

VŠB-Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra geotechniky a podzemního stavitelství

Výstavba traťových tunelů v horninách pokryvu zeminovými štíty -
Earth Pressure Balance Shields

Construction of Trackway Tunnels in Surficial Grounds by Earth
Pressure Balance Shields

Student:

Ing. Robert Szlachta

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Karel Vojtasík, CSc.

Ostrava 2011

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 2.5.2011

.....

podpis studenta

Anotace

..... jsou také jednoznačným vítězstvím znalostí strojaře, který se řídí normami a fyzikálními zákony, nad umem havíře, který se řídí citem a po generace předávanými zkušenostmi.....[citace z kap. 7, celkem 31 stran]

Cílem této bakalářské práce není uvést novou převratnou technologii ražení podzemních děl, ale posoudit v zahraničí již úspěšně používané technologie a aplikovat je v podmínkách České republiky. K tomuto účelu jsem použil nyní budovanou novou část trasy metra A v Praze, která v roce 2014 zaveze první cestující až do stanice Motol. Jelikož výstavba byla teprve zahájena, nelze zatím hodnotit přínos nové technologie, ale úspěchy dosažené v mnoha vyspělých státech podporují pozitivní očekávání celé odborné veřejnosti.

Annotation

.....are also a clear victory of knowledge of mechanical engineers, who apply the standards and laws of physics, over the skills of a miner, which is guided by his feeling and experience transmitted from generation to generation.....[from chapter 7, total 31 pages]

The aim of this thesis isn't to introduce a new revolutionary technology of underground excavation works, but to review already successfully used technologies and apply them in the Czech Republic. For this purpose I have used just now constructed a new part of line A of subway in Prague that will take the first passengers to the Station Motol in 2014. Because construction has been started, we can not evaluate the benefit of new technology, but the successes achieved in many developed countries promote the positive expectations of all professional public.

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 2.5.2011

Obsah:

Seznam použitých zkratek:	1
1. Úvod	2
2. Projekt prodloužení trasy metra V.A.	3
2.1. SOD 01	4
2.2. SOD 02	4
2.3. SOD 03	5
2.4. SOD 04	5
2.5. SOD 05	6
2.6. SOD 06	6
2.7. SOD 07	7
2.8. SOD 08	7
2.9. SOD 09	8
3. Geologie	9
4. Způsob realizace podzemních děl metra	11
4.1. Podzemní díla ražená pomocí NRTM	11
4.2. Podzemní díla ražená pomocí EPBM	12
4.3. Hloubené podzemní objekty	17
4.3.1. Milánské stěny	17
4.3.2. Záporové stěny	17
4.3.3. Pilotové stěny	17
5. Monitoring ražeb na povrchu i v podzemí	18
6. Postup výstavby	22
6.1. Předvýrobní příprava	22
6.2. Zařízení staveniště BRE1	23
6.3. Zařízení staveniště E2	24
6.4. Zařízení staveniště E1	24
6.5. Současný stav ražby traťových tunelů	24
6.6. Stanice Červený Vrch	26
6.7. Stanice Veleslavín	26
6.8. Stanice Petřiny	26
6.9. Další postup výstavby	27
7. Závěr	29
8. Seznam použitých pramenů	30
9. Přílohy	31

Seznam použitých zkratk:

- ČR – Česká republika,
- ČPHZ – činnost prováděná hornickým způsobem definovaná §3, Zákona č. 61/1988 Sb., v platném znění,
- DPS – Dokumentace pro provedení stavby (projekty pro jednotlivé SO, viz. níže)
- DVZ – Dokumentace pro výběr zhotovitele (zadávací dokumentace), na úrovni DÚR (viz. níže)
- DÚR – Dokumentace pro územní rozhodnutí,
- EPBM – Earth pressure balanced shield, jeden z typů TBM (viz. níže), razící štít s možností vyrovnání tlaku zeminy na čelbě,
- NRTM – Nová Rakouská tunelovací metoda,
- MSV – Multi Servis Vehicle, bezkolejový důlní přepravník (nákladní automobil), dvoukabinový (kabina v předu i v zadu), slouží k zásobování ražeb,
- OBÚ – Obvodní báňský úřad, instituce vykonávající vrchní dozor při ČPHZ,
- SO – stavební objekt, část SOD (viz. níže), např. el. přípojka staveniště,
- SOD – stavební oddíl (ucelená komplexní část stavby), vymezená počátečním a koncovým staničením,
- TBM – Tunnel boring machine, mechanizovaný razící stroj, plnoprofilový, kruhový, razící v konstantním průřezu, v našem případě se k pohybu v před opírá o skládané segmentové definitivní ostění,
- TDS – technický dozor stavebníka (investora),
- ZS – zařízení staveniště (BRE1 – na Vypichu, E2 a E1 na ul. Evropská),

1. Úvod

Předmětem této bakalářské práce je popsat možnosti realizace podzemních liniových děl, v mělkém zeminovém prostředí, v podmínkách urbanizovaných území, kdy se konvenční (klasické) razicí metody dostávají na samou hranici své použitelnosti a riziko negativních dopadů ražby na povrch již převyšuje přínos budoucího díla samotného. Sanace hmotných škod z případné mimořádné události je velmi náročná a poškození dobrého jména zhotovitele díla je mnohdy trvalé.

Pro realizaci podzemních liniových děl existuje několik konvenčních metod, z nichž je v ČR stále nejpoužívanější NRTM.

Jako velmi perspektivní se v těchto podmínkách ukázala metoda ražení plně mechanizovanými zeminovými štíty. Tento způsob je ve vyspělém světě úspěšně aplikován až při 80% projektů.

Již dříve byly na území ČR použity mechanizované razicí stroje, avšak ve skalním a poloskalním prostředí. 1. zeminový štít je nyní nasazen na zakázce „Prodloužení trasy metra V.A ze stanice Dejvická do stanice Motol“. Ražba byla slavnostně zahájena 14.4.2011 a jelikož jsem zde stavbyvedoucím, bude se bakalářská práce zabývat přípravou a nasazením této technologie.

Popis této tunelovací metody a její samotný princip nebudou v této práci detailně rozebírány.

2. Projekt prodloužení trasy metra V.A

Nový provozní úsek V.A (Dejvická-Motol) navazuje na první zprovozněný úsek trasy A, I.A ze stanice (Náměstí Míru – Dejvická), který byl uveden do provozu v roce 1978. Provozní úsek V.A je 6 134 m dlouhý a má 4 nové stanice: Červený Vrch, Veleslavín, Petřiny a Motol. Celá stavba je rozdělena do devíti stavebních oddílů (dále SOD). Pro orientaci v jednotlivých SOD, které jsou popsány v této kapitole níže, viz. příloha č.1.

Toto prodloužení stávající „zelené“ trasy A je pouze částí původního záměru, a jen prvním krokem celkové koncepce infrastruktury v Praze 6, neboť ke kompletnímu zajištění dopravní obslužnosti z okolních oblastí je zapotřebí dokončení výstavby až do stanice Ruzyně s přímým napojením na Letiště.

Obrázek č. 1: Současná síť metra v Praze



Právě z tohoto důvodu u odborné veřejnosti zaznívají jisté pochybnosti o potřebě této stavby, neboť už nyní je zřejmé, že prodloužení až do stanice Ruzyně bude odloženo a přednost dostane nová trasa D.

Za hlavní přínos tohoto byt' polovičního řešení infrastruktury v Praze 6 lze označit zejména posunutí současného koncového bodu trasy metra A do urbanisticky vhodnější lokality na okraji města. Blízké okolí současné konečné stanice Dejvická je dopravně velmi přetíženo.

Předmětem bakalářské práce však není zabývat se samotným účelem stavby a posuzovat dopravní studii, ale vyzdvihnout technické řešení, které je přelomové prvním nasazením zeminového razícího štítu (EPBM) v ČR.

