RAŽENÉ TUNELY NA PRODLOUŽENÍ TRASY A METRA
MINED TUNNELS ON THE METRO LINE A EXTENSION

JAN KOREJČÍK, JIŘÍ RŮŽIČKA

ÚVOD

Podrobný popis pokračování trasy A pražského metra ze stávající stanice Dejvická na Letiště Ruzyně včetně směrového a výškového řešení je náplní článku „Prodloužení trasy A metra na Letiště Ruzyně“ uveřejněném rovněž v tomto čísle časopisu Tunel. Je v něm uvedeno umístění jednotlivých stanic a jejich konstrukční systém, rozdělení traťových tunelů dle použité technologie výstavby, členění na jednokolejné a dvoukolejné úseky a výčet dalších nezbytných technologických objektů. Tento příspěvek se soustředí na celkovou koncepci ražeb a popis jednotlivých ražených úseků trasy, které byly zpracovány v dokumentaci pro územní rozhodnutí firmou METROPROJEKT Praha, a. s.

ZPŮSOB VÝSTAVBY

Převážná část prodloužení trasy metra A je navržena jako ražená. V mezistaničních úsecích jsou jako hloubené navrženy pouze stavební jámy, určené pro zahájení a obsluhu ražeb traťových tunelů a následně pro výstavbu hloubených technologických objektů spojených s konstrukcí hloubených tunelů. Z celkových 8 navrhovaných stanic jsou jako hloubené navrženy pouze 2 – stanice Motol a stanice Dědina.

Hlavním důvodem pro tak velký rozsah ražených úseků je vedení trasy hustě zastavěnou oblastí severozápadního sektoru Prahy, z velké části pod povrchovou zástavbou nebo pod hlavními dopravními tepnami města, jako je například ulice Evropská. Nedostatek volného prostoru na povrchu terénu a problémy s dopravními omezeními neumožňují použít technologii hloubení ve větším rozsahu.

V několika nezastavěných úsecích znemožňuje hloubení výškové řešení trasy, kterou není možno vést mělce pod terénem. Omezení způsobuje složitá morfologie terénu, vazba na nově budované stanice modernizované železniční tratě Praha – Kladno a v neposlední řadě i maximální přípustný podélný sklon trasy metra 40 ‰.

Nespornou výhodou ražené technologie je soustředění stavební činnosti pouze do prostoru zařízení staveniště. Omezení způsobená stavbou, jako jsou dočasné zábory včetně odstranění zeleně, nebo zvýšená hladina hluku, prašnosti a znečištění okolí tak nemusí být v rozsahu celého stavebního úseku. Ražený způsob výstavby je tak šetrnější k životnímu prostředí.

VÝBĚR TECHNOLOGIE RAŽBY TRAŤOVÝCH TUNELŮ

V posledních letech byla při výstavbě nových ražených úseků pražského metra používána téměř výhradně Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM) s využitím trhacích prací nebo s mechanizovaným rozpojováním horniny.

S ohledem na relativně velkou celkovou délku nového úseku 12,64 km a další faktory popsané níže, byla pro ražbu traťových tunelů v souladu s celosvětovým trendem navržena v převážném rozsahu ražba pomocí moderních tunelovacích strojů, souhrnně označovaných jako TBM (Tunnel Boring Machine). Staniční tunely a ostatní ražené objekty budou realizovány technologií NRTM.

Hlavním kritériem pro výběr technologie ražby traťových úseků byla snaha o minimalizaci poklesů terénu nad raženými tunely. Ražba v daných geologických podmínkách pod povrchovou zástavbou, frekventovanými komunikacemi s řadou inženýrských sítí a v některých úsecích i tramvajovými tratěmi by byla technologií NRTM možná jen s obtížemi. Pro omezení deformací nadloží by bylo třeba provádět doplňující opatření, jako je například vertikální členění výrubu, kotvení čelby apod. To výrazně zpomaluje stavební postupy, zvyšuje náklady a přesto nelze dosáhnout poklesů dosahovaných při ražbě TBM v obdobných podmínkách. Proto je ražba pomocí NRTM navržena jen v místech, kde je to nezbytně nutné. Jedná se o části traťových úseků u stanice Motol, která má boční

INTRODUCTION

A detailed description of the Metro Line A route continuing from the existing Dejvická station to the Ruzyně international airport, including the horizontal and vertical alignment, is contained in this paper “Metro Line A Extension to Ruzyně Airport”, which is also published in this issue of Tunel magazine. The paper informs about locations of individual stations and their structural systems, the division of running tunnels in terms of the construction method to be used, the division into cut-and-cover and mined sections and provides a summary of other necessary structures for equipment and services. This paper is focused on the overall concept of the excavation and the description of the individual mined sections of the route which were incorporated into the design documentation for issuance of zoning and planning decision by METROPROJEKT Praha a.s.

CONSTRUCTION PROCEDURE

The major part of the metro line A extension will be constructed by mining methods. There will be only construction trenches in the interstation sections, which will be used for the starting of the excavation of running tunnels and access to the headings; subsequently cut-and-cover structures for equipment and the linking cut-and cover sections of the tunnels will be built in the construction trenches. Only two of the 8 stations being designed will be built as cut-and-cover structures, i.e. Motol Station and Dědina Station.

The main reason for such a large proportion of mined tunnels is the fact that the route passes through a densely developed area of the north-western sector of Prague, frequently under existing buildings or arterial roads such as Evropská Street. The lack of free space on the ground surface and problems with traffic restrictions do not allow contractors to use cut-and-cover techique to a larger extent.

