

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geotechnologie



Jan Zemánek

Inženýrskogeologické aspekty výstavby trasy metra C v Praze

Engineering-geological aspects of the construction of metro line C in Prague

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Jiří Rout

Praha, 2020

Prohlášení:

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

V Praze, 14.08.2020

Podpis

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat svému školiteli Mgr. Jiřímu Routovi za vedení práce, navrhnutí tématu, trpělivost, časově flexibilním konzultacím, připomínky a cenné rady.

Další dík patří firmě SG Geotechnika, která mi umožnila přístup k archiváliím a následně patří dík kolegyni Alici Zrubkové, která pro mě archiválie připravila.

V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům za neutichající podporu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá inženýrskogeologickou charakteristikou trasy pražského metra linky C. Popsána je historie výstavby i hlavní použité metody při stavbě tunelů a stanic. Snahou bylo i zhodnocení náplně a rozsahu inženýrskogeologického průzkumu pro přípravu staveb v různých etapách výstavby. Zvláštní pozornost je zaměřena na neobvyklé části stavby, kde bylo použito výjimečných anebo v České republice nestandardních postupů výstavby. Práce shrnuje historické inženýrskogeologické zkušenosti s výstavby trasy C, které mohou být využity při přípravě projektu metra D, jehož trasa vede částečně v souběhu a v obdobných geologických poměrech, jako trasa C.

Klíčová slova: metro, terasa

Abstract

This bachelor's thesis follows up engineering-geology of characteristics of the Prague metro line C. Description of the construction history and of the main methods used in the construction of tunnels and stations. The effort was also evaluate the content and scope of engineering-geology research for the preparation of constructions in various stages of construction. Special attention is focused on unusual parts of the construction, where exceptional or in the Czech Republic non-standard construction approaches were used. This work summarizes the historical engineering-geology experience with the construction of line C, which can be used in the preparation of the project of metro line D, whose line runs partly in parallel and in similar geological conditions as line C.

Key words: metro, terrace

Obsah

1	ÚVOD.....	7
2	Základní informace o trase metra C.....	8
3	Geologické poměry na trase Metra C.....	9
3.1	Předkvartérní podklad	9
3.1.1	Mezozoikum.....	10
3.2	Kvartérní pokryv.....	11
3.2.1	Terasy Vltavy	11
3.2.2	Další kvartérní pokryvy sedimenty.....	12
4	Úseky metra C	13
4.1	Úsek I.C.....	13
4.2	Úsek II.C.....	13
4.3	Úsek III.C.....	13
4.4	Úsek IV.C1	14
4.5	Úsek IV.C2	14
5	Hlavní metody ražby a výstavby tunelů na trase C	15
5.1	NRTM	15
5.2	Prstencová metoda	17
5.3	Technologie naplavovaných tunelů	18
5.4	Hloubené tunely.....	19
5.5	Výstavba tunelu na prekonsolidovaném podloží.....	20
6	Inženýrskogeologicky neobvyklé úseky trasy Metra C v Praze	20
6.1	Založení traťových tunelů metra prekonsolidací podloží mezi stanicemi Kačerov a Roztyly	20
6.2	Naplavované tunely mezi stanicemi Nádraží Holešovice a Kobylisy.....	21
6.3	Průzkumná štola v oblasti stanice Kobylisy.....	21
7	Závěr.....	23
8	Seznam tabulek a obrázků	24
9	Literatura.....	24

1 ÚVOD

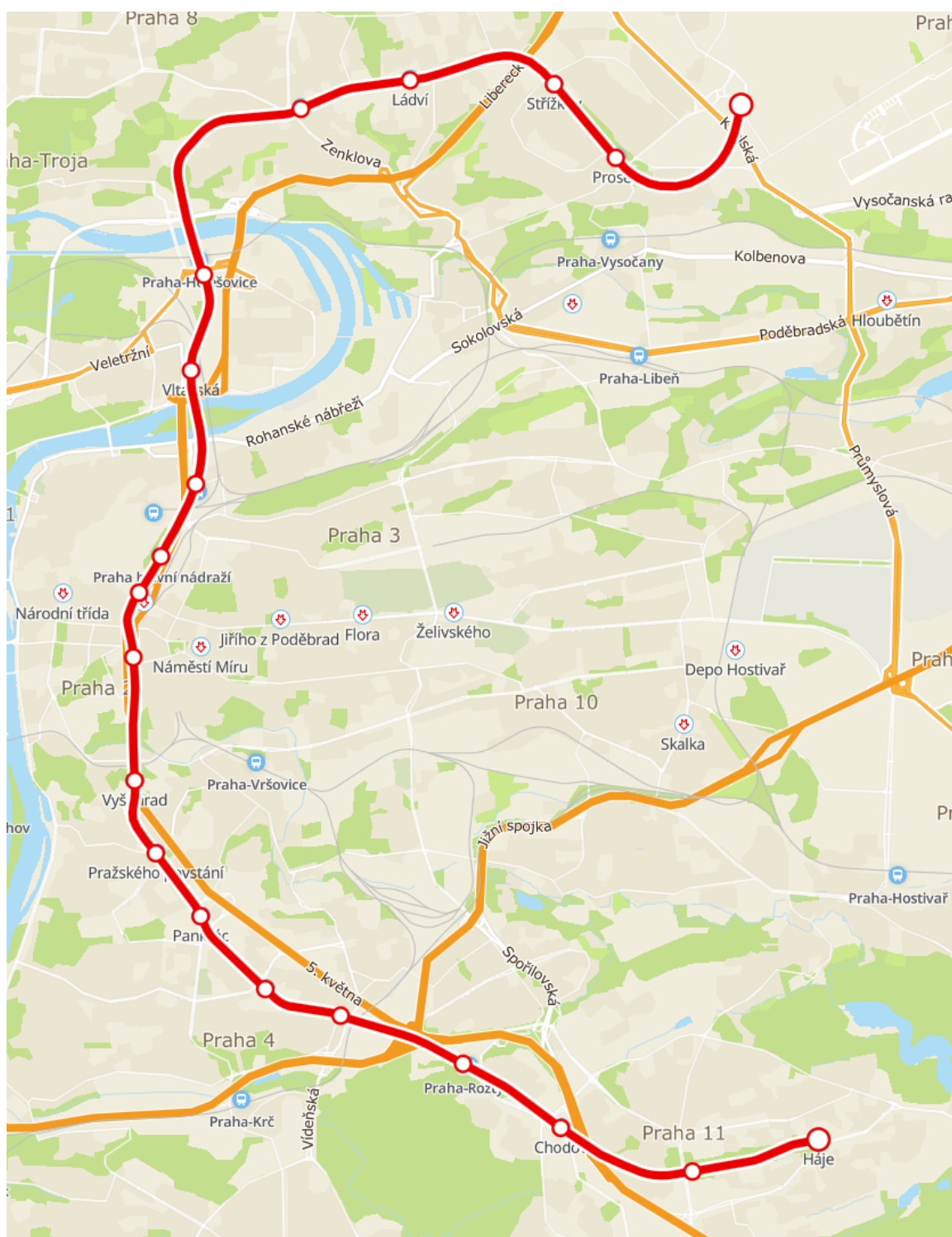
Tématem mé práce jsou inženýrskogeologické aspekty trasy metra C v Praze. Ve své práci se chci zaměřit na stručnou charakteristiku IG poměrů, historii výstavby i hlavní použité metody ražby. Zvláštní pozornost věnuji vybraným úsekům stavby, které jsou neobvyklé z hlediska inženýrskogeologických poměrů nebo použité technologie výstavby. Cílem práce je shrnout základní poznatky z výstavby metra trasy C, které by mohly být i částečně využity při přípravě projektu metra trasy D, která vede z velké části v souběhu se stávající trasou.

Práce je zpracována formou rešerše dostupných podkladů z archivu PŘF UK, ČGS Geofond, firmy SG Geotechnika, odborných časopisů a dostupné odborné literatury, která se věnuje dané problematice. Využity byly i dostupné zdroje na webových stránkách. Přehled využitých zdrojů podává kapitola č. 7.