2.1. SOD 01

Součástí tohoto stavebního oddílu jsou vnitřní úpravy stanice Dejvická, které je nutno provést v souvislosti s napojením nového úseku na stávající trasu. Součástí je nově příprava pro demontáž štítu, který ukončí ražbu prorážkou a částečným vjezdem do této provozované stanice, kde bude demontován a vyklizen, a to jak nově vyraženými traťovými tunely, tak již provozovanou trasou směr Depo Hostivař. Další práce spočívají ve vytvoření demontážní komory pro rozebrání štítu a poté definitivní stavební úpravy.

2.2. SOD 02

První nový mezistaniční úsek je na stanici Dejvická napojen dvěma jednokolejnými tunely v místě krajních odstavných kolejí ve staničení 16, 175 275 km. Ze sklonu 3,0 ‰ trasa v 15, 917 079 km přechází výškovým obloukem o poloměru 7 000 m do maximálního podélného sklonu 39,5 ‰ a dále stoupá pod ulicí Evropskou v hloubce cca 20 m směrem k sídlišti Červený Vrch. Před stanicí Červený Vrch je podélný sklon ve staničení 14, 495 215 km upraven výškovým obloukem o poloměru 3200 m do sklonu 3,0 ‰. Oddíl končí v km 14, 414 276. Celková délka tohoto oddílu v ose levé traťové koleje je pak 1 760, 999 m.

V tomto stavebním oddíle jsou ve staničení 16, 117 162 km umístěny tlakové uzávěry, které slouží k plynotěsnému oddělení stávající trasy od nového úseku. Ve

staničení 15, 520 km jsou do obou traťových tunelů přivedeny z hloubeného sdruženého objektu vzduchotechniky dvě vzduchotechnické štoly. Mimo to je pro snížení pístového účinku vlaku po každých cca 200 m umístěno celkem 8 vzduchotechnických propojek

2.3. SOD 03

Tento stavební oddíl obsahuje první stanici na nové trase, a to Červený Vrch. Jedná se o stanici raženou jednolodní s ostrovním nástupištěm. Nachází se pod středem ulice Evropské v hloubce 28,2 m a má ve východní části jeden podzemní vestibul situovaný u křižovatky ulic Evropské, Horoměřické a Liberijské. Zhruba ve středu stanice jsou umístěny dva osobní výtahy s únikovým schodištěm, které vedou do podchodu pod ulicí Evropskou.

Začátek tohoto oddílu je v km 14, 414 276 v levé koleji a konec v km 14, 221 137. Celková délka je tedy 193,139 m. Podélný sklon je ve stanici konstantní a to 3,0 ‰. Stanice se nachází pod ulicí Evropskou v průměrné hloubce vztažené k temeni kolejnice 28,6 m.

Ve východní části stanice je umístěno ostrovní nástupiště na jehož východním konci do stanice ústí eskalátorový tunel s trojicí eskalátorů, vedoucího do podpovrchového vestibulu. Vestibul je situován pod ulicí Evropskou v blízkosti křižovatky s ulicí Horoměřickou a Liberijskou. V západní části nástupiště se nachází eliptická výtahová šachta pro dva výtahy a únikové schodiště. V západní části stanice jsou umístěny technologické prostory metra. Do západního konce stanice ústí přístupová štola v jejímž rozšíření je umístěna strojovna větrání. Výdech větrání je vyveden šachtou do parku při levé straně ulice Evropské.

2.4. SOD 04

Začátek stavebního oddílu je v km 14, 221 137 v levé koleji a konec v km 13, 374 978. Celková délka je pak 846,159 m. Za stanicí Červený Vrch se vlivem zakřivení ulice Evropské trasa dostává pod okolní vícepatrovou panelovou zástavbu a přibližuje se k ulici Arabské. Dále je trasa vedena v pravostranném směrovém oblouku o poloměru 814 m, V němž prochází hloubenou stavební jámu,

kdo které po dokončení ražby jednokolejných tunelů bude vestavěna strojovna hlavního větrání tohoto mezi staničního úseku.

Hloubená stavební jáma se nachází na zařízení staveniště E2. Jedná se o objekt hloubený z povrchu o půdorysných rozměrech 31 x 52m. Stěny jsou zajištěny pomocí železobetonových pilot o průměru 900mm s osovou vzdáleností 2050mm, které jsou zajištěny čtyřmi kotevními úrovněmi. Celková hloubka jámy je 26m. Prostor mezi pilotami je zajištěn stříkaným betonem.

Sklonově je trasa vedena následujícím způsobem. Za stanicí Červený Vrch je sklon trasy postupně zvyšován. Nejprve v km 14, 186 010 výškový obloukem o poloměru 5000 m na sklon 8,0 ‰ a následně v km 13, 845 749 obloukem o poloměru 3200 m do sklonu 35,0 ‰, ve kterém prochází trasa skrz větrací objekt. Před stanicí Veleslavín v km 13, 401 808 je výškovým obloukem o poloměru 2400 m sklon trasy opraven opět na 3,0 ‰. Hloubka trasy se v tomto oddíle pohybuje od 16 m u stanice Veleslavín do 41 m.

Kromě již zmíněné stavební jamy pro objekt vzduchotechniky jsou v tomto úseku naplánovány dvě vzduchotechnické propojky pro snížení pístového účinku vlaků. Propojky jsou umístěny mezi větracím objektem a stanicí Červený Vrch a jejich vzájemná vzdálenost je cca 200 m.

2.5. SOD 05

Tento stavební oddíl obsahuje třílodní raženou sloupovou stanici Veleslavín. Začátek tohoto oddílu je v km 13, 374 978 v levé koleji a konec v km 13, 174 505. Celková délka stanice je tedy 200,473 m. Podélný sklon je ve stanicí konstantní a to 3,0 ‰. Stanice se nachází napříč ulicí Evropskou a směřuje k nádraží Veleslavín kde pod ulicí Kladenskou je umístěna stavební jáma s vestibulem stanice. Stanice se nachází v průměrné hloubce 20,5 m.

2.6. SOD 06

Začátek stavebního oddílu je v km 13, 174 505 v levé koleji a konec v km 12, 108 647. Celková délka je pak 1 065,858 m. Za stanicí Veleslavín je trasa vedena pravostranným směrovým obloukem o poloměru 664 m, který trasu stáčí jižním

směrem k Petřinám. Sklonově je trasa vedena takto. Za stanicí Veleslavín je v km 13, 126 537 podélný sklon trasy upraven výškovým obloukem o poloměru 2000 m na 38,7 ‰. V něm pak trasa stoupa až ke stanici Petřiny, před kterou je v km 12, 323 984 výškový oblouk o poloměru 2000 m, který podélný sklon převádí do stoupání 3,0 ‰.

V tomto useku se ještě nachází pět vzduchotechnických propojek pro snížení pístového účinku vlaků. Ty jsou rozmístěny rovnoměrně ve vzdálenosti cca 200 m.

2.7. SOD 07

Začátek stavební oddílu je v km 12, 108 647 v levé koleji a konec v km 11,705 777. Celková délka je pak 402,870 m. Podélný sklon je ve stanici nejdřív ve stoupání 3,0 ‰ ve staničení km 11, 986 969 je výškovým obloukem o poloměru 1800 m převeden do klesání o sklonu 3,0 ‰ v němž jsou i traťové a obrátové koleje, které jsou součástí stanice, která se nachází pod ulicí Brunclíkovou v průměrné hloubce vztažené k temeni kolejnice 37,6 m.