The cut-and-cover technique cannot even be used in several open areas because of the vertical alignment of the route, which cannot run at a shallow depth under the surface. The reason is the complex morphology of the terrain, relationships with the newly built stations on the railway line Prague – Kladno, which being upgraded and, at last but not least, the maximum permissible longitudinal gradient of metro tracks of 40 ‰.

Undisputable advantage of the mining option is the fact that construction activities can be concentrated only in the area of the construction site. Constraints affecting the construction, such as temporary occupation of land including the cutting of trees and shrubs, the increased noise and dust level and pollution of the construction surroundings do not have to exist throughout the length of the whole construction section. The use of mining methods is therefore more considerate to the environment.

SELECTION OF THE RUNNING TUNNEL EXCAVATION TECHNIQUE

In recent years, new mined sections of Prague Metro have been driven nearly solely by the New Austrian Tunnelling Method (NTAM) combined with the drill-and-blast technique or with mechanical rock/ground disintegration.

Considering the relatively great overall length of the new section (12.64km) and the other below-mentioned factors, the excavation using tunnel boring machines (TBM) was selected for the majority of the running tunnel excavation design, following the worldwide trend. The station tunnels and other mined structures will be built using the NATM.

The main criterion for the selection of the excavation technique for the running tunnels was an effort to minimise the settlement above the mined tunnels. The excavation using the NATM would be possible only with difficulties because of the geological conditions, the passage under existing buildings and busy streets with many utility services, in some sections even carrying tram traffic. Deformations in the overburden could be restricted only by means of additional measures such as vertical division of the excavation face, anchoring of the face etc. Despite the fact that such measures significantly reduce the advance rates and increase the costs, the low settlement values achievable by the TBM technology in similar conditions cannot be achieved. For that reason the NATM excavation is designed only for such

nástupiště. Zde budou realizovány dvoukolejné traťové tunely. Při etapovité výstavbě této trasy metra bude dvoukolejný traťový tunel u stanice Motol (směrem ke stanici Bílá Hora) využíván dočasně pro obraty vlaků metra.

Druhým hlavním kritériem byla rychlost výstavby, která úzce souvisí s konečnou cenou stavebního díla. Je obecně známo, že kromě nákladů na stavební materiály tvoří výslednou cenu i položky závislé na čase, přičemž jejich podíl na celkové ceně roste s rostoucí dobou výstavby. Naopak při ražbě pomocí TBM se s rostoucí délkou ražby snižuje podíl fixních počátečních vysokých nákladů na pořízení stroje.

Celková koncepce návrhu ražeb traťových tunelů pomocí TBM byla ovlivněna rovněž výběrem vhodného volného prostoru pro zařízení staveniště, které je oproti ražbě NRTM větší, protože je kumulováno na jediném místě pro delší úsek trasy. Je to způsobeno především nutností deponovat dostatečné množství železobetonových tybinků pro ostění nových tunelů, které zabírají větší plochu než mezideponie rubaniny. Většina vhodných pozemků je v současné době zastavěna nebo není ve vlastnictví města a výběr ploch pro možné zařízení staveniště je značně omezen. Při návrhu postupu ražeb byla brána v úvahu i celková doba výstavby trasy metra. Zároveň bylo třeba vzájemně koordinovat výstavbu traťových úseků s výstavbou jednotlivých stanic, tzn. jestli bude možné vybudovat staniční tunely v předstihu před ražbou traťových tunelů, nebo bude nutné nejprve vyrazit profil traťových tunelů a ten následně rozšířit na profil staniční.

GEOLOGICKÉ POMĚRY

V oblasti navrhovaného prodloužení trasy metra A je předkvartérní podklad budován horninami svrchního proterozoika, paleozoika (ordoviku, siluru) a svrchní křídy. Projektovaná trasa v úseku Letiště Ruzyně – Motol prochází napříč severozápadním křídlem barrandienské synklinály, takže nejstarší horniny budou zastiženy na severozápadě zájmového území a směrem k jihovýchodu se budou vyskytovat horniny mladší. V další části od stanice Motol prochází trasa opačným směrem proti vrstevnímu sledu a v prostoru východně od stanice Veleslavín se přibližuje až k proterozoickým horninám. Odtud se již směr trasy značně sbližuje se směry strukturními a prochází jen nejstaršími souvrstvími ordoviku až ke stanici Dejvická.

Svrchní proterozoikum zahrnuje převážně droby, prachovce a břidlice. Ordovik je zastoupen souvrstvími charakteristickými pro pražskou geologii – souvrství šárecké, dobrotivské, libeňské, letenské, vinické, zahořanské, bohdalecké, královdvorské a kosovské. Převažují jílovité břidlice, dále jsou zastoupeny křemence, křemenné pískovce, prachovce, písčité a prachovité břidlice a droby. V okolí stanice Motol vystupuje zpod křídy liteňské souvrství siluru tvořené převážně jílovitými a vápnitými břidlicemi.

Paleozoické horniny jsou zvrásněné, s generelním úklonem vrstev mezi 30 – 60° k jihovýchodu. Z hlavních tektonických linií se v horninách ordoviku a siluru uplatňuje okrajový podélný zlom, který patří k pražskému zlomovému pásmu a objevuje se v blízkosti trasy ve svahu pod stanicí Motol. Druhou význačnou tektonickou linií je šárecký zlom, který prochází napříč trasou severně od trasy u stanice Veleslavín.

