

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Inženýrská Geologie



Bc. Andrea Honzejková

Inženýrskogeologický průzkum v jednotlivých etapách výstavby metra trasy A v Praze

Engineering geological survey in individual stages of construction of metro line A in
Prague

Typ závěrečné práce

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce

Mgr. Jiří Rout

Praha, 2022

Prohlášení

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

V Praze, 14.1.2022

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala panu Mgr. Jiřímu Routovi za odborné vedení a poskytnutí cenných rad při psaní diplomové práce. Dále bych poděkovala firmě SG Geotechnika a.s. a paní Janě Maškové z firmy PUDIS a.s. za zpřístupnění podkladů z firemních archívů. Zejména bych však chtěla poděkovat své rodině za poskytnutí zázemí a podpory po celou dobu mého studia.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá realizací inženýrskogeologického průzkumu pro stavbu trasy metra A v Praze, zejména zhodnocením metodiky v jednotlivých etapách, během její 45 leté historie budování. V průběhu výstavby se měnila jak technologie výstavby, tak přístup k zajišťování inženýrskogeologických podkladů pro zpracování projektu. Základem práce je důkladné prostudování archivních podkladů doplněných o terénní dokumentaci a hodnocení horninového masivu na skalních výchozech. Součástí práce bylo představení stručné historie budování trasy metra A s charakteristikou všech využitých technologií ražby, které se v čase měnily. Byly zhodnoceny inženýrskogeologické poměry v trase doplněny o přehledný podélný profil celé trasy A. Cílem práce bylo posouzení vývoje metodiky průzkumu, která se změnila mírně, a tak jsou patrné rozdíly mezi průzkumy prováděné v minulosti a v současnosti. V čase došlo k vývoji metod ražby, na jejich základě došlo ke změně požadavků v rámci průzkumných sond a mechanických a technologických zkoušek. Dále došlo k využívání nových metod v rámci geofyzikálního nebo karotážního měření v závislosti na samotném vývoji metod.

Klíčová slova: metro, inženýrskogeologický průzkum, etapovitost prací, metodika průzkumu, technologie ražby

Abstract

The diploma thesis deals with the implementation of engineering geological surveys for the construction of the A metro line in Prague, especially the evaluation of the methodology in individual stages during its 45-year history of construction. During the construction process, both the construction technology and the approach to providing the engineering geological basis for the project changed. The basis of the work is a thorough study of archival documents supplemented by field documentation and evaluation of the rock mass at the rock outcrops. The thesis included a brief history of the construction of the A metro line with the characteristics of all the technologies used in the excavation, which have changed over time. The engineering geological conditions along the route were evaluated, complemented by a clear longitudinal profile of the entire A line. The aim of the work was to assess the evolution of the survey methodology, which has slightly changed, so that differences between surveys carried out in the past and those carried out today are apparent. The methods of excavation have evolved over time, and the requirements within the exploration probes and the mechanical and technological testing have changed based on these. In addition, new methods have been used in geophysical or carottage surveys depending on the development of the methods themselves.

Key words: metro, research, engineering geological survey, phasing of works, survey methodology, boring technology

OBSAH

1. Úvod	1
2. Zadání diplomové práce	2
3. Metodika zpracování	2
4. Charakteristika zájmového území	3
4.1 Geomorfologické poměry	4
4.2 Geologické poměry	5
4.3 Hydrogeologické poměry.....	11
4.4 Hydrologické poměry	13
5. Historie výstavby metra trasy A	13
6. Použité technologie ražby na trase A	15
6.1 Hloubení.....	15
6.1.1 Podzemní stěny	15
6.1.2 Záporové pažení	17
6.2 Konvenční tunelování	17
6.2.1 Prstencová metoda (erektorová).....	18
6.2.2 Metoda NRTM (Nová rakouská tunelovací metoda).....	19
6.3 Mechanizované tunelování	20
6.3.1 Nemechanizovaný štít	21
6.3.2 Metoda TŠČb	22
6.3.3 Metoda TBM-EPB	22
7. Příprava stavby pro trasu A	23
7.1 Příprava stavby pro trasu I.A	24
7.2 Příprava stavby pro úsek II.A	29
7.3 Příprava stavby pro úsek III.A/1	30
7.4 Příprava stavby pro trasu III.A/2	33
7.5 Příprava stavby pro trasu V.A.....	35
8. Hodnocení horninového masivu	39
8.1 Klasifikace pro hodnocení horninového masivu	40
8.2 Hodnocení horninového masivu v terénu	43
9. Problémy při stavbě.....	48

9.1 Problematické prostředí	48
9.2 Mimořádné události	49
10. Diskuze výsledků.....	50
11. Závěr.....	53
12. Seznam literatury	54
13. Přílohy	59

Seznam obrázků

Obr. 1 Vyznačená trasa metra A v Praze	3
Obr. 2 Přehledná mapa se zobrazením trasy a hlavních geomorfologických podcelků Pražské plošiny na podkladě DMR5G (měřítko 1 : 60 480)	4
Obr. 3 Výřez z inženýrskogeologické mapy pokryvných útvarů s vyznačenou trasou metra A v měřítku 1 : 50 000 s popisky	9
Obr. 4 Obr. 4 Podzemní stěny (upraveno) – vlevo, názorná ukázka - vpravo	16
Obr. 5 Záporové pažení (upraveno) – vlevo, názorná ukázka – vpravo	17
Obr. 6 Schéma prstencové metody – vlevo, názorná ukázka – vpravo	19
Obr. 7 Schéma metody NRTM – vlevo, názorná ukázka – vpravo	20
Obr. 8 Schéma nemechanizovaného štítu (upraveno) – vlevo, názorná ukázka – vpravo	21
Obr. 9 Štít metody TŠČb (upraveno) – vlevo, názorná ukázka – vpravo	22
Obr. 10 Štít metody TBM-EPB - vlevo, názorná ukázka – vpravo	23
Obr. 11 Rozmístění průzkumných prací v okolí stanice Dejvická v úseku I.A	28
Obr. 12 Rozmístění průzkumných prací v okolí stanice Nádraží Veleslavín v úseku V.A	38
Obr. 13 Dělení výrubu dle metody QTS	41
Obr. 14 Hodnocení horninového masivu dle klasifikace RMR	42
Obr. 15 Navštívené lokality	43
Obr. 16 Výsledky z provedeného hodnocení QTS	47
Obr. 17 Bílá skála - břidlice	59
Obr. 18 Bílá skála - křemence	59
Obr. 19 Divoká Šárka - křemence	60
Obr. 20 Jabloňka - břidlice	60
Obr. 21 Motol - křemence	61
Obr. 22 Motol - břidlice	61

Seznam tabulek

Tab. 1 Geologická souvrství zastižená trasou metra A	5
Tab. 2 Základní informace o etapách trasy metra A	14
Tab. 3 Přehled získaných průzkumných zpráv pro jednotlivé úseky a etapy IGP	24
Tab. 4 Informace o provedených průzkumných sondách v úseku I.A	28

Tab. 5	Informace o provedených průzkumných sondách v úseku II.A	30
Tab. 6	Informace o provedených průzkumných sondách v úseku III.A/1	32
Tab. 7	Informace o provedených průzkumných sondách v úseku III.A/2	35
Tab. 8	Informace o provedených průzkumných sondách v úseku V.A	39
Tab. 9	Informace o provedených průzkumech souhrnně pro všechny etapy	39
Tab. 10	Provedené hodnocení RQD	44
Tab. 11	Provedené hodnocení RMR	45
Tab. 12	Provedené hodnocení QTS	46

Seznam příloh

- 1 Fotodokumentace skalních výchozů
 - 2.1 Přehledný geologický profil trasy metra A – I. část
 - 2.2 Přehledný geologický profil trasy metra A – II. část

1. Úvod

Diplomová práce se zabývá realizací metra trasy A v Praze a zaměřuje se na zhodnocení metodiky inženýrskogeologického průzkumu v jednotlivých etapách její výstavby. Trasa A byla s přestávkami budována více než 45 let a stavba probíhala mezi lety 1970 – 2015. V čase byly využívány různé technologie výstavby a měnil se i přístup k zajišťování inženýrskogeologických podkladů pro přípravu projektu stavby.

Metro slouží v Praze jako jeden z nejvyužívanějších způsobů dopravy, která denně přepraví i přes milion cestujících. Trasa metra A, která svou délkou 17,1 km protíná území hlavního města Prahy V–Z směrem je tvořena 17 stanicemi. Zájmová trasa má v závislosti na geologické historii složitou geomorfologickou a zejména geologickou stavbu.

Základem práce je důkladná archivní rešerše dostupných podkladů doplněná o vlastní terénní dokumentaci horninového masivu na vybraných výchozech.

Hlavním cílem diplomové práce bylo zhodnotit inženýrskogeologické průzkumy realizované v jednotlivých etapách přípravy stavby a postihnout vývoj v jejich metodice i celkově přístup k realizaci průzkumů v průběhu celé výstavby trasy A.

Součástí práce je představení stručné historie budování trasy linky A včetně charakteristiky použitých technologií ražby, které mohou mít odlišné požadavky na výstupy průzkumů. Zhodnoceny jsou inženýrskogeologické poměry v trase a jejich popis je doplněn o přehledný podélný profil v celé trase. Charakteristika geologických poměrů byla dále rozšířena o terénní průzkum, při němž byly vytipovány charakteristické výchozy vybraných hornin objevujících se v trase. Na výchozech byla provedena jejich dokumentace, včetně hodnocení horninového masivu dle vybraných klasifikací.

V práci jsou rovněž shromážděny dostupné informace o hlavních problémech při vlastní realizaci i o vzniklých mimořádných událostech na stavbě, a je provedeno jejich zhodnocení z hlediska podrobnosti průzkumů a možností eliminace jejich vzniku.

2. Zadání diplomové práce

Převzato ze SISu: Student v práci zhodnotí IG poměry v trase stavby, popíše použité technologie výstavby, podrobně popíše rozsah i použitou metodiku průzkumů v jednotlivých úsecích i etapách stavby, použité metody hodnocení parametrů horninového masivu a hlavní problémy v průběhu realizace stavby. Ze získaných výsledků provede hodnocení četnosti a podrobnosti průzkumů v jednotlivých úsecích stavby ve vazbě na použité technologie výstavby a vyjádří se k optimální podrobnosti i náplni průzkumů.

3. Metodika zpracování

Vzhledem k tématu diplomové práce je metodika práce rozdělena do několika dílčích částí.

Rešeršní práce

Pro zpracování hlavní části diplomové práce bylo stěžejní provedení důkladné archivní rešerše, jež spočívala ve vyhledávání všech dostupných zdrojů týkajících se průzkumných prací i historie výstavby trasy metra A v Praze. Základem bylo jejich podrobné prostudování a výběr informací o historii výstavby i zajišťování inženýrskogeologických podkladů pro přípravu projektu trasy metra A. Zároveň s tím byla zjišťována charakteristika inženýrskogeologických poměrů v trase a získávány podklady pro konstrukci podélného profilu. Dostupné zprávy o průzkumech byly dále analyzovány z hlediska použitých metod průzkumu, četnosti sondování i způsobu hodnocení horninového masivu. Vedle toho byly získávány i informace o hlavních problémech při realizaci.

Pro diplomovou práci byly využity podklady pocházející zejména z archivu ČGS Geofond se sídlem v Kostelní ulici na Praze 7, odborné publikace českých i zahraničních autorů dostupných v Geologické knihovně na Přírodovědecké fakultě UK či Národní technické knihovně. Dále mi pro diplomovou práci poskytly přístup k archivním zprávám firmy SG Geotechnika, a.s. se sídlem v ulici Geologická na Praze 5 a firma PUDIS a.s. se sídlem v ulici Podbabská na Praze 6. Celkový přehled použitých podkladů je uveden v kapitole 12. Seznam literatury.

Práce v programu AutoCAD

Program AutoCAD je software, jež slouží pro technické kreslení a modelování. Pomocí studentské verze programu AutoCAD byl vytvořen přehledný inženýrskogeologický profil v trase a orientační situace se zakreslenými polohami sond realizovaných v jednotlivých etapách průzkumů. Inženýrskogeologický profil byl zpracován aktualizací,

respektive prodloužením archivního profilu pro úsek mezi stanicemi *Dejvická* (dříve známá jako *Leninova*) – *Flora* publikovaného v knize *Praha a inženýrská geologie*. Zpracovaný profil je prezentován jako příloha 2.1 a 2.2, situační výkresy jsou zobrazené v kapitole 7.1 a 7.5.

Terénní práce

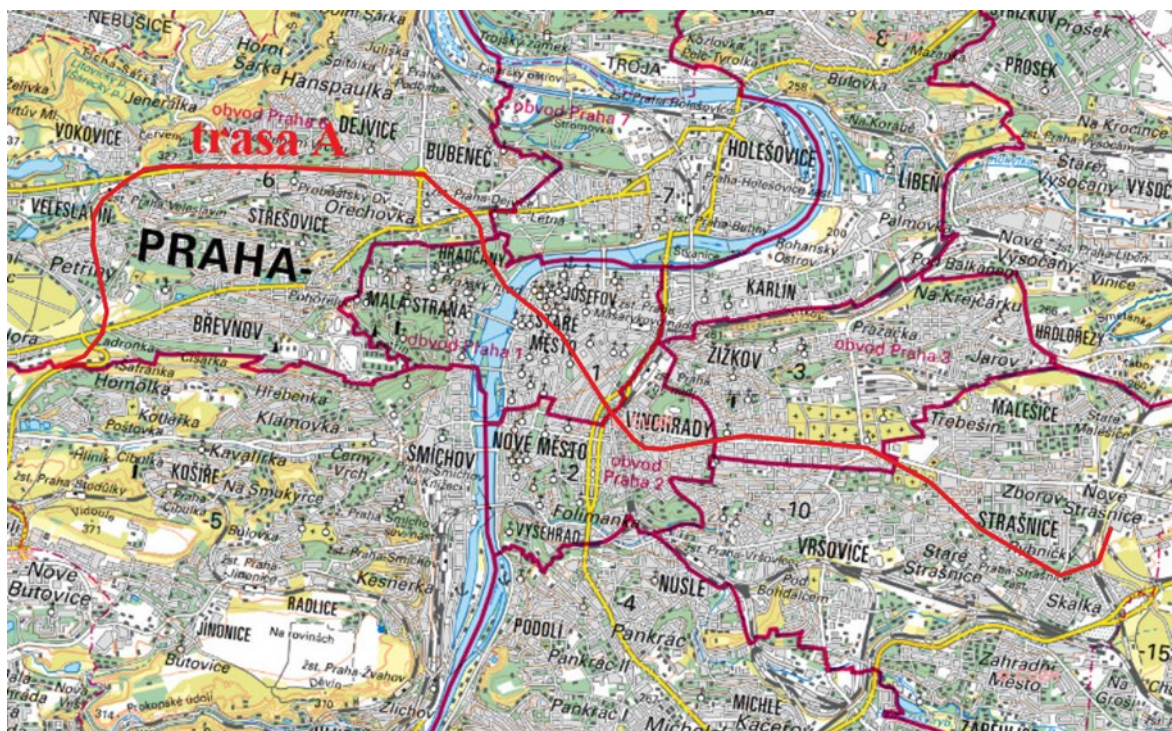
Terénní práce spočívaly zejména ve vyhledání charakteristických skalních výchozů korespondujících s pražskou geologií v trase metra A. Dalším krokem byla dokumentace výchozů a jejich podrobný popis, včetně hodnocení horninového masivu dle vybraných horninových klasifikací, konkrétně RMR a QTS. Zhodnocení dílčích lokalit sloužilo jako doplněk pro charakteristiku IG poměrů.

Metodika vyhodnocování

Stěžejní částí diplomové práce bylo zhodnocení a interpretace zjištěných údajů. Důraz byl kladen zejména na posouzení etapovitosti průzkumů, podrobnosti prováděných průzkumů a hodnocení prozkoumanosti jednotlivých částí trasy z hlediska množství provedených sond, použitých metod průzkumu i hodnocení horninového masivu.

4. Charakteristika zájmového území

Trasa probíhá viz Obr. 1 od stanice *Depo Hostivař* situované na Praze 10 – Strašnice, přes historické centrum, po stanici *Nemocnice Motol* na Praze 5 – Motol.

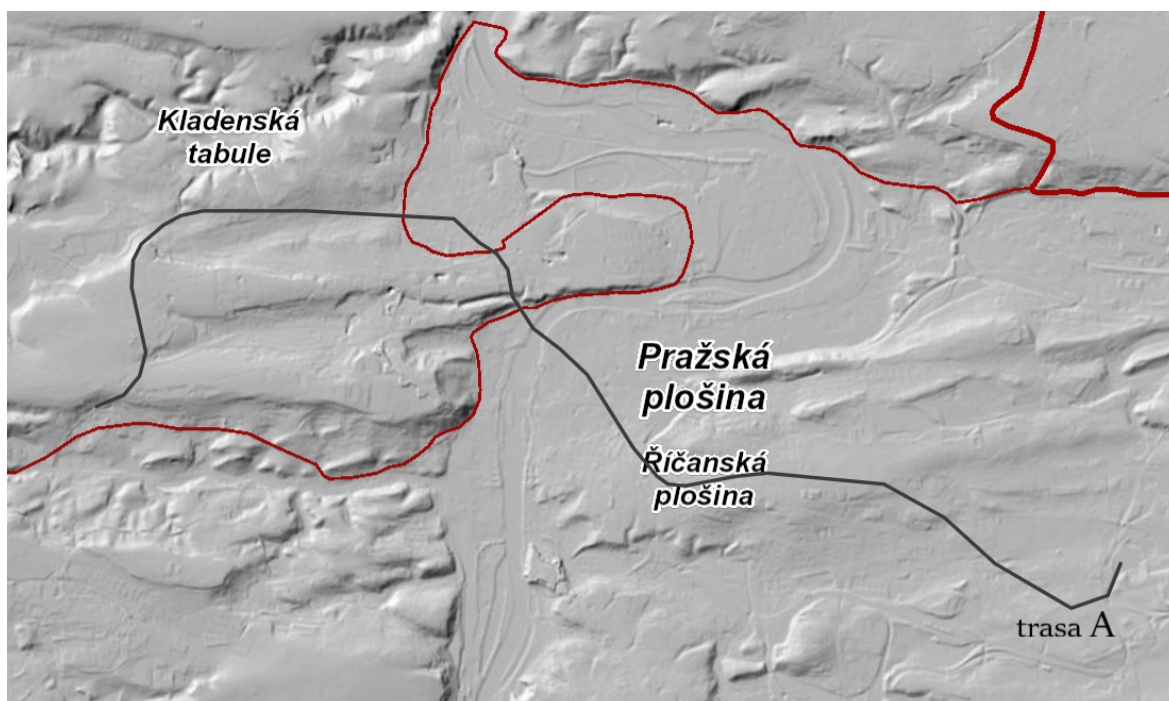


Obr. 1 Vyznačená trasa metra A v Praze (upraveno) (zdroj:www.ags.cuzk.cz)

4.1 Geomorfologické poměry

Podle regionálního geomorfologického členění reliéfu ČR dostupného na stránkách <http://geoportal.gov.cz> náleží zájmové území do:

System: Hercynský systém
Provincie: Česká vysočina
Subprovincie: Poberounská soustava
Oblast: Brdská oblast
Celek: Pražská plošina
Podcelek: Říčanská plošina, Kladenská tabule
Okrsek: Úvalská plošina, Pražská kotlina, Hostivická tabule



Obr. 2 Přehledná mapa se zobrazením trasy a hlavních geomorfologických podcelků Pražské plošiny na podkladě DMR5G (měřítko 1 : 60 480) (upraveno) (zdrojwww.geoportal.gov.cz)

Dle geomorfologického členění spadá zájmová trasa viz Obr. 2 do celku Pražské plošiny, ležící na severovýchodním okraji Brdské oblasti, rozkládající se přes cca 80 % území hlavního města Prahy. Toto území je charakteristické zarovnaným povrchem s mírně ukloněným reliéfem, do nějž se hluboce zařezává údolí řeky Vltavy a jejích přítoků (Hudek et al., 1979). Zájmová trasa procházející Prahou V–Z směrem se rozkládá na třech okrscích s výrazně odlišnou geomorfologickou strukturou, tvořeného Úvalskou plošinou, Pražskou kotlinou a Hostivickou tabulí. Údolí území vytváří zařezané koryto Vltavy tvořící nejnižší

oblast v nadmořských výškách okolo 185 m a naopak nejvyšší oblast Hostivická tabule vyskytující se přibližně v 370 m n.m.

Jihovýchodní část území zájmové trasy leží v okrsku Úvalské plošiny, tvořené rozčleněným pahorkatinným terénem, který je vytvořen erozně denudačními zbytky svrchnokřídových sedimentů uložených na podkladu algonkických (svrchně proterozoických) sedimentů (Kovanda, 2001). V pahorkatinném terénu se pohybují nadmořské výšky od cca 210 m v oblasti Botičského a Slatiňanského potoka, které se postupně zvedají směrem na východ až do 250 m n.m.

Na Úvalskou plošinu ze západu navazuje Pražská kotlina, která je tvořena hluboce zařezaným údolím nejnižších stupňů údolních teras a nivy řeky Vltavy. Údolí se pohybuje kolem 185 m n.m., představující nejnižší oblast zájmové trasy.

Na západním břehu řeky Vltavy se zvedá Hostivická tabule, jež je charakteristická zejména rozsáhlými zarovnanými povrchy tvořící tabuli (Hudek et al., 1979). Tabule je mírně ukloněná JZ-SV směrem, dosahujících do výšky cca 370 m n.m. a vytváří tak nejvyšší oblast zájmové trasy.