V severní části je umístěno ostrovní nástupiště na jehož severním konci do stanice ústí eskalátorový tunel s trojicí eskalátorů, vedoucí šikmo do povrchového vestibulu. Vestibul je situován na rohu ulic Brunclíkovy a Na Petřinách. V jižní části nástupiště se nachází kruhová výtahová šachta pro dva výtahy a únikové schodiště. V jižní části stanice jsou umístěny technologické prostory metra. Na konci jsou výhybky, které umožňují přejezd vlaku na obrátovou kolej. Na stanici v rámci tohoto oddílu ještě navazují dva jednokolejné traťové tunely realizované technologií kontinuální technologií plnoprofilového razicího šítu a středový obrátový tunel ražený technologií NRTM. Na konci obrátové koleje jsou dvě propojky traťových tunelů z nichž vedou dvě krátké štoly do strojovny hlavního větrání, která přechází do přístupové štoly stanice. Touto štolou bude provedena ražba celé stanice a po jejím dokončení bude zlikvidována. Výduch větrání je vyveden šachtou za strojovnu hlavního větrání vedle ulice Ankarská.

2.8. SOD 08

Začátek stavebního oddílu je v km 11, 705 777 v levé koleji a konec v km 10, 629 696. Celková délka je pak 1 076,081 m. Za stanicí Petřiny je od km 11, 646 537

levá kolej vedena v levostranném směrovém oblouku o poloměru 630 m. Pravá kolej je vedena v oblouku o poloměru 678 m. Tím dochází k přibližování obou jednokolejných tunelů a následnému jejich setkání v km 11,394 620 v montážní šachtě. Za touto šachtou vedou již obě koleje společně, nejprve v montážní komoře, kde je osová vzdálenost kolejí 6,5 m a následně 5,8 m. Dále se osová vzdálenost kolejí postupně zužuje z 5,8 m přes 5,0; 4,5; 3,9 na konečných 3,7 m. Před stanicí Motol je opět rozšířena přes 3,9 m až na 4,5 m. Konec levostranného směrového oblouku v němž je trasa v tomto oddíle vedena je ukončen v km 10, 640 545. Podélný sklon trasy je nejdříve v km 11, 675 773 výškovým obloukem o poloměru 4000 m zvýšen z 3,0 ‰ na 16,1 ‰. V km 11, 434 089 dochází výškovým obloukem poloměru 5000 m k redukci podélného sklonu na 5,0 ‰. V tomto sklonu pokračuje trasa až těsně před stanicí Motol, kde je v km 10, 630 199 výškovým obloukem o poloměru 5000 m opět vrácen do spádu 3,0 ‰.

2.9. SOD 09

Tento stavební objekt obsahuje hloubenu stanici Motol a ražené dvojkolejné tunely obratových kolejí. Začátek tohoto oddílu je v km 10, 629 696 v levé koleji a konec v km 10, 056 508. Celková délka je tedy 573,188 m. Sklon trasy klesá v podélném sklonu 3,0 ‰ až do km 10, 136 626 kde přechází ve výškovém oblouku o poloměru 2400 m do stoupání 24,4 ‰. Směrově jsou obě koleje vedeny v konstantní osově vzdálenosti 4,5 m. Stanicí Motol prochází trasa v přímém směru a pokračuje v něm až do staničení km 10, 351 937, odkud pokračuje v levostranném směrovém oblouku o poloměru 800 m až do konce oddílu.

Stanice Motol se bude realizovat ve 164 m dlouhé hloubené stavební jámě, která je umístěna do svahu nad ulicí Kukulovou.

Obratové koleje jsou umístěny do dvojkolejných tunelu profilu pro osovou vzdálenost 4,5 m. Před koncem oddílu je jeho profil postupně zvyšován na 5,0 m a následně na 6,5 m. V nejnižším místě tohoto oddílu v km 10, 0185 je do tunelu vyražena odvodňovací štola. Tato štola má dvě výškové úrovně, jež jsou šachtou v níž bude umístěno spadiště.

3. Geologie

Zájmové území se nachází na území Prahy 6 a Prahy 5. Nový provozní úsek je veden katastrálním územím: Dejvice, Vokovice, Veleslavín, Břevnov a Motol.

Z geomorfologického hlediska náleží zájmové území k provincii Česká Vysočina, k Poberounské subprovincii, Brdské oblasti a k geomorfologickému celku – Pražské plošiny, podcelku Kladenské tabule, kde hlavní územní okrsek je Hostivická tabule.

Předkvartérní podloží celého zájmového území břidlice místy i křemence barrandienského staršího paleozoika, jež pocházejí z období ordoviku. Jsou zde zastoupeny souvrství Šarecké, Dobrotivské, Libeňské, Letenské, Vinické, Záhořanské, Bohdalecké, královédvorské, Kosovské a Liteňské. Všechny souvrství jsou zvrásněné pod úhlem 30-60°.

V oblasti plošiny Bíle Hory na paleozoických horninách nacházejí uloženiny, které pocházejí ze svrchní křída. Křídové horniny jsou zde zastoupeny souvrstvím Peruckým, Korycanským a Bělohorským, které jsou budovány: pískovci, jílovce a slínovce. Všechny souvrství jsou uložena horizontálně.

Kvartérní pokryvné útvary jsou v trase zastoupeny deluviálními, deluviofluviálními, fluviálními a eolickými sedimenty. Na některých místech trasy se vyskytují antropogenní uloženiny.

Rozmístění jednotlivých hornin v trase je zobrazeno v přílohách č. 3a a 3b, které zobrazují geologické podélné řezy.

Předběžný geotechnický průzkum, provedený v roce 2007 se projevil jako velmi nepřesný, neboť z dosavadního postupu výstavby jsou ražbami zastižené geologické podmínky mnohem horší. V pozicích, kde měly být břidlice navětralé až zdravé se nacházejí břidlice zvětralé, obzvláště mocnosti antropogenních navážek dosahují mocnosti až šesti metrů, místo předpokládaných dvou.

V únoru 2011 byl v době tramvajové výluky realizován vrtný doprůzkum, a to osmi jádrovými vrty v úseku SOD O2 z páteřní ulice Evropská mezi tramvajovými kolejemi. Vrty byly realizovány o průměru 115mm, z odebraných vzorků byla mimo jiné stanovena abrazivita pro zjištění předpokládaného opotřebení řezných nástrojů na hlavě štítu a jejich spotřeby.

Výsledky tohoto doprůzkumu potvrdily naše předpoklady, které nejsou zcela v souladu z předběžným geotechnickým průzkumem, a to nutnost ražby v celém úseku v režimu EPBM.

4. Způsob realizace podzemních děl metra

Existují dva základní přístupy k realizaci podzemních děl, a to z povrchu v otevřené stavební jámě a podzemním způsobem, tzv. ČPHZ. Kombinací obou zmíněných způsobů je tzv. systém želva. Cílem této práce není zabývat se celkovou terminologií, proto dále uvádím pouze metody použité na prodloužení trasy metra V.A.

4.1. Podzemní díla ražená pomocí NRTM

Dnes už konvenční, tzv. Nová rakouská tunelovací metoda, která spočívá v rozpojení a odtěžení horniny na vzdálenost jedné zabírky, a to plným profilem nebo členěným výrubem, instalaci příhradových rámových výztuží propojených ocelovými sítěmi s následnou aplikací stříkaného betonu a tím vytvoření primárního ostění. Izolace a definitivní železobetonové ostění jsou zhotoveny později.

Výhody uvedené metody umožňují variabilní změny směru a profilu podzemního díla a přizpůsobení ostění aktuálním geologickým podmínkám. Protože je definitivní ostění budováno později, lze mezilehlou izolaci mezi ostěními přizpůsobit aktuálnímu stavu. V případě porušení izolace v době provozu podzemního díla je možné provést její pozdější sanaci pojistným systémem, který je dnes běžnou součástí.