Projekt výstavby trasy metra C vznikl prakticky již od konce 19. století, kdy se objevily první návrhy. Vlastní výstavba však začala až v roce 1966 a probíhala až do roku 2008, kdy byl dokončen poslední úsek současné trasy. V průběhu více než 40 let byly použity odlišné a různorodé metody výstavby, které se ve své práci pokusím přiblížit. Na vybraných úsecích bylo použito v České republice unikátní řešení, jako třeba výstavba části trasy na prekonsolidovaném podloží, či použití metody naplavovaných tunelů. Těmto úsekům věnuji ve své práci zvláštní pozornost.

2 Základní informace o trase metra C

Metro C je historicky nejstarší linkou v Praze, jeho výstavba probíhala postupně v letech 1966-2008 v několika etapách. V současné době má trasa délku 22, 410 km a je na ní 20 stanic. Trasa začíná na jihu stanicí Háje a prochází Prahou k severu až do stanice Letňany, kde dnes končí. Linka metra C spojuje hustě zalidněná sídliště v oblasti Jižního Města, Pankráče a Proseku s centrem města a v současnosti je nejvytíženější pražskou trasou. Ve špičce je zde přepraveno více než 25.000 osob (zdroj [https://cs.wikipedia.org/wiki/C_\(linka_metra_v_Praze\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/C_(linka_metra_v_Praze))).



Obrázek 1 Trasa Metra C v Praze (<https://2gis.cz/praha>)

3 Geologické poměry na trase Metra C

Trasa metra C v oblasti stanice Háje se ocitá v proterozoických horninách a následně nám směrem na sever Prahy protíná pražskou pánev tvořenou paleozoickými horninami, převážně útvarem ordoviku okrajově i siluru. V úseku trasy Kobylisy – Letňany jsou paleozoické horniny překryty sedimenty z éry mezozoika, útvarem křídly. Tento úsek také pokrývají pleistocenní spraše a sprašové hlíny. V oblasti stanice Pankrác se dostáváme do kvartérního podkladu pankráckých teras Vltavy. Terasy Vltavy zastihneme ještě v okolí stanice I.P Pavlova, vinohradská terasa. Následně u říčního koryta řeky Vltavy v oblastech stanic Florenc, Vltavská, Nádraží Holešovice se ocitáme v terase veltruské, maninské a údolní.

3.1 Předkvartérní podklad

Podle regionálně-geologického členění českého masivu (Chlupáč a kol. 1992) se zájmové území ve středočeské oblasti (bohemikum). Přesněji jej řadíme do jednotek paleozoika a proterozoika Barrandienu, které jsou v severozápadním křídle pražské pánve překryty křídovými horninami.

Pražská brachysynklinála

Barrandien vytváří v pražské oblasti mísovitou strukturu tzv. brachysynklinálu. Hlavní osa brachysynklinály má směr zhruba SV-JZ a protíná trasu metra C v oblasti stanice Pankrác. Kde najdeme uzávěr pražské brachysynklinály, (Kovanda, 2001), který je zdokumentován v silurských sedimentech. Okraje brachysynklinály tvoří proterozoické břidlice.

Trasa metra C tak prochází od jihu k severu proterozoickými břidlicemi v oblasti stanice Háje, štěchovickou skupinou proterozoika a následně paleozoickými ordovickými a v oblasti Pankrác silurskými vrstvami. Procházíme pražskou brachysynklinálou, tudíž se nám jednotlivé vrstvy na obou stranách pražské pánve opakují. Na jihovýchodní straně Prahy začínáme v šáreckých vrstvách prachovitých břidlic, pokračujeme přes dobrotivské vrstvy, tvořené břidlicemi a skaleckými křemenci, libeňské vrstvy tvořené břidlicemi a řevnickými křemenci, letenské vrstvy, tvořené střídáním břidlic, prachovců, drob pískovců a křemenců, vinické vrstvy, tvořeny břidlicemi s rozptýleným pyritem, bohdalecké vrstvy, tvořené jílovitými břidlicemi, královské vrstvy, tvořené břidlicemi, kosovské vrstvy, tvořené střídáním pískovců a břidlic, liteňské vrstvy, tvořené vápnitými břidlicemi a na závěr kopaninské vrstvy, tvořené vápnitými břidlicemi a vápenci.

Proterozoikum

Stanice Háje a Opatov jsou situovány v neoproterozoikum (svrchní proterozoikum), štěchovická skupina, charakterizována střídáním prachovců a břidlic s podřízenými polohami drob, které jsou nepravidelně fosilně zvětralé. Mezi stanicemi Chodov a Opatov přecházejí proterozoické břidlice do tmavošedých až písčito slídnatých břidlic šáreckého souvrství.

Paleozoikum

Ze svrchního proterozoika přechází trasa v oblasti mezi stanicemi Chodov a Opatov do šáreckého souvrství (Llanvirn) pražské pánve (ordovik), které je charakterizováno tmavošedými prachovitými až písčito slídnatými břidlicemi.

Následně navazuje dobrotivské souvrství (Dobrotiv), které je charakterizováno bělošedými skaleckými křemenci s faciemi tmavošedých písčitých břidlic, tmavošedých jemnozrnných drob a tmavošedých až černě jílovitě slídnatých břidlic.

Přechod do libeňského souvrství na trase C určují řevnické křemence. To jsou pevné bělošedé křemence s vložkami tmavošedých jílovitých a písčitých břidlic, místy postižené fosilním zvětřením. Zůstáváme v libeňském souvrství, kde dále zastihneme černé silně slídnaté jílovité břidlice.

Od stanice Chodov do stanice Roztyly se pohybujeme v letenském souvrstvím, které charakterizujeme střídáním břidlic, prachovců, jemnozrnných drob, pískovců a křemenců.

Trasa v okolí stanice Roztyly prochází vinickým souvrstvím, které vyznačujeme nástupem černých jílovitých břidlic se slídnatou příměsí a s jemně rozptýleným pyritem.

Mezi stanicemi Roztyly a Kačerov narážíme na souvrství záhořanské typické monotónním sledem tmavošedých deskovitých prachovců na bázi souvrství, v Praze souvrství vyznačujeme tmavošedými prachovitými břidlicemi a písčítými prachovci s proměnlivým obsahem karbonátu ve tmelu.

Dále zde nacházíme souvrství bohdalecké, které je význačné tzv. bohdaleckými břidlicemi, Bouček (Revise českých paleozoických konulárií, Praha, 1928), jemně slídnaté, tmavošedé prachovité břidlice s faciemi jílovitých, písčito-jílovitých břidlic a pelokarbonátovými konkracemi.

Zastoupené královodvorské souvrství nacházíme na trase mezi stanicemi Budějovická – Pankrác – Pražského povstání, které je charakteristické sledem šedozelených až tmavě šedých jemně jílovitých břidlic, již bez makroskopicky patrných slíd.

Mezi nejmladšími vrstvami ordoviku, zde zastihneme souvrství kosovské, kosovské vrstvy, Krejčí (Geologie čili nauka o útvarech zemských, Litomyšl, 1860). Souvrství se vyznačuje střídáním poloh křemenných pískovců a drob s polohami písčitých nebo slídnatých jílovitých břidlic.

V okolí stanice Pankrác narážíme na liteňské souvrství (silur), pro které jsou charakteristické černé jílovité břidlice s graptolity a ve vyšších polohách zastihneme čočky vápenců.

Následuje kopaninské souvrství, které je charakteristické černými vápnitými břidlicemi s konkracemi a ččkami vápenců, (Chlupáč, 1992).

3.1.1 Mezozoikum

Na severu Prahy prochází úsek metra C křídovými sedimenty přesněji souvrstvím perucko-korycanským a nadložním bělohorským.

V severní části Metra C v oblasti stanice Kobylisy až do stanice Prosek se nachází perucko – korycanské souvrství, korycanské vrstvy, které charakterizujeme glaukonitickými a kaolinickými pískovci.

Od stanice Prosek do stanice Letňany se již nachází v bělohorském souvrství, které je charakterizováno žlutavě bělošedými písčítými slínovci, deskovitými a lavicovitými písčito-prachovitými vápnitými jílovci. Celý tento komplex hornin, spjatý vzájemnými přechody, byl dříve souborně označován jako „opuka“, (Kovanda a kol., 2001).