4.2 Geologické poměry

Zájmová trasa, jež protíná území hlavního města Prahy V-Z směrem je tvořena tepelsko-barrandienskou oblastí složenou z hornin svrchního proterozoika až spodního paleozoika, které se skládají převážně z břidlic, prachovců a jílovců. Ze severozápadu je tepelsko-barrandienská oblast překryta sedimenty české křídové pánve zastoupené převážně pískovci a slínovci. Všechny trasou zastížená souvrství jsou přehledně zobrazena v Tab. 1.

Tab. 1 Geologická souvrství zastížená trasou metra A

éra	útvár	stupeň	souvrství	
meozoikum	křída	turon (spodní)	bělohorské	
		cenoman	perucko-korycanské	
paleozoikum	silur	llandovery-wenlock	liteňské	
	ordovik	kosov	kosovské	
		beroun		bohdalecké
				zahořanské
				vinické
		letenské		

paleozoikum	ordovik	beroun	libeňské
		dobrotiv	dobrotivské
		ilanvirn	šárecké

Skalní podloží

Převážnou část území hlavního města Prahy a jejího okolí tvoří Barrandien zaujímavější z velké části tepelsko-barrandienskou oblast, jejíž vznik sahá do období ordoviku. Oblast je zejména v Praze důkladně prozkoumaná, díky svému bohatému obsahu zkamenělin paleontologem Joachimem Barrandem, dle něž je pojmenovaná (Chlupáč, 2002). V období ordoviku měla centrální část Barrandienu podobu protažené lineární deprese SZ-JV směru, rozkládající se mezi Prahou a Plzní, dnes také známou jako pražská pánev. Pražská pánev byla v období ordoviku zaplavována jako okrajová část moře následkem transgrese a eustatických zdvihů, původně kadomsky zvrásněného podkladu. Zájmová trasa zastihuje sledy tvořené šáreckým, dobrotivským, libeňským, letenským, vinickým, zahořanským, bohdaleckým a kosovským souvrstvím.

Později počátkem siluru došlo k eustatickým zdvihům, na jejichž základě vznikaly graptolitové břidlice tvořící liteňské souvrství, které bylo zájmovou trasou metra dotčeno (Kovadna, 2001).

V průběhu variského vrásnění byl skalní podklad tvořící Barrandien zvrásněn při srážce Gondwany a Laurasie horotvornými procesy. Následkem kolize byl skalní podklad zanořován a za vysokých teplot metamorfován. Podle Chlupáče (2002) je tak oblast Barrandienu vyznačena nižším stupněm metamorfózy, místy s nemetamorfovanými vrstvami, jejíž tektonické struktury jsou vyznačeny jednoduchými vrásovými strukturami SV-JZ směru.

Později v období křídý přišla cenomanská transgrese, jež zaplavila oblast mezi Drážďanami a Severní Moravou a vytvořila tak českou křídovou pánev. Ze severovýchodu Prahy tak došlo k překrytí ordovického skalního podkladu křídovými sledy. Následně nastalo usazování částečně brakických a částečně mořských sedimentů zastoupených perucko-korycanským souvrstvím tvořeným pískovci, jílovci a slepenci. Dále je období křídý reprezentováno mladším bělohorským souvrstvím tvořícím mořské sedimenty složené z jílovců a opuk z období turonu.

Skalní podloží v průběhu V-Z

Vzhledem ke stavbě ordovického skalního podkladu vytvářející vrásové struktury SV-JZ směrem, jsou zmíněná souvrství zvrásněna téměř do vertikální polohy a erodována do dnešní podoby. Zastižené vrstvy jsou proto v zájmové trase zastoupeny opakovaně v několika úsecích.

Z východní části zájmové trasy ve stanicích *Depo Hostivař - Skalka - Strašnická* (dříve známá jako *Starostrašnická*) vystupuje bohdalecké souvrství tvořené tmavě šedými a šedočernými jílovitými břidlicemi, které jsou jemně slídnaté místy s vtroušeným pyritem (Chlupáč, 2002). Břidlice vytváří polohy slabě zpevněného jílovce, jejichž vrstevní plochy mohou být pokryty povlaky sádrovce a vytvářet tak prostředí s vysokou síranovou agresivitou. Zvětrání břidlic dosahuje do hloubek až 10 m na podobu jílovité hlíny.

Ze západu na bohdalecké souvrství navazuje souvrství zahořanské, je tvořené monotónními šedými až šedozelenými slídnatými prachovci až prachovitými vápenci, zvětrávajícími na písčitohlinité úlomky.

Na zahořanské souvrství navazuje vinické souvrství, složené z charakteristických černošedých jílovitých jemně slídnatých břidlic. Břidlice jsou tence až tlustě deskovité, často tektonicky porušené. Zvětrávají do hloubek prvních desítek metrů na střípky s hlinitou příměsí.

Stanice *Želivského – Flora – Jiřího z Poděbrad – Náměstí Míru* jsou situovány v prostředí letenského souvrství, jež navazuje na souvrství vinické. Letenské souvrství je tvořeno drobovými a křemennými pískovci střídajícími se sledy drob, prachovců a břidlic. Polohy břidlic a prachovců se vyskytují v tenkých vrstvách do několika desítek cm. Břidlice jsou šedočerné slídnaté, deskovitě vrstevnaté s častým rozpukáním.

Dále pokračuje souvrství libeňské zastoupené břidlicemi a řevnickými křemenci. Jak uvedl Chlupáč (2002) břidlice jsou černé jílové až prachovité s jemným obsahem slídy, nezřetelnou vrstevnatostí a tlustě deskovitou odlučností. Břidlice zvětrávají na střípkovité jílovité zeminy. Druhá jednotka je tvořena světlými žlutošedými až šedými křemenci. Křemence jsou velmi tvrdé, křehké a nepravidelně rozpukané, občas s tenkými polohami šedých jílovitých břidlic, jílovců až jílu (Tesař, 1971).

Směrem na západ vybíhá souvrství dobrotivské, které je zastiženo ve stanicích *Muzeum – Můstek*. Souvrství je tvořeno jednotkou černošedých jílovito-prachovitých břidlic s obsahem slídy a roubíkovým rozpadem. Dobrotivské břidlice typicky obsahují pyrit a prokřemenělé konkrece. Druhá jednotka je tvořena žlutošedými a šedými lavicemi křemenců

až křemitých pískovců, známých jako skalecké křemence, které jsou bohaté na ichnofosilie (Chlupáč, 2002).

Za stanicí *Mústek* zapadají dobrotivské břidlice v oblasti Pražského zlomu u šáreckého souvrství, které je nejstarší zastiženou jednotkou ordovických hornin, vyskytující se v zájmové trase. Horniny v blízkosti Pražského zlomu jsou tektonicky intenzivně porušené, rozpuhané, úlomkovitě až střípkovitě rozpadavé a zcela rozdrčené. Průběh Pražského zlomu byl v rámci průzkumu ověřen v dolní části Václavského náměstí, kde bohdalecké souvrství (svrchní ordovik) leží v podloží vrstev středního ordoviku. V oblasti zlomu se vyskytují kry s odlišným petrologickým složením. Zlom byl ověřen dále na západ pod náměstím Uhelný trh a opačným směrem na východ pod Panskou ulicí (Tesař, 1971). V okolí Jindřišské ulice dochází k tektonickému posunu směrem na sever. Šárecké souvrství na okraji Pražského zlomu vznikalo při transgresi a prohlubování pánve, je proto tvořeno tmavě šedými jílovitými a prachovitými břidlicemi s obsahem slídy. Břidlice místy obsahují karbonátové a prokřemenělé konkrece.

Na šárecké souvrství naléhá souvrství zahořanské složené z monotónních šedých až šedozelených prachovců, na něž navazuje mladší zastižené souvrství bohdaleckých šedočerných jílovitých břidlic. V závislosti na struktuře pražské pánve jako synklinály následuje sled od nejstaršího šáreckého souvrství po nejmladší bohdalecké.

Ve stanici *Staroměstská* tvoří skalní podložní zahořanské vrstvy, na které na západu navazuje souvrství vinické, jež následně přechází na starší letenské souvrství vystupující v oblasti stanic *Malostranská – Hradčanská*.

Dále směrem na západ přechází v úzký pruh libeňského a dobrotivského souvrství, které je zastiženo ve stanici *Dejvická (dříve známá jako Leninova) - Bořislavka*. U stanice *Bořislavka* je zastoupeno i skaleckými křemenci.

Následuje opět nejstarší šárecké souvrství, které je zastiženo ve stanici *Nádraží Veleslavín*, dle předpokladu až směrem k Motolu pod zastiženými křídovými sledy české křídové pánve.

Nejdříve na povrch vystupuje perucko-korycanské souvrství tvořené střednězrnnými až hrubozrnnými rozpadavými pískovci šedé až nažloutlé barvy, uložené v horizontálním sledu, vytvářející podloží mladšímu souvrství bělohorskému (Chlupáč, 2002).

Mladší jednotka bělohorského souvrství je tvořena písčítými slínovci (opukami) jenž je zastiženo ve stanici *Petřiny*. Jedná se o souvrství složené z vápnitých šedozelených glaukonitických jílovců a dokazujících tak mořskou sedimentaci (Smolař, Votočka 2008).

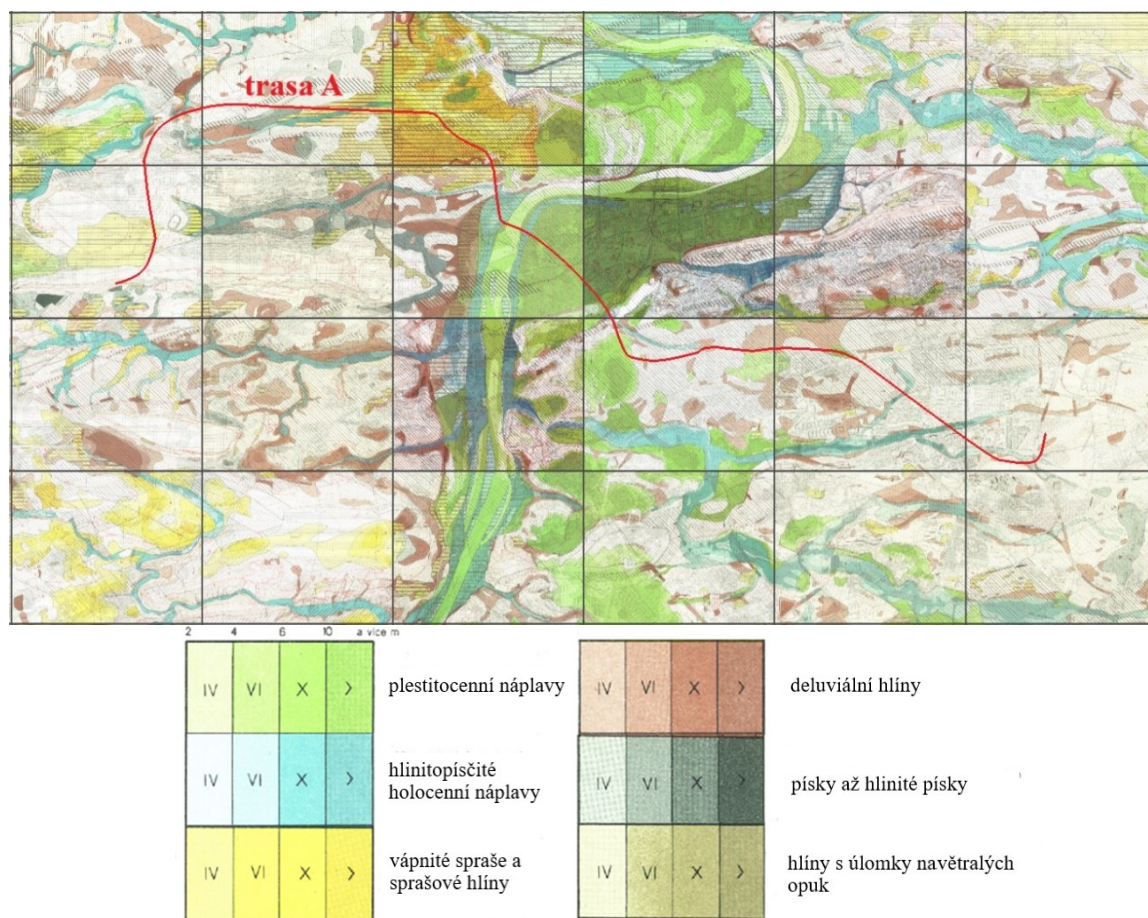
V úseku před stanicí *Nemocnice Motol* vystupují na povrch opět perucko-korycanské vrstvy pískovců, které ve stanici navazují na liteňské souvrství z období siluru tvořené šedými, jemně písčítými, slídnatými, tence deskovitými břidlicemi s obsahem graptolitové fauny.

Na závěr trasy vystupuje nejmladší zastižené ordovické souvrství tvořené šedými křemenci až křemennými pískovci, prachovci až prachovitými břidlicemi kosovského souvrství.

Pokryvné útvary

V území zájmové trasy je kvartérní pokryv tvořen převážně deluviálními písčito-jílovitými sedimenty, významně jsou zastoupeny i štěrky a písky několika terasových stupňů řeky Vltavy. V údolní nivě se vyskytují jemnozrné holocenní náplavy. (Inženýrskogeologická mapa Prahy 1 : 5000)

V menší míře se v zájmovém území objevují eolické sedimenty v podobě spraší a sprašových hlín usazených následkem transportu větru a splachové sedimenty vyskytující se ve výplních pleistocenních erozních rýh.



Obr. 3 Výřez z inženýrskogeologické mapy pokryvných útvarů s vyznačenou trasou metra A (v měřítku 1 : 50 000) s legendou (zdroj: www.app.iprpraha.cz)

Převážná část zájmového území je překryta nehomogenními navážkami, které jsou ve významných mocnostech ověřeny zejména při obou březích Vltavy. Zastižené pokryvné útvary jsou zobrazeny v Obr. 3.

Pokryvné útvary v průběhu trasy V-Z

Ve východní části zájmové trasy je kvartérní pokryv v okolí stanice *Depo Hostivař* tvořen z velké části deluviálními sedimenty hlín a písčitých hlín s úlomky sutí zasahujícími převážně do hloubky 2 m. Ve větších hloubkách jsou deluviální sedimenty zjištěny ve třech krátkých úsecích za stanicí *Depo Hostivař*, dosahujících až do hloubek kolem 4 m.

Směrem ke stanici *Strašnická* pokračují deluviální sedimenty v rozmezí hloubek do 2 m. Ve dvou terénních depresích jsou akumulovány fluviální holocenní náplavy původních ramen Botičského potoka zasahujících až do hloubky 10 m, tvořených převážně písčitymi a hlinitopísčitymi uloženinami.

Až na další zastiženou depresi původního ramene Botičského potoka vyplněného holocenními náplavami je kvartérní podklad směrem ke stanici *Želivského* tvořen deluviálními sedimenty zasahujícími do hloubky 2 m, jejíž okolí se vyskytuje v oblasti pleistocenní erozní rýhy.

Erozní rýha je vyplněna delofluviálními sedimenty neboli splachovými hlínami složenými z písčitých štěrků s polohami písčitých jílu v nejhlubším místě zasahujících do hloubky 10 m.

Na splachové hlíny směrem na západ navazují deluviální sedimenty podložních letenských vrstev složené z písčitých hlín s úlomky sutí, břidlic a prachovců dosahujících do hloubek 4 m.

Sedimenty dále pokračují a v okolí stanice *Flora* jsou zastiženy do hloubek okolo 4 m, na něž v okolí stanice přímo naléhají terasové sedimenty složené z písků a drobných písčitých štěrků teras potoka Botiče zahlubujících se do hloubky 4 m pod povrch terénu.

Za uloženinami terasových štěrků se mocnost deluviálních sedimentů na krátkém úseku snižuje na 2 m a před stanicí *Jirího z Poděbrad* se opět zvyšuje na 6 m. V okolí stanice jsou překryty antropogenními navážkami o ověřené mocnosti 5 m. Dále směrem ke stanici *Náměstí Míru* se mocnost deluviálních sedimentů snižuje na 2 m pod povrchem terénu. Před stanicí se opět vyskytuje úsek překryt antropogenními navážkami s neověřenou mocností.

Pokryvné útvary tvoří v okolí stanice *Náměstí Míru* terasové sedimenty složené z písčitých štěrků a písků Vltavy, které jsou v úseku v terénní depresi u stanice *Muzeum* tvořeny fluviálními holocenními náplavami Vinohradského potoka.

Od stanice *Muzeum* do stanice *Malostranská* vytváří souvislý povrch pokryvných útvarů terasové uloženiny řeky Vltavy skládající se převážně z písčitých štěrků a písků přesahujících místy hloubky i 10 m, které jsou v okolí řeky Vltavy překryty hlinitopísčitymi holocenními náplavami do 10 m. Terasové uloženiny jsou mezi stanicemi *Muzeum* – *Staroměstská*. V okolí stanice *Malostranská* se vyskytují především antropogenní navážky s ověřenou mocností 5 m.

Na druhém břehu řeky Vltavy jsou mezi stanicemi *Hradčanská* a *Bořislavka* uloženy spraše a sprašové hlíny v mocnostech místy až 10 m, které překrývají deluviální sedimenty letenských vrstev k okolí stanice *Hradčanská* tvořené z hlín a písčitých hlín s úlomky sutí.

V úseku mezi stanicemi *Hradčanská* – *Dejvická* jsou pod vrstvou spraší uloženy terasové sedimenty Vltavy složené ze štěrků a písčitých štěrků. Antropogenní navážky s ověřenou mocností 6 m jsou zjištěny u stanice *Hradčanská*.

Od stanice *Dejvická* jsou pod sprašemi uloženy eluviální, svahové a soliflukční písčitojílovité hlíny a jílovité hlíny s úlomky hornin v hloubkách i více než 10 m, které u stanice *Bořislavka* vychází na povrch. V tomto úseku se rovněž vyskytuje terénní deprese vyplněná fluviálními sedimenty.

Kvartérní pokryv mezi stanicemi *Bořislavka* a *Nádraží Veleslavín* tvoří deluviální sedimenty písků až hlinitých písků s úlomky podložních křídových hornin do mocnosti 2 m.

U stanice *Nádraží Veleslavín* se do hloubek 6 m vyskytují jílovitopísčité hlíny s úlomky břidlic, přecházející na písky až hlinité písky s úlomky křídových hornin.

Mezi stanicí *Petřiny* a *Nemocnice Motol* jsou opět zastiženy spraše a sprašové hlíny s polohami soliflukčních hlín v hloubkách do 4 m, jež před stanicí *Nemocnice Motol* přechází opět na deluviální sedimenty. Před stanicí *Nemocnice Motol* je dále upozorněno na výskyt fosilního sesuvného území.

Zastižené skalní podloží a kvartérní pokryv V-Z směru je zobrazen v profilu v příloze 1.

4.3 Hydrogeologické poměry

Širší okolí zájmového území náleží do hydrogeologického rajónu 6250 – Proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy v terciérních a křídových pánevních sedimentech. (www.mapy.geology.cz) Hydrogeologické poměry jsou v oblasti zájmové trasy přímo závislé na jejich složitých geologických poměrech. Dle archivních údajů z provedených průzkumů se v zájmové trase vyskytují čtyři hlavní zvodnělé horizonty

tvořené skalním ordovickým podkladem, horninami svrchní křídý, terasovými sedimenty a kvartérním pokryvem.

Ordovický skalní podklad s puklinovou propustností je zastoupen různými litologickými jednotkami, které svými vlastnostmi ovlivňují propustnost prostředí. Ordovické horniny jsou tvořeny břidlicemi, křemenci, vápenci a prachovci, jež jsou v přirozeném stavu vodou nepropustné a jejich vydatnost se pohybuje v setinách l/s (Hudek et al., 1979). Směrem k povrchu s rostoucím množstvím tektonických poruch jsou horniny prostoupeny systémem puklin a dutin, které vytváří nesouvislý horizont podzemní vody. Propustnost jednotlivých poruch závisí na hustotě a charakteru výplně puklin tvořenou zejména jílovitým až jílovito-prachovitým tmelem. Povrchová zvětralá zóna je tvořena především jílovitými zeminami s nulovou propustností, na něž břidlice zvětrávají. Podzemní vody mohou místy vykazovat síranovou agresivitu způsobenou obsahem pyritu, který se typicky vyskytuje v bohdaleckých a dobrotivských břidlicích (Tesař, 1971).

Horniny svrchní křídý s průlinovo-puklinovou propustností tvoří střednězrné až hrubozrné pískovce a jílovce. Podzemní voda se v pískovcích pohybuje zejména po puklinách s vyšším obsahem jílové složky, jak uvedl Smolař, Votočka (2008).

Terasové sedimenty s průlinovou propustností mají rozdílnou propustnost pro různé terasové stupně Vltavy složené z maninské, veltruské, dejvické, letenské a vinohradské terasy (Kovanda, 2001). Zastižený svrchní vinohradský terasový stupeň je tvořen dobře propustnými písčitymi štěrky místy s hlinitějšími polohami. Spodní a střední terasové stupně tvořené maninskou, veltruskou, dejvickou a letenskou terasou jsou naopak tvořeny propustnými štěrky a písky. Jak uvedl Tesař (1971) mocnost jednotlivých teras určuje morfologie podloží. Údolní náplavy jsou vyplněny holocenními sedimenty složenými z písku, štěrku a hlín, jejichž hladina je ovlivněna výškou povrchového toku řek. Dotace terasových sedimentů probíhá zejména za pomoci srážkové vody, která přímo ovlivňuje výšku hladiny podzemní vody v závislosti na kolísání srážek v průběhu ročních období.

Kvartérní horniny jsou tvořené zejména deluviálními a fluviálními sedimenty složenými převážně z písčitych a písčito-jílovitých sedimentů charakteristických svou průlinovou propustností (Smolař, Votoček 2008). Dle archivních podkladů je v tomto obzoru hladina podzemní vody volná.

