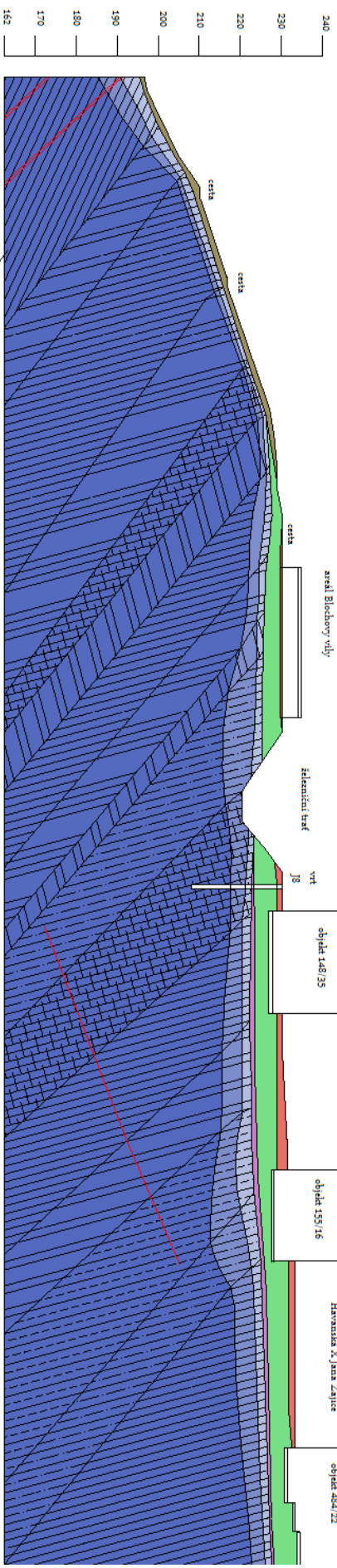
Příloha č. 4

Tunel Královská obora

Geologický řez vedený prostorem mezi tunelovými troubami

km 5,840 STT – MÚK Špejchar

Nadmořská výška v metrech (Bak)



km 5,840 km 5,800 km 5,750 km 5,700 km 5,650 km 5,600 km 5,550 km 5,580

PŘIBLIŽNÁ POZICE ROZHRANÍ
LIBENSKÉHO (VLEVO) A LETENSKÉHO (VPRAVO) SOUVRSTVÍ

středová vlna 130 m. n. m.