3.2 Kvartérní pokryv

Trasa C prochází v několika úsecích mocnými polohami kvartérních sedimentů, nejčastěji se jedná o sedimenty fluviální. Nejvýznamnější zastoupení patří pleistocenním terasám Vltavy, které dělíme na několik stupňů a převážně je charakterizují fluviální sedimenty tvořené štěrkopísky až zahliněnými písky, na trase jsou výrazné hlavně v oblasti stanice Pankrác a při sestupování do údolí u řeky Vltavy. V nižších oblastech, hlavně v korytu řeky Vltavy, se setkáváme s holocenními nivními sedimenty, pro které jsou charakteristické jemné písky, hlíny, jíly až v menší frakci zastoupené štěrky. Nesmíme opomenout ani eolické sedimenty, jež můžeme charakterizovat spraší, sprašovými hlínami, které z velké části pokrývají proseckou plošinu. V menší míře se objevují deluviální hlíny a sutě i antropogenní navážky.

3.2.1 Terasy Vltavy

Většinu území v kvartérních pokryvech na trase metra C se nachází v oblasti teras Vltavy. Glacifluviální sedimenty (Kadlec, 2018), které vznikaly při střídání glaciálu a interglaciálu. V nejvyšších polohách nacházíme pliocenní říční terasy zdibského stadia.

Zdibské stádium

Nachází se v oblasti stanice Ládví a je nejvyšší položenou terasou na trase metra C. Dosahuje maximální výška 124 m nad dnešní přirozenou hladinu řeky Vltavy o mocnostech kolem 6 m. Pro terasu jsou charakteristické písky a písčité štěrky.

Pankrácká terasa

Nachází se v oblasti stanice Pankrác a dosahuje maximální výšky 86 m nad dnešní přirozenou hladinu řeky Vltavy o mocnostech kolem 10 m. Pro terasu jsou charakteristické písky, hlinité písky a písčité štěrky.

Vinohradská terasa

Nachází se v oblasti stanice I.P. Pavlova a dosahuje maximální výšky 64 m nad dnešní přirozenou hladinu řeky Vltavy o mocnostech kolem 6 m. Pro terasu jsou charakteristické písčité štěrky a písky.

Veltruská terasa

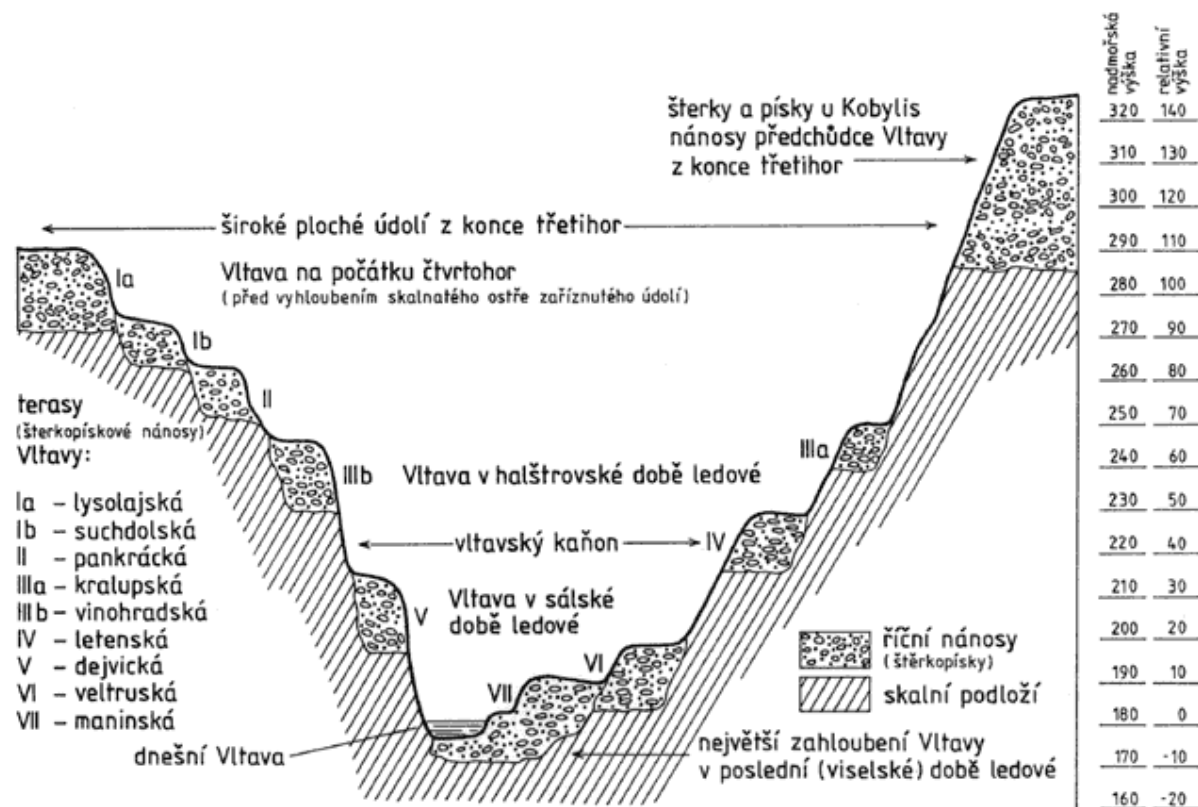
Nachází se v oblasti stanice Vltavská a dále směřuje až ke stanici Nádraží Holešovice, dosahuje maximální výšky 17 m nad dnešní přirozenou hladinu řeky Vltavy o mocnostech kolem 6 m. Pro terasu jsou charakteristické jemnozrnné písky a písčité štěrky.

Maninská terasa

Nachází se v oblasti Nádraží Holešovice, avšak na velmi krátkém úseku trasy. Dosahuje maximální výšky 11 m nad dnešní přirozenou hladinu řeky Vltavy o mocnostech kolem 15 m. Pro terasu jsou charakteristické písky v mělkých polohách, štěrkovité písky a písčité štěrky v polohách hlubších směrem k bázi terasy.

Údolní terasa

Nachází se v oblasti stanice Vltavská a dále směřuje až ke stanici Florenc. Dosahuje maximální výšky 8 m nad dnešní přirozenou hladinu řeky Vltavy o mocnostech kolem 12 m. Pro terasu jsou charakteristické hrubé písčité štěrky ve spodní akumulaci a písčité štěrky s menším podílem hrubé frakce ve svrchní akumulaci.



Obrázek 2 Zakreslení schématu teras Vltavy (Kovanda, 2001)

3.2.2 Další kvartérní pokryvy sedimenty

Holocenní náplavy

V korytu řeky Vltavy mezi stanicemi Nádraží Holešovice a Kobylisy, jsou zastoupeny holocenní náplavy o mocnosti kolem 8 m, charakterizovány jsou hlinitými písky a písky s bahnitými a štěrkovitými polohami.

Eolické sedimenty

V oblastech stanic Ládví, Střížkov, Prosek a Letňany nalezneme eolické spraše a sprašové hlíny o mocnostech kolem 8 m.

Deluvia

Vyskytují se na většině trasy ale ve významnějších mocnostech je nacházíme v oblastech stanic Roztyly, Chodov, Opatov a Háje. Pokryvný útvar zde dosahuje mocnosti až kolem 8 m. Charakterizovány jsou hlínami, písčitými hlínami s úlomky a sutí paleozoických hornin.

Antropogenní uložení

Na většině trasy nacházíme činnost člověka a to v podobě navážek, násypů, či skládek. U koryta řeky Vltavy nacházíme zasypaná i naopak vyhloubená stará ramena řeky. V Roztylském údolí se v trase nachází starý písník, který byl zasypan odpadky.

4 Úseky metra C

Metro C je nejstarším budovaným metrem v České republice. První zmínky o budování sahají do roku 1898, kdy první návrh na výstavbu podzemní dráhy v Praze, podal majitel velkoobchodu s železem Ladislav Rott. Návrh podal Městské radě hlavního města Prahy, ta však návrh zamítla. Do roku 1939 byly podány ještě dva návrhy na vybudování podzemní dráhy, ale potkal je stejný osud, tedy zamítnutím.