Nevýhodou uvedené metody je rychlost ražby omezená délkou záběru, která je dána charakterem raženého prostředí a technologickým postupem prací. Protože ražby touto technologií jsou založeny na spolupůsobení horninového masivu na stabilitě tunelu, musí dojít k ovlivnění okolního prostředí, které se může projevit konvergenčními v raženém díle a nerovnoměrným poklesem povrchu v ovlivněném pásmu.

Metodou NRTM budou raženy kompletní stanice Petřiny, Veleslavín a Červený Vrch, přístupové štoly do nich, pomocné objekty, propojky mezi jednokolejnými traťovými tunely, dvoukolejný tunel od Vypichu ke stanici Motol a obrátové tunely za touto stanicí.

Tabulka č. 1: Soupis podzemních děl ražených pomocí NRTM

SOD 02	Traťový úsek Dejvická - Červený Vrch	
SO 02-19	Přístupová štola do TT	ražba a primární ostění, zrušení štoly
SO 02-21	Levý ražený jednokolejný tunel	ražba komory pro demontáž TBM a primární ostění, ražba tunelu NRTM a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 02-22	Pravý ražený jednokolejný tunel	ražba komory pro demontáž TBM a primární ostění, ražba tunelu NRTM a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 02-25	Vzduchotechnická propojka mezi TT	primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 02-29	VZT štoly do TT	primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SOD 03	Stanice Červený Vrch	
SO 03-20	Stanice Červený Vrch	primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 03-23	Eskalátorový tunel	zajištění portálu, ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 03-24	Přístupová štola	zajištění stavební jámy a portálu, ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění, zrušení části štoly
SO 03-25	Výtahová šachta	hloubení a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 03-29	Větrací objekt	hloubení a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SOD 04	Traťový úsek Červený Vrch - Veleslavín	
SO 04-25	Vzduchotech. propojky mezi trať.tunely	ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SOD 05	Stanice Veleslavín	
SO 05-20	Stanice Veleslavín	ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 05-24	Únikový objekt	hloubení šachty, ražba štoly, primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SOD 06	Traťový úsek Veleslavín – Petřiny	
SO 06-25	Vzduchotech. propojky mezi trať.tunely	ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SOD 07	Stanice Petřiny	
SO 07-16	Montážní komora - Vypich	
SO 07-17	Montážní šachta - Vypich	
SO 07-18	Přístupové tunely	ražba
SO 07-19	Přístupová štola - Vypich	stavební jáma a zajištění portálu, ražba a primární ostění
SO 07-20	Stanice Petřiny - ražby	ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 07-22	Obratové koleje - střední tunel a propojky	ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 07-23	Eskalátorový tunel	zajištění portálu, ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 07-24	Strojovna větrání	Větrací šachta - hloubení, primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
		Strojovna a propojky - ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
		Přístupová štola - jáma a zajištění portálu, ražba a primární ostění

SOD 08	Traťový úsek Petřiny – Motol	
SO 08-19	Přístupová štola - Vypich	zrušení štoly a zásyp stavební jámy
SO 08-22	Pravý ražený jednokolejný tunel	ražba propojky a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 08-23	Ražený dvoukolejný tunel	ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 08-28	Ražená štola a strojovna VZT v km 10.820	ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SO 08-29	VZT šachta	hloubení a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění
SOD 09	Stanice Motol	
SO 09-18	Tunel pro obrátové koleje	ražba a primární ostění, hydroizolace, definitivní ostění, přechodový díl
SO 09-19	Odvodňovací šachta a štola v km 10.185	stavební jáma, ražba šachty a štoly, hydroizolace, definitivní ostění

4.2. Podzemní díla ražená pomocí EPBM

Pro ražbu dlouhých podzemních děl konstantního profilu je ve světě nejvíce používáno tunelovacích strojů. TBM (se štítem či bez) nebo EPBM.

Předností použití EPBM je kromě rychlosti (podle podmínek předpokládáme až 16 m/den), také maximální šetrnost k poklesům povrchu. Při této stavbě očekáváme poklesy povrchu v oblasti ovlivnění maximálně 10 mm.

Zvolený razicí štít fa. Herrenknecht umožňuje dva režimy ražby. První, „open mode“, použitelný v soudržnějších zeminách předpokládá, že čelba udrží stabilitu, je-li masiv ihned za razicí hlavou podepřen štítem, ve kterém je instalováno železobetonové segmentové definitivní ostění. Poté, co je instalovaný prstenek „vysunut“ ze štítu, je jeho okolí ihned vyplněno tlakovou injektážní směsí, což je další prvek, který zabraňuje rozvolňování prostředí a následným poklesům terénu.

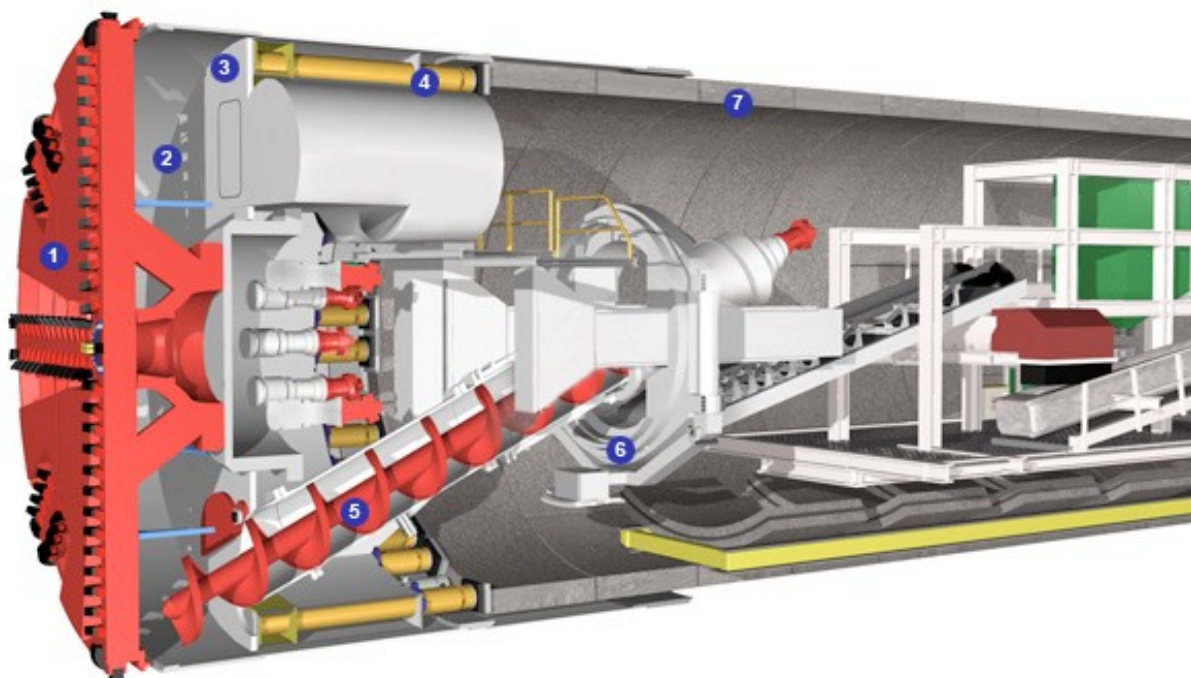
Druhý, „close mode“, vhodný do plastických zemin, udržuje na čelbě přetlak rovnající se zeminovému a pórovému tlaku, čímž čelbu podepírá. Tímto opatřením je zajištěno, že dojde pouze k vytěžení objemu zeminy rovnající se objemu štítu, kterým je zemina dále podepřena. Udržení přetlaku v těžní komoře zajišťuje šnekový dopravník s přesnou regulací rychlosti. Tímto způsobem je minimalizováno ovlivnění povrchu, které je díky rychlosti ražby velmi krátké (1-3 dny).