Převážnou část horninového prostředí, ve kterém prochází výrub metra severozápadně od Litovického potoka, ve svrchních partiích Bílé hory a pod oblastí Petřin, tvoří sedimenty svrchní křídy peruckého, korycanského a bělohorského souvrství. Jedná se o pískovce, prachovce, slínovce, jílovce a slepence. Křídové horniny jsou subhorizontálně vrstevnaté a spočívají diskordantně na podložních paleozoických a proterozoických horninách.

Na vrcholové plošině Bílé hory se vyskytuje relikt neogénních písčitých štěrků, kvartérní sedimenty jsou v území celé trasy zastoupeny uloženinami eolickými, eolicko-deluviálními, deluviálními, fluviálními, deluviofluviálními a antropogenními.

Z hydrogeologického hlediska je proterozoikum a paleozoikum prostředím s omezenou puklinovou propustností a v rozloženém skalním masivu i omezenou průlinovou propustností, v obou případech s velmi nízkou vydatností podzemních vod. Ve svrchní křídě je nutné počítat s oddělenými zvodněmi jednotlivých souvrství s převážně puklinovou až průlino-puklinovou propustností. Zvodnění kvartérních pokryvů je vázáno především na údolní fluviální sedimenty, kde hladina podzemní vody komunikuje s vodami ve vodotečích. Periodické zvodnění lze očekávat i v deluviofluviálních sedimentech.

locations where it is absolutely necessary. Such the sections are found in parts of the track sections adjacent to Motol Station, which will have side platforms. There will be double-rail tunnels in these sections. In the context of the division of the construction of this metro line into stages, the double-rail tunnel at Motol Station (heading toward Bílá Hora Station) will be temporarily used for the return of metro trains.

The other main criterion was the speed of the construction, which is closely related to the final cost of the works. It is generally known that, apart from the cost of building materials, the resultant cost also consists of time-dependent items and the proportion of such items to the total cost grows with the growing construction time. Conversely, the proportion of the high fixed initial costs of construction equipment diminishes with the growing length of the boring when a TBM is used.

In addition, the overall concept of the design for the excavation of running tunnels with a TBM was affected by the search for a space suitable for the site facility, which is larger in the case of the TBM drive compared to the NATM because it is concentrated to a single location for a longer stretch of the route. The main reason is the necessity for the storing of sufficient quantity of reinforced concrete segments for the lining of the new tunnels, which take up a larger area than an intermediate muck stockpile. The majority of suitable land is currently either built up or is not owned by the municipality, therefore the choice of areas suitable for the possible site facility is significantly limited. The total excavation time was also taken into consideration when the excavation procedure was being designed. At the same time, it was necessary to coordinate the construction of the running tunnels with the construction of individual stations, which means that the problem had to be solved whether the station tunnels can be carried out in advance, before the construction of running tunnels, or a tunnel with the profile of running tunnels will have to be driven first, to be subsequently enlarged to the station tunnel profile.

GEOLOGICAL CONDITIONS

The Pre-Quaternary bedrock which is found in the area of the planned extension of the metro Line A is formed by the Upper Proterozoic, Palaeozoic (Ordovician, Silurian) and Upper Cretaceous rock types. The Letiště Ruzyně – Motol section of the route selected by the design passes across the north-western wing of the Barrandiene syncline, therefore the oldest rock will be encountered in the north-eastern part of the area affected by the construction; younger rock will be found in the south-eastern direction. The next section of the route, from Motol Station, runs in the opposite direction against the succession of strata; in the area east of Veleslavín Station it even gets close to the Proterozoic rock types. From this location to Dejvická Station, the direction of the route becomes nearly identical with the direction of the rock mass structure and the route no more passes through other strata than the Ordovician ones.

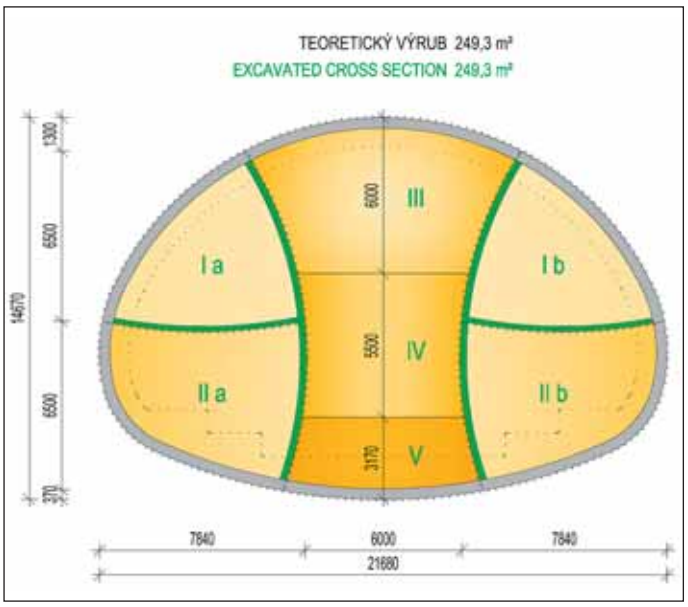
The Upper Proterozoic comprises mostly greywacke, siltstone and shale. The Ordovician period is represented by strata which are characteristic of Prague geology, i.e. the Šárka, Dobrotiv, Libeň, Letná, Vinice, Zahořany, Bohdalec, Králův Dvůr and Kosov Members. Clayey shales prevail; the other rock types present are quartzite, siliceous sandstone, siltstone, sandy/silty shale and greywacke. The Silurian Liteň Member rises from under the Cretaceous formation in the vicinity of Motol Station.