areál Blokovy vily

železniční trať

vrt 38

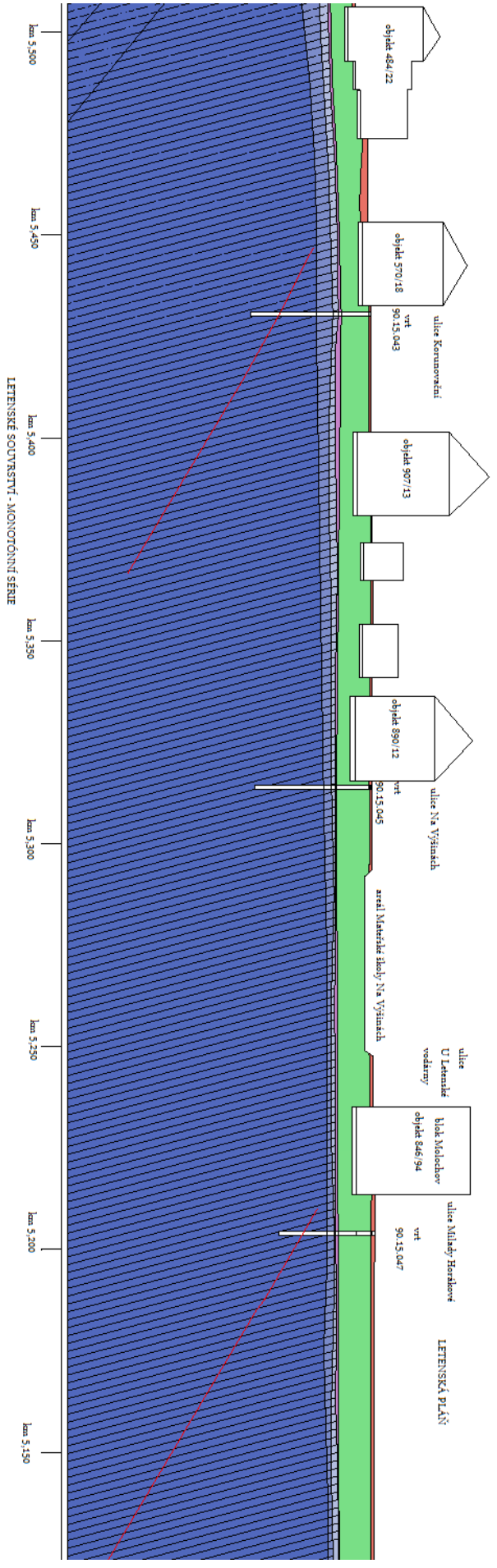
objekt 148/35

objekt 155/16

Hájenka ulice
Havrančí X Jana Zajíce

objekt 684/22

vilyce
Nad Kralovickou oborou



blok Mladobor
oblast 346/94

ulice Mladý Hrozenek

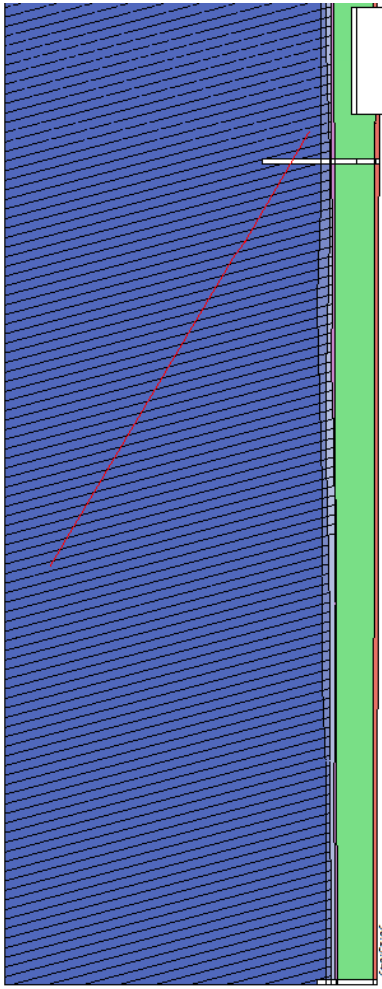
LETENSKÁ PĚLÁNĚ

90.15.047
vt

MINIČROVNĚNÁ
KŘÍŽOVATKA
ŠPECHAR

LETENSKÉ SOUVRSTVÍ - MONOTONNÍ SÉRIE

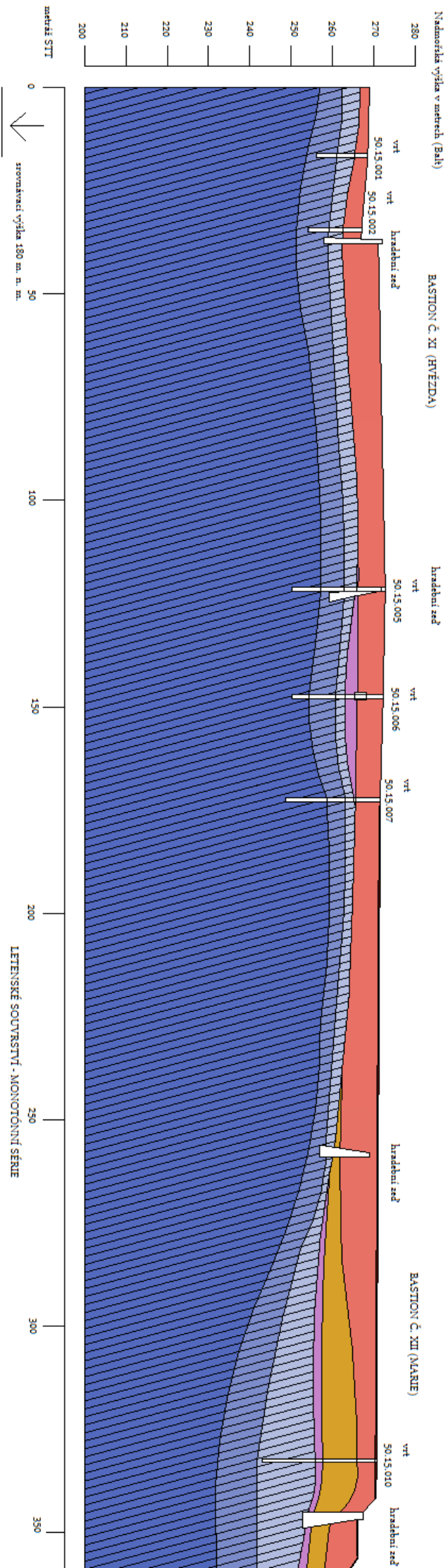
km 5,200 km 5,150 km 5,100 km 5,000 km 4,988