4.4 Hydrologické poměry

Z dat dostupných na portálu ČHMÚ <https://portal.chmi.cz/> spadá z hydrologického hlediska trasa V-Z směru na území hlavního města Prahy do povodí 1-12 Vltava od Berounky po ústí a Labe od Vltavy po Ohři. V zájmové trase jsou vytvořeny čtyři místní erozní báze. Erozní báze vytváří v zájmové trase z východu potok Botič s rozlohou 39,4 km², dále řeka Vltava s rozlohou 24,9 km², potok Brusnice s rozlohou 4,7 km² a Motolský potok s rozlohou 15,9 km².

5. Historie výstavby metra trasy A

První zmínky o plánech na výstavbu pražského metra se vážou již do roku 1898. Původně se tedy jednalo o návrzích na výstavbu tzv. podzemní dráhy. Za těmito úvahami stojí pražský obchodník Ladislav Rott, který navrhoval využití prací na kanalizaci a asanaci Starého Města k výstavbě tunelů podzemní dráhy. Ovšem v této době s tímto pokrokovým návrhem neuspěl. Téměř o 30 let později začaly vznikat první reálné návrhy. Návrh inženýrů Vladimíra Lista a Bohumila Belady obsahoval čtyři trasy vedoucí přes hlavní přepravní směry. Jako jedna z variant s primárním významem byla zvolena navržená varianta s pracovním označením „B“, která vedla ze stanice *Dejvická* do stanice *Flora*. Toto směrové řešení tak bylo dále s drobnými korekcemi realizováno do současné podoby počátečních etap trasy metra A. Tento návrh byl však zkritizován a zamítnut, ovšem přes nátlak zvyšující se kapacity městské hromadné dopravy bylo nutné nejvytíženější úseky přesunout pod zem. O 30 let později tak vznikla odborná studie „Metro a doprava v Praze“ a následně v roce 1967 došlo k rozhodnutí o stavbě metra.

K samotné realizaci podzemních drah došlo ke konci 60. let 20. století (Barták, 2007). K budování podzemních drah vedla potřeba zvýšení kapacity městské přepravy v souvislosti se zvyšováním počtu obyvatel města. Ovšem budování podzemních děl sebou neslo obtíže a nemalý zásah do životního prostředí a komfortu obyvatel.

Během 60 let výstavby metra v Praze můžeme sledovat vývoj stavebních a tunelářských postupů a technologií, které se při výstavbě využily. V Praze byly doposud vybudovány celkem 3 sítě tras A, B a C, které mají provozní délku cca 65,3 km na nichž je umístěno celkem 61 stanic. Dodnes se jedná o nejdelší a nejvýznamnější podzemní stavbu České republiky, která se v budoucích letech rozroste o plánovanou linku D.

První provozní úsek trasy I.A se začal budovat již v roce 1971 a zprovozněn byl o 7 let později v roce 1978 (Barták, 2007). Tento úsek byl považován za dopravně nejdůležitější

a nejsložitější úsek s výškovým převýšením 50 m a s ražbou v hloubce 14 m pod dnem Vltavy. Úsek byl dlouhý 5,3 km a nacházelo se na něm 7 stanic. Tato část zároveň procházela především historickou částí Prahy, jejíž stanice vedly z Dejvic pod Malou Stranou, Starým Městem, přes Václavské náměstí do Vinohrad, kde končila stanicí *Náměstí Míru*. První úsek trasy A obsahoval šest ražených stanic a jednu stanicí hloubenou (*Dejvická – dříve známá jako Leninova*).

Jako další úsek se v roce 1975 začal budovat úsek II.A. Jednalo se o prodloužení tratě směrem na východ od Vinohrad na Žižkov o další 3 ražené stanice, které byly otevřeny o 5 let později v roce 1980. Úsek navazoval ve výškové úrovni na stanicí *Náměstí Míru*, odkud přes náměstí Jiřího z Poděbrad stoupá do stanice *Flora* a dále dle morfologie terénu klesá do stanice *Želivského*.

Úsek III.A/1 se začal budovat v roce 1980, jako navazující trasa směrem na východ do stanice *Strašnická*, jež byla původně koncipovaná jako koncová stanice, ovšem později došlo k rozhodnutí o prodloužení spojky do stanice *Depo Hostivař*.

Úsek III.A/2 se tak v roce 1990 rozšířil o hloubenou stanicí *Skalka*, která pak byla doplněna o stanicí *Depo Hostivař* vedenou částečně po povrchu a zprovozněnou v roce 2006.

Poslední úsek V.A se začal budovat v roce 2015, jako prodloužení trasy od stanice *Dejvická* směrem na západ až do stanice *Nemocnice Motol*. Poslední úsek je tvořen třemi raženými stanicemi a konečnou hloubenou stanicí.

Základní informace o trase A jsou shrnuty v Tab. 2.

Tab. 2 Základní informace o etapách trasy metra A

etapa	otevření úseku	počet stanic	délka úseku [km]	způsob ražby
I.A	12.8.1978	7	5,3	1 stanice hloubená
				6 stanic ražených
II.A	19.12.1980	3	2,6	3 stanice ražené
III.A/1	11.7.1987	1	1,3	1 stanice ražená
III.A/2	26.5.2006	2	2,4	2 stanice hloubené
V.A	6.4.2015	4	6,1	1 stanice hloubená
				3 stanice ražené

6. Použité technologie ražby na trase A

Ražba tunelů probíhá v současné době především třemi základními metodami, a to pomocí konvenčního tunelování, mechanizovaného tunelování a pomocí hloubení. Při stavbě metra v Praze byly jednotlivé metody často využívány souběžně během ražby úseku mezi dvěma stanicemi, v závislosti na složitosti geologické stavby, přístupu a okolnostech souvisejících se zastavěným územím. Například úsek mezi stanicemi *Dejvická – Hradčanská* byl ražen částečně prstencovou metodou a částečně metodou nemechanizovaných štítů (Barták, 2007). Na ražbě trasy metra A lze sledovat vývoj jednotlivých metod od prvních záběrů do současné doby. Od počátku výstavby do 90. let 20. století dominovala z konvenčních metod ražba pomocí prstencové metody, jež byla následně nahrazena metodou NRTM (Nová rakouská tunelovací metoda), hojně využívanou v celé Evropě do současnosti. Mechanizované tunelování probíhalo z počátku pomocí nemechanizovaných štítů, následně nahrazených metodou TŠČb (mechanizovaný plnoprofilový štít s pressbetonovým ostěním) a nakonec nejnovější metodou TBM-EPB (zeminový štít). Stanice vyskytující se mělce pod povrchem terénu byly vytvořeny hloubením v otevřené stavební jámě pod ochranou podzemních stěn nebo záporového pažení.

Rozhodujícími kritérii pro výběr technologie ražby byla především délka tunelu, předpokládané geologické a hydrogeologické podmínky zjištěné v rámci orientačního a předběžného průzkumu. Vliv na výběr technologie měl dále přístup k podzemnímu dílu a možnost rozvinutí zařízení staveniště. Důležitý je předpokládaný vliv na okolní zástavbu.

6.1 Hloubení

Metoda hloubení neboli metoda „Cut & Cover“ byla využita při stavbě stanic mělko pod povrchem, za pomoci otevřených stavebních jam zajištěných záporovým pažením nebo konstrukčními podzemními stěnami, a to převážně z důvodu přítomnosti zemin a zvodnělého prostředí.

6.1.1 Podzemní stěny

Podzemní stěny slouží jako pažící konstrukce hlubokých výkopů a současně jako konstrukční prvek staveb. Stěny vznikají vyhloubením hluboké rýhy, do níž je následně osazena ocelová výztuž a rýha je vyplněna betonem, případně jsou budovány stěny z prefabrikovaných panelů spouštěných do rýhy (Výrobní program, 2009). Díky své

relativní vodonepropusti, tuhosti i pevnosti se nejen při stavbě metra jedná o hojně využívaný prvek.

Pro vytvoření podzemní stěny je nutno vykopat a vyzdít vodící zídky, které slouží k upřesnění polohy stěny a zároveň slouží jako zásobník suspenze a opora při osazování prvků do rýhy. Rýha je v měkkých horninách a zeminách hloubena pomocí hydraulického drapáku, v tvrdších horninách pomocí hydrofrézy. Při procesu hloubení je rýha zapažena bentonitovou suspenzí, složenou ze směsi vody a bentonitu. Po odtěžení materiálu do potřebné hloubky dojde k přefiltrování suspenze a následně zasunutí výztužného koše z betonářské oceli. V poslední fázi dochází k betonování podzemních stěn licími rourami za současného odčerpávání bentonitové suspenze. Vzniklé podzemní stěny tak vytváří ochranný prvek, pod kterým se může vnitřní prostor vytěžit. V případě nutnosti zvýšení stability lze podzemní stěny zajistit zemními kotvami, nebo rozepřít. Po vytvoření konstrukce tunelu či stanice je prostor zasypán do požadované úrovně terénu viz Obr. 4.

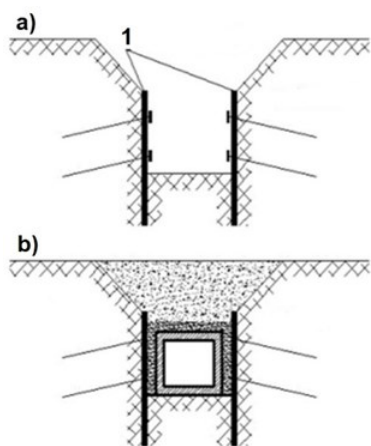
Úseky prováděné touto metodou:

stanice *Dejvická* (v hloubce 12-17 m pod terénem) (I.A)

stanice *Strašnická* (v hloubce 7,5 m pod terénem) (III.A/1)

stanice *Skalka* (v hloubce 9,25 m pod terénem) (III.A/2)

stanice *Motol* (v hloubce 5,6 m pod terénem) (III.A/2)



a – pažení, b – zásyp,
1 – podzemní stěny

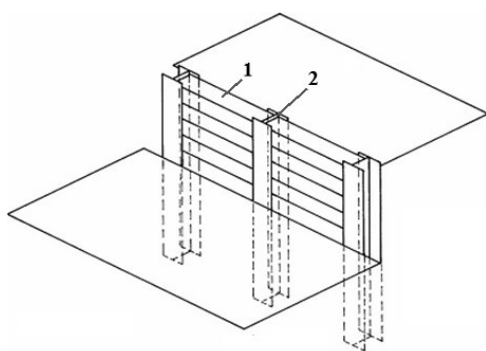


Obr. 4 Podzemní stěny (upraveno) – vlevo (zdroj: Zemánek (2020)), názorná ukázka - vpravo (zdroj: www.idnes.cz)

6.1.2 Záporové pažení

Jednodušší metodou zajištění stěn stavebních jam hloubených úseků je záporové pažení, známé také jako berlínské, které se využívá pro zajištění stěn výkopů nad hladinou podzemní vody viz Obr. 5.

Základem jsou válcované ocelové I-profilů osazené do vrtu, na dně fixované betonem. Při hloubení stavební jámy dochází současně k instalaci dřevěných pažin, nejčastěji z kulatin nebo trámků (Barták, Pruška 2011). Pro správnou aktivaci je vhodné pažiny narazit k přírubám a prostor za nimi vyplnit vhodným materiálem. Vybudovaná záporová stěna se kotví po jednotlivých etážích, případně je možno ji rozepřít.



1 – pažiny, 2 – záporny (ocelový profil)



Obr. 5 Záporové pažení (upraveno) – vlevo (zdroj:www.fine.cz) , názorná ukázka - vpravo (zdroj:www.cenekajezek.cz)

6.2 Konvenční tunelování

Konvenční tunelování je metoda ražby, která probíhá cyklicky pomocí pravidelně se opakujících cyklů, kdy dojde k postupu ražby o jeden záběr. U této metody dochází nejdříve k rozpojení horniny pomocí trhacích prací či tunelových fréz a bagrů v závislosti na geologických podmínkách. Následně je zajištěno větrání výrubu a odvoz rubaniny. Během toho je realizováno zajištění výrubu buď pomocí finálního ostění (prstencová metoda) nebo pomocí dvousložkového ostění (Nová rakouská tunelovací metoda) (Barták, Pruška 2011). Metoda využívá členění výrubu ve vertikálním nebo horizontálním směru v závislosti na mechanických vlastnostech zemin a skalního masivu. Na ražbě trasy metra A můžeme sledovat vývoj metod, kdy se z počátku ražby do 90. let využívala prstencová metoda, která byla postupně plně nahrazena metodou NRTM. Výhoda těchto metod spočívá ve flexibilitě a možnosti případné reakce na nepředpokládané změny v geologických podmínkách dané lokality.

V rámci průzkumu je pro tuto metodu stěžejní rozdělení prostředí na kvazihomogenní celky a charakterizování jejich fyzikálních a mechanických vlastností. U

zemin je důležité zjištění původu zemin, zrnitosti, konzistence či ulehlosti a jejich mechanických vlastností. Při specifikaci horninového prostředí se stanovují rovněž fyzikální a mechanické vlastnosti, dále petrografická charakteristika, technologické vlastnosti a v neposlední řadě i charakter diskontinuit. V rámci posouzení hydrogeologických podmínek, je důležité stanovit charakter povrchových a podzemních vod, jejich vzájemnou interakci a chemické rozbory.

6.2.1 Prstencová metoda (erektorová)

Prstencová metoda označována také jako “erektorová“ je metoda konvenčního tunelování využívána zejména v první polovině 20. století při ražbě tunelů metra ve velké části evropských měst, jako jsou Londýn, Budapešť nebo Moskva. Při ražbě pražského metra se jednalo o dominantní metodu do počátku 90. let 20. století (Barták, Pruška 2011). Metoda zajišťuje výrub pomocí definitivního ostění v podobě litinových či železobetonových dílců (tubingů) ukládaných samostatným mechanismem (erektozem). V Praze došlo během let k mnoha vylepšením v podobě využití pilot-štoly (pilotní štola ražená v předstihu), Bernold plechů, nebo zajištění čelby stříkaným betonem či předstihové kotvení čelby svorníky.

Metoda je založena na ražbě plného profilu na délku záběru jednoho prstence viz Obr. 6. Ražba profilu probíhá na plnou čelbu pomocí hydrofrézy či trhacích prací ve skalních horninách třídy R2 - R5 bez využití provizorní výztuže. V nestabilních horninách či zeminách jsou využívány stabilizační opatření, jako je kotvení čelby, injektáž nestabilního horninového prostředí, využití předstihových štol nebo podepírání čelby. K uzavření výrubu dochází ihned pomocí tubingů z železobetonu nebo litiny a jejich následné aktivaci injektáží. Nevýhody prstencové metody spočívají v limitování výrubu fixním tvarem do kruhu a nezajištění výrubu v průběhu prací. Proto je metoda vhodná zejména do pevných poloskalních a skalních hornin (Mosler et al., 2019).

Úseky prováděné touto metodou:

část úseku mezi stanicemi *Dejvická – Hradčanská* (I.A)

úsek mezi stanicemi *Hradčanská – Malostranská* (I.A)

úsek mezi stanicemi *Malostranská – Staroměstská* (I.A)

úsek mezi stanicemi *Můstek – Muzeum* (I.A)

úsek mezi stanicemi *Muzeum – Náměstí Míru* (I.A)

úsek mezi stanicemi *Strašnická – Skalka* (III.A/2)

je dimenzován dle zjištěných podmínek v horninovém masivu s ohledem na průběh okolního terénu.

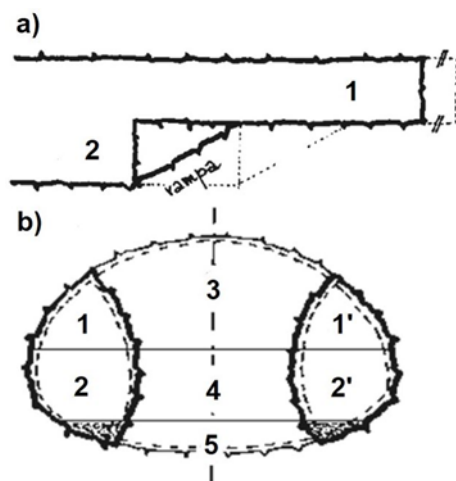
Úseky prováděné touto metodou:

úsek mezi stanicemi *Petřiny – Nemocnice Motol* (V.A)

stanice *Bořislavka* (V.A)

stanice *Nádraží Veleslavín* (V.A)

stanice *Petřiny* (V.A)



a - postup ražby b - členění výrubu



Obr. 7 Schéma metody NRTM - vlevo (zdroj: Barták, Pruška (2011)), názorná ukázka - vpravo (zdroj: Mosler et al. (2019))

6.3 Mechanizované tunelování

Mechanizované tunelování probíhá kontinuálně pomocí plnoprofilových razících strojů. Ražba postupuje na plnou čelbu bez využití trhacích prací a umožňuje okamžité uzavírání profilu železobetonovými nebo litinovými tubingy (Barták, Pruška 2011). Mechanizované tunelování se dále dělí dle typů strojů na tunelovací stroje bez štítu, se štítem, s postupným pobíráním na štítu a plnoprofilovým pobíráním v čelbě.

V historii se na stavbě metra využila metoda nemechanizovaného štítu, později metoda mechanizovaného štítu TŠČb a nakonec byly v posledním úseku V.A nahrazené novou metodou TBM-EPB (zeminové tunelovací stroje). Nesporné výhody vedle rychlosti tunelování má tato metoda při zajištění větší bezpečnosti při ražbě, působení menšího vlivu na okolní výstavbu a zvýšení kvality výrubu.

Důležitá kritéria pro výběr technologie mechanizovaného tunelování je zjištění specifických vlastností prostředí, jako je abrazivnost, lepivost, bobtnavost, agresivita podzemní vody na beton a výztužnou ocel. Dále je důležité ověření překážek v trase díla,

zjištění původní geostatické napjatosti, výskytu metanu, injektovatelnosti masivu, rozpojitelosti, těžitelnosti, zpracování rubaniny apod.

6.3.1 Nemechanizovaný štít

Metoda nemechanizovaného štítu neboli obdoba horizontální základové studně se začala využívat již před 150 lety v zeminách a poloskalních horninách, jako předchůdce plnoprofilových strojů (Barták, 2014).

Ražba metodou nemechanizovaného štítu probíhá za pomoci ocelového válce s břitem složeného ze tří částí viz Obr. 8 (břitový prstenec, trup svařený z ocelových dílců, plášť chránící pracovní prostor), jenž je hydraulickými axiálními lisami přitlačován zemínou a vytváří obvod výrubu. Břit tvořící obvod výrubu má otevřené čelo, v němž probíhá těžba ručně krumpáči, motykami, lopatami nebo sbíjecími kladivky (Horák, 2007). K pažení výrubu dochází pomocí systému pažin a svlaků. Pod ochranou břitu dochází k uzavření profilu definitivním ostěním, jež slouží jako opora při posunu prstence kupředu štítovými lisami a ražbě dalšího úseku (Barták, Pruška 2011).

Úseky prováděné touto metodou:

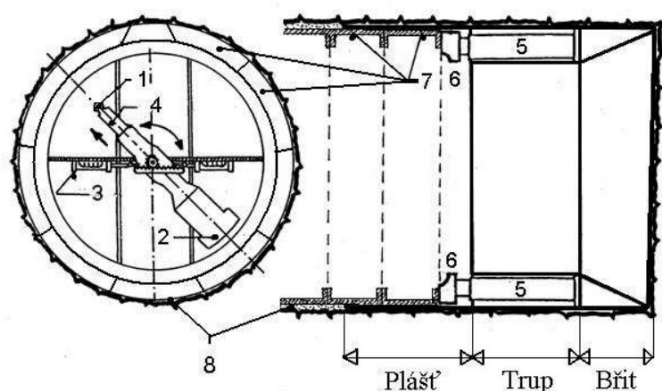
část úseku mezi stanicemi *Dejvická – Hradčanská* (I.A)

úsek mezi stanicemi *Malostranská – Staroměstská* (I.A)

úsek mezi stanicemi *Staroměstská – Můstek* (I.A)

úsek mezi stanicemi *Želivského – Strašnická* (III.A/2)

úsek mezi stanicemi *Skalka – Depo Hostivař* (III.A/2)



1 - čelisti erektoru, 2 - protizávaží, 3 - hydraulické lisy, 4 - hydraulické výsuvné rameno, 5 - štítové lisy, 6 - opěrná patka, 7 - tubingy, 8 - injektáž za ostění



Obr. 8 Schéma nemechanizovaného štítu (upraveno) – vlevo (zdroj: Barták (2014)), názorná ukázka – vpravo (zdroj: www.reflex.cz)

6.3.2 Metoda TŠČb

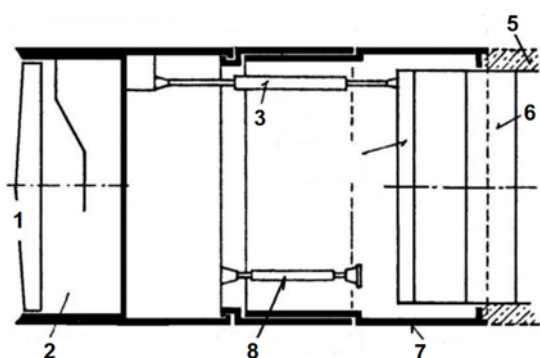
Metoda TŠČb je sovětská metoda mechanizovaného plnoprofilového štítu s využitím ostění z pressbetonu (lisovaného betonu). Metoda byla využívána zejména v 70. a 80. letech při ražbě trasy metra A ve zvodnělém prostředí v obou traťových tunelech pod dnem Vltavy s průměrem štítu 5,8 m. Metoda je vzhledem k plnoprofilovému štítu vhodná k využití do městského prostředí, a je využívána zejména kanalizační tunely nebo vodovodní přivaděče (Barták, 2014).