Nevýhodami této metody jsou náročné přípravy zahájení ražeb, ražba konstantním kruhovým profilem, pouze směrem vpřed (není možno se vrátit) a omezený rádius (poloměr otáčení), ve kterém je nutno dílo vést. V neposlední řadě je to také náročná demontáž. Rovněž logistické zajištění ražeb je nutno předem dobře naplánovat, neboť vzhledem k rychlosti ražení je nutno mít v zásobě dostatek tybinků. V našem případě dodává tybinky slovenská prefa v Senci a doprava je zajišťována pomocí kamionů, což znamená, že při vytíženosti dopravní tepny – dálnice D1 není možno spoléhat na průběžné zásobování.

Metodou EPBM budou raženy traťové jednokolejné tunely ze zařízení staveniště BRE1 na Vypichu až do provozované stanice Dejvická. Celková délka ražeb je 8 102m.

Tunely metra jsou v dané lokalitě navrženy v relativně velkých hloubkách (20 - 35m) a po provedení doplňujícího průzkumu pro ověření výskytu starých důlních děl a případných sanací, bude ražba bez výrazných vlivů na zástavbu také proto, že jejich plocha je malá, necelých 30 m².

Obrázek č. 2: Řez EPBM



- 1 řezná hlava,
- 2 tlaková komora
- 3 tlaková přepážka
- 4 tlačné písty
- 5 šnekový dopravník
- 6 erektor pro montáž segmentů
- 7 segmentové ostění

Tabulka č. 2: Soupis podzemních děl ražených pomocí EPBM

SOD 02	Trat'ový úsek Dejvická - Červený Vrch	
SO 02-21	Levý ražený jednokolejný tunel	ražba tunelu TBM, protažení TBM stanicí CV
SO 02-22	Pravý ražený jednokolejný tunel	ražba tunelu TBM, protažení TBM stanicí CV
SOD 04	Trat'ový úsek Červený Vrch - Veveslavín	
SO 04-21	Levý ražený jednokolejný tunel	ražba tunelu TBM, protažení TBM stanicí VE a stavební jámou
SO 04-22	Pravý ražený jednokolejný tunel	ražba tunelu TBM, protažení TBM stanicí VE a stavební jámou
SOD 06	Trat'ový úsek Veveslavín - Petřiny	
SO 06-21	Levý ražený jednokolejný tunel	ražba tunelu TBM
SO 06-22	Pravý ražený jednokolejný tunel	ražba tunelu TBM
SOD 07	Stanice Petřiny	
SO 07-22	Tunel obrátových kolejí	ražba tunelu TBM

pozn.: rozlišení na levý a pravý tunel je podle směru ražby

4.3. Hloubené podzemní objekty

Na rozdíl od předchozích částí jednotlivých tras je tato unikátní poměrem ražených a hloubených částí, kdy hloubené téměř nejsou realizovány. Při výstavbě jednoznačně dominuje ražená část realizovaná pomocí ČPHZ.

Hloubené objekty (montážní kruhová jáma na Vypichu, technologické jámy E2 a E1, stanice Motol) jsou realizovány pomocí tří základních technologií.

4.3.1. Milánské stěny

Spočívající ve vyhloubení zářezu drapákem pod ochranou pažící suspenze, která zabraňuje zborcení stěn. Po vyhloubení je do rýhy vložena armovýtzuž a od dna betonována s postupným odčerpáváním pažící suspenze. Pro eliminaci nedokonalé betonáže je možno do rýhy instalovat přímo betonové prefabrikáty.

4.3.2. Záporové stěny

Realizované pomocí zápor z ocelového profilu HEA nebo HEB, instalované do předem zhotoveného vývrtu se zabetonovaným dnem vývrtu s dostatečným přesahem pod budoucí dno jámy. S postupným hloubením jámy se stěna zajišťuje dřevěným pažením mezi zápor. Podle hloubky a statického výpočtu se stěna zajišťuje převázkami, upevněnými lanovými kotvami.

4.3.3. Pilotové stěny

Které se zhotoví pomocí železobetonových pilot, vrtaných v řadě. Po vyvrtání se do vývrtu vloží armokoš a pilota se zalije betonem. Piloty se vrtají buďto s určitou vzdáleností od sebe nebo v případě méně stabilních zemin se realizují tzv. převrtávané piloty, kdy se s osovou vzdáleností menší než dvojnásobek průměru piloty realizují piloty z prostého betonu a mezi ně se částečně „převrtají“ a realizují železobetonové piloty. Tímto způsobem se zhotoví kompaktní pilotová stěna.

5. Monitoring ražeb na povrchu i v podzemí

Součástí procesu ražby podzemních děl je také monitoring, a to jak v podzemí (konvergenční měření v profilu), tak na povrchu v pásmu ovlivnění. Na povrchu jsou v předpokládané poklesové kotlině měřeny poklesy terénu, inženýrských objektů i zástavby.

Součástí monitoringu je nejen měření, ale také vyhodnocení a stanovení případného varovného stavu pro sledovaný objekt, což je přiblížení skutečných poklesů k hodnotě A, stanovené projektantem jako očekávané mezní hodnotě.

Tabulka č. 3: Zásady pro hodnocení varovných stavů.

č. 1 stav přípustných změn	75 % 100 %	Hodnoty deformací jsou v rozsahu 75 - 100 % hodnoty A, a trendy vývoje konvergují	Žádná opatření
č.2 stav mezní přijatelnosti	100 %	Hodnoty deformací jsou v rozsahu 75 - 100 % hodnoty A, a trendy vývoje nekonvergují	Technická a organizační opatření, vyšší četnost měření
	125 %	Hodnoty deformací jsou v rozsahu 100 - 125 % hodnoty A, a trendy vývoje konvergují	
č.3 stav kritický	125 %	Hodnoty deformací jsou v rozsahu 100 - 125 % hodnoty A, a trendy vývoje nekonvergují	Další technická a organizační opatření, sledovat účinnost technických opatření
	>125%	Hodnoty deformací jsou větší než 125 % hodnoty A, a trendy vývoje konvergují	

Při ražbě TBM obecně dochází k minimálním deformacím na povrchu terénu. Aby byla metoda TBM skutečně nejšetrnější vůči objektům povrchové zástavby, je nutno průběžně kontrolovat deformace nadloží tunelu a deformace zástavby. Proto bude nedílnou součástí této metody kontinuální monitoring objektů povrchové zástavby.

Kontinuálním monitoringem se rozumí soubor měření v nadloží tunelu, povrchové zástavbě a v podzemí během ražeb v reálném čase s automatickým odečtem měřených

hodnot a s digitálním on-line přenosem naměřených dat účastníkům výstavby. Automatický odečet měřených hodnot probíhá v předem nastaveném a volitelném časovém intervalu. Na samotném stroji TBM probíhá kontinuální monitorování tlaku na čelbě tunelu.

Geomonitoring tak, jak je u nás dosud na většině tunelových staveb prováděn, není kontinuální. To znamená, že se základní měření (konvergence, deformace budov atd.) provádí v etapách, v četnosti maximálně jednou denně. Tento postup vyhovuje při klasické metodě ražby (např. NRTM), kde čelba obvykle postupuje rychlostí 1 - 3 m za den.

Současný návrh geomonitoringu samozřejmě počítá s osazením měřicích bodů a inklinometrů na objekty v zóně poklesů, měření je však navrženo provádět sekvenčně (po etapách).