Příloha č. 5

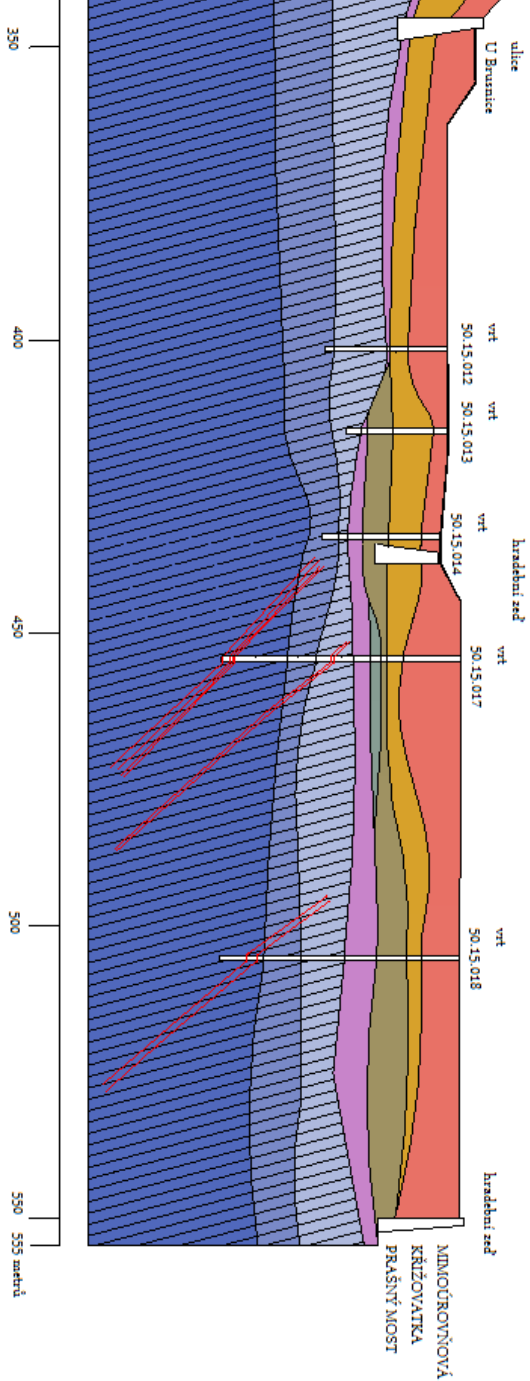
Tunel Brusnice

Geologický řez je vedený po ose STT



AREÁL MINISTERSTVA KULTURY ČR

EASTON Č. XIII (BENEDIKT)