Tunelování s plnoprofilovým štítem probíhá kontinuálně. Stroj je složen ze štítu s řeznou hlavou viz Obr. 9, která těží zastižené horniny. Dále je tvořen tlakovou komorou, axiálními a tlačnými lisami, za nimiž navazuje tažené bednění. Bednění se následně vylévá betonem či drátkobetonem po prstencích a vytváří tak definitivní ostění. Výhoda metody TŠČb je zajištění výrubu lisovaným monolitickým beton, s omezením spár a tím i deformacím povrchu.

Úseky prováděné touto metodou:

část úseku mezi stanicemi *Malostranská – Staroměstská* pod dnem Vltavy (I.A)

úsek mezi stanicemi *Staroměstská – Můstek* (I.A)



1 - razicí hlava, 2 - tlaková komora,
3 - tlačné lisy, 4 - tlačný prstenec, 5 - ostění,
6 - bednění, 7 - plášť štítu, 8 - lisy na
vysouvání



Obr. 9 Štít metody TŠČb (upraveno) – vlevo (zdroj: Horák (2007)), názorná ukázka - vpravo (zdroj: www.4stav.cz)

6.3.3 Metoda TBM-EPB

Metoda mechanizovaného tunelování TBM-EPB s využitím zeminového štítu, je nejčastěji aplikovaná v nestabilních zeminách až poloskalních horninách. V Praze se na trase V.A využily dva razící stroje pracovně pojmenovány Adéla a Tonda s průměrem řezné hlavy 6,08 m.

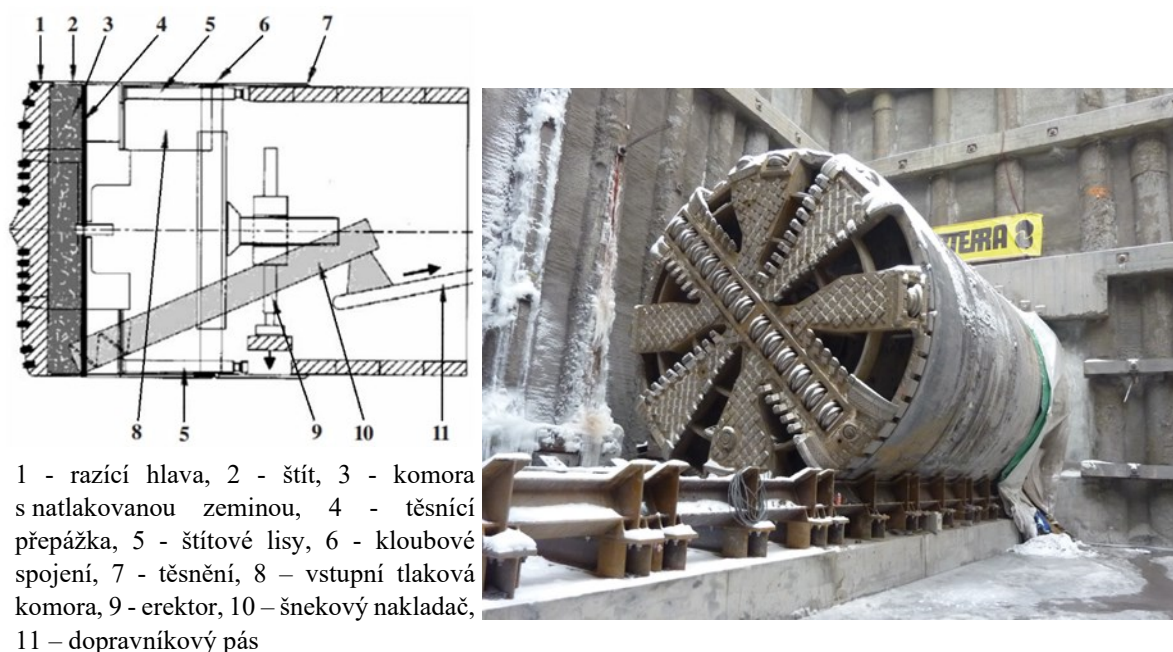
Zeminový štít vytváří v prostoru čelby přepážku, která odděluje komoru na čele štítu s razicí hlavou, která je vyplněna zeminou a vzniklým tlakem působí proti tlaku podzemní vody a horninového masivu před čelbou (Barták, 2014). K ražbě čelby dochází razicí hlavou, která rozpojuje zeminy valivými dláty, popřípadě výměnou za řezné nože využívané v poloskálním prostředí. Odtěžený materiál je od razicí hlavy průběžně odpravován v řízeném množství šnekovým dopravníkem viz Obr. 10, aby na čelbu stále působil potřebný tlak. Následně je výrub zajištěn definitivním ostěním z litinových nebo prefabrikovaných železobetonových segmentů, které uzavírají výrub do kruhu (Barták, Pruška 2011).

Úseky prováděné touto metodou:

úsek mezi stanicemi *Dejvická – Bořislavka* (V.A)

úsek mezi stanicemi *Bořislavka – Nádraží Veleslavín* (V.A)

úsek mezi stanicemi *Nádraží Veleslavín – Petřiny* (V.A)



1 - razicí hlava, 2 - štít, 3 - komora s natlakovanou zeminou, 4 - těsnící přepážka, 5 - štítové lisy, 6 - kloubové spojení, 7 - těsnění, 8 - vstupní tlaková komora, 9 - erektor, 10 - šnekový nakladač, 11 - dopravníkový pás

Obr. 10 Štít metody TBM-EPB - vlevo (zdroj: Barták (2014)), názorná ukázka - vpravo (zdroj: www.metroprojekt.cz)

7. Příprava stavby pro trasu A

Pro projektování inženýrskogeologických průzkumů pro přípravu staveb metra neexistovaly v době realizace žádné závazné předpisy, které by definovaly minimální četnost sond a požadavky na výstupy průzkumů. Rozsah průzkumných prací, jejich četnost i etapovitost tak vycházely pravděpodobně z požadavků projektanta a možností investora.

Průzkum pro trasu byl členěn do jednotlivých etap v závislosti na stupni projektové dokumentace, pro kterou měl sloužit. Obecně platí, že pro projekty ve fázi studie se

zpracovává archivní rešerše či orientační průzkum, pro zpracování dokumentace pro územní rozhodnutí je realizován předběžný průzkum a pro zpracování dokumentace pro stavební povolení průzkum podrobný. Na něj v odůvodněných případech navazuje průzkum doplňující, který zpřesňuje znalost inženýrskogeologických poměrů pro zpracování realizační dokumentace stavby. Metodika průzkumných prací je tak závislá na rozdělení průzkumu do jednotlivých etap, které následně definují množství a rozsah jednotlivých prací pro splnění cíle dané části.

Je nutno zmínit, že informace o přípravě stavby jsou dnes kusé a jejich kompletní přehled neexistuje. Při dohledávání jednotlivých průzkumných etap byly využity dostupné archivy společností PUDIS a.s., SG Geotechnika a.s. i archiv ČGS Geofond, kde byla nalezena celá řada podkladů viz Tab 3. Prověřovány byly i archivy projekční společnosti Metroprojekt, která stála u přípravy PD, ale informace o IGP zde nejsou uchovány. Jako jedny z podkladů sloužily i práce Quida Záruby (1948, 1957, aj.), Vojtěcha Mencla (1966) aj.

Tab. 3 Přehled získaných průzkumných zpráv pro jednotlivé úseky a etapy IGP

Etapa průzkumu/úsek	I.A	II.A	III.A/1	III.A/2	V.A
archivní průzkum					1
orientační průzkum				1	
předběžný průzkum			2	1	2
podrobný průzkum	5		1	2	
stavebně geologický průzkum	4	1			
doplňkový průzkum	1	1			8
IG sledování	4				

7.1 Příprava stavby pro trasu I.A

Prvotní průzkumné práce, byly-li nějaké se nedochovaly a prvním dostupným průzkumem je až průzkum podrobný provedený v letech 1969 – 1971 na základě objednávky projekční společnosti Metroprojekt. Od roku 1969 byly Projektovým ústavem dopravních a inženýrských staveb prováděny inženýrskogeologické a hydrogeologické průzkumné práce

pro první provozní úsek trasy metra A (Tesař, 1971). Přípravné práce v úseku stanic *Dejvická – Náměstí Míru* byly o délce 5,3 km. Pro potřeby průzkumu bylo využito množství archivních materiálů, dokumentací přirozených odkryvů a terénních prací. V rámci projektu bylo provedeno 104 nových průzkumných sond v závislosti na požadavcích specifikovaných investorem a projektantem. Průzkumné sondy byly situovány především v okolí stanic a skládaly se z provedení 65 jádrových vrtů pro geologickou dokumentaci, 20 nárazovotočivých vrtů, 3 širokoprofilových vrtů, 16 šachtic a jam sloužících k terénním zkouškám hornin a zemin. Všechny vrtané sondy byly s ohledem na inženýrské sítě v městské zástavbě předkopány do hloubky 1,5 m.

V 54 vybraných vrtech byly provedeny karotážní práce, které sloužily k ověření a doplnění informací jednotlivých vrtných profilů a laboratorních zkoušek. Měření pro zjištění bližší charakteristiky bylo složeno z elektrokarotážních metod (měření zdánlivého měrného elektrického odporu potenciálovým způsobem a mikrosondou), radiometrických metod pro rozlišení pokryvných útvarů a skalního podloží (gama karotáž, gama-gama karotáž, neutron-gama karotáž) a dále pak metod technických (stratimetrie, resistivimetrie, kavernometrie, inklinometrie, hlubinný odběr vzorků vody).

V rámci podrobného průzkumu bylo pro zjištění geotechnických vlastností letenských vrstev využito terénních zkoušek mechaniky hornin ve 3 šachtách (Hudek, Tesař 1971) a (Samek et al. 1971). Charakteristiky byly stanoveny na základě výstupních hodnot po provedení zkoušky smykového pokusu s předurčenou plochou porušení, smykovou plochu s volně vytvářenou kluznou plochou a zatěžovací zkoušky v různých hloubkových úrovních (šikmé, vodorovné, svislé, rovnoběžné s vrstevnatostí, kolmé na vrstevnatost). V rámci průzkumu byly pro zjištění směru a rychlosti proudění podzemní vody provedeny geofyzikální metody (metoda nabitého tělesa, metoda elektro-odporová, metoda kruhového profilování). Dále byly v rámci dílčích průzkumů v terénu prováděny čerpací a stoupací zkoušky (Kapasová, 1971) a měření tlaku vody v puklinách pomocí snímačů v různých výškových úrovních (Tesař, 1972a).

Získané vzorky zemin a hornin z jádrových vrtů a kopaných sond byly zpracovány v laboratoři, kde byly na zeminách provedeny základní indexové zkoušky (přirozená vlhkost, objemová hmotnost, měrná hmotnost, pórovitost, zrnitost), a dále na vzorcích hornin byly provedeny mechanické zkoušky (pevnost v prostém tlaku, pevnost v příčném tahu, přetvárné charakteristiky). Na vzorcích podzemní vody byly provedeny kompletní chemické rozbory.

Pro správnou interpretaci a jako podklady pro projektanta jsou výsledkem podrobného průzkumu výkresy podélných a příčných geologických profilů v měřítku 1 : 200 a 1 : 100. Dále podklady v podobě geologických a hydrogeologických map v měřítku 1 : 500 a 1 : 2 000 situačních výkresů se zakreslením provedených zkoušek v šachtách je zobrazen v měřítku 1 : 25. Výsledky laboratorních zkoušek jsou pro lepší orientaci udány tabelárně a graficky pro deformační zkoušky a Mohr-Coloumbovy obálky. Vrtné práce jsou přiloženy s geologickým popisem a grafickými výstupy, které byly následně využity pro potřeby zpracování řezů a profilů.

V rámci průzkumu bylo upozorněno na nedostatečnou prozkoumanost černínského (v současnosti vinického) souvrství a pražského zlomu. V těchto prostředích nebyly zcela přesně zjištěny geotechnické vlastnosti. Dále bylo upozorněno na možnost různé hloubky zvětrání v závislosti na tektonickém porušení a petrografickém složení.

Na podrobný průzkum navázal, průzkum stavebně geologický realizovaný v roce 1972 za účelem zjištění bližších geotechnických údajů v zájmové oblasti. Průzkum byl proveden pomocí 47 kopaných sond v hloubkách v rozsahu 1 – 3 m pod terémem do úrovní základových spár objektů stávající zástavby, situovaných zejména v okolí stanic *Dejvická* (Havlíček, 1972b), *Můstek* (Havlíček, 1972a) a *Malostranská* (Havlíček, Hrabánek 1972).

Průzkum sloužil pro zjištění hloubky základové spáry v místě provedených sond, určení charakteristiky a tloušťky základového zdiva, případně zhodnocení základových podmínek v úrovni založení. Zastižené zeminy byly zařazeny a zaříděny dle normy ČSN 73 3050 (Zemné práce) a odvozené normálové namáhání bylo stanovené dle tehdy platné normy ČSN 73 1001 (Základová půda pod plošnými základy).

Kopané sondy byly zakresleny do řezů a geologických profilů. Jednotlivé situační výkresy znázorňující jejich přesnou polohu, byly provedeny v měřítku 1 : 720 nebo 1 : 500.

V závislosti na objednavce společnosti Metroprojekt na stavebně geologický průzkum navázal průzkum doplňkový realizovaný v roce 1972. Průzkumné práce byly provedeny v rozsahu 5 nárazovotočivých vrtů hloubek 10 – 33 m. Vrty byly realizovány pro zjištění injektovatelnosti prostředí fluvialních sedimentů (Tesař, 1972b). Vzhledem k faktu, že byly průzkumné práce situovány v městském prostředí, s četnými inženýrskými sítěmi, musely být vrty předkopány. Průzkum se dále zaměřil na ověření geologických a hydrogeologických poměrů v úrovni traťových tunelů a na modelovou zkoušku snižování hladiny podzemní vody vlivem výstavby metra.

Získané vzorky zemin byly zpracovány v laboratoři pro doplnění fyzikálních vlastností zemin (přírozená vlhkost, zrnitost, propustnost, obsah organických látek a uhličitánů, konzistenční meze, měrná hmotnost a minimální a maximální ulehlost), zjištění agresivity prostředí na betonové konstrukce dle ČSN 73 1001 (rozbor vod, vodní výluh zemin) a pro účely posouzení zemin na vhodnost pro použití do exponovaných násypů a zásypů dle ČSN 72 1002 (Klasifikace zemin pro dopravní stavby).

Pro účely doplňkového průzkumu byly výsledky laboratorních zkoušek udány tabelárně s příloženým geologickým řezem v měřítku 1 : 200. Řez je dále doplněn o geologický popis vrtných prací a podrobnou grafickou dokumentaci.

V rámci průzkumu bylo zjištěno, že báze pokryvných útvarů je o 1 m níže nežli dle předpokladu podrobného inženýrskogeologického průzkumu.

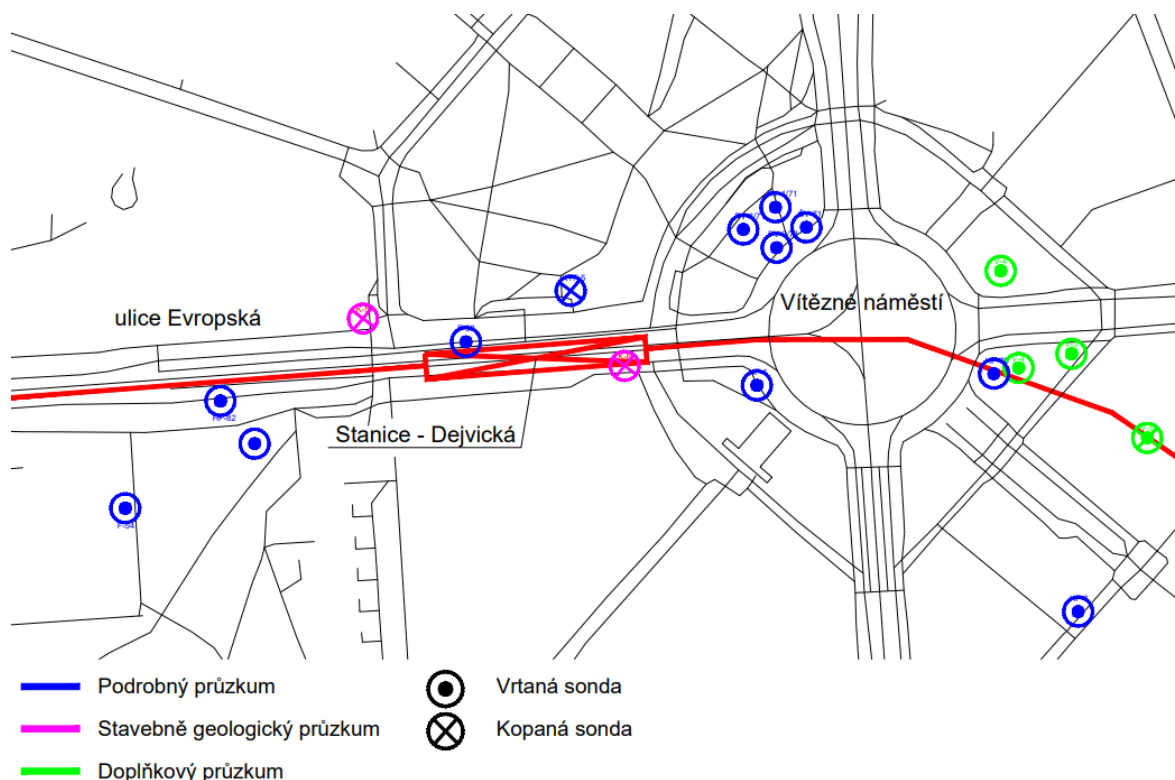
Po doplňkovém průzkumu bylo realizováno inženýrskogeologické sledování traťových tunelů, šachet a ražby stanice *Staroměstská* realizované v letech 1972 – 1977 na základě objednávky DP hlavního města Prahy.

V rámci inženýrskogeologického sledování byly využity 3 šachty s hloubkou až 53 m (Havlíček, 1973a) a (Havlíček, 1973b). Sledování šachet sloužilo ke geologické dokumentaci kruhové stěny jámy v průběhu ražby, při nichž bylo geologickým kompasem prováděno měření směrů sklonů a úklonů ploch vrstevnatosti a diskontinuit (pukliny, trhliny aj.). V závislosti na odebraných vzorcích podzemní vody byly provedeny chemické rozborů podzemní vody a následné hydrogeologické sledování. Odebrány byly i vzorky zemin, na nichž byl proveden zrnitostní rozbor. Výstupem byla geologická dokumentace šachet s jejich grafickým znázorněním zastižených poměrů, situační výkres šachet je zobrazen v měřítku 1 : 500. Výsledky chemických rozborů jsou pro přehled přiloženy v protokolech. Dokumentace diskontinuit je zobrazena pomocí diagramů sklonů ploch vrstevnatosti i puklin, a grafickým zobrazením čelby se směrem a sklonem vrstevnatosti.

Inženýrskogeologické sledování 1. provozního úseku traťových tunelů mezi stanicemi *Dejvická* a *Hradčanská* (1973 – 1975) (Tesař, Vorel 1975). Dále sledování stanice *Staroměstská* (1974 – 1977) sloužilo k průběžné dokumentaci čelby a případně nezakrytých stěn (Tesař, Vorel 1977). Při dokumentaci čelby byly graficky zaznamenány geologické struktury (vrstevnatost, puklinatost, ohlázové plochy, poruchy) a výrony podzemní vody. Ve štolě byl proveden petrograficko-geologický rozbor in-situ a dokumentace zastižených poměrů. V rámci ražby docházelo k průběžné kontrole účinků agresivity podzemní vody na

odebraných orientačních vzorcích, které byly následně zpracovány v laboratoři. Výstupem sledování traťových tunelů je půdorysný geologický řez v měřítku 1 : 200, podélné geologické řezy v měřítku 1 : 200. V rámci zprávy byly zobrazeny diagramy sklonů ploch vrstevnatosti a diagramy sklonů ploch diskontinuit s příloženým grafickým zobrazením čelby s pořízenou fotodokumentací.

Rozmístění průzkumných prací v oblasti stanice *Dejvická* v rámci úseku I.A provedených v letech 1969 – 1977 je zobrazeno na Obr. 11.



Obr. 11 Rozmístění průzkumných prací v okolí stanice *Dejvická* v úseku I.A (autor: Andrea Honzejková)

Bližší informace o provedených průzkumných sond v úseku I.A jsou pro lepší orientaci shrnuty v Tab. 4.

Tab. 4 Informace o provedených průzkumných sondách v úseku I.A

etapa	počet zpráv	jádrový vrt [ks] hloubka [m]	nárazovotočivý vrt [ks] hloubka [m]	širokoprofilový vrt [ks] hloubka [m]	šachtice [ks] hloubka [m]	kopaná sonda [ks] hloubka [m]
podrobný průzkum	5	65 6-55	20 16-33	3 11-40	16 16-40	6 6
doplnkový průzkum	1		5 10-35			

etapa	počet zpráv	jádrový vrt [ks] hloubka [m]	nárazovotočivý vrt [ks] hloubka [m]	šírokoprofilový vrt [ks] hloubka [m]	šachtice [ks] hloubka [m]	kopaná sonda [ks] hloubka [m]
stavebně geologický průzkum	4					47 0,5-3,5
IG sledování	4				3 45-55	

7.2 Příprava stavby pro úsek II.A

Při dohledávání průzkumných prací byly pro úsek II.A nalezeny pouze 2 zprávy zabývající se stavebně geologickým průzkumem pro podchod u stanice *Flora* a doplňkovým průzkumem pro zjištění úniku benzínu do traťových tunelů.