The Palaeozoic rock types are folded, with the layers generally trending south-east at 30 – 60°. Of the main tectonic lines, a boundary fault, which is part of the Prague Fault Zone, asserts itself and emerges in a slope under Motol Station. The other significant tectonic line is the Šárka Fault, which runs across the metro route south of Veleslavín Station.

The predominant part of the rock environment through which the metro excavation will pass north-west of the Litovice Brook, in the upper parts of Bílá Hora and under the Petřín area is formed by sediments of the Upper Cretaceous period (the Peruc, Korycany and Bílá Hora Members), namely sandstone, siltstone, marlstone, claystone and conglomerate. The Cretaceous rocks are sub-horizontally bedded, resting discordantly on the Palaeozoic and Proterozoic rock basement.

A relic of Neogene sandy gravel occurs on the highest plateau of Bílá Hora; the Quaternary sediments are represented in the area of the entire route by aeolian, aeolian-diluvial, diluvial, fluvial, diluviofluvial and anthropogenic deposits.

From the hydrological point of view, the Proterozoic and Palaeozoic environment displays limited fissure permeability and, in the decomposed rock mass, even intrinsic permeability; in both cases the groundwater discharge is very low. Separate aquifers must be expected in individual Upper Cretaceous layers, which mostly display the fissure permeability to intrinsic-fissure permeability. The saturation of the Quaternary cover is primarily bound to the fluvial valley fill, where the water table communicates with the water in a watercourse. Even periodical saturation can be expected in diluviofluvial sediments.



Obr. 1 Ražba jednolodní stanice
Fig. 1 One-vault station excavation

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ RAŽENÝCH STANIC

Z šesti navrhovaných ražených stanic jsou čtyři stanice (Červený Vrch, Petřiny, Bílá Hora a Dlouhá Míle) hluboko uložené ražené jednolodní stanice, kdy výška nadloží nad klenbou staničních tunelů se pohybuje od 12 m do 35 m. Zbývající dvě stanice (Veleslavín, Letiště Ruzyně) jsou navrženy jako trojlodní ražené stanice s relativně malým nadložím, přičemž před stanicí Letiště Ruzyně je kolejové křížení v délce 80 m umístěno v raženém tunelu s příčným profilem obdobným jako staniční tunely ražených jednolodních stanic.

Kaverny jednolodních staničních tunelů s šířkou výrubu 21,7 m a výškou 14,7 m budou raženy technologií NRTM za použití trhacích prací. Předpokládá se jak horizontální, tak i vertikální členění výrubu s primárním zajištěním stříkaným betonem v kombinaci s kotvením. V první fázi budou vyraženy a primárně zajištěny oba boční výruby, které budou ještě horizontálně členěny. Dále bude vyražena a primárně zajištěna střední část výrubu, která bude opět horizontálně členěna a její klenba bude opřena o klenbu bočních výrubů. Velikosti jednotlivých dílčích výrubů budou přizpůsobeny nasazené mechanizaci, tak aby byla zajištěna maximální možná rychlost výstavby. Po primárním zajištění celého staničního profilu bude provedena mezilehlá foliová izolace a nakonec bude provedeno sekundární železobetonové ostění.

U ražené trojlodní stanice celkové šířky 21,9 m a výšky nejvyššího středního tunelu 9,75 m je uvažována opět ražba technologií NRTM za použití trhacích prací. S ohledem na malou výšku nadloží se koncepčně předpokládá nejprve ražba bočních výrubů šířky 9,35 m a výšky 8 m, zajištěných primárním ostěním. Členění výrubu bude horizontální, v případě zhoršených geologických podmínek nebo výskytu inženýrských sítí v nadloží tunelu, citlivých na poklesy, bude členění i vertikální. V těchto prvotních výrubech se provede mezilehlá foliová izolace a definitivní monolitické železobetonové ostění bočních staničních tunelů včetně podélných řad sloupů, tvořících podpory kleneb bočních staničních i následně realizovaného středního staničního tunelu. V technologických částech stanic jsou místo řad sloupů navrženy průběžné podélné nosné dělící stěny. Po dokončení definitivního železobetonového ostění bočních staničních tunelů bude prováděna ražba středního tunelu s horizontálním členěním výrubu.

MINED STATION DESIGN

Of the 6 mined stations being designed, 4 stations (Červený Vrch, Petřiny, Bílá Hora and Dlouhá Míle) are deep-seated one-vault structures; the overburden height ranges from 12m to 35m. The remaining 2 mined stations (Veleslavín and Letiště Ruzyně) will be of the three-vault type, with relatively shallow cover, while the 80m long crossing of tracks before Letiště Ruzyně Station is designed to be in a mined tunnel with the cross section similar to the station tunnels in the one-vault stations.