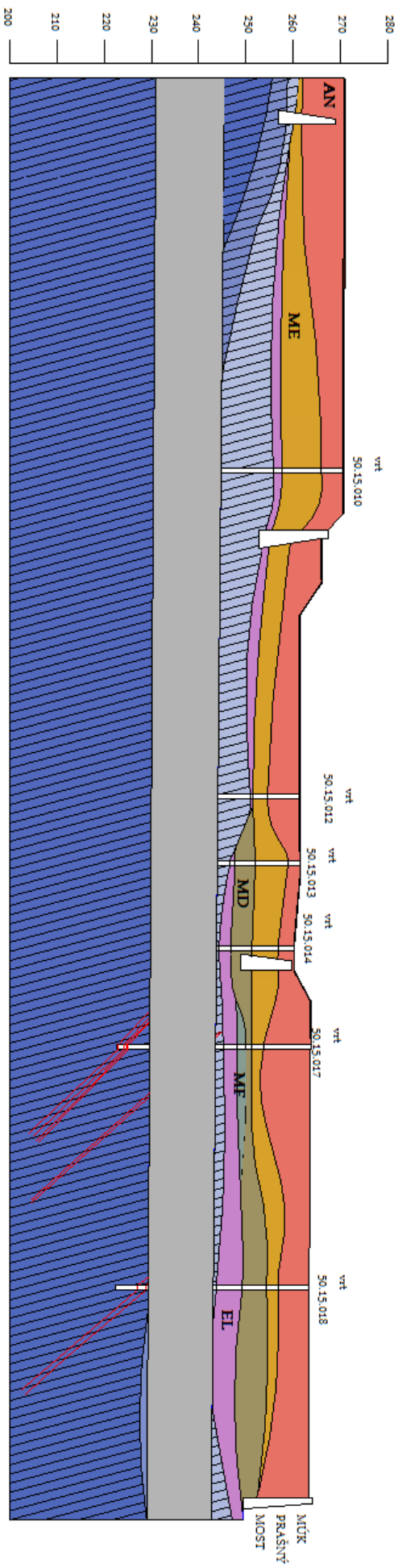
Příloha č. 6

Geologický řez tunelem Brusnice v trase STT

s vyznačenou trasou tunelu od metráže 250 m od portálů Myslbekova

k MÚK Prašný Most

Nadmořská výška v metrech (Balt)



metráž od počátku
Nýřálekova

↑
srovnávací výška 180 m. n. m.

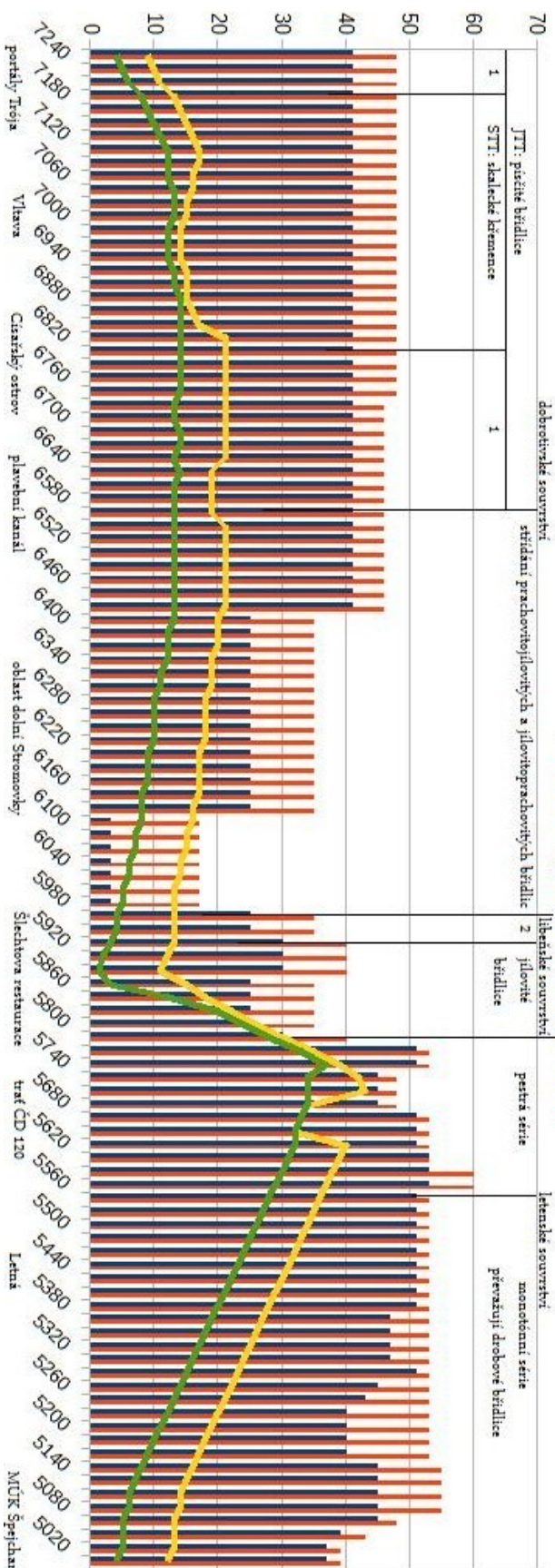
LETENSKÉ SOUVRSTVÍ - MONOTÓNNÍ SÉRIE

Příloha č. 7

**Graf RMR na tunelu Královská obora
a vlivu geologického prostředí na hodnotu RMR**

Tunel Královská obora

vztah RMR, geologie a skalního nadloží



- RMR minimální
- RMR maximální
- hloubka pod úrovní terénu (m)
- mocnost skalního nadloží (m)
- 1 - STI: pucitá až drobné břidlice
- 2 - řevnická křemence

mateřič stavby (m)