Přípravné práce v úseku stanic *Jiřího z Poděbrad – Želivského* o délce 2,6 km byly provedeny realizací stavebně geologického průzkumu provedeného v roce 1972 za účelem zjištění geotechnických údajů v zájmové oblasti (Havlíček, 1972c). Průzkum byl proveden pomocí 3 kopaných sond v hloubce do 1,5 m pod terénem, situovaných nad stanicí *Flora*.

Průzkum sloužil pro zjištění hloubky základové spáry stávajících objektů, v místě provedených sond, stanovení složení a tloušťky základového zdiva a zhodnocení základové půdy v úrovni založení. Dále pomocí nedestruktivních metod ověření konstrukčních systémů stropů u zájmových objektů. Těžitelnost a zastižené zeminy byly zařazeny dle normy ČSN 73 3050. Pro bližší stanovení únosnosti základové půdy bylo postupováno dle normy ČSN 73 1001.

Pro lepší orientaci byly polohy kopaných sond vykresleny do příčných řezů a podélných profilů. Rozmístění provedených terénních prací bylo zakresleno do situačního výkresu v měřítku 1 : 200.

Průzkumné práce realizované pro přípravu ražby v uvedeném úseku nebyly dohledány.

Dalším z dohledaných průzkumů byl průzkum doplňkový (Bíža, 1978) realizovaný v letech 1977-1980, který zadala společnost Metroprojekt. Jednalo se o specifický průzkum, kterým mělo dojít k ověření výskytu úniku benzínu do traťových tunelů v úseku mezi stanicemi *Jiřího z Poděbrad* a *Flora* v hloubce 47 m pod terénem. Benzinové výpary

ohrožovaly přímo zdraví razičů, bezpečnost a postup práce. V rámci terénních prací bylo provedeno celkem 7 jádrových vrtů, které byly kvůli inženýrským sítím předkopány. K zjištění místa úniku byly prozkoumány nádrže na benzín vyskytující se v blízkém okolí od místa vývěru v traťových tunelech.

V rámci průzkumu byly odebrané vzorky následně zpracovány v laboratoři rozbořem na obsah ropných látek pomocí spektrofotometru a na plynové chromatografii, který zjistil obsah látek v 1 z provedených průzkumných vrtů.

Výsledky průzkumných prací byly přiloženy s geologickým popisem, grafickou dokumentací vrtů a laboratorními protokoly z plynové chromatografické analýzy. Krom situačního výkresu sond zobrazeného v měřítku 1 : 300 byla dále příloha doplněna s fotodokumentací situace vrtů.

Přehled provedených sond, které se podařilo dohledat z archivních dokumentací pro úsek trasy II.A je pro lepší orientaci zobrazen v Tab. 5.

Tab. 5 Informace o provedených průzkumných sondách v úseku II.A

etapa	počet zpráv	jádrový vrt [ks] hloubka [m]	kopaná sonda [ks] hloubka [m]
stavebně geologický průzkum	1		3 0,5-1,5
doplňkový průzkum	1	7 15-40	

7.3 Příprava stavby pro úsek III.A/1

Přípravné práce pro trasu III.A/1 sloužily jako podklad pro provedení úseku metra mezi stanicemi *Želivského* a *Strašnická* o délce 1,3 km.

Na základě zadání objednávky společnosti Metroprojekt byl mezi lety 1976 – 1979 společností PUDIS a.s. prováděn předběžný inženýrskogeologický a hydrogeologický průzkum (Vorel, 1976) do plánovaného depa metra v Hostivaři o délce úseku 2,4 km. A další předběžný průzkum mezi lety 1978 – 1979. Jednalo se o úsek spojky k OZD Hostivař pro plánovanou čtvrtou variantu mezi stanicemi *Želivského* – *Depo Hostivař* z návrhů roku 1977 o délce 2 km (Kovář, 1978). V rámci předběžného průzkumu bylo v terénu provedeno 34 nových průzkumných sond pro zpřesnění geologických poměrů a hloubky exogenního

porušení. Průzkumné terénní práce se skládaly z realizace 19 jádrových vrtů, 2 ručních nárazovotočivých vrtů, 8 hydrogeologických vrtů a 5 kopaných šachtic navržených v ose trasy s odstupem cca 200 m se zahloubením 5 – 10 m pod plánovanou niveletu. Typizované vrty byly s ohledem na inženýrské sítě předkopány do hloubky 3 m. V jádrových vrtech bylo provedeno i mikroseismokarotážní měření pro stanovení hloubky a stupně zvětrání skalního podloží, dále pak technické metody (resistivimetrie, kavernometrie, inklinometrie, presiometrie), měření radiometrickými metodami (gama karotáž, gama-gama karotáž a neutron-gama karotáž) a geoelektrické metody.

V rámci terénního průzkumu byly uskutečněny čerpací zkoušky metodou neustálého proudění a následné sledování obzoru podzemní vody 1x týdně po dobu 1 roku.

Odebrané vzorky zemin a podzemní vody byly následně zkoušeny v laboratoři. Provedeny byly indexové zkoušky, na vybraných vzorcích byla provedena zkouška pro stanovení propustnosti, zhutnitelnosti (Proctor – standard) a mechanických vlastností z vybraných 6 jádrových vrtů (pevnost v tlaku, pevnost v příčném tahu, přetvárné vlastnosti, tvrdost a abrazivita). Na odebraných vzorcích podzemní vody byl proveden zkrácený a úplný chemický rozbor.

Výsledky předběžného průzkumu byly zpracovány do geologických popisů sond s grafickým zobrazením. Přehledná situace sond je zobrazena na výkresu v měřítku 1 : 500 a 1 : 200/300, s přiloženým vypracovaným profilem v měřítku 1 : 50/20. Laboratorní výsledky jsou pro přehled zobrazeny tabelárně. Dle výsledků zkoušek byly graficky zpracovány zrnitostní křivky zemin.

Na předběžný průzkum přímo navázal průzkum podrobný, realizovaný v letech 1979 – 1980 národním podnikem Stavební geologie (Kovář, 1980). V rámci průzkumu bylo navrženo k provedení 101 nových průzkumných sond 39 jádrových vrtů, 13 nárazovotočivých vrtů, 4 šachet a 45 kopaných sond. V jádrových vrtech bylo prováděno presiometrické měření a také geofyzikální měření karotážními metodami (mikroseismokarotáž, gama karotáž, gama-gama karotáž, neutron-gama karotáž, neutron-neutron karotáž, kavernometrie, termometrie, rezistivimetrie).

V rámci průzkumných terénních prací bylo provedeno geofyzikální měření refrakční seismikou. V terénu byly v průzkumných šachtách provedeny zatěžovací zkoušky in-situ (zatěžovací zkouška deskou, smykové zkoušky na horninových blocích na dně průzkumných šachet). V hydrogeologických vrtech byly uskutečněny soubory stoupacích a čerpacích

zkoušek po dobu 46 dní. Následně bylo ve vrtech prováděno měření hladiny podzemní vody 1x týdně v časovém úseku od září 1979 do února 1980.

Získané vzorky zemin a hornin byly zpracovány v laboratoři na zjištění základních indexových vlastností (přírozená vlhkost, objemová hmotnost, měrná hmotnost, pórovitost, kompaktnost, zrnitost) dále mechanických vlastností (pevnost na nepravidelných vzorcích, krychelná pevnost, u vybraných vzorků triaxiální zk. UU, krabicová smyková zkouška). Na horninových vzorcích byla zvláště zjišťována objemová hmotnost, přírozená vlhkost, pórovitost, nasákavost a odvozovány byly rozpouštělnost a třídy těžitelnosti dle ČSN 73 3050. Dále byly odebrány technologické vzorky, na nichž byly provedeny zkoušky zhutnitelnosti (Proctor – standard) a vzorky podzemní vody, na kterých byly provedeny chemické rozbory pro určení agresivity podzemní vody na beton dle ČSN 73 1001.

V průzkumných šachtách bylo využito hodnocení parametrů masivu dle tunelářských klasifikací NGI (Q index), RMR, QTS.

Výsledkem podrobného průzkumu byly výkresy přehledných geologických řezů v měřítku 1 : 2000/200 a podrobných geologických řezů v měřítku 1 : 200/200. Zdokumentování průzkumných prací je doplněno zakreslením poloh sond v mapě v měřítku 1 : 2000 a výstupy ze zpracovaných laboratorních zkoušek (geofyzikálního, karotážního a petrografického měření), které jsou pro přehlednost uspořádány tabelárně.

V rámci průzkumu bylo upozorněno na zjištění nepříznivé fosilní tektonické struktury paleozoika, nepříznivé pro tunely vedené mělko pod povrchem (10-15 m), s ohledem na nízkou stabilitu tunelových stěn a následné snížení stability při působení podzemní vody.

Přehled provedených průzkumných sond pro úsek trasy III.A/1 je pro lepší orientaci zobrazen v Tab. 6.

Tab. 6 Informace o provedených průzkumných sondách v úseku III.A/1

etapa	počet zpráv	jádrový vrt [ks] hloubka [m]	nárazovotočivý vrt [ks] hloubka [m]	šachtice [ks] hloubka [m]	kopaná sonda [ks] hloubka [m]
předběžný průzkum	2	19 15-30	2 6-10	5 5-6	
podrobný průzkum	1	39 10-30	13 3-9	4 5-8	45 2-6

7.4 Příprava stavby pro trasu III.A/2

Přípravné práce pro trasu III.A/2 sloužily pro úsek do stanice *Skalka* a později do stanice *Depo Hostivař* o celkové délce 2,4 km.

Na základě zadání pro provedení průzkumných prací společností Metroprojekt byl od roku 1979 národním podnikem Stavební geologie prováděn orientační inženýrskogeologický průzkum (Vrba et al., 1979). Rozsah dokumentace měl dle zadání splňovat požadavky předběžného inženýrskogeologického průzkumu. Vzhledem k nedostatku času a úpravě trasování musel být objem průzkumných prací na požadavek zadavatele redukován tak, že popis splňoval kritéria pouze průzkumu orientačního. Úsek, který byl v dokumentaci popsán je vymezen v délce 0,1 km za stanicí *Strašnická* (km 25,3 – km 25,4). Jednalo se o oblast holocenních náplavů v předpokládané depresi potoka. Původním zadáním pro předběžný průzkum byl úsek mezi stanicemi *Želivského* – *Depo Hostivař* pro plánovanou čtvrtou variantu z návrhů roku 1977.

Průzkumné práce byly v rámci orientačního průzkumu rozvrženy tak, aby došlo k ověření výskytu kvartérního pokryvu i znalostí litologické a geologické stavby skalního podloží. V rámci terénních prací byly provedeny 4 vrtů. K provedení vrtů bylo použito nárazovotočivé vrtání a ve skalním podkladu pak jádrové vrtání. V rámci úspory času nebylo provedeno hydrogeologické ani geotechnické měření. Vzhledem k provádění průzkumných prací v zimních měsících nebyly také odebrány žádné vzorky podzemní vody.

Na získaných vzorcích holocenních náplavů byly provedeny indexové zkoušky (konzistence, plasticita, přirozená vlhkost, obsah uhličitánů, obsah organických látek a zrnitostní rozbor zemin).

Výsledkem orientačního průzkumu jsou geologické popisy vrtů s grafickou dokumentací vrtů a laboratorními protokoly. Geologické popisy byly dále zpracovány do podélných geologických profilů v měřítku 1 : 200/200. Provedené průzkumné práce jsou zobrazeny na situačním výkresu v měřítku 1 : 1000.

Na základě zadání objednávky společnosti Metroprojekt byl v roce 1979 prováděn předběžný inženýrskogeologický průzkum (Matouš, 1979) pro halu plánovaného depa metra v Hostivaři o délce úseku 2,4 km. V rámci průzkumu byly využity archivní průzkumné práce a množství nových průzkumných prací. Rozsah prací byl stanoven v závislosti zejména na požadavcích specifikovaných investorem a projektantem. Jednalo se o provedení 6 jádrových vrtů na předem určených lokalitách, v nichž bylo provedeno mikroseismokarotážní měření. Dle návrhu mělo být provedeno presiometrické měření, které

nebylo uskutečněno kvůli nekvalitní hornině ve vrtu a následnému svírání sondy v hloubce vrtu. V rámci terénních prací byly ve vrtech provedeny čerpací a stoupací zkoušky.

Na odebraných vzorcích zemin a hornin byly zjišťovány základní indexové vlastnosti (přirozená vlhkost, objemová hmotnost, měrná hmotnost, pórovitost, kompaktnost, zrnitost, konzistenční meze) dále byla zjišťována propustnost, kapilární vzlinavost, provedeny byly též mechanické zkoušky (měření v oedometru na vzorcích zemin, měření pevnosti prostého tlaku na vzorcích hornin). U zemin byla dále zjišťována odolnost proti mrazu a tání, obsah uhličitánů i kovů alkalických zemin, obsah organických látek a množství agresivních složek. Na odebraných vzorcích podzemní vody byly zjišťovány agresivní účinky na betonové konstrukce, obsah uhličitánů a organických látek.

Výsledkem předběžného průzkumu jsou zpracované podélné geotechnické řezy v měřítku 1 : 200, přepracovaná inženýrskogeologická mapa a zpracovaná geologická dokumentace nově provedených vrtů. Výsledky z laboratorních zkoušek jsou v práci uvedeny tabelárně a zrnitostní křivky zobrazeny v grafech.

V rámci předběžného průzkumu bylo doporučeno pro další etapu zpřesnění interpretace hloubky kvartéru a zjištění bližších informací o hladině podzemní vody.

Na žádost investora byl následný podrobný průzkum rozdělen na dvě etapy. V etapě I měl být v prostoru projektovaného depa proveden geofyzikální průzkum na zjištění bludných proudů a v etapě II měl být proveden plnohodnotný podrobný průzkum pro celý úsek stanic *Skalka* a *Depo Hostivař* o délce cca 2,4 km.

V rámci etapy I, byl proveden geofyzikální průzkum v prostoru projektovaného depa, jež proběhl v roce 1978, za účelem zjištění výskytu bludných proudů (Doležal, 1978). Průzkum geoelektrickým měřením proběhl na 38 stanovištích v intervalu 2 min. po dobu 30 minut. Z provedených měření vyplývá přítomnost bludných proudů a zvýšená agresivita prostředí.

Na etapu I. navazovala etapa II. zabývající se podrobným průzkum (Matouš, 1980) prováděným v letech 1979 – 1980. V rámci podrobného průzkumu bylo realizováno 74 nových průzkumných sond složených z provedení 27 jádrových vrtů, 21 širokoprofilových jádrových vrtů a 26 kopaných šachtic. V jádrových vrtech bylo v rámci terénních prací uskutečněno karotážní měření v rozsahu provedení presiometrie a mikroseismokarotáže.

Na odebraných vzorcích byly následně v laboratoři zjišťovány základní indexové vlastnosti (přirozená vlhkost, objemová hmotnost, měrná hmotnost, pórovitost, kompaktnost, zrnitost, konzistenční meze, plasticita), mechanické zkoušky (oedometrická

zkouška stlačitelnosti, triaxiální zkouška nekonsolidované neodvodněné pevnosti, krabicové smykové zkoušky, pevnost v prostém tlaku) a technologické zkoušky zhutnitelnosti (Proctor – standard). Na odebraných vzorcích podzemní vody byla provedena chemická analýza pro ověření agresivity na stavební konstrukce.

Výstupem podrobného průzkumu je na výkresu zobrazení situace sond v měřítku 1 : 1000, zpracovaná geologická dokumentace nově provedených sond a z nich vytvořené geologické profily v měřítku 1 : 500/200. Výsledky provedených laboratorních zkoušek jsou udány tabelárně.

Bližší informace o provedených průzkumných sond trasy III.A/2 jsou zobrazeny v Tab. 7.

Tab. 7 Informace o provedených průzkumných sondách v úseku III.A/2

etapa	počet zpráv	jádrový vrt [ks] hloubka [m]	kopaná sonda [ks] hloubka [m]	širokoprofilový vrt [ks] hloubka [m]	Nárazovotočivý vrt [ks] hloubka [m]
orientační průzkum	1				4 3-16
předběžný průzkum	2	6 20-30			
podrobný průzkum	2	27 15-25	26 0,5-4	21 0,2-5	

7.5 Příprava stavby pro trasu V.A

Průzkumné práce pro doposud poslední pátou etapu trasy metra A byly zahájeny na základě objednávky společnosti Metroprojekt v roce 2007 pro původně plánovaný úsek od stanice *Dejvická* na *Letišť Václava Havla* (dříve známé jako Ruzyně) (Smolař, Novotný 2007a). Jako jedny z podkladů pro archivní rešerši sloužily archivy zpracovatelských firem GeoTec – GS ,a.s., SG Geotechnika a.s. a archiv České geologické služby – Geofond. Jako mapové podklady byly použity volně přístupné inženýrskogeologické mapy, dostupná odborná literatura, jenž se zabývá zájmovým územím a možnost konzultace s autory průzkumných prací v zájmovém území. V rámci rešerše byla historická prozkoumanost daného území zhodnocena jako neúplná kvůli nedostatečné hloubce provedených sond a různorodému rozmístění v rámci trasy a jejím okolí. Výsledkem archivní rešerše bylo tedy alespoň poskytnutí předpokládaných geologických podmínek v podélném profilu trasy.

Na základě archivní rešerše byly vypracovány předběžné průzkumy prováděné v letech 2007 – 2008 (Bohátková, 2008) a (Smolař, Novotný 2007b). Projekt byl následně upraven a průzkum se prováděl již pouze pro trasu v úseku *Dejvická – Nemocnice Motol*. V rámci průzkumných prací bylo navrženo provést 17 nových jádrových vrtů, v nichž bylo provedeno karotážní měření (gama karotáž, gama-gama karotáž, neutron-neutron karotáž, elektrokarotáž, měření magnetické susceptibility, termometrie, rezistivimetrie, kavernometrie a presiometrické měření. Zajímavostí je, že na tomto úseku byla také poprvé využita tzv. akustická karotáž, kterou lze zjistit prostorový průběh diskontinuit ve vrtu. Na vrtném jádru byla orientačně měřena i pevnost Schmidovým kladivem.

V rámci terénních prací bylo provedeno i měření radonového indexu pozemku. V rámci povrchových geofyzikálních metod bylo měřeno mělkou refrakční seismikou, multielektrodoým odporovým měření, gravimetrií a vertikálním elektrickým sondováním.

Na získaných vzorcích zemin byly zjišťovány základní indexové vlastnosti (přirozená vlhkost, objemová hmotnost, měrná hmotnost, pórovitost, kompaktnost, zrnitost, konzistenční meze, plasticita). Dále byly provedeny mechanické zkoušky (krabicová smyková zkouška, pevnost v prostém tlaku, pevnost v jednoosém tlaku, brazilská zkouška, point load test), petrografický rozbor, abrazivita (nově dle metodiky CERCHAR) a lepivost. Na horninových vzorcích se zjišťoval obsah křemene. Na odebraných vzorcích podzemní vody byla stanovena agresivita na betonové konstrukce dle ČSN EN 206-1 (Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda). Dále pak úplné chemické a fyzikální rozborů vody a laboratorní rozbor pro stavební účely.

Výstupem předběžného průzkumu byly geologické popisy sond doplněné o grafickou dokumentaci. Následně byly výsledky zpracovány do podoby podélného profilu v měřítku 1 : 5000/500. Výsledky laboratorních zkoušek jsou zobrazeny v tabulkách a na laboratorních protokolech. Pro orientaci je situace provedených sond zobrazena v měřítku 1 : 15 000 a 1 : 5000.

Dokumentaci průzkumných prací týkající se podrobného průzkumu v úseku se v rámci shromažďování podkladů pro tuto diplomovou práci nepodařilo dohledat. Proto dále navazují informace zjištěné z dochovaného doplňkového průzkumu, prováděného v letech 2010 – 2011. Doplňkový průzkum byl proveden v několika částech pro každou stanicí separátně.

Jednalo se o průzkumné práce, které blíže popisovaly provedení 21 jádrových vrtů, 2 extenzometrických vrtů, 1 průzkumné šachty a 3 průzkumných štol (Bohátková et al., 2010a) a (Bohátková et al., 2010). Na vrtných jádrech bylo provedeno hodnocení RQD a ve vrtech bylo provedeno karotážní měření složené z geofyzikálních měření (gama-karotáž, gama-gama karotáž, indukční karotáž, magnetická susceptibilita, resistivimetrie a také presiometrické měření (Bohátková, Rout 2011c). V rámci terénních zkoušek byly provedeny krátkodobé hydrodynamické zkoušky.

Na odebraných vzorcích byly dále zjišťovány základní indexové vlastnosti (přírozená vlhkost, objemová hmotnost, měrná hmotnost, pórovitost, kompaktnost, zrnitost, konzistenční meze, plasticita), zjištění mechanických vlastností (pevnost hornin v prostém tlaku, stlačitelnost v oedometru, smykové zkoušky v krabicovém přístroji) dále byly provedeny petrografické rozborů a stanovení abrazivity dle CERCHAR na křemencích (Bohátková, Rout 2011a). Na vzorcích podzemní vody byla zjišťována agresivita na betonové stavební konstrukce dle ČSN 206-1, a také koncentrace agresivního CO₂ pomocí Heyerovy zkoušky.

V rámci průzkumu byly uskutečněny 3 průzkumné štoly metodou NRTM (Bohátková, 2010). Pro bližší popis dotčené oblasti byla provedena dokumentace horninového masivu zatříděním do technologické třídy NRTM a dokumentace čelby po 1 záběru. V průběhu ražby byl prováděn geotechnický monitoring formou měření deformací výstroje průzkumného díla a měření deformací povrchu terénu nad průzkumným dílem pro zjištění případných poklesů a vlivů ražby na povrch terénu. Na odebraných vzorcích v rámci ražby byly v laboratoři zjišťovány základní indexové vlastnosti. Provedeny byly také mechanické zkoušky (pevnost v prostém tlaku, pevnost v příčném tahu), zjištění abrazivnosti z obsahu křemene a na odebraných vzorcích podzemní vody byly realizovány úplné chemické rozborů (Gardavská et al., 2010).