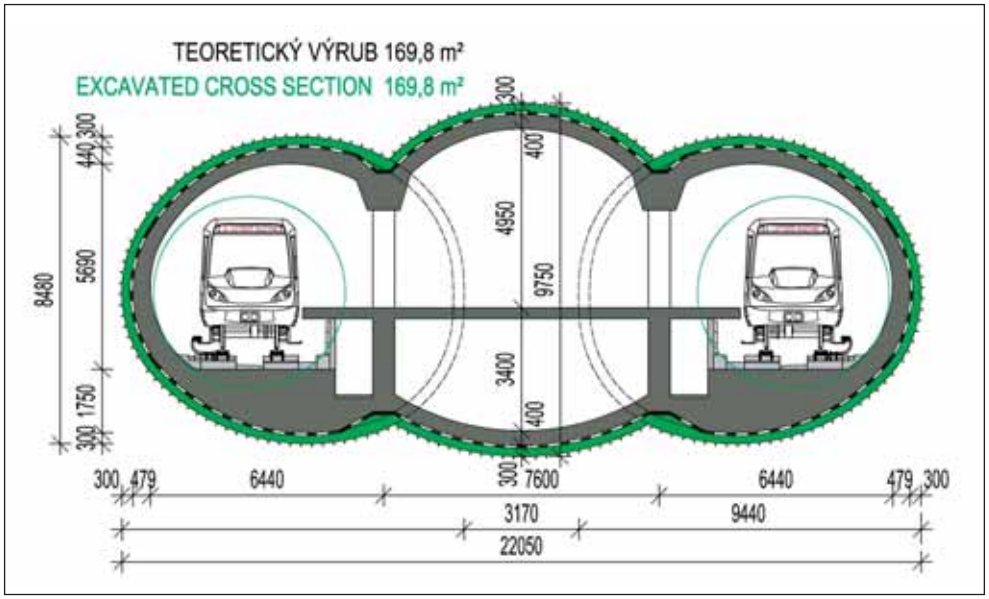
The caverns for the one-vault station tunnels (21.7m wide, 14.7m high) will be excavated using the NATM and drill-and-blast procedures. Both types of the division of the excavation face are assumed to be used, i.e. the horizontal and vertical sequences, with the primary support by shotcrete combined with anchors. The initial phase will consist of the excavation and installation of support of both sidewall drifts (this excavation will be even divided horizontally). The excavation and installation of primary support will follow in the central part, where the horizontal excavation sequence will be applied. The vault of this part will be supported by the vaults of the sidewall drifts. The dimensions of the individual partial headings will be designed to suit the dimensions of the tunnelling equipment so that maximum possible advance rates of the excavation can be achieved. When the whole profile of the station is provided with the primary lining, the intermediate waterproofing system will be applied and, subsequently, the secondary reinforced concrete lining will be erected.

The excavation of the three-vault station, with the overall width of 21.9m and the height of central tunnel, which is the highest of the three, of 9.75m, is assumed to be carried out again using the NATM and blasting operations. With respect to the shallow depth of the cover, the concept assumes that side drifts 8.35m wide and 8m high will be driven and provided with the primary lining first. A horizontal excavation sequence will be used. However, a vertical sequence will take place in the case of deteriorating geological conditions or when utility networks sensitive to settlement are found in the tunnel overburden. These primary openings will be provided with intermediate waterproofing and the final cast-in-situ concrete lining, including longitudinal rows of the columns which support the vaults of the side tunnels of the station and, subsequently, also the vault of the central tunnel of the station. Longitudinal structural dividing walls are designed instead of the columns for the station sections housing equipment. When the final reinforced concrete lining of the side tunnels of the station is finished, the excavation of the central tunnel will start, using a horizontal excavation sequence. Then the intermediate waterproofing will be installed and the final reinforced concrete lining of the central part of the station will be cast.

The other mined parts of the station, such as escalator tunnels, lift shafts, ventilation shafts and galleries will be driven using the NATM, with a horizontal sequence being applied if necessary. The lining structure will be of the double-shell type, with a shotcrete primary lining, intermediate waterproofing and reinforced concrete secondary lining.

RUNNING TUNNEL DESIGN

Single-rail tunnels driven by TBMs will form the majority of mined interstation sections. Double-rail running tunnels will be driven in the vicinity of Motol Station using the NATM.



Obr. 2 Ražená trojlodní stanice
Fig. 2 Three-vault mined station

Obr. 3 Jednokolejný traťový tunel ražený TBM
Fig. 3 TBM-driven single-rail running tunnel

Poté bude provedena mezilehlá izolace a vybetonováno definitivní železobetonové ostění střední části stanice.

Ostatní ražené části stanice, jako jsou eskalátorové tunely, výtahové šachty, větrací šachty a štoly, budou raženy pomocí NRTM s případným horizontálním členěním výrubu. Konstrukce ostění bude opět dvouplášťová s primárním ostěním ze stříkaného betonu, mezilehlou hydroizolací a železobetonovým sekundárním ostěním.

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ TRAŤOVÝCH TUNELŮ

Převážná část ražených mezistaničních úseků je navržena jako jednokolejné tunely ražené pomocí TBM. V okolí stanice Motol budou vybudovány dvoukolejné traťové tunely ražené technologií NRTM.

Ražba prováděná vhodným typem tunelovacího stroje TBM zaručuje v proměnlivých geologických podmínkách a zejména v úsecích pod povrchovou zástavbou minimální deformace terénu a zároveň velkou rychlost ražby. Pro tento projekt je uvažováno nasazení zeminových štítů EPB (Earth Pressure Balance), které jsou schopny razit i ve zcela porušených horninách a v měkkých horninách charakteru zemin. Současně lze stroj během několika hodin přestrojit na TBM s otevřeným čelem, který je vhodnější pro pevné skalní horniny a umožňuje rychlejší postup ražby a menší opotřebení stroje.