Důležitým faktorem vedoucím k úspěšnému provedení ražeb pomocí EPBM je vhodná koordinace veškerých měření a okamžitá reakce na nestandardní situace (např. změna parametrů stroje při nárůstu deformací). Z těchto důvodů a pro maximální eliminaci rizik spojených s ražbou bude stávající systém geomonitoringu doplněn/změněn tak, aby byl plně kompatibilní s navrženou metodou ražby pomocí EPBM a předpokládaným systémem pro sledování ražby. Použitý informační systém CBP – Tunnel Construction Information System pak poskytuje informace o parametrech činnosti TBM v reálném čase. Pro efektivní vedení ražby v režimu EPBM je nutné do tohoto systému zasílat informace z kontinuálního monitoringu na povrchu, např. sledováním poklesů na vybraných objektech atd. Tím je zajištěno, že obsluha TBM bude v reálném čase informována, jak na ražbu reagují povrchové objekty a bude moci okamžitě rozhodovat o nezbytných úpravách parametrů činnosti stroje a postupu.

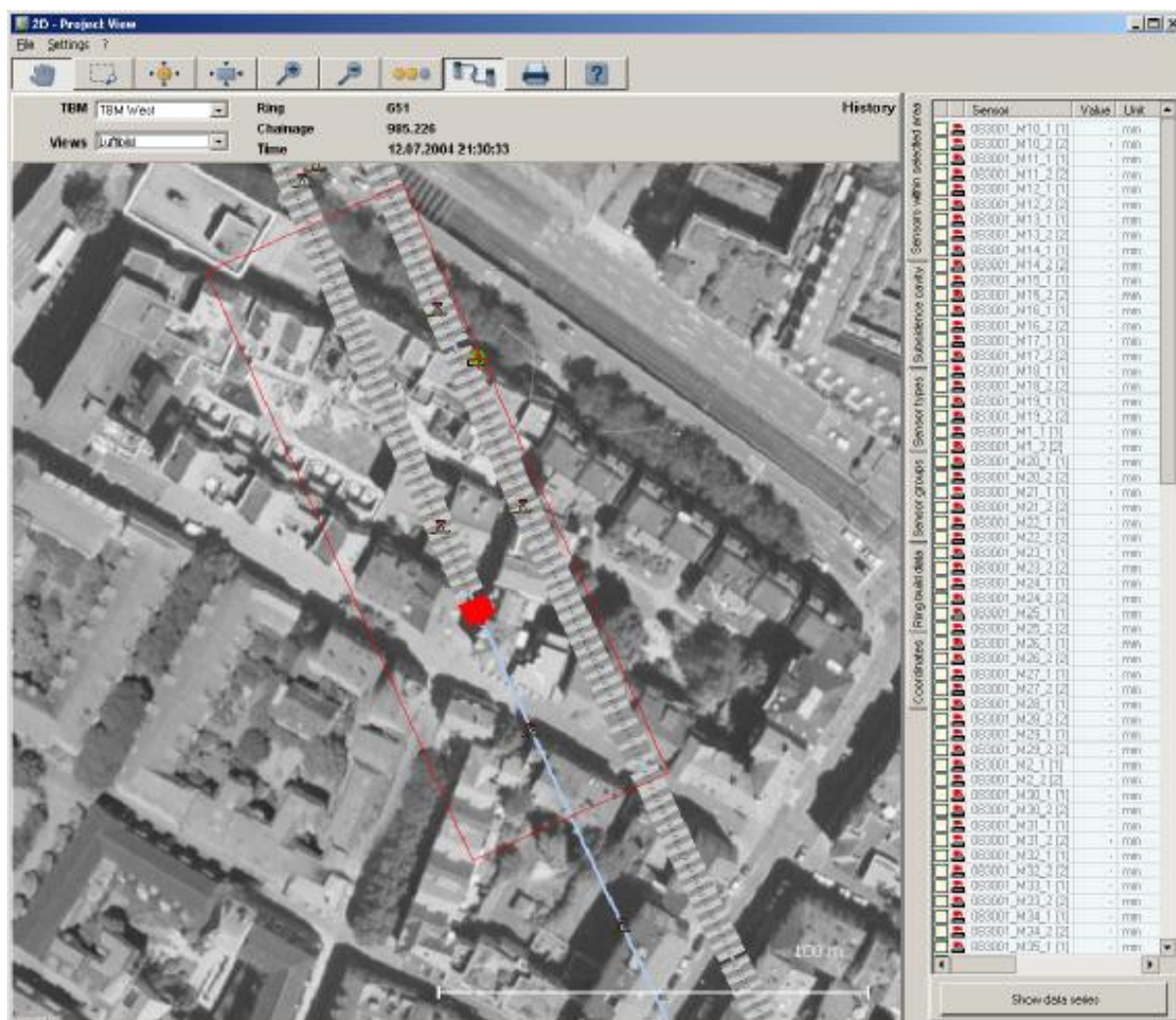
Oproti NRTM stroj TBM postupuje mnohem rychleji, průměrnou rychlostí cca 12 m/den. To znamená reálnou rychlost postupu - po odečtení časů na nutné technologické přestávky - až 20 m/den. Přímé ovlivnění jedné budovy v důsledku ražby tak může trvat 1-3 dny.

Z uvedeného vyplývá, že pokud by se použila při ražbě metodou TBM dosud obvyklá četnost měření monitoringu, byla by nedostatečná, především z hlediska bezpečného vedení ražby a reakce na nestandardní situace. Pro bezpečné a šetrné vedení ražby metodou EPBM je nutné průběžně sledovat, jak nadloží a budovy reagují. To je možné ovlivňovat okamžitou změnou některých parametrů činnosti stroje (např. úpravou tlaku na čelbě, injektážních tlaků, atd.). tak, aby byly dopady ražby TBM na nadloží a budovy co nejmenší.

Dalším úkolem kontinuálního monitoringu je průběžné zajištění průkazu bezpečnosti budov z hlediska jejich obyvatel.

Výsledky měření budou přenášeny do informačního systému pro řízení ražby TBM - systém CBP od VMT GmbH.

Obrázek č. 3: Zobrazení polohy TBM v zástavbě systémem CBP na obrazovce strojníka



Nasazení kontinuálního monitoringu na lokalitě sídliště Červený vrch, dále pak obytného souboru Hvězda a nad tunelem obratových kolejí stanice Petřiny přispěje k maximální bezpečnosti ražeb a zmenší možné negativní ovlivnění povrchu území a budov ražbou technologií TBM.

6. Postup výstavby

Základním parametrem je termín dokončení stavby. S ohledem na podmínky spolufinancování z fondů Evropské unie musí být trasa zprovozněna v roce 2014. Termínu dokončení a bezpečné realizaci díla bylo maximálně přizpůsobeno technické řešení výstavby.

S ohledem na celkovou dopravní vytíženost současné konečné stanice Dejvická, není možné zahájit práce ve směru prodloužení, ale trasa bude stavěna „odzadu“ tedy od budoucí konečné stanice Motol směrem k provozované stanici Dejvická.

6.1. Předvýrobní příprava

Základem nasazení technologie TBM je bezchybná předvýrobní příprava. Jakékoli podcenění této fáze zakázky se projeví potřebou náhradního technického řešení, zpožděním a vysokými dodatečnými náklady. Zvolený dodavatel technologie potřebuje co nejlepší informace o prostředí do kterého má být nasazena. Geologický průzkum předmětné lokality by měl být minimálně stejně důkladný jako pro technologii NRTM. Bohužel stavebník (investor) je mnohdy jiného názoru, a na dostatečný geologický průzkum není ve fázi tvorby nabídky dostatek prostoru. Nabídka do veřejné obchodní soutěže již musí zvolenou technologii obsahovat, takže po případném vítězství v soutěži již může být zase pozdě.

Dalším důležitým prvkem je logistika. Podle rychlosti ražby je nutno dostatečně dimenzovat zásobování ražby tybinky, provozními hmotami a zejména elektrickou energií, neboť ve srovnání s ražbami NRTM potřebujeme příkon o řád vyšší, na což většinou nejsou páteřní sítě místních provozovatelů připraveny a přípojný bod s dostatečnou kapacitou je značně vzdálen od staveniště.