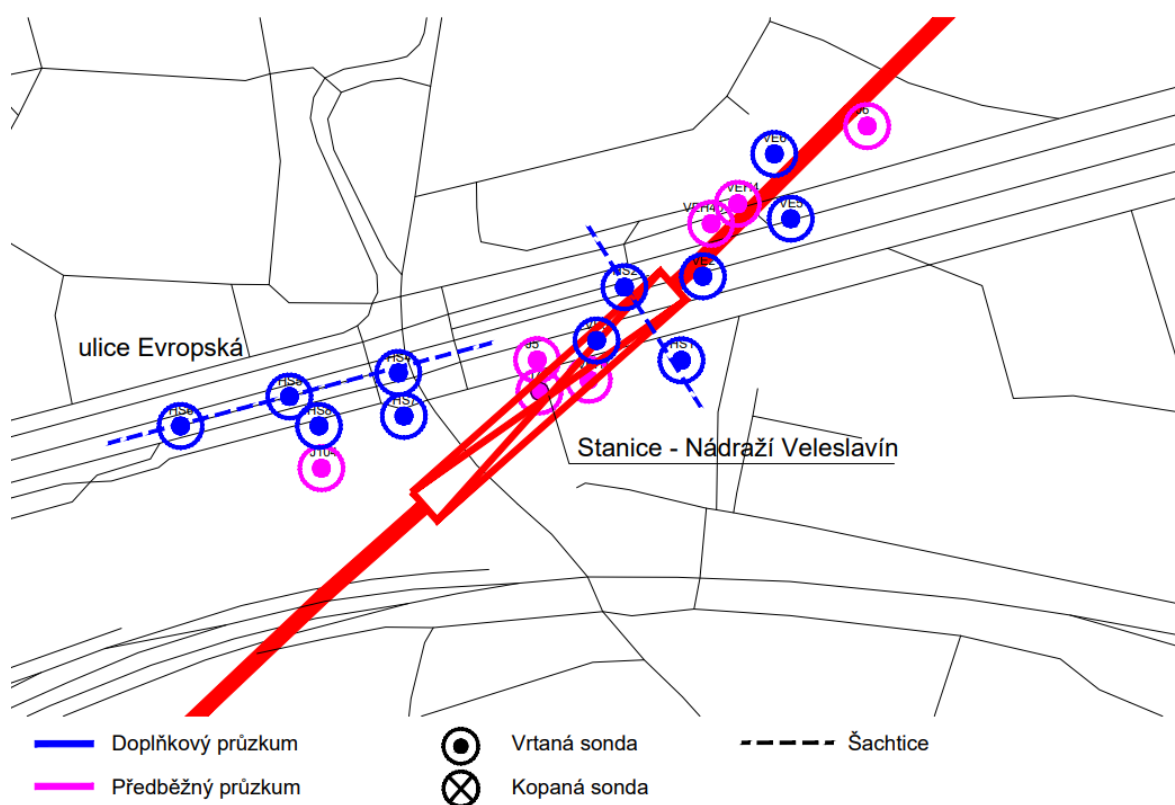
Rozmístění vrtných prací je vykresleno do přehledných situačních výkresů v měřítku 1 : 50 000, 1 : 2000 a 1 : 1000 a zobrazení podrobné situace v měřítku 1 : 1 000 (Bohátková, Rout 2011b). Vrtné práce jsou přiloženy s geologickým popisem, fotodokumentací a grafickými výstupy, které byly následně využity pro potřeby zpracování podélných profilů v měřítku 1 : 1000/200 a 1 : 500/500. Závěry z provedených presiometrických zkoušek jsou zobrazeny v přiložených grafech a laboratorní výsledky jsou přiloženy tabelárně včetně jednotlivých protokolů (Tlamsa, Bohátková 2011).

Výstupem dokumentace průzkumných štol je podélný a příčný řez v měřítku 1 : 250/250. Po vyhodnocení zjištěných informací bylo možné vytvoření inženýrskogeologické

mapy v měřítku 1 : 250. Závěrem z dokumentace záběrů čeleb byl grafický a textový výstup s popisem zjištěných skutečných poměrů doplněný o přiloženou fotodokumentaci.

Ze zjištěných poznatků popsaných díky doplňkovému průzkumu bylo poukázáno na několik problematických oblastí. Jednalo se například o nízkou pevnost hornin i na predisponované plochy nespojitosti, kde může vzniknout reálné riziko nadvýlomu bloků v kalotě u stanice *Petřiny*. Dále bylo upozorněno na možnou zvýšenou úroveň hladiny podzemní vody za severními stěnami stavebních jam u stanice *Nemocnice Motol* a na vysokou agresivitu chemického prostředí zařazené do třídy XA3 v oblasti bohdaleckých břidlic. Na základě dalších skutečností byl doporučen monitoring stability realizovaných pilotových stěn a okolních svahů.

Rozmístění průzkumných prací v oblasti stanice Nádraží Veveřín v rámci trasy V.A provedených v letech 2007 – 2011 je zobrazeno na Obr. 12



Obr. 12 Rozmístění průzkumných prací v okolí stanice Nádraží Veveřín v úseku V.A (autor: Andrea Honzejková)

Bližší informace o provedených průzkumných sond trasy V.A jsou zobrazeny v Tab. 8. Souhrn celkových provedených průzkumných prací je zobrazen v Tab.9.

Tab. 8 Informace o provedených průzkumných sondách v úseku V.A

etapa	počet zpráv	jádrový vrt [ks] hloubka [m]	extenzometrický vrt [ks] hloubka [m]	šachta [ks] hloubka [m]	štola [ks] hloubka [m]
předběžný průzkum	2	17 15-50			
doplňkový průzkum	8	21 15-49	2 30	1 14	3

Tab. 9 Informace o provedených průzkumech souhrnně pro všechny etapy

úsek	etapy	délka [m]	počet stanic	počet průzkumů	metráž provedených průzkumů [m]	počet průzkumů na 100 m	metráž průzkumů na 100 m [m]
I.A	podrobný p.	5360	7	104	2554	1,9	47,65
	stavebně g.			47	133,5	0,8	2,49
	doplňkový p.			5	102,6	0,09	1,91
	IG sledování						
II.A	stavebně g.	2600	3	3	2,6	0,12	0,1
	doplňkový p.			7	181	0,27	6,96
III.A/1	předběžný p.	1300	1	34	439	2,61	3,37
	podrobný p.			101	921,5	7,77	7,08
III.A/2	orientační p.	2400	2	4	35	0,16	0,14
	předběžný p.			6	140,5	0,25	0,58
	podrobný p.			74	749	3,1	3,12
V.A	předběžný p.	6100	4	17	529	0,28	8,67
	doplňkový p.			26	787	0,43	12,9

8. Hodnocení horninového masivu

Hodnocení horninového masivu slouží pro zařazení jednotlivých druhů hornin dle jejich mechanických a fyzikálních vlastností. K popisu horninového masivu využíváme zavedené horninové klasifikace, které rovněž prošly v minulých dekádách postupným vývojem. Horninové klasifikace se v současné době dělí do několika kategorií dle způsobu jejich hodnocení (Barták, Pruška 2011).

Jednu variantu představují indexové klasifikace, které se v posledních letech využívají při ražbě tunelu nejhojněji. Jedná se o klasifikace, dle kterých se dá hodnotit čelba horninového masivu, ale i terénní výchoz. Horninové klasifikace byly vyzkoušeny a následně aplikovány v terénu na výchozech s ohledem na jejich různý stupeň zvětrání.

8.1 Klasifikace pro hodnocení horninového masivu

QTS (Quality Testing System) - Jedná se o originální českou klasifikaci, jež byla vytvořena Otakarem Tesařem v roce 1977. Klasifikace byla vytvořena pro stavbu metra v Praze a díky tomu také zohledňuje pražské geologické poměry (Barták, Pruška 2011). Klasifikace je vytvořena na základě dřívějších zkušeností z výstavby metra v Praze. Klasifikace specifikuje horninové prostředí hodnotami v rozmezí 30-100 a určuje následný postup ražby a vystrojení výrubu. Metoda je zaměřena zejména na skalní a poloskalní horniny.

Index QTS je určen počtem klasifikačních bodů TS a jejich následnou redukcí

$$QTS = TS - \sum (\alpha + \beta + \gamma + \delta)$$

$$TS = A + B + C = 10 \log \sigma \bar{d} + 26,2 \log d + 6,2 \log D + 61,4$$

Parametry:

A – vyjadřuje pevnost úlomků horniny v prostém tlaku – rozmezí 0-22 bodů

B – vyjadřuje průměrnou vzdálenost ploch nespojitosti d – rozmezí 8-68 bodů

C – vyjadřuje hloubku pod bází pokryvných útvarů – rozmezí 14-21 bodů

Redukční parametry:

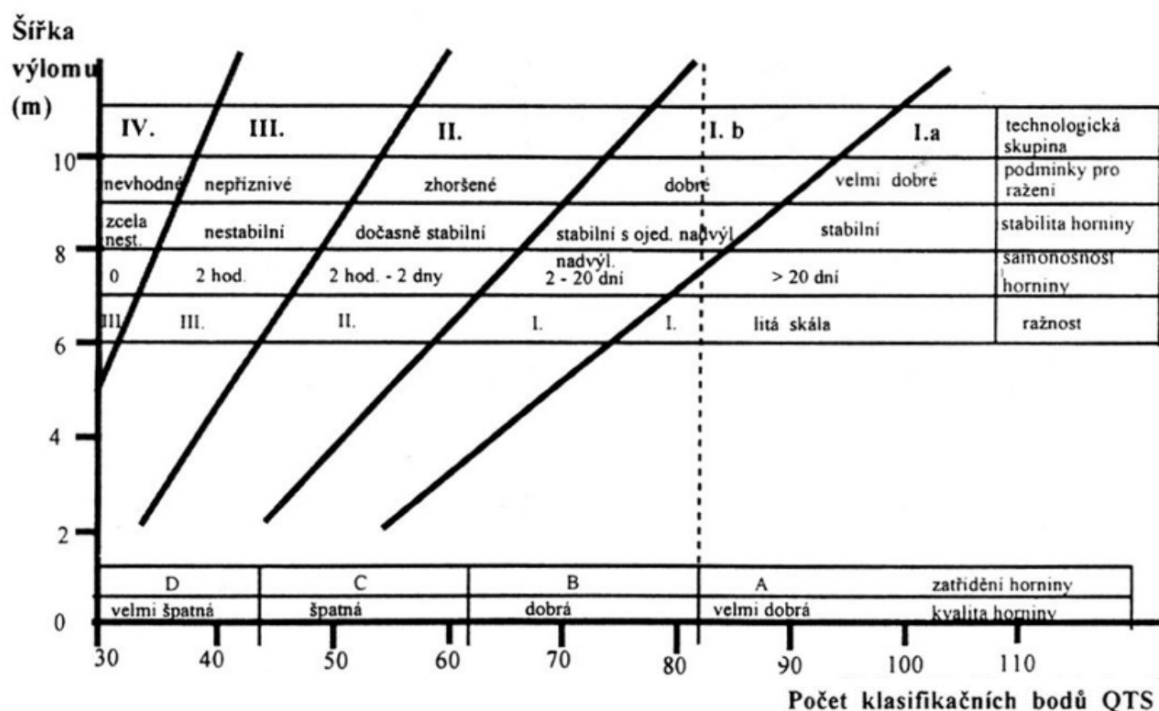
α – při sklonu hlavních ploch nespojitosti mezi 30° až 80°

β – plochy diskontinuit nepříznivě ukloněné, rovné, hladké nebo s výplní jílu

γ – při výskytu podzemní vody, protékající volně

δ – při vývěrech podzemní vody pod hydrostatickým tlakem

Dle počtů klasifikačních bodů QTS se dělí horninové prostředí na jednotlivé skupiny dle Obr.13.



Obr. 13 Dělení výrubu dle metody QTS (zdroj: Barták, Pruška (2011))

RQD (Rock Quality Designation) - Tento horninový index byl vytvořen roku 1967 Donem Deerem. Index je založen na ohodnocení horninového masivu na základě vrtného jádra, zaměřuje se zejména na hodnocení hustoty rozpukání masivu na délku úseku 1 m. výsledkem hodnocení je stanovení kvality horninového prostředí směrem do hloubky (Barták, Pruška 2011). Podstatné pro správnou interpretaci je především správné natočení vrtného jádra. V současné době se využívá zejména jako doplňková součást komplexnějších horninových klasifikací.

V terénu lze klasifikaci RQD využít ve štolách a tunelech v upravené verzi, kdy se vypočte na základě vzorce, který byl využit na výchozech v terénu:

$$RQD = 115 - 3,3 * J_v$$

Parametr J_v – počet puklin v 1 m³ masivu

RMR (Rock Mass Rating) - Klasifikace byla vytvořena Zdislavem Tadeášem Bieniawskim v roce 1976 a následně aktualizována v roce 1989. Hodnocení dle klasifikace RMR je založeno na 6 stanovovaných parametrech (Barták, Pruška 2011). Horninový masiv je klasifikován do 5 tříd jejichž výsledkem je stanovení hodnot v rozmezí 10 – 100, k nimž je přiřazen způsob ražby, doba stability výrubu a druhy vystrojení tunelu. Jedná se o součet dílčích parametrů zobrazených na Obr. 14.

Jedná se o součet parametrů: $RMR = \sum(A + B + C + D + E - F)$

A. PARAMETRY A JEJICH HODNOCENÍ									
Parametr			Rozsah hodnot						
1	Pevnost neporušené horniny	Pevnost v tahu při bodovém zatížení	> 10 MPa	4 – 10 MPa	2 – 4 MPa	1 – 2 MPa	Pro nízké hodnoty se upřednostňuje pevnost v prostém tlaku		
		Pevnost v prostém tlaku	> 250 MPa	100 – 250 MPa	50 – 100 MPa	25 – 50 MPa	5 – 25 MPa	1 – 5 MPa	< 1 MPa
	Hodnocení	15	12	7	4	2	1	0	
2	Index kvality horninového masívu RQD		90 – 100 %	75 – 90 %	50 – 75 %	25 – 50 %	< 25 %		
	Hodnocení		20	17	13	8	3		
3	Vzdálenost diskontinuit		> 2 m	0,6 – 2 m	0,6 – 0,2 m	0,2 – 0,06 m	< 0,06 m		
	Hodnocení		20	15	10	8	5		
4	Charakter diskontinuit (viz C)		Velmi drsný povrch Nesouvislý Neodlučný Nezvětralá stěna	Nepatrně drsný povrch Odlučnost < 1 mm Nepatrně zvětřalá stěna	Nepatrně drsný povrch Odlučnost < 1 mm Velmi zvětřalá stěna	Ohlazený povrch nebo jílovitý lem < 5 mm Odlučnost 1 – 5 mm Souvislý	Jílovitý lem > 5 mm Odlučnost > 5 mm Souvislý		
	Hodnocení		30	25	20	10	0		
5	Vlastnosti podzemní vody	Přítok na 10 m délky tunelu	Žádný	< 10 l/m	10 – 25 l/m	25 – 125 l/m	> 125 l/m		
		(Tlak vody v puklině)/(Hlavní napětí)	0	< 0,1	0,1 – 0,2	0,2 – 0,5	> 0,5		
		Obecné podmínky	Suché	Navlhle	Mokrě	Odkapavající	Přitékající		
	Hodnocení		15	10	7	4	0		
B. HODNOCENÍ ORIENTACE DISKONTINUIT (viz obr. 1)									
Směr a sklon vrstvy			Velmi příznivý	Příznivý	Středně příznivý	Nepříznivý	Velmi nepříznivý		
Hodnocení pro tunely a doly			0	-2	-5	-10	-12		
C. VODÍTKO PRO KLASIFIKACI POVRCHU DISKONTINUIT									
Průběžnost diskontinuit			< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Hodnocení			6	4	2	1	0		
Rozevření diskontinuit			Žádné	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Hodnocení			6	5	4	1	0		
Drsnost povrchu			Velmi drsný	Drsný	Mírně drsný	Hladký	Ohlazený		
Hodnocení			6	5	3	1	0		
Výplň			Žádná	Pevná výplň < 5 mm	Pevná výplň > 5 mm	Jemná výplň < 5 mm	Jemná výplň > 5 mm		
Hodnocení			6	4	2	2	0		
Zvětrání povrchu			Nezvětralý	Mírně zvětralý	Středně zvětralý	Silně zvětralý	Rozložený		
Hodnocení			6	5	3	1	0		
D. CELKOVÉ HODNOCENÍ KLASIFIKACE RMR									
Hodnocení			81 - 100	61 - 80	41 - 60	21 - 40	0 - 20		
Třída			I	II	III	IV	V		
Kvalita horniny			Velmi dobrá	Dobrá	Střední	Špatná (nízká)	Velmi špatná (velmi nízká)		

Obr. 14 Hodnocení horninového masívu dle klasifikace RMR

8.2 Hodnocení horninového masivu v terénu

V rámci diplomové práce byly navštíveny 4 lokality pro zhodnocení horninového masivu, reprezentující souvrství zastižené v průběhu zájmové trasy. Dílčí horninové masivy jsou dokumentovány na skalních výchozech, jejichž poloha je zobrazena na Obr. 15. Fotodokumentace vybraných skalních výchozů je zobrazena v příloze 1.

Navštívené lokality:

1. Výchoz Divoká Šárka –křemence
2. Výchoz Motolský ordovik –břidlice, křemence
3. Výchoz Bílá skála –křemence, břidlice
4. Výchoz Jabloňka – břidlice



Obr. 15 Mapa se značením navštívených lokalit - upraveno (zdroj: www.lokality.geology.cz)

RQD – Hodnocení horninovým indexem RQD pro tunely a štoly, bylo využito na navštívených skalních výchozech a jejich výsledky jsou shrnuty v Tab. 10.

Z provedeného hodnocení vyplývá, že získané hodnoty slouží zcela orientačně v závislosti na zastižených horninách, zejména vzhledem k vysoké míře zvětrání na povrchu, místy až úplnému zvětrání. Zastižené horniny charakteru břidlic, méně odolných vůči erozi mající velmi proměnlivou hloubku zvětrání směrem k povrchu, jsou často zcela zvětralé.

Oproti tomu horniny charakteru křemenců, odolnějších vůči erozi, u nichž lze směrem do hloubky předpokládat zdravější horniny, jsou na povrchu mírně zvětralé.

U výsledného hodnocení je proto předpokládáno že hodnoty, jež byly stanoveny v rámci prováděného průzkumu budou horší, než budou poté zjištěny v rámci průzkumných štol či ražby několik metrů až desítek metrů pod povrchem.

Hodnocení horninovým indexem RQD by se s opatrností dalo využít jako součást prováděných hodnocení v rámci rekognoskace terénu. Pro zjištění přesnějších údajů horninového masivu by sloužila realizace průzkumných štol, které jsou ovšem v případě ražby hluboko pod povrchem neefektivní a zejména finančně náročné.

Tab. 10 Provedené hodnocení RQD

Lokalita	Divoká Š.	Motol	Motol	Bílá skála	Bílá skála	Jabloňka
Hornina	křemence	křemence	břidlice	břidlice	břidlice	křemence
Počet puklin v masivu na [1m³] J_v	15	20	150	18	100	30
Hodnocení	65 %	49 %	0 %	55 %	0 %	16%

RMR – Provedené hodnocení klasifikací RMR na skalních výchozech je zobrazeno v Tab.11. V rámci klasifikace byly některé podmínky zařazeny do nejhorší kategorie, jelikož jsou v rámci skalního výchozu nezjistitelné a předejde se tak nadhodnocení kvality horninového masivu.

Hodnocení pomocí této metody řadí zastižené horniny křemenců a břidlic z lokality Jabloňka do III. kategorie – střední kvality hornin. Zastižené břidlice z ostatních lokalit se řadí do kategorie IV. – V. charakterizované jako nízké až velmi špatné kvality hornin.

U zjištěných výsledků je nutné brát v potaz jejich stanovení na skalních výchozech, které podléhají erozy a jsou tak oproti horninám, zastiženým desítky metrů pod povrchem, zvětralejší, místy až zcela zvětralé.

Tab. 11 Provedené hodnocení RMR

Lokalita	Divoká Š.	Motol	Motol	Bílá skála	Bílá skála	Jabloňka
Hornina	křemence	břidlice	křemence	břidlice	křemence	břidlice
Pevnost neporušené horniny	R2-R1 12-15b	zvětralé 0-1b	R2 12b	R6 0b	R2 7b	R4 2b
Index RQD	7b	0b	4b	0b	2b	7b
Vzdálenost diskontinuit	2 - 20cm 8b	0,06 cm 5b	20 – 6 cm 8b	0,5 – 1 cm 3b	15 cm 8b	20 cm 8b
Charakter diskontinuit	ohlazený povrch 8b	jílovitý lem 0b	drsny povrch 20b	jílovitý lem 0b	nepatrně drsny povrch 10b	nepatrně drsný povrch 10b
Vlastnosti podzemní vody*	0b	0b	0b	0b	0b	0b
Směr a sklon diskontinuit*	0b	0b	0b	0b	0b	0b
Průběžnost diskontinuit	3b	2b	3b	1b	2b	1b
Rozevření diskontinuit	0-0,01mm 5b	1-5 mm 0-1b	0,1-1 mm 4b	1-5 mm 1b	1-5 mm 1b	0,1-1 mm 4b
Drsnost povrchu	hladký 1b	ohlazený 0-1b	mírně drsný 3b	ohlazený 0b	mírně drsný 3b	hladký 1b
Výplň diskontinuit	žádná 6b	jemná 0-2b	jemná 2b	jemná 2b	jemná 2b	pevná 5b
Zvětrání povrchu	středně-mírně 3-5b	silně zvětralý 0-1b	středně zvětral. 3b	silně zvětralý- rozložený 0b	středně zvětralý 3b	mírně zvětralý 5b
Hodnocení	54 III.STŘEDNÍ	10 V.VELMI ŠPATNÁ	59 III.STŘEDNÍ	7 V.VELMI ŠPATNÁ	38 IV.NÍZKÁ	43 III.STŘEDNÍ

*Předpokládané nejméně příznivé vlastnosti podzemní vody, směru a sklonu diskontinuit pro všechny zastížené horniny.