Realizaci projektu schválilo vedení hl. m. Prahy až v roce 1939. Avšak kvůli válečnému stavu byla výstavba započata až roku 1941, ale k její realizaci nedošlo.

První úsek, tedy úsek I.C, byl započat 7. ledna 1966 v Opletalově ulici. Během následujících desetiletích se postupně dokončovaly a začínaly stavět úseky další. Do finální podoby, jakou známe z dnešních dnů, byla trasa Metra C uvedena 8. května 2008 po slavnostním otevření posledního úseku IV.C2 Ládví – Kobylisy.

4.1 Úsek I.C

Úsek I.C je dlouhý 6,6 km a bylo při něm postaveno 9 stanic (Kačerov, Budějovická, Pankrác, Pražského povstání, Vyšehrad, I.P Pavlova, Muzeum, Hlavní nádraží, Florenc). Stavba započala 7. ledna 1966 a úsek byl zprovozněn 9. května 1974.

Většina stanic byla hloubených až na stanici Vyšehrad, která je na povrchu. Tunely byly převážně ražené prstencovou metodou s erektořmi, nemechanizovaným postupem, nebo s razíci štíty sovětské výroby TŠČb 3. Jen v oblastech stanice Pankrác a v předpolí Nuselského mostu, byly tunely hloubené.

4.2 Úsek II.C

Úsek II.C je dlouhý 5,3 km a byly při něm postaveny 4 stanice (Háje, Opatov, Chodov, Roztyly). Stavba započala 10. dubna 1974 a úsek byl zprovozněn 7. listopadu 1980.

Všechny stanice byly hloubené. Tunely byly převážně ražené, pomocí prstencové metody s erektořmi.

4.3 Úsek III.C

Úsek III.C je dlouhý 2,2 km a byly při něm postaveny 2 stanice (Vltavská, Nádraží Holešovice). Stavba započala 28. července 1978 a úsek byl zprovozněn 3. listopadu 1984.

Obě dvě stanice třetího úseky byly hloubené. Tunely byly zprvu ražené frézou Alpine Miner AM 50, jako štoly předstihové. Poté byly raženy strojem ŠČN-1 s erektořem (prstencová metoda).

Inženýrskogeologický průzkum pro trasu metra III.C (Florenc – Nádraží Holešovice)

V rámci inženýrskogeologických průzkumů bylo pro tento úsek z terénních prací realizováno 86 sond z toho 7 kopaných sond, 42 sond tvořených předkopy o hloubce 3 m a dále vrtány nárazovo-točivé předvrty a 37 jádrových vrtů o celkové metrži 1192,75 bm (tj. cca 475 m / 1 km trasy), z nichž v některých byly provedeny i karotážní měření.

4.4 Úsek IV.C1

Úsek IV.C1 je dlouhý 3,9 km a byly při něm postaveny 2 stanice (Kobylisy, Ládví). Stavba započala 21. září 2000 a úsek byl zprovozněn 25. června 2004.

Na tomto úseku byla realizována jednolodní ražená stanice, Kobylisy, která byla první svého druhu v České republice. Druhá stanice, tedy Ládví byla hloubena. Na tomto úseku bylo při podchodu Vltavy použito technologie naplavovaných tunelů, blíže se této technologii věnuji v kapitole 4. Veškeré ražby na tomto úseku byly prováděny novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM).

Inženýrskogeologický průzkum pro trasu metra IV.C – 1. etapa (Nádraží Holešovice – Ládví)

V rámci inženýrskogeologických průzkumů bylo z terénních prací realizováno 50 vrtných sond o celkové metrži 1310 bm (tj. cca 329 bm / 1 km trasy), z nichž v některých byly provedeny karotážní měření a mikroseismická karotáž.

4.5 Úsek IV.C2

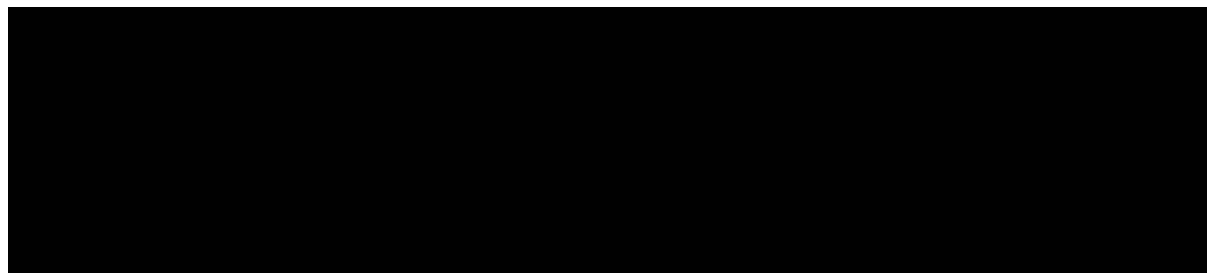
Úsek IV.C2 je dlouhý 4,6 km a byly při něm postaveny 3 stanice (Střížkov, Prosek, Letňany). Stavba započala v červnu 2004 a úsek byl zprovozněn 8. května 2008.

Všechny 3 stanice byly hloubené z povrchu. Tunely byly jak ražené, tak i hloubené, ve stavební jámě. Celková délka hloubených částí je 2338,5 m, tj. 50,9 % trasy a celková délka ražených částí činí 2260 m, tj. 49,1 % trasy, (Abramčuková, 2002).

Inženýrskogeologický průzkum pro trasu metra IV.C – 2. etapa (Ládví – Letňany)

V rámci inženýrskogeologických průzkumu bylo z terénních prací realizováno 81 vrtných sond o celkové metrži 1270 bm (tj. cca 277 bm / 1 km trasy), z nichž v některých byly provedeny následující zkoušky: komplex karotážních metod, mikroseismokarotáž, presiometrické měření ve vrtech, prohlídka kamerou a seismická tomografie.

Počty a metrže vrtů v jednotlivých etapách průzkumu na úsecích IV.C1 IV.C2 shrnuje tabulka na obrázku č. 1



Obrázek 3 Celkem realizované vrty vůči 1 vrtu na délku trasy (Tlamsa, Bohátková, 2011)

5 Hlavní metody ražby a výstavby tunelů na trase C

Během ražby a výstavby trasy metra C bylo využíváno vícero metod. V oblasti ražených tunelů se na samotném začátku ražby využívala prstencová metoda, později se přešlo k nové rakouské tunelovací metodě a v neposlední řadě se využila technologie naplavovaných tunelů pro výstavbu úseku IV.C1. Nesmíme opomenout ani hloubené tunely, které nám v oblasti Roztylského údolí přinesly metodu zakládání tunelů na prekonsolidovaném podloží.

Nezbytnost tunelů a výhod, které přinášejí nelze přeceňovat. Tunely zlepšují dostupnost a zkracují nám životně důležitá spojení. Přesunutí dopravy do podzemí zlepšují kvalitu života na povrchu a může mít obrovský ekonomický dopad. Stavba tunelů je samozřejmě riskantní i nákladná a vyžaduje vysokou úroveň technických dovedností, (Kolymbas, 2005).

Tunelové inženýrství ve 20. století mohlo také využívat dosavadní specializované poznatky z hornictví, (Maidl, Thewes, Maidl, 2013).

Důležité je také aplikovat geologický průzkum. Účel průzkumu zájmové oblasti je seznámení se s geologickými poměry, určení geneze a stavu horniny nebo zeminy, ve kterých se bude stavba tunelu, (Hemphill, 2012).

Základním cílem návrhu a následné výstavby tunelu, za normálních podmínek, je potřeba zajistit, aby byly práce probíhaly kontinuálně, v rámci rozpočtu a omezily se čas a náklady na stavbu. A aby stavba odpovídala specifikacím a požadavkům zadavatele, (Guglielmetti, Grasso, Mahtab & Xu, 2007).

5.1 NRTM

Nová rakouská tunelovací metoda je tunelovací metoda, která vědomě a cíleně využívá nosných vlastností horninového masivu s cílem optimalizovat proces ražení a zabezpečování výrubu a minimalizovat s tím spojené ekonomické náklady (Aldorf a kol., 2006).

Metoda je používána při konvenčním ražení, tudíž ražba za pomoci mechanických strojů (využití tunelářských bagrů), nikoliv mechanizovaných štítů (například TBM).