Jednokolejný tunel je navržen jako kruhový s vnitřním průměrem 5,3 m. Ostění je jednoplášťové z prefabrikovaných železobetonových dílců tloušťky 250 mm z vodostavebného betonu. Jednotlivé segmenty budou po obvodu opatřeny těsněním, které zajistí vodonepropustnost spar. Montáž prstenců ostění šířky 1,4 m se provádí pod ochranou štítu a při posunu se štít opírá o čelo předchozího již hotového prstence ostění tunelu. Pro minimalizaci deformací v nadloží tunelu je nutné provádět okamžitě výplň prostoru mezi rubem nově smontovaného prstence ostění a lícem výrubu. Vhodně zvolená technologie je zárukou minimalizace poklesů zástavby. V našem případě lze zaručit maximální deformace terénu v ose tunelu do 5 mm. Na základě sledování mnoha projektů realizovaných po celém světě touto technologií lze spolehlivě předpokládat dlouhodobý průměrný postup ražby 300 m za měsíc, což je přibližně trojnásobek oproti ražbě NRTM.

Jednokolejné traťové tunely budou po celé trase v intervalech cca 400 m propojeny vždy dvojicí vzduchotechnických propojek podkovovitého profilu šířky 4,2 m a výšky 4,3 m s délkou cca 10 m, které snižují pístový účinek projíždějících souprav metra. Propojky budou s dvouplášťovým ostěním s mezilehlou hydroizolací.

Ražba dvoukolejných traťových tunelů tvaru plochého oválu bude prováděna pomocí NRTM. Základní profil je navržen pro osovou vzdálenost kolejí (o. v.) 3,7 m, který má šířku výrubu 10,3 m a výšku 7,56 m. Pro úseky, kde dochází k postupnému zvětšování osové vzdálenosti kolejí (přechod na dva jednokolejné tunely), byly navrženy další zvětšené profily dvoukolejného tunelu: o. v. 3,9 m, o. v. 4,5 m, o. v. 5 m, o. v. 5,8 m a o.v. 6,5 m. V těchto úsecích potom dochází vždy ke zvětšení profilu tunelu skokem. Ostění tunelu je navrženo jako dvouplášťové s uzavřenou mezilehlou foliovou hydroizolací. Vnější primární ostění je ze stříkaného betonu, vnitřní ostění je železobetonové.

Ostatní ražené části traťových úseků, jako jsou větrací šachty a štoly, odvodňovací štola a šachta, objekty kolejových spojek a větvení, přístupové štoly a demontážní komora stroje TBM

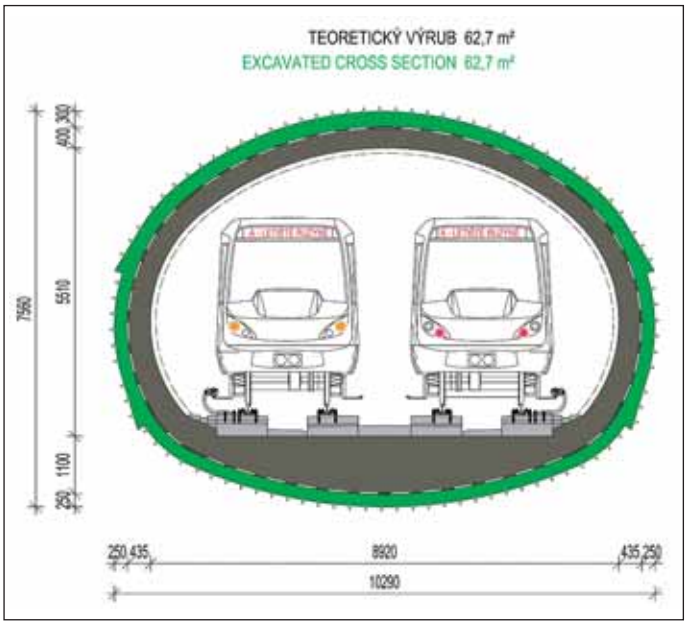
The use of a suitable type of a tunnel boring machine will guarantee that minimum deformations of the terrain and high excavation advance rates will be achieved in the variable geological conditions, namely in the sections under existing buildings. The use of EPB TBMs is planned for this project, which are capable of driving through totally broken rock and soft ground – soil. At the same time, it is possible to change the machine over within several hours to be operated in the open-face mode, which is more suitable for hard rock and allows faster excavation advance as well as lower wear of the machine.

The single-rail tunnel design is circular in the cross section, with the inner diameter of 5.3m. The 250mm thick single-shell lining is from reinforced concrete segments (water retaining concrete). The segments will be fitted with gaskets on all sides. They will provide the waterproofing between segments. The 1.4m wide lining rings will be assembled under the protection of the shield's envelope; when the shield is being shifted, the thrust cylinders will act on the previously completed lining ring. It is necessary for the minimisation of deformations in the tunnel overburden to immediately backfill the annulus between the outer surface of the newly installed lining ring and the surface of the excavated opening. A suitable choice of the technology guarantees the minimisation of the settlement of existing buildings. In our case, it is possible to guarantee that the maximum deformations of the terrain on the tunnel centre line will not exceed 5mm. It is possible to assume with certainty, on the basis of the monitoring of many projects which have been implemented by this technology all over the world, that the long-term average advance rate of 300m per month can be achieved. Compared with the NATM excavation, it is approximately three times as much.