QTS – V rámci provedeného hodnocení klasifikací QTS na skalních výchozech nejsou parametry α , β , λ a δ brány v potaz, jelikož jsou jejich vlastnosti dané sklonem a směrem ražby, jež dále specifikují vlastnosti přímo v tunelu v rámci samotného ražení. Hodnocení je

zobrazeno v Tab.12 a také na Obr. 16. Pro toto hodnocení dále předpokládáme průměr tunelu cca 7 – 8 m pro všechny zastižené horniny, stejně jako průměrnou hloubku pod pokryvnými útvary 25 m.

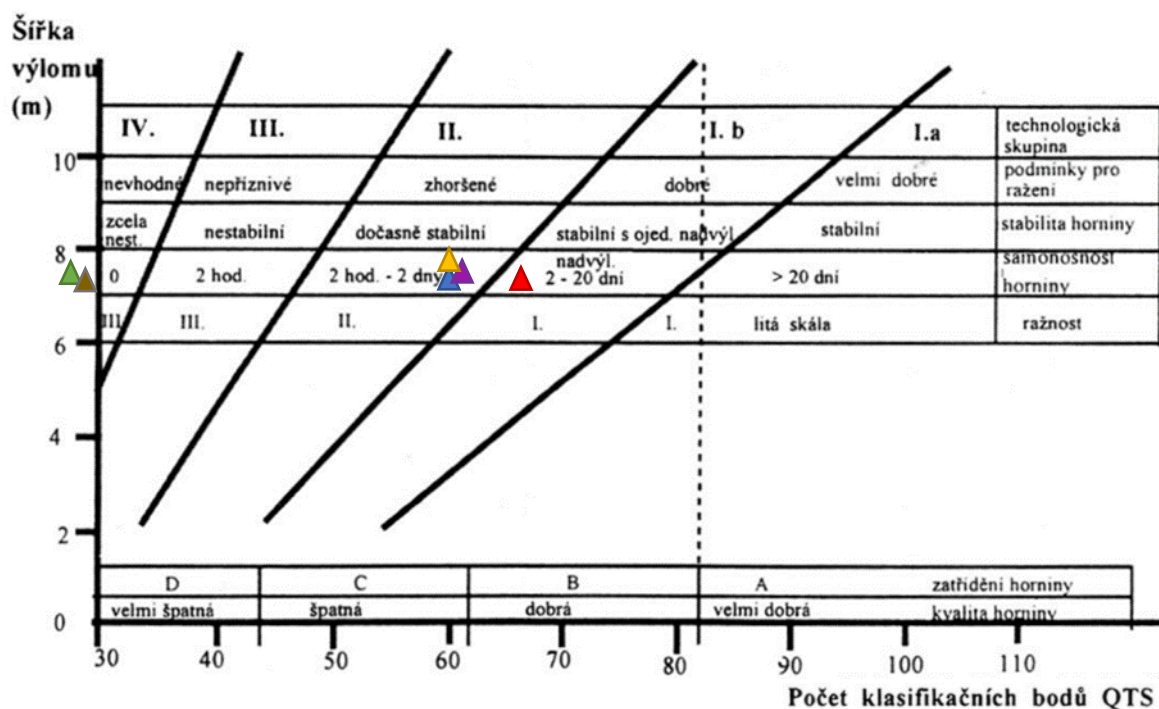
Klasifikace je navržena přímo pro skalní podklad Prahy, ovšem v tomto případě s ohledem na parametry, jež nelze na skalních výchozech charakterizovat. Zastižené křemence a břidlice z lokality Jabloňka jsou klasifikací zařazeny do kategorií I.b-II. Dobré až zhoršené podmínky pro ražbu. Zastižené břidlice z ostatních lokalit jsou zařazeny jako IV. nevhodné.

Stejně jako u předešlé klasifikace a horninového indexu jsou předpokládány horní vlastnosti, zejména intenzita zvětrání a výsledné hodnocení tak může být sníženo.

Tab. 12 Provedené hodnocení QTS

Lokalita	Divoká Šárka křemence	Motol křemence	Motol břidlice	Jabloňka břidlice	Bílá skála břidlice	Bílá skála křemence
Pevnost horniny v prostém tlaku	R1-R2 17 b	R1-R2 17 b	R5-R6 0 b	R4 7 b	R6 0 b	R2 15 b
Vzdálenost diskontinuit	2 - 20 cm 24 b	10 - 30 cm 26 b	0,5 – 12 cm 8 b	20 cm 34 b	0,5 – 1 cm 8 b	15 cm 31 b
Hloubka pod bázi pokr. útvary¹	25 20 b	25 20 b	25 20 b	25 20 b	25 20 b	25 20 b
Hodnocení	61 b II. ▲ ZHORŠENÉ	60 b II. ▲ ZHORŠENÉ	28 b IV. ▲ NEVHODNÉ	61 b II. ▲ ZHORŠENÉ	28 b IV. ▲ NEVHODNÉ	66 b I.b ▲ DOBRÉ

¹Předpokládáme průměrnou hloubku pod pokryvnými útvary, vzhledem k orientačnímu vyzkoušení metody.



Obr. 16 Výsledky z provedeného hodnocení QTS (upraveno) (zdroj: Barták, Pruška (2011))

Použití horninového indexu RQD sloužilo jako podklad pro hodnocení v rámci horninových klasifikací RMR vytvořené v roce 1973, zahrnující komplexní hodnocení horninového masivu a QTS vytvořené v roce 1977 přímo pro pražskou oblast. Využití klasifikací mělo sloužit pro doplnění IG charakteristiky a také pro porovnání jednotlivých klasifikací.

Výsledky provedeného hodnocení horninového masivu na výchozech jsou zkráceny skutečností, že horniny jsou na výchozech výrazně zvětralé a rozvolněné oproti horninám pod povrchem vykazují většinou horší vlastnosti. Dále se musí brát ohled na vlastnosti jež mohou hodnocení zhoršit, ovšem jsou zjistitelné pouze in-situ v rámci ražby.

Zkoumané křemence a břidlice z lokality Jabloňka, byly dle QTS zařazeny do kategorie II. zhoršené prostředí, dle klasifikace RMR do kategorie III. jako střední kvalita hornin. Ostatní břidlice byly dle QTS zařazeny do kategorie IV. nevhodné prostředí a dle RMR do kategorie V. velmi špatná kvalita hornin.

Na hodnocení horninových klasifikací v rámci skalních výchozů lze pozorovat, že výsledné hodnocení obou zmíněných klasifikací (QTS, RMR) má podobné predikce v rámci různých horninových typů a lze je jako orientační hodnocení využít.

Lze zhodnotit, že využití horninových klasifikací na skalních výchozech může sloužit pro zjištění zcela orientačních vlastností hornin předpokládaných v trase ražby. S ohledem na obecně vysoký stupeň zvětrání i rozvolnění hornin na povrchových výchozech

jsou výsledky dokumentace výchozů z tohoto pohledu zkreslené a nemohou plně nahradit dokumentaci horninového masivu v podzemí, ať už v průzkumných štolách, šachtách či vrtech.

9. Problémy při stavbě

Díky provedeným průzkumům v rámci přípravných prací pro trasu metra A bylo na některých úsecích zjištěno problematické geologické prostředí. Díky včasnému zjištění se však bylo možno na tyto okolnosti připravit a případně navrhnout adekvátní řešení nebo opatření. Později v průběhu ražby trasy metra nicméně i tak docházelo k neočekávaným událostem či haváriím, které nebyly v žádné etapě průzkumu zaznamenány. K mimořádným událostem došlo bez předešlého upozornění, na které by bylo v rámci průzkumů poukázáno. V závislosti na neočekávaných problémech tak došlo k jejich operativnímu řešení, kterým by se v některých případech pravděpodobně dalo předejít.

9.1 Problematické prostředí

Při ražení stanice *Staroměstská* a *Malostranská* v úseku I.A byla stavební jáma zajištěna kotvenými podzemními stěnami, vetknutými do nepropustného skalního podloží, pro zajištění historické zástavby a inženýrských sítí v blízkosti stavby (Tesař, 1971).

Na stanici *Hradčanská* v úseku I.A byla štěrkopísková zvodnělá terasa zpevněna injektáží za současného snižování hladiny podzemní vody systémem studní (Smekal, Müllerová 1972).

Na stanici *Bořislavka* se v úseku V.A předpokládala zóna možného deformačního ovlivnění u domu č.p. 599 v ulici Kamerunická (Prodloužení trasy A, 2011). Jako prevence zde bylo upraveno členění výrubu na vertikální po celé délce stanice a dále byla před ražbou realizována horizontální pilotová clona z profilu stanice pomocí mikropilot do hloubky 40 m o průměru 900 mm, sloužící jako opatření pro zmírnění vlivů poklesů na okolní zástavbu.

U stanice *Bořislavka* v úseku V.A bylo při zjištěných nevhodných technických parametrech v oblasti stanice provedeno opatření v podobě zesílení stříkaným betonem z původních 400 mm na 500 mm a zhuštěním vystrojení kotev, doplněním příhradových rámců a sítí. (Prodloužení trasy A, 2012).

Při ražbě stanice *Nádraží Veleslavin* v úseku V.A bylo nutné přeložení stávající kanalizace DN400 a DN1000 (Prodloužení trasy A, 2012). Ražba kanalizace následně sloužila také pro potřeby inženýrskogeologickému průzkumu stanice.

9.2 Mimořádné události

Při ražení stanice *Nádraží Velešlavín* v úseku V.A došlo při ražbě ke komplikacím se stabilitou čelby výrubu. Na základě toho bylo nutné zvýšit bezpečnost v rámci razících prací využitím chemické injektáže na bázi pěnicích polyuretanů. Pod ulicí Evropská byla aplikována trysková injektáž pro zlepšení stability horninového masívu a následně navrženo zajištění únikové štoly pomocí převrtávaných pilot namísto využití metody NRTM (Prodloužení trasy A, 2012). Díky využití metody NRTM v daném úseku bylo možno reagovat na změny geologického prostředí a následně realizovat potřebná opatření ke stabilizaci čelby. Při důkladnějším prozkoumání v rámci podrobného či doplňkového průzkumu by pravděpodobně mohlo dojít ke zvážení použití jiných metod provádění. Například při využití metody TBM-EPB by čelba výrubu nebyla v bezprostředním kontaktu s pracovníky a zároveň by zajišťovala její částečnou stabilizaci.

Při ražbě úseku mezi stanicemi *Dejvická* a *Bořislavka* v úseku V.A došlo 8.7.2012 k propadu části konstrukce vozovky nad razícím strojem S-609. Při ohledání místa v okolí propadu a sledování podloží pomocí gravimetrie a georadaru bylo zjištěno, že podkladní vrstvy pod silnicí v ul. Evropská jsou v nevyhovujícím stavu. Konkrétně se jednalo o nedostatečně zhutněné vrstvy obsahující oslabená prázdná místa a možné kaverny (Prodloužení trasy A, 2012). Mimořádná událost předvedla, že je třeba věnovat pozornost prostředí i při ražbě TBM pomocí razících strojů. Při ražbě v městské zástavbě s předpokládaným vedením inženýrských sítí, by bylo vhodné využití geofyzikálních metod (georadaru, gravimetrie) pro zjištění výskytu kaveren v rámci podrobného, případně doplňkového průzkumu.

Při ražbě traťových tunelů v úseku II.A, byl v roce 1978 pod křižovatkou Přemyslovská a Velehradská v hloubce 47 m pod terénem zaznamenán únik benzínu do traťových tunelů. Zdrojem úniku byla čerpací stanice v Lucemburské ulici, která byla sanována pasivně pomocí tzv. cementace tunelů. Traťové tunely byly následně pravidelně kontrolovány a případně odčerpávány (Bíža, 1978). Únik benzínu z čerpacích stanic nelze v rámci přípravných prací předpokládat, jedná se o velmi specifickou událost, jež by pravděpodobně odhalil pouze podrobný hydrogeologický průzkum. Realizace podrobného hydrogeologického průzkumu by byla ovšem velmi nákladná a bez bližších náznaků by pravděpodobně zmiňovanou událost i tak neodhalila.

Při ražbě stanice *Petřiny* v úseku V.A došlo k přerušení přirozeného proudění podzemní vody a vytvoření „přehrady“. Pro následné obnovení hydrogeologického režimu byly realizovány převody vody z perforovaných trubek na dně stanice pro zajištění volného proudění podzemní vody (Prodloužení trasy A, 2012).

Při ražbě stanice *Nemocnice Motol* došlo k zastižení starého důlního díla, pravděpodobně staré vojenské nemocnice z roku 1944. Překvapivé bylo, že byla nalezena v oblasti břidlic i když v průzkumu byl předpokládán horizont pískovců. Později i zde došlo k vybudování podzemní „přehrady“ a zastavení přirozeného proudění podzemní vody. Přirozené proudění bylo obnoveno instalací příčných drénů a drenážních trubek (Prodloužení trasy A, 2012). V rámci přípravných prací, zejména v městském prostředí, by se v rámci archivní rešerše případně v orientačním průzkumu měly prohledat všechny dostupné podklady jež by měli zastižená důlní díla předpovídat a upozornit na ně. V případě předpokladu podzemního díla, by se v rámci další etapy měla jeho poloha zpřesnit pomocí geofyzikální gravimetrické metody.

10. Diskuze výsledků

K potřebám diplomové práce bylo dohledáno 34 zpráv zabývajících se trasou metra A. Získané závěrečné zprávy z úseků I.A – V.A prováděných mezi lety 1969 – 2011 poskytují pouze částečné informace z provedené kompletní prozkoumanosti, jež je v současné době v plném rozsahu nedohledatelná. Přehled získaných zpráv pro dané etapy z jednotlivých úseků dokládá Tab. 3, z níž je zřejmé, že pro úsek I.A byl získán téměř celý rozsah zpráv z etap, naopak pro úsek II.A nebyly získány téměř žádné zprávy.

Na získaných zprávách lze sledovat rozdíly mezi provedením prvotních průzkumů a provedením současných průzkumů, na nichž lze sledovat rozdíly ve významech jednotlivých etap průzkumu. Ze získaných výsledků se ukazuje že v úseku I.A byl kladen větší důraz na provedení podrobného průzkumu (složen z 5 dílčích zpráv) a následující průzkumy byly provedeny již pouze pro zpřesnění konkrétních informací. Tuto skutečnost lze přičíst zřejmě i faktu, že v prvních fázích nebyly s výstavbou tunelů metra takové zkušenosti, a proto byla nutnosti včasné realizace průzkumů věnována větší pozornost, než v pozdějších etapách. Při přípravě podkladů pro poslední úsek V.A tak bylo již těžiště průzkumu přesunuto do fáze realizace stavby, kdy už není možno plně reagovat na výsledky průzkumu a v důsledku časové tísně se pak stavební práce významně prodražují s odvoláním na nepříznivé geologické poměry (odlišné geologické poměry oproti zadání). Množství provedených průzkumných prací by mělo být rozděleno do jednotlivých etap tak, aby bylo zaručeno

důkladné ověření inženýrskogeologických podmínek. V úseku V.A by bylo zřejmě vhodné podrobnější prozkoumání v rámci podrobného průzkumu.

Vývoj v metodice průzkumu se projevil pouze mírně. Od počátečních let je hlavní těžiště průzkumu na vrtných pracích, doplněných o karotážní měření, presiometrické zkoušky i laboratorní zkoušky mechaniky zemin a hornin.

Vývoj lze sledovat u vrtných prací. V prvotních průzkumech se hojně využívalo provádění průzkumných sond do hloubek až 50 m nárazovotočivým způsobem, kdežto v současné době se nárazovotočivé vrtání nevyužívá a bylo plně nahrazeno jádrově-rotacním vrtáním. V dnešní době se též nesetkáváme s prováděním širokoprofilových vrtů, které při průzkumu úseku V.A byly úplně vypuštěny. Hloubky jednotlivých sond odpovídají hloubce, v níž prochází trasa metra a kolísají tak v rozmezí 5 – 55 m.

Co se týká četnosti průzkumných sond v závislosti na různé délce zkoumaného úseku je jejich počet v rámci různých etap pro různé úseky téměř totožný, jak lze vyčíst z Tab.9. Sledovat lze ovšem rozdíl pro metráž provedených prací/ na 100 m, která je v rámci podrobného průzkumu z úseku I.A výrazně vyšší oproti úseku III.A/1 a III.A/2. Naopak vyšší prozkoumanost z doplňkového průzkumu lze sledovat na úseku V.A oproti předěšlým úsekům.

Ve větší míře byly v počátečních etapách rovněž prováděny velkorozměrové zkoušky horninového masívu in-situ, které byly v posledních fázích již zcela vypuštěny. Důvodem je jejich nákladnost, časová náročnost a zřejmě i větší znalost místního prostředí.

K posunu v metodice dochází zejména s nástupem ražby pomocí mechanizovaných štítů, které je nutno dopředu navrhnout a nadimenzovat na dané prostředí. Pro rychlost postupu stroje jsou zde vedle mechanických vlastností horninového prostředí významnými faktory i abrazivita hornin, lepivost výkopku, jeho objemové změny i úroveň hladiny podzemní vody a velikosti přítoků do čelby.

Rozvoj lze vysledovat i rámci geofyzikálních metod, které se zejména v současnosti využívají hojněji jako nepřímá metoda pro zpřesnění předpokládaných geologických podmínek.

Dále lze sledovat rozvoj ve vývoji karotážních metod, jež z prvotních průzkumů obsahují např. metodu stratometrii, která se v novějších průzkumech již nevyužívá. Naopak se v pozdějších letech začala provádět akustická karotáž, která přináší informaci o prostorové orientaci diskontinuit ve vrtu.

Množství provedených laboratorních zkoušek bylo v rámci provedení indexových zkoušek téměř totožné, rozdíl byl v četnosti a množství provádění mechanických zkoušek a

těž technologických zkoušek. Mechanické a technologické zkoušky při odebrání správných vzorků udávají přesnější informace, ovšem v rámci kapacit laboratoří není možnost provádět velké množství zkoušek jež jsou finančně a někdy i časově náročné.

Ještě před vznikem horninových klasifikací, bylo v rámci průzkumu či inženýrskogeologického sledování šachet hodnoceno geologické prostředí stěn šachet, sledování geologických struktur pomocí geologického kompasu a také odebráním charakteristických vzorků. První využití horninových klasifikací jsem zaznamenala v pozdějších úsecích a to III.A/2 (1976 – 1980) a V.A (2007 – 2011), zejména též proto, že klasifikace vznikly až v roce 1976/7. Úplně první zmínky a hodnocení horninového masivu jsou z úseku I.A, kde došlo k zaznamenání geologických struktur pomocí geologického kompasu a výronu podzemní vody. První využití horninových klasifikací je zaznamenáno v úseku III.A/1 prováděném v letech 1979-1980 metodami RMR, QTS a tunelářské klasifikace NGI. V úseku V.A prováděném v letech 2010-2011 se využívá hodnocení dle technologické třídy NRTM.

11. Závěr

Diplomová práce měla zhodnotit inženýrskogeologické průzkumy pro jednotlivé etapy trasy metra A v Praze. V práci byla zpracována i obecná charakteristika zájmového území včetně geomorfologických, geologických, hydrogeologických a hydrogeologických poměrů, na jejímž základě byl zpracován přehledný inženýrskogeologický profil celé trasy. Byla popsána historie výstavby i hlavní technologie ražby tunelů metra na trase A v Praze. V terénu byla pro doplnění výsledků provedena rekognoskace dostupných výchozů, jejich geologická dokumentace včetně hodnocení horninového masivu dle horninových klasifikací běžně používaných při průzkumech pro trasu A.

Z vyhodnocení získaných zpráv vyplívá, že metodika průzkumných prací se od počátků stavby metra změnila mírně, ovšem jsou patrné rozdíly prováděných průzkumných prací v minulosti (etapa I.A) a v současnosti (etapa V.A). Změny v průzkumech byly zapříčiněny jak vývojem metod ražby, tak vývojem technologií průzkumů, metodiky zkoušek atd. Z výsledků je zřejmé že v minulosti se kladl větší důraz na provádění prvotních průzkumných sond v rámci podrobného průzkumu, v závislosti na nízké prozkoumanosti okolí. Oproti tomu v současnosti se průzkumné práce provádí zejména při realizaci staveb a v závislosti s tím tak dochází k prodražení staveb pro nepříznivé geologické podmínky. V čase se přestalo využívat nárazovotočivé a širokoprofilové vrtání, které nahradilo jádrové vrtání. Dále došlo k využívání nových metod v rámci geofyzikálního nebo karotážního měření. Lze tak říci že v rámci 45 let došlo k dílčím změnám v rámci průzkumů, ovšem jejich charakter se drží do dnes.