Je metodou observační, při které je nutné mít geotechnický monitoring, ten se především věnuje měření deformací tunelového výrubu a měření napjatosti. Výstavba tunelu je průběžně monitorována, postup ražby a zajištění výrubu primárního ostění jsou flexibilně měněny, dle reálného chování výrubu a horninového masivu.

Nová rakouská tunelovací metoda je stanovena Rakouským kódem (normou). Metoda popisuje variaci podobných tunelovacích technologií, které mohou mít svůj původ v Rakousku, ale v žádném případě se na metodu neomezují. Tunelovací technologie popisována někým, kdo používá slovo NRTM, překonávají Rakouskou definici, tak jak ji známe. I když se NRTM používá v literatuře a v celosvětovém tunelovacím průmyslu, tak neexistuje žádná definice, která by byla používána a odsouhlasena všemi, kteří ji využívají, (HSE, 1996).

Slovo „metoda“ je v anglickém překladu jaksí nešťastné a vede k určitému nepochopení. Skutečností je, že NRTM není souborem specifických těžebních a podpůrných technologií. Mnoho lidí má za to, pokud využijí podpůrných technologií jako jsou stříkaný beton a kotvících prvků, že se využívá NRTM. Což je velmi daleko od pravdy. Hlavním rozdílem NRTM je, že je to metoda monitoringu stavby a snaží se najít co nejvíce efektivní a zároveň ekonomické řešení pro stavbu tunelu, (Bieniawski, 1989).

Postup a ražba

Při aplikaci NRTM na stavbě se pro rozpojování hornin využívají trhací práce s využitím průmyslových trhavin, nebo mechanické rozpojování, při využití mechanický strojů, kterých je hned několik. Pro mechanické rozpojování využíváme tunnelbagry, hydraulická kladiva a frézy. Metoda je cyklická, tudíž se jednotlivé procesy při ražbě opakují. Nejdříve se hornina rozruší na rubaninu a rubanina je odvezena za pomoci demprů či nakladačů. Následuje začištění výrubu, instalace výztuže primárního ostění, která se skládá z betonářských sítí a příhradových rámců a poté se nainstalovaná výztuž zastříká pomocí stříkaného betonu. Primární ostění je ukotveno do horninového masivu svorníky a je nainstalována další řada betonářských sítí, která je následně zastříkána stříkaným betonem.

Vynález stříkaného betonu je obecně přisuzováno Carlu Ethan Akeleyovi v roce 1907, který použil suchou směs stříkané malty, který vytvořila odolný povlak na kostech dinosaura, (Thomas, 2008).

Sekundární ostění je většinou provedeno až poté co je dokončeno primární ostění v celé délce stavebního díla.

Členění výrubu

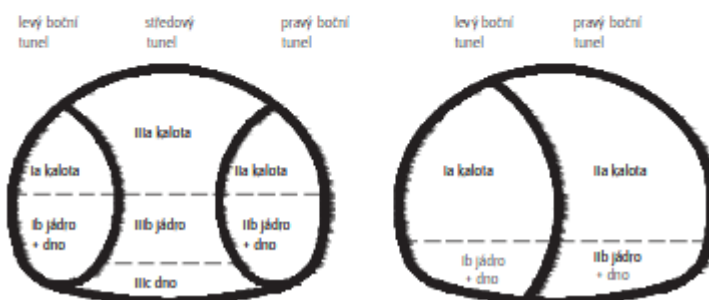
Výrub lze dělit mnoha způsoby, ale nejvyužívanější je horizontální nebo vertikální členění výrubu. Kde jednotlivé části dělíme u horizontálního členění na kalotu, jádro a dno, u vertikálního členění na levý, pravý boční tunel a středový tunel, která následně rozdělíme na kalotu, jádro a dno. Viz. schémata:

Příklady vodorovného členění výrubu



Pozn. : Ia - čísla a písmena označují pořadí provádění výrubu

Příklady svislého členění výrubu



Pozn. : Ia - čísla a písmena označují pořadí provádění výrubu

Obrázek 4 Schéma členění výrubu (Aldorf a kol., 2006)

Doplňková opatření

Pro zajištění výrubu se používají různá doplňková opatření, která slouží pro zvýšení stability výrubu v nepříznivých podmínkách. Řadíme sem jehlování, hnané pažení, mikropilotové deštníky, kotvení a

pažení čelby, injektáže, popřípadě speciální metody.

Jehlování slouží k zajištění přístropí, kdy se přes příhradové rámy do vrtů v prostoru před čelbou vloží ocelové jehly (popřípadě ocelové pažiny) a následně se injektují. V případě nesoudržných zemin se použijí IBO kotvy.

Hnané pažení je použito obdobně jako jehlování, avšak místo jehel jsou do prostoru před čelbou zaháněny plošné prvky.

Mikropilotové deštníky slouží pro podchody u objektů s nízkým nadložím a u portálů tunelu. Tvoří je ocelové trubky, které se navrtají převážně v horní části obvodu výrubu. Následně se injektují vysokotlakou injektáží, nebo se vyplnění cementovou zálivkou.

Kotvení a pažení čelby slouží pro zajištění stability čelby výrubu. Používají se různé typy kotevních prvků v kombinaci se stříkaným betonem. Pro pažení čelby se při rozpojování horniny ponechává horninový klín na čelbě, který nám zajišťuje podporu pro stabilitu čela výrubu.

Injektáže slouží pro zajištění stability výrubu v kombinaci s mikropilotovými deštníky.

Speciální metody se využívají ve specifických a obtížných podmínkách s vysokým stupněm zvodnění horniny nebo zeminy, kde není jistota správné funkce jiných opatření, lze použít zmrazování, nebo ražbu pod přetlakem (keson) (Aldorf a kol., 2006).

Interpretace

Systematický a častý monitoring, pozorování a interpretace jsou důležitými složkami NRTM. Program pro vyhodnocování monitoringu, pozorování a interpretace, je založen tak, aby zachytil rozsah očekávaného systémového chování. Hlavní funkcí programu je určit, zdali námi pozorované systémové chování se nachází v očekávaných limitách a ověřit, zda jsou použity vhodné razící práce a podpůrná opatření. Dalším aspektem je předvídaní systémového chování a aktualizovat geologický a geotechnický model, (Bonapace & ÖGG, 2010).

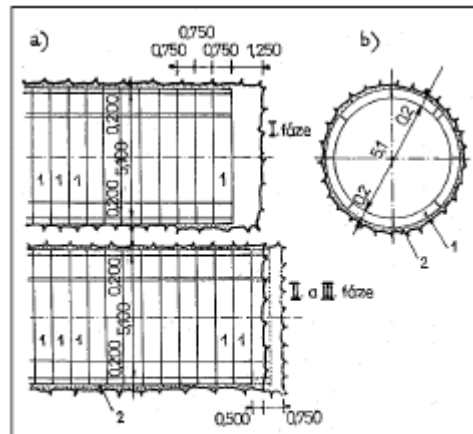
5.2 Prstencová metoda

Metoda spočívá v ražení tunelů plným profilem na otevřené čelbě a následně se vkládá prstencové ostění. Ostění se skládá z litinových dílců, nebo tubingů, později se skládaly ze železobetonových dílců.

Tubingy se ukládají pomocí tzv. erektoru a spojují se v ložných i styčných spárách šrouby nebo roubíky (Barták a Pruška, 2011).

Většinou se používaly prstence o šířce 1 m, na traťových tunelech a o šířce 0,75 m ve stanicích. Rozpojování horninového masivu se provádělo buď trhacími pracemi, za pomoci výbušnin, či mechanickým rozpojováním, za pomoci fréz anebo bagrů.

Při ražbě pražského metra se často využívala předstihová štola, která zmenšovala plochu čelby, čímž přispívala k zlepšení stability čelby.