Logistika musí zahrnovat rovněž odtěžení rubaniny z tunelu na mezideponii a její odvoz na skládku, což v podmínkách silně urbanizovaných území nemusí být jednoduchou záležitostí. Zhotovitel je povinen dodržovat předem určené odvozové trasy a mnohdy také denní dobu odvozů, kdy v dopravní špičce není dovoleno odvozy realizovat.

V nabídce jsme zvolili odtěžení rubaniny i zásobování ražeb pomocí kolejové dopravy, ale zmenšený rozsah zařízení staveniště nás donutil použít pro odtěžení prostorově úspornější pásové dopravníky. Jejich výhodou je také nižší hlučnost. Jelikož investice do kolejiště je značná, zhodnotili jsme, že v případě použití pásových dopravníků místo těžních vozů, je ekonomičtější a operativnější použít pro dopravu tybinků bezkolejové dopravní prostředky, tedy MSV.

Obrázek č.4: Fotografie hotového štítu při převzetí



6.2. Zařízení staveniště BRE1

Zařízení staveniště určené jako logistické zázemí pro ražbu přístupové štoly Kateřina a z ní pokračující dvoukolejný tunel sloužící zároveň jako montážní komora pro štíty TBM.

Zároveň je z tohoto staveniště ražena přístupová štola Markéta, která umožňuje realizovat v předstihu stanici Petřiny, kterou budou razící štíty pouze protaženy.

Od zahájení ražeb TBM slouží staveniště jako logistické zázemí pro štíty. Je zde vybudováno míchací centrum pro injektážní směsi, chladicí zařízení pro technologickou vodu a skladovány segmenty železobetonového ostění.

6.3. Zařízení staveniště E2

Staveniště určené jako 2. logistické zázemí pro ražbu tunelů TBM. Po protažení stanicí Veleslavín se štíty prorazí do již zhotovené stavební jámy, protáhnou se na protilehlý konec a opětovně zarazí do masivu.

Po zaražení štítů v celé jejich délce dojde k přestěhování celého zázemí ze staveniště BRE1 (míchací centrum, chlazení, ventilátory, hala) a ražby budou dále zásobovány a řízeny z tohoto místa.

Díky tomuto způsobu dojde k uvolnění již zhotovené trasy a bude možno dělat definitivní ostění ve stanicích Petřiny a Veleslavín, propojky mezi jednokolejnými traťovými tunely a kolejové betony.

6.4. Zařízení staveniště E1

Staveniště bude po doražení do stanice Dejvická jediným přístupem do traťových tunelů v úseku mezi stanicemi Červený vrch a Dejvická.

Bude sloužit k vyklizení částí demontovaných štítů a k zásobování ražeb propojek. Dále budeme touto jámou zásobovat činnosti při realizaci podkladních a kolejových betonů.

6.5. Současný stav ražby traťových tunelů

Pro optimalizaci doby potřebné k výstavbě byla nejdříve zhotovena pomocí NRTM část dvoukolejného traťového tunelu mezi stanicí Motol a stavenišťem BRE1 na Vypichu, který je využíván pro montáž strojů TBM a zahájení ražeb dvou jednokolejných tunelů ve směru Dejvická. Pro přístup do traťových tunelů byla realizována NRTM úpadní přístupová štola Kateřina, která slouží také pro odtěžení rubaniny z ražby tunelů pásovým dopravníkem na mezideponii.

Pro instalaci strojů byla v místě přechodu z dvoukolejného tunelu na jednokolejné vyhloubena kruhová jáma, zajištěná převrtávanými pilotami. Z ní byly pro start štítů vyraženy krátké kruhové zarážky. Části levého štítu i závěsy byly postupně spouštěny na upravené dno jámy, kde proběhla jejich kompletace. Ražba prvním štítem byla zahájena 14.4.2011. Druhý štít bude kompletován po uvolnění montážní komory, tj. po kompletním zaražení prvního do masivu.

Postup štítů před doražením do stanice Petřiny, která je první ve směru ražby bude cíleně regulován, a to proto, abychom stihli stanici před doražením štítů vyrazit.

Existují dva způsoby podzemního řešení v prostoru budoucích stanic, kterými prochází traťové tunely ražeb TBM. V prvním případě se v předstihu realizují ražby v prostoru kolejí pomocí NRTM v primárním ostění a štíty se jimi protáhnou a na protilehlém konci opět zahájí ražbu.

V druhém případě, když není možno realizaci výrubu stanice stihnout před doražením štítů je nutno část nebo celou stanici vyrazit pomocí TBM a následně traťové tunely přebudovat do většího profilu. Toto řešení je mnohem pracnější a nákladnější, ale také celkově rychlejší, než kdyby štíty musely čekat.

Bohužel zpoždění způsobené mnoha faktory počínaje několikanásobným odložením termínu podání nabídky, zdržením vyhlášení výsledků veřejně obchodní soutěže, nepředáním stavenišť v plánovaných termínech a nedodržení původního rozsahu stavenišť zapříčinilo, že stanice Veleslavín nebude včas připravena na protažení TBM, proto bude nutno část tunelu po ražbě TBM přerazit do většího profilu.

Ražby štíty budou ukončeny prorážkou do provozované stanice Dejvická, kde budou demontovány a transportovány novým i stávajícím úsekem trasy metra A. Na tuto operaci zatím hledáme vhodné technické řešení, neboť prostor, který mám ve stanici vyhrazen, neumožňuje standardní demontáž.

6.6. Stanice Červený Vrch

Výstavba jednolodní stanice Červený Vrch je realizována z přístupové štoly ze zařízení staveniště CV3, která má portál v parku ulice K Lánu. Svými parametry je tato stanice blízká stanici Petřiny a bude prováděna rovněž NRTM s vertikálním členěním výrubu.

Přístupová štola bude procházet skrz předem vyhloubenou šachtu větracího objektu. Tato šachta bude hloubena ze zařízení staveniště CV1. Po vyražení stanice bude do ní proražen eskalatorový tunel, který bude ražen úpadně ze stavební jámy vestibulu stanice. Po protažení TBM strojů stanicí a vybetonování sekundárního ostění, bude jako poslední vyhloubena výtahová šachta.

6.7. Stanice Veleslavín

Výstavba ražené trojlodní stanice Veleslavín bude prováděna z místa zajištěné stavební jámy u křižovatky ulic Evropské a Veleslavínské. Při její výstavbě technologií NRTM budou nejprve vyraženy oba boční staniční tunely a po jejich zajištění trvalým ostěním bude teprve vyražen střední staniční tunel.

Ražba obou dílčích výrubů v délce 2 x 172m bude probíhat současně, odstup jednotlivých čeleb bude stanoven v RDS. Ražba bude probíhat s horizontálním členěním na kalotu a opěří a dno v technologické třídě 4 a 5a se záběry 1,5 a 1,0m. Střední výrub bude vyražen až po zhotovení sekundárního ostění bočních výrubů.

Jak již bylo zmíněno, tento SOD je značně opožděn oproti původnímu harmonogramu, neboť zařízení staveniště nebylo předáno zhotoviteli včas a jeho rozsah je značně omezen provozovanou čerpací stanicí, která podle DVZ měla být zbourána.

6.8. Stanice Petřiny

Výstavba stanice Petřiny je v současné době prováděna z přístupové štoly Markéta ze ZS BRE1. Tento typ ražené jednolodní stanice byl poprvé v Praze navržen na trase IV.C1 Holešovice – Ládví ve stanici Kobylisy. Výstavba je prováděna metodou vertikálního členění výrubu, kdy plného profilu stanice bude dosaženo

pomocí několika výrubů dílčích. Tato metoda zaručuje maximální bezpečnost a minimalizuje deformace nadloží.