12. Seznam literatury

Tištěné zdroje (publikace, články, zprávy):

- BARTÁK, J. (2007): *Podzemní stavitelství v České republice*. SATRA, Praha, ISBN 978-80-239-8568-9.
- BARTÁK, J., PRUŠKA, J. (2011): *Podzemní stavby*. České vysoké učení technické, Praha, ISBN 978-80-01-04789-7.
- BARTÁK, J. (2014): *Uživatelská příručka pro mechanizované tunelování v podmínkách ČR. Česká tunelářská asociace ITA-AITES, Pracovní skupina pro mechanizované tunelování. Dokumenty České tunelářské asociace ITA-AITES, Praha, ISBN 978-80-260-5957-8*
- BÍŽA, L (1978): *Praha-Metro II. A-HAVARIE*. Závěrečná zpráva. Stavební geologie n.p., Praha, Geofond, P026442
- BOHÁTKOVÁ, L. (2008): *Závěrečná zpráva geotechnického průzkumu pro stavbu Prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická – mezi stanicemi Dejvická a Motol – DSP, km 10,056 - 16,175*. SG-Geotechnika, a.s., Praha, Geofond, P122348
- BOHÁTKOVÁ, L. (2010): *Závěrečná zpráva Metro V.A (Dejvická-Motol) Průzkumná štola strojovny hlavního větrání (07-24) – doplňkový inženýrskogeologický průzkum*. SG Geotechnika a.s., Praha
- BOHÁTKOVÁ, L., KÁRNÍK, J., ROUT J. (2010a): *Závěrečná zpráva doplňujícího inženýrskogeologického průzkumu pro stanici Petřiny na trase metra 5A*. ARCADIS Geotechnika a.s., Praha
- BOHÁTKOVÁ, L., ROUT, J. (2010): *Závěrečná zpráva doplňujícího inženýrskogeologického průzkumu pro stanici Červený Vrch na trase metra V.A*. ARCADIS Geotechnika a.s., Praha
- BOHÁTKOVÁ, L., ROUT, J. (2011a): *Dodatek č. 1 k doplňujícímu inženýrskogeologickému průzkumu pro SOD 05 - Stanice Veleslavín na trase metra V.A*. ARCADIS Geotechnika a.s., Praha
- BOHÁTKOVÁ, L., ROUT, J. (2011b): *Závěrečná zpráva doplňujícího inženýrskogeologického průzkumu pro stanici Veleslavín na trase metra V.A*. ARCADIS Geotechnika a.s., Praha
- BOHÁTKOVÁ, L., ROUT, J. (2011c) *Zpráva o provedení doplňujících vrtů CV4 a CV5 na SOD 03 - Stanice Červený Vrch na trase metra V.A*. ARCADIS Geotechnika a.s., Praha
- DOLEŽAL, J. (1978): *Geoelektrické měření Hostivař areál*. Stavební geologie, n.p., Praha
- GARDAVSKÁ, A., BOHÁTKOVÁ, L., ROUT, J., KÁRNÍK, J. (2010): *Závěrečná zpráva doplňujícího inženýrskogeologického průzkumu pro projekty zajištění stavebních jam na*

stavenišťích KÚ1 a stanice Motol na trase metra 5A v Praze 6. ARCADIS Geotechnika a.s., Praha

HAVLÍČEK, V. (1972a): *Zpráva o stavebně-geologickém průzkumu stanice „Můstek“ trasa A metra v Praze.* Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha

HAVLÍČEK, V. (1972b): *Zpráva o stavebně-geologickém průzkumu pro stanice trasy A metra v Praze – Dejvicích.* Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha

HAVLÍČEK, V. (1972c): *Zpráva o stavebně-geologickém průzkumu pro podchod „Flora“ na II. provozním úseku trasy A metra v Praze.* Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha

HAVLÍČEK, V. (1973a): *Zpráva o inženýrskogeologickém sledování těžní šachty Myslbek trasy A metra v Praze.* Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha, Geofond, V068901

HAVLÍČEK, V. (1973b): *Zpráva o inženýrskogeologickém sledování šachty Dejvická trasy metra A v Praze.* Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha

HAVLÍČEK, V., HRABÁNEK, J. (1972): *Zpráva o stavebně – geologickém průzkumu pro stanici "Klárov" trasy A metra v Praze.* Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha, Geofond, V067536

HORÁK, V. (2007): *Podzemní stavby.* Skripta, Vysoké učení v Brně fakulta stavební, Brno
HUDEK J., PAŠEK J. a kol. (1979): *Praha a inženýrská geologie,* Československá vědeckotechnická společnost stavební Pobočka projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha 1

HUDEK, J., TESAŘ, O. (1971): *Zpráva o zjišťování geotechnických vlastností flyšového vývoje letenských vrstev v ul. Pod Baštami v Praze 6.* Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha

CHLUPÁČ, I. (2002): *Geologická minulost České republiky.* Praha: Academia. ISBN 80-200-0914-0.

KAPRASOVÁ, E. (1971): *Zpráva o hydrogeologickém průzkumu pro účely OSM v prostoru Kaprova ulice – Staroměstské náměstí, metro – trasa A.* Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha

KOVANDA, J. (2001): *Neživá příroda Prahy a jejího okolí.* Praha: Academia. ISBN 80-200-0835-7

KOVÁŘ, M. (1978): *Praha-metro-III. A-Spojka k OZD. Předběžný inženýrsko-geologický průzkum.* Stavební geologie, n.p., Praha, Geofond, P026408

KOVÁŘ, M. (1980): *Závěrečná zpráva o podrobném inženýrskogeologickém průzkumu Praha-metro-spojka do odz Hostivař*. Stavební geologie, n.p., Praha

MATOUŠ, J. (1979): *Dílčí zpráva (1) o předběžném inženýrskogeologickém průzkumu pro halu DEPA v Praze Hostivaři*. Stavební geologie, n.p., Praha

MATOUŠ, J. (1980): *Zpráva o podrobném inženýrskogeologickém průzkumu pro depo a opravárenský komplex metra v Praze Hostivaři*. Stavební geologie, n.p., Praha, Geofond, P031769

MOSLER, J., PAVLOVSKÝ, V., MAŘÍK, L., MAJER, M., BARTÁK, J., ČERNÁ, L., EBERMANN, T., FRANTL, J., HILAR, M., HRUŠKA, D., CHMELAŘ, R., KOREJČÍK, J., RAINER, F., RÖSSLER, K., RYCHTECKÝ, J., SALAČ, M., SRB, M., STEČÍNSKÝ, B., ŠKRÁBEK, J., VÍTEK, P. (2019): *Uživatelská příručka pro konvenční tunelování*. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES, Pracovní skupina pro konvenční tunelování. Dokumenty České tunelářské asociace ITA-AITES, Praha, ISBN 978-80-906452-4-0

Prodloužení trasy A metra v Praze, úsek V.A, Dejvická – Motol 2011, (2011). Praha, Metrostav a.s, divize 8, útvar kontroly koordinace ražeb a liniových objektů ve spolupráci s útvarem vztahů k veřejnosti

Prodloužení trasy A metra v Praze, úsek V.A, Dejvická – Motol 2012, (2012). Praha, Metrostav a.s, divize 8, útvar kontroly koordinace ražeb a liniových objektů ve spolupráci s útvarem vztahů k veřejnosti

SAMEK, V., SMÉKALOVÁ, I., TRÁVNÍČEK, J., VOREL, J. (1971): *Podrobný inženýrskogeologický průzkum pro trasu A pražského metra. Dílčí zpráva – geotechnické vlastnosti Letenských vrstev na Náměstí Míru v Praze 2*. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha, Geofond, P022820

SMEKAL A., MÜLLEROVÁ, V. (1972): *Dílčí zpráva o doplňujícím průzkumu I. provozního úseku trasy A v oblasti nám. Říjnové revoluce – upřesněný geologických a hydrogeologických poměrů vrtanými sondami*, archiv firmy. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha

SMOLAŘ, Z., NOVOTNÝ, J. (2007a): *Rešerše archivních geologických podkladů – Prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická*. GeoTec - GS, a.s, Stavební geologie - Geotechnika, a.s., Praha

- SMOLAŘ, Z., NOVOTNÝ, J. (2007b): *Předběžný geotechnický průzkum – Prodloužení trasy metra v Praze ze stanice Dejvická*. GeoTec-GS a.s., Stavební geologie-Geotechnika, a.s., Praha
- SMOLAŘ, Z., VOTOČEK, R. (2008): *Prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická, traťové úseky V.A1 a V.A2 Dejvická – Petřiny – Motol. Předběžný geotechnický průzkum*. GeoTec-GS, a.s., Praha, Geofond, P119442
- TESAŘ, O. (1971): *Zpráva o průzkumu z oboru geologie, hydrogeologie a inženýrské geologie*, archiv firmy PUDIS a.s., Praha
- TESAŘ, O. (1972a): *Zpráva o měření tlaku vody v puklinách hornin skalního podloží I. provozní úsek trasy metra A – Dejvice*. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha
- TESAŘ, O. (1972b): *Dílčí zpráva o doplňujícím průzkumu I. provozního úseku trasy A v oblasti nám. Říjnové revoluce – upřesnění geologických a hydrogeologických poměrů vrtanými sondami*. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha
- TESAŘ, O., VOREL, J. (1975): *Zpráva o inženýrskogeologickém sledování traťových tunelů v úseku st. Leninova-Hradčanská I. A metro*. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha, Geofond, P087749
- TESAŘ, O., VOREL, J. (1977): *Zpráva o inženýrskogeologickém sledování stanice Staroměstská, I. provozní úsek trasy A pražského metra*. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha, Geofond, V078012
- TLAMSA, J., BOHÁTKOVÁ, L. (2011): *Závěrečná zpráva Metro V.A (Dejvická-Motol) SOD 05 Stanice Veleslavín, doplňkový inženýrskogeologický průzkum – etapa I*. ARCADIS Geotechnika a.s., Praha
- VOREL, J. (1976): *Závěrečná zpráva o předběžném a inženýrskogeologickém a hydrogeologickém průzkumu pro ústřední dílny a depo metra v Praze – Hostivaři*. Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, Praha
- VRBA, O., KOVÁŘ, M., DOMEČKA, K., URBANOVÁ, Z. (1979): *Zpráva Praha - metro III A – spojka k odz úsek km 25,28 – 25,40*. Stavební geologie, národní podnik, Praha
- Výrobní program*, (2009). Praha, Zakládání staveb, a.s.
- ZEMÁNEK, J. (2020): *Inženýrskogeologické aspekty výstavby trasy metra C v Praze*, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha

On-line zdroje z internetu:

www.mapy.geology.cz, Česká geologická služba, Datum přístupu [3.9.2021], Dostupné z: https://mapy.geology.cz/hydro_rajony/

www.chmi.cz, Český hydrometeorologický ústav, Datum přístupu [3.5.2021], Dostupné z: <https://chmi.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=e6b21710086c43008b63bc857357ac2c>,

www.ags.cuzk.cz [Obr.1], CUZK, Datum přístupu [8.9.2021], Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/av/?extent=-749927.537921,-1050429.844491,-725348.40349,1039916.503787,102067>,

www.geoportal.gov.cz [Obr.2], Národní geoportál INSPIRE (2010-2019), Datum přístupu [21.4.2021], Dostupné z:

<https://geoportal.gov.cz/web/guest/map?openNode=Geology&keywordList=inspire>,

www.app.iprpraha.cz [Obr.3], Geoportal Praha, Datum přístupu [8.11.2020], Dostupné z: [https://app.iprpraha.cz/apl/app/atlas-zp/?service\[\]=ig_mapy](https://app.iprpraha.cz/apl/app/atlas-zp/?service[]=ig_mapy),

www.idnes.cz [Obr. 4], Archiv DPD, Datum přístupu [8.1.2022], Dostupné z: <https://www.idnes.cz/technet/technika/podivejte-se-jak-se-stavelo-metro-v-praze-unikatni-fotografie-stare-40>

let.A090315_211959_tec_technika_rja/foto/RJA295386_C_stavba_Karlov_02.jpg,

www.fine.cz [Obr.5], Fine – stavební software, Datum přístupu [11.1.2022], Dostupné z: <https://www.fine.cz/napoveda/geo5/cs/vypocet-zaporoveho-pazeni/>

www.cenekajezek.cz [Obr. 5], Čeněk a Ježek, zakládání, geotechnika, geologie, datum přístupu [7.1.2022], Dostupné z: <https://cenekajezek.cz/portfolio/pazici-konstrukce/>

www.reflex.cz [Obr. 8], Datum přístupu [8.1.2022], Dostupné z: <https://www.reflex.cz/galerie/historie/101709/pred-50-lety-zacali-stavbari-razit-prvni-tunel-prazskeho-metra?foto=4>, ČTK,

www.metroprojekt.cz [Obr. 10], Metroprojekt a.s., Datum přístupu [10.1.2022], Dostupné z: <https://www.metroprojekt.cz/nabidka-sluzeb/metro/prodlouzeni-trasy-a-metra-v-praze-razene-tratove-tunely-v-useku-vypich-dejvicka>

www.4stav.cz [Obr. 9], Časopis stavebnictví, datum přístupu [6.1.2022], Dostupné z: https://www.4stav.cz/tbm-opet-v-praze-ale-tentokrat-trochu-jinak_4c5303,

www.lokality.geology.cz [Obr. 15], Česká geologická služba – geologické lokality, Datum přístupu [11.1.2022], Dostupné z: <http://lokality.geology.cz/951>,

13. Přílohy

Příloha 1 – Fotodokumentace skalních výchozů



Obr. 17 Bílá sklála – břidlice (autor: Andrea Honzejková)



Obr. 18 Bílá skála – křemence (autor: Andrea Honzejková)



Obr. 19 Divoká Šárka – křemence (autor: Andrea Honzejková)



Obr. 20 Jabloňka – břidlice (autor: Andrea Honzejková)



Obr. 171 Motol – křemence (autor: Andrea Honzejová)

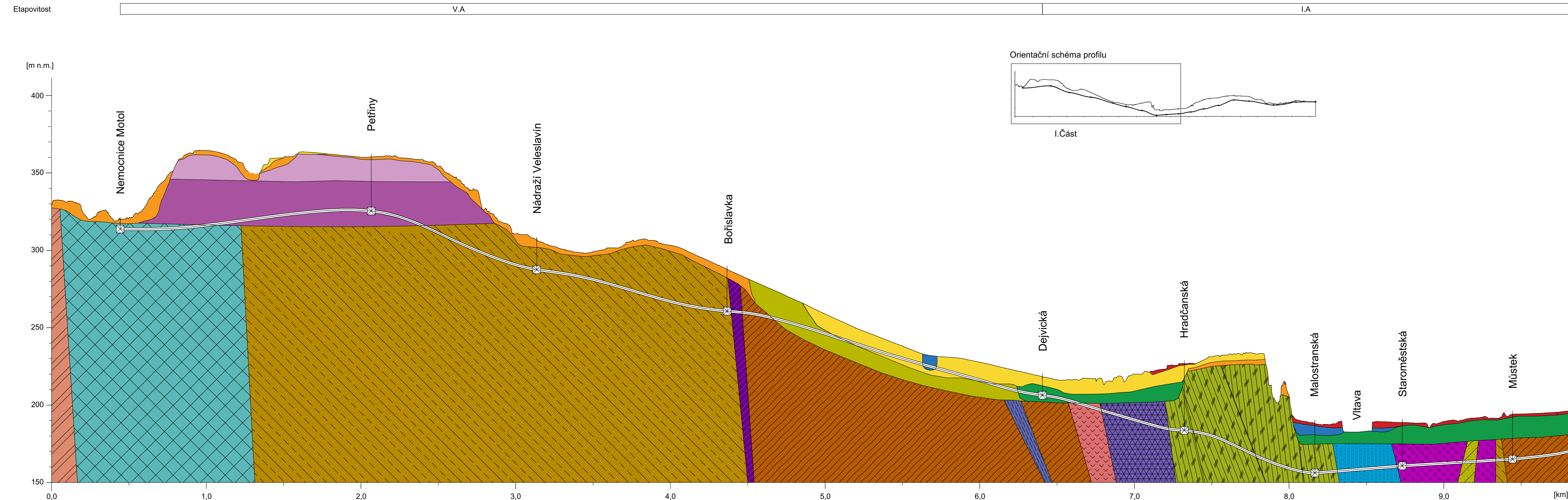


Obr. 18 Motol – břidlice (autor: Andrea Honzejová)

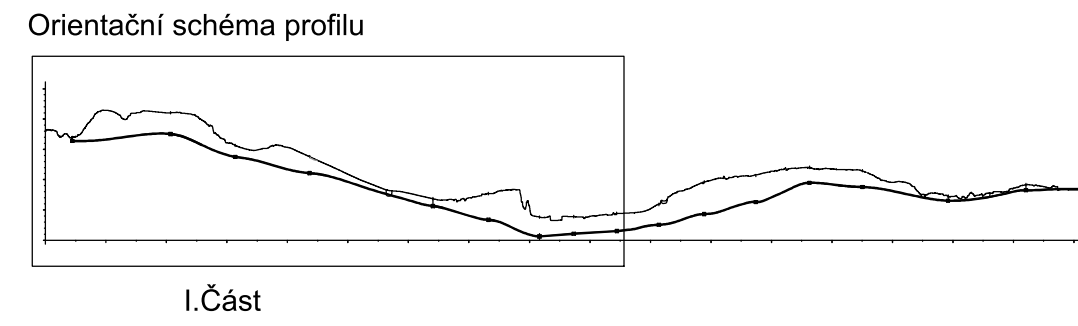
Příloha 2.1

Přehledný geologický profil trasy metra A - I.část

M 1: 14 000 / 1 400



Pokryvné útvary	Křída	Ordovik
Spraše a váté písky	Bělohorské souvrství	Kosovské souvrství
Deluviální sedimenty	Perucko-korycanské souvrství	Řevnické křemence
Eluviální a soliflukční sedimenty	Silur	Bohdalecké souvrství
Terasové sedimenty	Liteňské souvrství	Zahořanské souvrství
Antropogenní navážky	Diabazy	Vinické souvrství
Fluviální sedimenty		Letenské souvrství
Delofluviální sedimenty		Libeňské souvrství
		Skalecké křemence
		Dobrotivské souvrství
		Šárecké souvrství

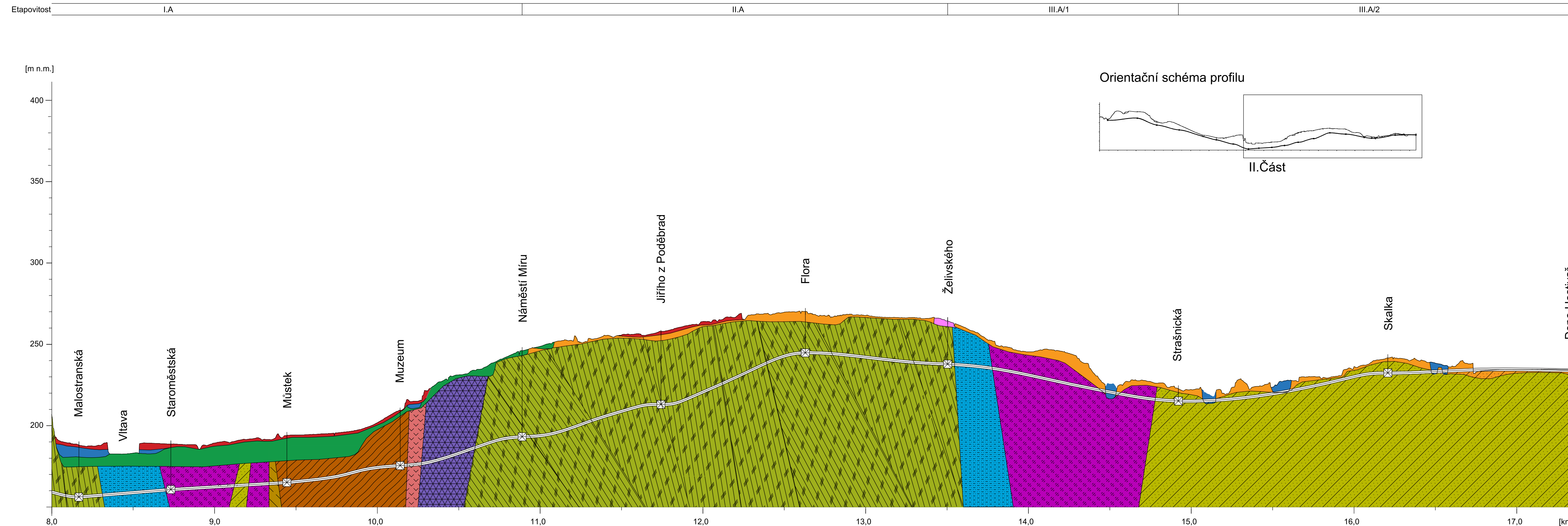


Název: Inženýrskogeologický průzkum v jednotlivých etapách výstavby metra trasy A v Praze	
Projekt: Diplomová práce	Vedoucí: Mgr. Jiří Rout
Vypracovala: Bc. Andrea Honzejková	Formát: 297x950
Měřítko: 1 : 14000 / 1400	Příloha: 2.1
Výkres: Přehledný geologický profil trasy metra A - I.část	

Příloha 2.2

Přehledný geologický profil trasy metra A - II.část

M 1: 14 000 / 1 400



Pokryvné útvary	Křída	Ordovik
Spraše a váté písky	Bělohorské souvrství	Kosovské souvrství
Deluviální sedimenty	Perucko-korycanské souvrství	Řevnické křemence
Eluviální a soliflukční sedimenty	Silur	Bohdalecké souvrství
Terasové sedimenty	Liteňské souvrství	Zahořanské souvrství
Antropogenní navážky	Diabazy	Vinické souvrství
Fluviální sedimenty		Letenské souvrství
Delofluviální sedimenty		Libeňské souvrství
		Skalecké křemence
		Dobrotivské souvrství
		Šárecké souvrství

Název: Inženýrskogeologický průzkum v jednotlivých etapách výstavby metra trasy A v Praze	
Projekt: Diplomová práce	Vedoucí: Mgr. Jiří Rout
Vypracovala: Bc. Andrea Honzejková	Formát: 297x950
Měřítko: 1 : 14000 / 1400	Příloha: 2.2
Výkres: Přehledný geologický profil trasy metra A - II.část	