Obr. 9.39 Prstencová metoda
 a) podélný řez; b) příčný řez;
 1 – prstenec ostění ze 4 dílců 2 – výplňová injektáž

Obrázek 5 Prstencová metoda (Barták a Pruška, 2011)

5.3 Technologie naplavovaných tunelů

Koncept naplavovaných tunelů z betonu, pocházel původně ze Spojeného království, byl však zanechán, kvůli rozšíření technologie štítových tunelů (shield tunneling) pro překonání řeky Temže. První významné využití betonových naplavovaných tunelů přišlo při výstavbě tunelu pro chodce v Německu, konkrétně se jedná o „*Friedrichshagen Tunnel*“, který byl dokončen roku 1927. První tunel, který sloužil pro dopravu, byl dokončen o rok později, a to v roce 1928, jednalo se o „*Posey Street Tunnel*“ ve Spojených státech amerických, který propojoval Oakland a Alamedu v Kalifornii (Lunnis a Baber, 2013).

Pro konstrukci naplavovaného tunelu je nutné také myslet na způsoby jeho postavení, a tudíž i na místo k jeho sestavení. Těch existuje několik typů, buď v tzv. kotlině pro vylití tunelu, v loděnici, v suchém doku, na lodním zvedáku („ship lift“), nebo v plovoucím doku. Vzhledem k zmíněnému tunelu v Praze pro metro C na úseku IV.C1, se budeme zabývat typem v suchém doku.

Realizace betonového naplavovaného tunelu v suchém doku probíhá na několik etap.

V první etapě je vhodné, ne-li rozumné zvolit místo v bezprostřední blízkosti budoucího umístění tunelu. V tomto případě je zvoleno prostředí přímo u řeky, kam se bude tunel naplavovat. Dále se musíme ujistit, zda-li suchý dok bude odpovídat parametrům tubusu, jak jeho délce, tak i jeho tvaru, zakřivení. Poté nastává realizace výkopu suchého doku a jeho zabezpečení proti zhroucení, zde bylo využito kotvené milánské stěny a předčasnému zaplavení, využití odvodňovacích jímek a ocelové štětové zdi. Následně uvnitř suchého doku byly vybudovány základové pásy, podporující stěny tubusu.

V druhé etapě přijdeme již k samotné realizaci tubusu tunelu v suchém doku. Pro výstavbu byla použita bednicí posuvná forma, která zajišťovala stavbu dna, stěn a vrchní desky každého 12 m dílu tubusu najednou. V místě napojení jednotlivých dílů, byl nainstalován těsnící gumový pás. Po dokončení tubusu, byly do vnitřních prostor nainstalovány nádrže na vodu, které sloužili k přesnému vyvážení tubusu, při jeho přesunu do řeky. Na každou stranu tubusu byly namontovány ocelová víka pro utěsnění tubusu, před napláváním do řeky. Na zadní část tubusu byly namontovány kluzné ližiny s hydraulickými podpěrami. Pod tubus byli umístěny hydraulické válce, které nám zajistili odtržení tubusu od dna.

V třetí etapě se postupně suchý dok zaplavoval a na přední část horní desky tubuse se nainstaloval tzv. „deviátor“, kterým procházela tažná lana a sloužil k zmenšení úhlu tažných lan. Poté se suchý dok zcela zatopí na úroveň hladiny řeky.

Ve čtvrté etapě se otevře štětová stěna a tubus je pomocí tažných hydraulických jednotek, umístěných na protějším břehu řeky, tažen k protějšimu břehu řeky. Během tažení je zadní část tubusu napojena na tzv. „brzdny závěs“, který kontroloval přepětí lanového systému a také fungoval jako bezpečnostní brzda.

Po výsuvu tubusu, se tubus podepře geotextilními matracemi, které jsou vyplněny betonem. Následně nastává etapa ukotvení tubusu do dna řeky, pro které byli použiti mikropiloty.

5.4 Hloubené tunely

Hloubené tunely můžeme řadit do mělkých podzemních staveb, které jsou umístěny do mělkých hloubek a to maximálně do cca 20 m pod povrch. Jsou většinou zakládány ve stavebních jámách, buď pažených, nebo svahových.

Je to nejrychlejší metoda pro tunely v mělké hloubce, (Tatiya, 2013).

Metoda hloubených tunelů spočívá v provedení výkopu, poté nastane realizace záporového zapažení. Následně je materiál vytěžen, poté je postavena konstrukce tunelu. Nakonec je tunel zasypan.

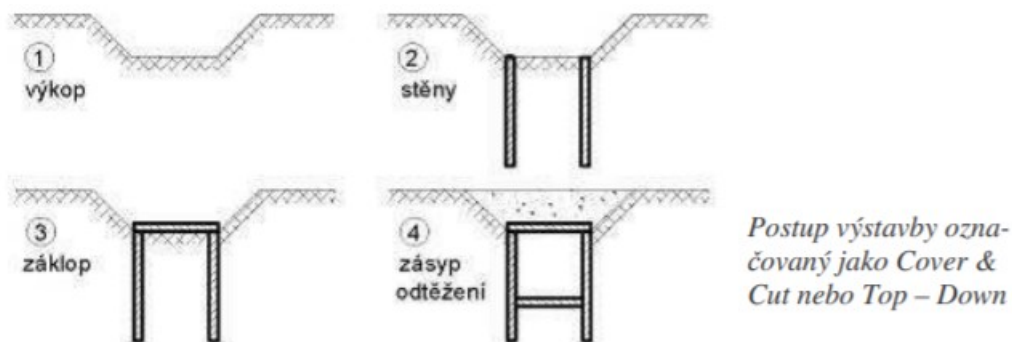
Nebo lze použít postup, kdy se nejdříve zajistí stavební jáma pažící konstrukcí, jsou používány prefabrikované i monolitické podzemní stěny, pilotové i štětové stěny apod., poté je vybudován záklop, nastává fáze zásypu, nakonec se materiál pod záklopem vytěží.

Angličtina používá mnohem výstižnější terminologii pro označení postupu stavby, (Horák, 2007).

A to názvy CUT & COVER a COVER & CUT, případně TOP-DOWN.



Obrázek 6 Postup stavby Cut & Cover (Horák, 2007)



Obrázek 7 Postup stavby Cover & Cut (Horák, 2007)

Metoda Cut & Cover (zářez a zákryv) pro stavbu tunelů nabízí alternativní přístup technologií podzemního stavitelství. Tato metoda zahrnuje výstavbu struktury tunelu ve vyztuženém, nebo zakotveném výkopu („cut“) a ten je následně zasypán („cover“). Potrubí, jako jsou kanalizace, tunely automobilové tak i tunely metra, jsou často stavěné pomocí této technologie, (Chapman, Metje, & Stark, 2017).

5.5 Výstavba tunelu na prekonsolidovaném podloží

V konkrétním případě na úseku II.C. byla zvolena koncepce prekonsolidovaného podloží statickým zatížením.

Metoda spočívá ve vybudování násypu v předstihu před stavbou tunelu, čímž se podloží prekonsoliduje a následně se násyp odstraní a na prekonsolidovaném podloží se vybuduje tunelový objekt. Ten se následně zasype. Vlivem prekonsolidace podloží se minimalizují deformace po stavbě tunelů a během jeho provozu. V případě úseku metra II.C tomu bylo obráceně, kdy se podloží přitěžovalo stavbou, do které spadala stavba tunelu a definitivní násyp. Nakonec byl násyp ještě zatížen vícenásypem po dobu 2 let.

6 Inženýrskogeologicky neobvyklé úseky trasy Metra C v Praze

Vybrané úseky na trase Metra C v Praze, při kterých byly náročné a neočekávané inženýrskogeologické podmínky, ať už se jednalo o nedostatečný geologický průzkum, či zvolení nové, v České republice zatím nepoužívané technologie. Zvoleny byly úseky mezi stanicemi Kačerov a Roztyly, Nádraží Holešovice a Kobylisy, stanice Kobylisy.

6.1 Založení traťových tunelů metra prekonsolidací podloží mezi stanicemi Kačerov a Roztyly

Úsek mezi stanicemi Kačerov a Roztyly přechází přes údolí Roztylského potoka, které je vyplněno mocnými kvarténními sedimenty. Po zahájení výkopů se však ukázalo, že v údolí byl pravděpodobně písňík, který byl následně zasypán odpadky. Tento antropogenní pokryv zaujímal území o mocnosti až 6,5 m a rozkládal se na území o velikosti cca 100 m² (Koudelka, 1981).