The single-rail running tunnels will be interconnected throughout the route length at about 400m intervals by pairs of ventilation cross passages with a horseshoe-shaped cross sections 4.2m wide and 4.3m high, about 10m long, which will reduce the piston effect of the passing metro trains. The lining of the cross cuts will consist of two shells and intermediate waterproofing.

The double-rail running tunnels, which will have the shape of a horizontally elongated oval, will be carried out using the NATM. The basic cross section, which is 10.3m wide and 7.56m high, is designed for the track centre distance (TCD) of 3.7m. Other, enlarged cross sections of the double-rail tunnel were designed for the route sections where the track centre distance gradually increases (the transition to two single-rail tunnels) in the following sequence: TCD 3.9m, 4.5m, 5.0m, 5.8m and 6.5m. The tunnel cross section will be enlarged in a stepwise manner. The tunnel lining design is of the double-shell type (a sprayed concrete primary lining, reinforced concrete secondary lining) with a closed intermediate waterproofing system.

The other parts of the track sections such as ventilation shafts and galleries, the drainage gallery and shaft, structures containing track cross-overs and branching points, access adits and the TBM dismantling chamber at Dejvická



Obr. 4 Dvoukolejný traťový tunel ražený NRTM
Fig. 4 NATM-driven double-rail running tunnel

u stanice Dejvická, budou raženy pomocí NRTM s případným členěním výrubu a použitím dalších zajišťovacích prostředků. V místě zahájení ražeb bude přístropí zajišťováno mikropilotovými deštníky. Konstrukce ostění trvalých konstrukcí bude opět dvouplášťová s primárním ostěním ze stříkaného betonu, mezilehlou hydroizolací a železobetonovým sekundárním ostěním. U všech dočasných konstrukcí, jako jsou přístupové štoly, bude vybudováno pouze primární ostění a zbylý prostor bude po ukončení funkce díla zaplněn popílkobetonem. Demontážní komora TBM u stanice Dejvická je dlouhá 17,5 m, má profil podobný jednolodní stanici. Její čelo navazuje na společnou podzemní konstrukci odstavných kolejí stanice Dejvická. Ostatní tři stěny jsou zajištěny převrtávanou pilotovou stěnou kombinovanou s tryskovou injektáží, do které bude zakotvena klenba této kaverny. Kalota kaverny bude zajištěna souvislou klenbou z tryskové injektáže prováděnou z povrchu.

POSTUPY PROVÁDĚNÍ JEDNOKOLEJNÝCH TRAŤOVÝCH TUNELŮ TBM

Postup výstavby jednokolejných traťových tunelů předpokládá nasazení 2 razicích strojů v traťovém úseku mezi stanicemi Motol a Petřiny v blízkosti křižovatky Vypich. Zde je umístěno velké zařízení staveniště umožňující kapacitní zásobování materiálem pro ražbu obou tunelů a současně odtěžování vyrubané horniny. Oba stroje TBM budou postupně nasazeny v hloubené kruhové stavební jámě průměru 20 m s možností zasunutí části stroje do předem vyražené montážní komory spojené s povrchem přístupovou štolou s navazující rampou. Ražba bude prováděna směrem ke stávající stanici metra Dejvická. Po projetí strojů prostorem stanice Petřiny (zde bude prováděna montáž provizorního ostění, které bude následně při ražbě staničního tunelu demontováno a oba profily budou rozšířeny na jednolodní staniční tunel) bude pokračovat úpadní ražba traťových tunelů ke stanici Veleslavín. V této stanici se předpokládá v předstihu vyražení bočních výrubů zajištěných primárním ostěním tak, aby mohly být stroje stanicí protaženy a pokračovaly dále ke stanici Červený Vrch.

Přibližně 150 m za stanicí Veleslavín vjedou stroje do předem vyhloubené stavební jámy půdorysných rozměrů 50 x 30 m. Jakmile postoupí razicí stroj včetně závěsu za tuto jámu, bude celý komplex obsluhy stroje (odtěžování rubaniny, skládka železobetonových dílců, napojení na média atd.) přenesen k této stavební jámě a další ražba traťových tunelů bude zajištěna z tohoto místa. To umožní v průběhu další ražby traťových tunelů zároveň pokračovat v ražbě stanic Petřiny a Veleslavín. Po protažení razicích strojů stanicí Červený Vrch, která bude budována v předstihu z raženého přístupového tunelu s portálem u ulice Kladenské, bude pokračovat ražba traťových tunelů až k provozované stanici metra Dejvická. V místě napojení na provozovanou trasu metra budou v předem vybudované demontážní komoře oba stroje postupně demontovány a po částech přemístěny přístupovou štolou do šachty půdorysných rozměrů 10 x 15 m a odtud vyzvednuty na povrch.