Ražba stanice bude probíhá s vertikálním členěním rozdělující plochu výrubu na dva boční tunely a jeden tunel střední. Záběry ražby jsou (dle zatřídění horniny) realizovány v rozsahu 0,8 ÷ 1,5 m. ražba je prováděna v pořadí: první boční tunel, druhý boční tunel, kalota středního tunelu a jako poslední dno středního tunelu. Přičemž provizorní stěny bočních tunelů budou vybourány vždy až po realizování dna středního tunelu a tedy po uzavření celého profilu.

Nadloží stanice se pohybuje okolo 27 m. Přibližně 2/3 raženého profilu budou pod hladinou podzemní vody. jako rizikový pro ražbu označuje geologický průzkum pouze prostředí pískovců, kde by mohly být zastiženy soustředěné výtoky vody. Vlastní horninový masiv bude mít většinou zatřídění do technologické třídy IV., což by mělo umožnit převážně nedestruktivní ražbu (s výjimkou dna).

6.9. Další postup výstavby

Stanice Červený Vrch, Veleslavín a Petřiny jsou podzemními raženými stanicemi, které jsou realizovány technologií NRTM. Jedinou stanicí hloubenou z povrchu bude Motol, jehož realizace již byla zahájena. Traťový dvoukolejný tunel je navržen ze zařízení staveniště BRE1 na Vypichu do stanice Motol, stejně jako dvoukolejný obratový tunel za stanicí Motol, které budou raženy NRTM. Traťové jednokolejné tunely ze zařízení staveniště BRE1 až do stanice Dejvická jsou raženy technologií TBM, jak již bylo zmíněno výše. Dodavatelem razících komplexů je německá společnost Herrenknecht, která patří mezi elitní světové výrobce, navíc s největšími zkušenostmi s navrhováním TBM do složitých geologických prostředí, ve kterých bude ražba v Praze prováděna.

Zvolenou technologií TBM pro výstavbu traťových tunelů je způsob výstavby prodloužení metra V.A odlišný od výstavby předchozích tras a je také technologií zásadní. Traťové jednokolejné tunely v úseku BRE1 – Dejvická budou raženy ze dvou pracovišť (nejprve ze ZS BRE1, poté ze ZS E2).

Obě tato zařízení staveniště budou sloužit jako logistická centra pro zásobování obou razících komplexů. V první etapě ražeb ZS BRE1 – ZS E2 budou v určitém okamžiku zastaveny stavební práce na stanicích Petřiny a Veleslavín, kterými po protažení štítů bude probíhat zásobování stavebními materiály a opačným směrem doprava rubaniny pásovými dopravníky. Po projetí obou razících komplexů stavební jámou na ZS E2 bude logistické centrum ze ZS BRE1 přemístěno na ZS E2 a práce na stanicích Petřiny a Veleslavín budou obnoveny. Obdobná situace nastane ve stanici Červených Vrch, kde budou přerušeny práce až do doby úplného dokončení ražeb do stanice Dejvická, zrušení pásové dopravy, demontáže a odvozu obou razících komplexů.

Po ukončení ražeb technologií TBM budou mezi traťovými tunely vyraženy pomocí NRTM vzduchotechnické propojky. V této době bude v úseku ZS BRE1 – ZS E2 betonáž kolejových betonů (vzduchotechnické propojky již budou realizovány v době ražeb TBM v úseku ZS E2 - Dejvická). V úseku E2 – E1 bude probíhat ražba vzduchotechnických propojek a v úseku E1 – Dejvická bude demontována technologie TBM, která bude z části jámou na ZS E1 a z části provozovanou trasou na Depo Hostivař vyklizena na povrch.

Po ukončení hlavní stavební výroby, kterou jsou ražby a konstrukce tunelů, stanic a konstrukce v hloubených úsecích, budou pokračovat práce na kolejovém svršku, práce HSV a PSV, architektonické úpravy uvnitř stanic i na povrchu, s postupným předáváním stavebních připraveností pro realizaci technologické části stavby.

Výše popsaný způsob realizace výstavby prodloužení metra V.A spočívá v zásadním ovlivnění postupu výstavby ražbou traťových tunelů technologií TBM, která má díky nutnosti obousměrného zásobování (nejdříve ze ZS BRE1, poté ze ZS E2) dopady do všech ostatních částí stavby, kterými prochází, na rozdíl od výstavby předchozích tras, kdy byla celá liniová stavba rozdělena na dílčí víceméně nezávislé úseky.

7. Závěr

Mimořádné události minulých let ukázaly, že bezchybná realizace podzemních děl je věcí velmi problematickou. V dnešní době, kdy se na realizaci podílí stavebník (investor), mnohdy bez odborných znalostí, TDS, jehož zájmem je hlavně udržet požadované náklady, případně je snížit, projektant, který naopak náklady svými bezpečnostními koeficienty zvyšuje a nakonec zhotovitel, který je jediný postižitelný báňskou legislativou, které ČPHZ podléhá, je velmi obtížné vyhnout se selhání celého systému, neboť v zájmu maximální efektivity jsou různí účastníci stavebního procesu odměňováni na základě splnění různých, navzájem protichůdných ukazatelů, což neprospívá společnému cíli.

Plnoprofilové razicí štíty jsou jednoznačnou odpovědí na výše uvedené skutečnosti. Dá se zjednodušeně říci, že jsou také jednoznačným vítězstvím znalostí strojaře, který se řídí normami a fyzikálními zákony, nad umem havíře, který se řídí citem a po generace předávanými zkušenostmi. Pravdou ovšem je, že tunelářské znalosti, potřebné při NRTM v průběhu výstavby, se u TBM přesunuly do fáze předvýrobní přípravy, neboť přizpůsobení mechanizace v době ražeb již není možné.

Žádná razicí metoda není neomylná, omylný je pouze člověk, který ji realizuje. Ražby na stavbě Prodloužení trasy metra V.A byly zatím pouze zahájeny, ale jelikož se na zakázce podílím téměř od začátku a pro její úspěch dělám maximum, podobně jako všichni členové týmu, jsem přesvědčen o úspěchu této akce.

Podmínkou čtenějšího nasazení této technologie je ale změna přístupu stavebníků (investorů) k samotnému investičnímu záměru. Již ve fázi návrhů je nutno uvažovat o jejím nasazení a přizpůsobit projekt.

8. Seznam použitých pramenů

Pro zpracování Bakalářské práce byly použity podklady společností Metrostav a.s., Metroprojekt Praha, a.s., Dopravní podnik hl. m. Praha a Arcadis Geotechnika a.s., které byly postupně vytvářeny v rámci této stavební akce.

- [1] DVZ (Metroprojekt Praha a.s.)
- [2] DÚR (Metroprojekt Praha a.s.)
- [3] Nabídka zhotovitele do soutěže (Metrostav a.s.)
- [4] DPS (Metroprojekt Praha a.s.)
- [5] Předběžný geotechnický průzkum 2007 (Arcadis Geotechnika a.s.)
- [6] Doplnující inženýrskogeologický průzkum pro SOD 02 (Arcadis Geotechnika a.s.)
- [7] Výkresová dokumentace (Metroprojekt Praha a.s.)
- [8] Výkresová dokumentace (Herrenknecht AG)
- [9] Výkresová dokumentace (GeoTec GS)

9. Přílohy

- Příloha č.1: – Technicko – informační mapa
- Příloha č.2: – Schéma razícího štítu
- Příloha č.3a: – Přehledný geologický profil v km 10,000 – 13,000
- Příloha č.3b: – Přehledný geologický profil v km 13,000 – 16,178
- Příloha č.4: – Cyklogram výstavby trasy metra V.A
- Příloha č.5: – Zařízení staveniště BRE1
- Příloha č.6: – Zařízení staveniště E2