S ohledem na složité základové poměry i směrové vedení trasy bylo nakonec rozhodnuto, že trasa povede v násypu, který bude založen na prekonsolidovaném podloží tak, aby byly zcela minimalizovány deformace traťového tunelu.

Postup pro realizaci byl následovný. Navážky (odpad) byl nahrazen zeminou, původní potok byl přeložen a jeho koryto, bylo zasypáno zeminou. Poté byly vybudovány tunely metra, které byly následně zasypány. Následně byl použit vícenásyp, který konsolidoval již předešlé zásyp tunelů. Po 2 letech byl vícenásyp odstraněn a v tunelech byly připevněny koleje.

6.2 Naplavované tunely mezi stanicemi Nádraží Holešovice a Kobylisy

Mezi stanicemi metra Nádraží Holešovice a Kobylisy, byla řeka Vltava překonána naplavovanými tunely do předem vyhloubené rýhy.

Jedná se o první použití naplavovaných tunelů z betonu (Immersed tunnels) v České republice. Tato varianta byla zvolena na základě umístění stanice Nádraží Holešovice, která je v příliš velké nadmořské výšce nad úrovní říčního dna a v blízké vzdálenosti od řeky. Její poloha tak neumožňovala konvenční ražbu tunelu v předkvartérním podkladu pod říčním dnem.

Rýha byla vytěžena pomocí drapáků, které byly umístěny na člunech. Hloubka rýhy se pohybovala od 10 m do 12,3 m od hladiny. Délka rýhy pro první tubus byla 168 m, šířka na dně rýhy byla 12 m a sklony svahů byly 1:2 až 1:2,5. Během realizace těžby rýhy v řece, byla celková kubatura vytěženého materiálu 25 200 m³ u štěrkopísků a 12 300 m³ u břidlic, (Nosek, 2001).

Hloubení probíhalo v kvartérních sedimentech hlinitých písků s přechody do písčitých hlín, v tomto případě se jedná o nejmladší holocénní náplavy Vltavy, hlouběji se vyskytují písčité štěrky až hrubé štěrky s písčitou příměsí místy zahliněné. V předkvartérním podloží probíhalo hloubení v dobrotivských vrstvách jílovitých břidlic, kde se pod bází kvartéru vyskytují zvětralé horniny s přechodem do eluvia, charakteru zemin.

Pro výstavbu tubusu byly vybudována, na Trojském břehu, dlouhá stavební jáma o délce cca 200m, jinak označována jako suchý dok. Suchý dok byl zajištěn kotvenými milánskými stěnami, aby nedošlo k zhroucení jeho stěn. Na konci suchého doku byla vybudována ocelová štětová stěna pro oddělení doku od řeky. Ve které se začaly betonovat tubusy metra s průřezem 6,5 m x 6,5 m o délce 168 m, tloušťce tubusu 0,7 až 0,73 m.

6.3 Průzkumná štola v oblasti stanice Kobylisy

Cíle průzkumu

Kvůli mimořádně složitým a velmi málo příznivým geotechnickým podmínkám, bylo cílem průzkumu získat podrobné podklady z oboru geotechniky, geologie, inženýrské geologie a hydrogeologie pro ražbu podzemních objektů metra.

Umístění a kritéria směru štoly

Umístění průzkumné štoly byla určeno dle požadavků na geologickou stavbu, inženýrskogeologické a hydrogeologické poměry a geotechnické podmínky obdobné v případě objektů metra. Musí také splňovat model budoucích velkých průřezů, tvaru výrubu a relativní polohy v horninovém masivu, vůči geologické stavbě.

Dále se dbá na aspekty související s minimalizací ohrožení povrchové zástavby a stávajících inženýrských sítí.

Kritéria, která určovala volbu směru štoly byla, že ražba štoly bude probíhat tak, aby probíhala napříč směrem vrstev hlavních souvrství a ve stejném směru vůči vrstvám jako v budoucích tunelech metra.

Délka štoly je 261 m s úpadním sklonem 0,5%. Průzkumná rozrážka, kvůli kritériu stejného směru vůči vrstvám jako v budoucích tunelech, je situována ve staničení 94 m, kolmo na trasu štoly. Délka rozrážky je 20,5 m s dovrchním sklonem 1,0%.

Technologie ražby

Hlavní technologií ražby pro průzkumnou štolu byla nová rakouská tunelovací metoda (NRTM). Při které bylo využito primární ostění ze stříkaného betonu.

NRTM spadá do observační metody, tudíž bylo nutné zajistit geotechnický monitoring, pod nějž spadá geologická dokumentace čeleb, monitoring deformací v oblasti výrubu a horninového prostředí, měření napjatosti a monitoring terénu i nadzemních budov.

Klasifikace skalních a poloskalních hornin při ražení štol a tunelů (QTS)

Vycházíme z klasifikace dle Tesaře a jeho základních klasifikační bodu TS. Soustředíme se jednotlivé texturní a strukturní vlastnosti horniny, které vyjádříme počtem klasifikačních bodů (TS – A, B, C), dle rovnic:

$$TS_A = 10 \log \delta_D - 3$$

$$TS_B = 26,2 \log d + 52,4$$

$$TS_C = 6,2 \log D + 12$$

Počtu klasifikačních bodů dosáhneme součtem všech tří parametru (A, B, C), popřípadě můžeme vypočítat z rovnice:

$$TS = 10 \log \delta_D + 26,2 \log d + 6,2 \log D + 61,4$$

TS...	počet základních klasifikačních bodů
δ_D ...	pevnost úlomků horniny v prostém tlaku (MPa) měřená na krychlích, válcích nebo hranolech
d...	průměrná vzdálenost ploch diskontinuity (m)
D...	hloubka zkoumané horniny pod bází pokryvných útvarů

V určitých případech je potřeba počet klasifikačních bodů TS snížit, a to v případech následujících:

α ...	když sklon hlavních ploch diskontinuity leží v rozmezí mezi 30 až 80°, a pokud jsou diskontinuity uloženy proti směru ražby
β ...	při nepříznivém uklonění diskontinuit vůči ražbě výrubu, zároveň jsou diskontinuity rovné, hladké nebo jsou vyplněny jílem a průběžnost diskontinuity je větší než 1/2 profilu tunelu
γ ...	podzemní voda, bez hydrostatického tlaku, volně protékající horninou
δ ...	podzemní voda, podléhající hydrostatickému tlaku

Úpravy pro snížení se provádějí dle tabulky č. 1.

Tabulka 1 Snížení počtu klasifikačních bodů (Tesař, 1981)

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

7 Závěr

V bakalářské práci je popsána základní inženýrskogeologická charakteristika poměrů v trase metra C s uvedením základních litologických celků a souvrství, kterými prochází. Stavba byla realizována v 5 hlavních etapách výstavby, které popisují v kapitole 4.

V jednotlivých úsecích byl používány různé technologie výstavby, přičemž hlavní z nich jsou popsány v kapitole 5. Jedná se o ražbu prstencovou metodou, metodou NRTM, metodu naplavovaných tunelů, hloubené úseky a výstavbu části trasy na násypu. Pro vybrané úseky, kde se podařilo informace dohledat, jsou uvedeny i základní informace o metodice IG průzkumu. Využívány byly jak vrtné práce a zkoušky ve vrtech, tak i průzkumné štoly.

Zkušenosti z výstavby metra C, které bylo úspěšně realizováno v letech 1966-2008, mohou přispět k zodpovědné přípravě projektu metra D vedeného na části trasy v obdobných inženýrskogeologických podmínkách. Předložená práce shrnuje hlavní informace o výstavbě. Ve vybraných bodech by na ní mohlo být navázáno rozšířením a doplněním informací i zkušeností stavařů a projektantů, což je však již nad rámec rozsahu bakalářské práce.

V práci jsou popsány předkvartérní pokryvy a pokryvy kvartéru trasy metra C. V předkvartérní pokryvce je zahrnuta pražská brachysynklinála a její horniny. Trasa počínající v okolí stanice Háje proterozoikem, jakož to nejstarší útvarům a útvaru siluru, který zastupuje nejmladší předkvartérní podklad. Kvartérní pokryvy jsou především zastoupeny terasovitým systémem řeky Vltavy.