Oba demontované stroje TBM budou znova nasazeny v hloubené jámě rozměrů 30 x 50 m v traťovém úseku mezi stanicemi Motol a Bílá Hora. Z tohoto místa bude prováděna ražba jednokolejných traťových tunelů razicími stroji opačným směrem až do konečné stanice Letiště Ruzyně. Po vyražení prvních 600 m traťových tunelů projedou stroje prostorem budoucí stanice Bílá Hora, kde bude prováděna montáž provizorního ostění, které bude následně demontováno. Dále bude pokračovat ražba traťových tunelů až ke stanici Dědina. Zde by měla být již v předstihu vyhloubena stavební jáma této stanice včetně přilehlých úseků hloubených traťových tunelů. Stroje budou protaženy touto stavební jámou a zároveň bude obsluha ražby traťových tunelů přemístěna ze zařízení staveniště u hloubené stavební jámy v traťovém úseku Motol – Bílá Hora do zařízení staveniště v hloubených tunelech u stanice Dědina (směrem ke stanici Dlouhá Míle). To umožní pokračovat ve výstavbě stanic Bílá Hora a Dědina a současně pokračovat v ražbě traťových tunelů směrem ke stanici Dlouhá Míle, kde budou stroje protaženy výrubem staničního tunelu a navazujících rozšířených profilů traťových tunelů v přilehlé spojce. Stroje budou dále pokračovat v ražbě traťových tunelů až ke stanici Letiště Ruzyně, kde budou v hloubené části stanice demontovány a vyzvednuty na terén.

ING. JAN KOREJČÍK, korejcik@metroprojekt.cz,
ING. JIŘÍ RŮŽIČKA, ruzicka@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT PRAHA, a. s.

Station will be excavated using the NATM, with the excavation being divided into sequences and other support measures being implemented if necessary. At the beginning of the excavation, the top heading roof will be stabilised by canopy tube pre-support. The lining of permanent structures will again be of the double-shell type with the shotcrete primary lining, intermediate waterproofing and RC secondary lining. All temporary structures such as access adits will be provided only with a shotcrete lining; when the function of the structure is completed, the underground space will be backfilled with cinder concrete. The TBM dismantling chamber at Dejvická Station is 17.5m long; its cross section is similar to the cross section of a one-vault station. Its front end is connected to the common underground structure for the stabling tracks at Dejvická Station. The other three walls are supported by secant pile walls combined with jet grouting. The walls will support the vaulted roof of the cavern, which will be fixed in the walls. The calotte of the cavern will be supported by a continuous vault formed by jet grouting, which will be carried out from the surface.

SINGLE-RAIL RUNNING TUNNELS – TBM DRIVING PROCEDURES

The construction of single-rail running tunnels is expected to be carried out by 2 tunnel boring machines, starting in the track section between Motol Station and Petřiny Station near the Vypich intersection. The large construction site utility which will be developed in this location will provide sufficient space for materials to be supplied to and the muck to be concurrently removed from the tunnel. Both TBMs will be successively lowered to a 20m-diameter launch shaft. The shaft will make it possible for the TBM to be shifted to a pre-excavated assembly chamber, which will be connected with the surface by an access adit and a ramp. The TBM drives will proceed toward the existing metro station Dejvická. Once the TBMs have passed the area of Petřiny Station (this section will be provided with a temporary lining, which will be subsequently, during the excavation of the station tunnel, dismantled and both tunnel cross sections will be enlarged to create the one-vault station tunnel profile), the driving of the running tunnels will continue on a downhill gradient toward Veleslavín Station. There is an assumption that sidewall drifts with primary lining will be carried out in advance in this station so that the TBMs can be pulled through the station to proceed further toward Červený Vrch Station.

About 150m behind Veleslavín Station, the TBMs will enter an construction trench with the ground plan dimensions of 50 x 30m. Once the tunnel boring machine with the back-up train is beyond this box, the entire complex of the TBM operation supporting services (removal of muck from the temporary stockpile, reinforced concrete segments stockyard, utility connections etc.) will be shifted to this location and the subsequent TBM drives will be controlled from this facility. This system will allow the excavation of Petřiny and Veleslavín Stations to proceed concurrently with the continuing excavation of running tunnels. Once the TBMs have been pulled through Červený Vrch Station, which will be excavated in advance from a point of attack provided by an access tunnel having its portal in Kladenská Street, the excavation of running tunnels will continue up to the operating metro station Dejvická. Both TBMs will be dismantled in a dismantling chamber pre-excavated in the location where the tunnels connect to the operating metro line. The parts will be moved through an access adit to a shaft with 10 x 15m plan dimensions and lifted to the surface.

Both dismantled TBMs will be reassembled in a 30 x 50m construction trench prepared in the track section between Motol and Bílá Hora Stations. The TBMs will proceed from this point, in the opposite direction, up to the Letiště Ruzyně terminal station. Once the excavation of the initial 600m of the running tunnels has been finished, the TBMs will pass through the area of the future station Bílá Hora, with the tunnels being provided with a temporary lining which will be subsequently dismantled. The TBMs will continue to drive the running tunnels up to Dědina Station. The construction trench for this station and the adjacent sections of cut-and-cover tunnels should be prepared in advance to receive them. The TBMs will be pulled through this trench and, at the same time, the surface facilities serving the excavation of running tunnels will be moved from the site at the construction trench in the Motol – Bílá Hora track section to the site facility found at the cut-and-cover tunnels adjacent to Dědina Station (in the direction toward Dlouhá Míle Station). This system will allow the construction of Bílá Hora and Dědina Stations to continue simultaneously with the driving of the running tunnels toward Dlouhá Míle Station, where the TBMs will be pulled through the station tunnel, the adjacent enlarged-cross-section running tunnels and the adjacent cross-over tunnel. The machines will continue to drive the running tunnels up to Letiště Ruzyně Station, where they will be dismantled in the cut-and-cover part of the station and lifted to the terrain surface.

ING. JAN KOREJČÍK, korejcik@metroprojekt.cz,
ING. JIŘÍ RŮŽIČKA, ruzicka@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT PRAHA, a. s.