8 Seznam tabulek a obrázků

Tabulka 1 Snížení počtu klasifikačních bodů (Tesař, 1981).....	23
Obrázek 1 Trasa Metra C v Praze (https://2gis.cz/praha)	8
Obrázek 2 Zakreslení schématu teras Vltavy (Kovanda, 2001).....	12
Obrázek 3 Celkem realizované vrty vůči 1 vrtu na délku trasy (Tlamsa, Bohátková, 2011)	14
Obrázek 4 Schéma členění výrubu (Aldorf a kol., 2006).....	16
Obrázek 5 Prstencová metoda (Barták a Pruška, 2011)	18
Obrázek 6 Postup stavby Cut & Cover (Horák, 2007)	19
Obrázek 7 Postup stavby Cover & Cut (Horák, 2007)	20

9 Literatura

ABRAMČUKOVÁ, Anna; HOLEJŠOVSKÝ, Jaroslav; KUNOVJÁNEK, Aleš; PERGLER, Ivan; POSPÍŠIL, M.; URBANOVÁ, Lucie; VOTOČEK, Robert; VRBA, O., 2002. *Závěrečná zpráva komplexního průzkumu pro trasu metra IV.C - 2. etapa (Ládví - Letňany). Část A: Inženýrskogeologický průzkum*. Stavební geologie-Geotechnika, a.s., Praha, MS Geofond Praha (P102957), 7 – 49 str.

ABRAMČUKOVÁ, Anna, 1992., *Praha - metro - M-IV.C, inženýrskogeologický průzkum*. MS Geofond Praha (P 077818), 4-8 str.

ABRAMČUKOVÁ, Anna, 2002., *Praha – Metro IV.C1 – průzkumná štola – závěrečná zpráva*. Stavební geologie – Geotechnika, a.s., Praha, 01/0423,

BARTÁK J., PRUŠKA J., 2011. *Podzemní stavby*. ČVUT Praha 2011, ISBN 978-80-01-04789-7

BIENIAWSKI, Z. T., 1989. *Engineering Rock Mass Classifications: A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering (1st ed.)*. Wiley-Interscience. ISBN 978-0471601722, 91-92 str.

BONAPACE, P., & ÖGG, 2010. *NATM - the Austrian Practice of Conventional Tunnelling*. Austrian Society for Geomechanics, Salzburg, 2010. ISBN 978-3-200-01989-8

GREAT BRITAIN. HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE, 1996. *Safety of New Austrian Tunnelling Method (NATM) Tunnels*. Adfo Books. ISBN 978-0-7176-1068-6

GUGLIELMETTI, V., GRASSO, P., MAHTAB, A., & XU, S., 2007. *Mechanized Tunnelling in Urban Areas: Design methodology and construction control*. CRC Press. ISBN 978-0-415-42010-5, 5 str.

HEMPHILL, G. B., 2012. *Practical Tunnel Construction (1st ed.)*. Wiley. ISBN 978-0-470-64197-2, 5 str.

HORÁK, V., 2007. *Podzemní stavby MODUL BF06-M02: Studijní opory pro studijní programy s kombinovanou formou studia*. FAST: VUT Brno, 60-63 str.

- CHAPMAN, D. N., METJE, N., & STARK, A., 2017. *Introduction to Tunnel Construction (Applied Geotechnics) (2nd ed.)*. Routledge. ISBN 978-1-4987-6624-1, 190-191 str.
- CHLUPÁČ, Ivo, (1992). *Paleozoikum Barrandienu: kambrium-devon*. Praha: Vydavatelství Českého geologického ústavu, ISBN 80-7075-055-3.
- CHLUPÁČ, I., Štorch, P. (eds.), 1992. *Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky*. Čas. Mineral. Geol., Praha, 1992, 4, 37, 258-275 str.
- KOLYMBAS, D., 2005. *Tunnelling and Tunnel Mechanics: A Rational Approach to Tunnelling*. Springer, 1st ed. 2005., ISBN 978-3540251965, 3 str.
- MAIDL, B., THEWES, M., MAIDL, U., & STURGE, D. S., 2013. *Handbook of Tunnel Engineering I: Structures and Methods (1st ed.)*. Ernst & Sohn. ISBN 978-3-433-03048-6
- MÜHL J., KYNCL J., MALÝ V. a VINTER M., 2002(4). *Podchod trasy metra pod Vltavou v úseku IV. C1 (II.)*. Časopis Zakládání staveb a.s., 12-17 str.
- NOSEK P., 2001(4). *Podchod trasy metra v úseku IV. C1 pod Vltavou*. Časopis Zakládání staveb a.s., 18-22 str.
- ALDORF J., HASÍK O., HORÁK V., MAŘÍK L., NOVOTNÝ M., ROZSYPAL A., SOUKUP V., SRB M., STEČÍNSKÝ B., STEHLÍK E., VAJSAR K., 2006. *Svazek 2: Zásady a principy NRTM jako převažující metody konvenčního tunelování v ČR*. Český tunelářský komitét ITA/AITES. 7-8 str.
- KADLEC, Jaroslav, 2018. *Geologie kvartéru*. Prezentace při předmětu Geologie kvartéru. Geofyzikální ústav AVČR, v.v.i., Oddělení geomagnetizmu.
Dostupné na: <https://www.dropbox.com/sh/15361llw5n0mhyu/AABzPKv4sd8CGsL4jY1fPzJsa?dl=0>
[13.08.2020]
- KOUDELKA P., 1981. *Založení traťových tunelů metra prekonsolidací podloží*. In Sborník přednášek z konference Geotechnické problémy při výstavbě hl.m. Prahy, Palác kultury, Praha, 29.-30. září, 1981, str. 174-184
- KOVANDA J. a kol., 2001. *Neživá příroda Prahy a jejího okolí*. Praha: Academia, 2001. ISBN 80-200-0835-7
- LUNNISS R., BABER J., 2013. *Immersed Tunnels*. CRC Press Taylor & Francis Group. ISBN 978-0-415-45986-0
- MOSLER J., PAVLOVSKÝ V., MAŘÍK L., MAJER M., BARTÁK J. (a kol.), 2019. *Svazek 8: Uživatelská příručka pro konvenční tunelování*. Česká tunelářská asociace ITA-AITES. 45-47 str.
- VRBA, Otakar, 1979. *PRAHA-METRO-III C. Souhrnná závěrečná zpráva (KM 17,926-20,438)*. MS Geofond Praha (P029130), 13-42 str.
- Tatiya, R. R., 2013. *Surface and Underground Excavations, 2nd Edition*. Taylor & Francis. ISBN 978-0-415-62119-9, 386 str.

TESAŘ O., 1981. *Využití klasifikace skalních a poloskalních hornin při ražení štol a tunelů*. In Sborník přednášek z konference Geotechnické problémy při výstavbě hl.m. Prahy, Palác kultury, Praha, 29.-30. září, 1981, str. 37-46

THOMAS, A., 2008. *Sprayed Concrete Lined Tunnels*. Taylor & Francis. ISBN 978-0-415-36864-3, 5 str.

TLAMSA, Jiří, BOHÁTKOVÁ, Lucie, 2011. *Geologické výlety s překvapením v trase metra V.A.* Tunelářské odpoledne 2/2011 CzTA ITA-AITES, Praha, 1. června 2011, str. 24

C (linka metra v Praze): [https://cs.wikipedia.org/wiki/C_\(linka_metra_v_Praze\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/C_(linka_metra_v_Praze)) [12.08.2020]

Geovědní mapy 1: 50000: <https://mapy.geology.cz/geocr50/> [06.08.2020]

Inženýrskogeologické mapy Prahy: http://app.iprpraha.cz/apl/app/ig_mapy/ [06.08.2020]

LINKA C metro v Praze: trasa a zastávky – 2GIS: <https://2gis.cz/praha/route/12948454519078915> [14.08.2020]

PRAŽSKÉ METRO – MHD V PRAZE: <https://metroweb.cz/index.htm> [12.08.2020]

Vysouvání tubusů metra přes Vltavu, Metrostav:

https://www.youtube.com/watch?v=mtwB8cO_Arw&list=PLgMSUEQeM57R6FAIz4gMm5AF-m9Mrtgl-&index=3&t=0s [09.08.2020]