

RAŽENÉ TUNELY JAKO SOUČÁST TUNELOVÉHO KOMPLEXU BLANKA

MINED TUNNELS ON THE BLANKA COMPLEX OF TUNNELS

JAN KVAŠ, MILOSLAV ZELENKA, MILOSLAV SALAČ

TUNEL KRÁLOVSKÁ OBORA

Úvod

Ražené tunely úseku Královská obora jako součásti dopravní stavby tunelového komplexu Blanka na městském okruhu v Praze propojují část mezi raženým portálem na Letné a v Troji patří svou délkou přes 2,2 km mezi nejdéší ražené dopravní stavby v České republice. Procházejí pod územím s městskou zástavbou na Letné, parkem Stromovka, plavebním kanálem, Císařským ostrovem a pod řečištěm Vltavy. Součástí úseku je i ražený podzemní komplex vzduchotechnických a technologických objektů pod zástavbou na Letné se šachtami vyústujícími v oblasti nad Královskou oborou.

Základní informace o tunelech

Ražený tunel Královská obora je tvořen dvěma tunelovými troubami: severní tunelovou troubou (STT) délky 2231 m a jižní tunelovou troubou (JTT) délky 2224 m. Každá z těchto trub má dva základní profily – dvoupruhový a třípruhový. Délka dvoupruhu v STT je 1662,5 m, v JTT 1791 m, délka třípruhu v STT je 568,5 m, v JTT 433 m. Tyto základní typy tunelových trub jsou doplněny dalšími, pro provoz tunelu nezbytnými profily – nouzové zálivy ve dvoupruhových částech velikosti cca třípruhového tunelu, VZT kanály pro požární vzduchotechniku, navýšené části v třípruhových tunelech pro účely provozní vzduchotechniky, SOS výklenky atd. Obě tunelové trouby jsou propojeny 8 tunelovými propojkami určenými pro bezpečnost a provoz tunelu a jednou technologickou propojkou pro účely výstavby. Součástí celého úseku raženého tunelu Královská obora jsou i ražené vzduchotechnické objekty s kavernou strojovny s největším raženým profilem 286 m² a dále s komplikovaným propojením vzduchotechnického kanálu s třípruhovými tunele.

Geologické a hydrogeologické poměry

Tunel Královská obora je ražen v ordovických souvrstvích klasického geologického útvaru – Barrandienu. Tyto ordovické horniny jsou tvořené písčitymi a jílovitými břidlicemi, dále pak jemnozrnnými křemenci a křemennými pískovci. Během ražeb, tak jak bylo předpokládáno, bylo zastíženo nejprve souvrství dobrotivské, následně libeňské a letenské. Dobrotivské souvrství bylo reprezentováno nejprve písčitymi břidlicemi s ojedinělými lavicemi jemnozrnných křemenců a křemenných pískovců (v úseku od trojského portálu až cca po trať ČD Praha–Kralupy ve Stromovce), dále jílovitými až prachovitými jílovitými břidlicemi. Toto celé souvrství bylo dominantní při ražbě z trojského portálu jednak pod Vltavou a plavebním kanálem a dále



Obr. 1 Bednění sekundárního ostění zálivu
Fig. 1 Formwork for secondary lining of the emergency parking bay

KRÁLOVSKÁ OBORA TUNEL

Introduction

The Královská Obora mined twin-tube tunnel, forming a part of the Blanka complex of tunnels, a transport-related project between the Letná portal and the portal in Troja on the City Circle Road in Prague, ranks through its length of over 2.2km among the longest mined transport tunnels in the Czech Republic. It passes under a developed urban area in Letná, the Stromovka Park, a shipping canal, Císařský Island and the Vltava River bed. A complex of mined ventilation structures and service spaces under existing buildings in Letná with shafts ending in the area above Královská Obora park is also part of this tunnel section.

Basic information on the tunnel

The Královská Obora mined tunnel consists of two tunnel tubes, i.e. the 2231m long northern tunnel tube (NTT) and 2224m long southern tunnel tube (STT). Each of the two tubes has two basic profiles – double-lane and triple-lane ones. The double-lane sections of the NTT and STT are 1662.5m and 1791m long respectively, whereas the respective lengths of the triple-lane parts of the NTT and STT are 568.5 and 433m. These basic types of tunnel tubes are supplemented with other profiles necessary for the tunnel operation, i.e. emergency parking bays in the double-lane parts with the cross section size roughly of the three-lane tunnel, ventilation tunnels for fire ventilation purposes, sections of triple-lane tunnels with enlarged height for operating ventilation purposes, SOS niches etc. The two tunnel tubes are interconnected by 8 cross passages for the tunnel safety and operating purposes and one technological cross passage for the tunnel construction purposes. In addition, part of the entire Královská Obora tunnel complex are mined ventilation structures comprising a ventilation plant cavern with the excavated cross-sectional area of 286m² and a complicated system connecting the ventilation tunnel to the triple-lane tunnels.

Geological and hydrogeological conditions

The Královská Obora tunnel has been driven through the Ordovician layers of the Barrandian formation. These Ordovician rocks comprise sandy and clayey shales, fine-grained quartzite and quartzose sandstone. As anticipated, the Dobrotiv Member was encountered during the course of the excavation, followed by the Libeň and Letná Members. The Dobrotiv Member was represented by sandy shales with beds of fine-grained quartzite and quartzose sandstone (within the section from the Troja portal up to, approximately, the Prague-Kralupy Czech Railways' track in the Stromovka Park), followed by clayey to silty-clayey shales and Skalec quartzite. This formation dominated during the excavation from the Troja portal, passing under the Vltava River, the shipping canal and the Stromovka Park, up to the Šlechta's Restaurant. The tunnels were driven through 10 – 15m thick, hard to weakly weathered rock layers (for example under the Vltava riverbed), but also through tectonically strained (locally significantly broken) layers, with the minimum rock cover height ranging from several metres to the extreme of 1.5m (in the Stromovka Park). This rock formation was frequently tectonically affected, with fault zones containing tectonically affected layers which often critically worsened quality of the rock environment. The Dobrotiv formation is found on the tunnel route passing under the Vltava River bed and under a Vltava River terrace with beds of gravel deposits, which is supplied with water from the Vltava River. Water percolating along fissures significantly affected the behaviour of the rock environment. This effect manifested itself first of all in layers with a shallower rock cover, tectonically faulted layers, but also in a significant way in Řevnice quartzites, where the fissure system allowed ground water to flow to a great extent to the excavated opening. The total inflows of water from both tunnel tubes passing through the Dobrotiv beds (from the Troja portal approx. up to the Šlechta's Restaurant) reached up to 120 litre per second in this relatively long tunnel section. Despite the fact that an exploratory gallery, generally diagnosing the rock environment, had been driven in advance throughout the length of the STT and partly also the NTT tunnel sections formed by the Dobrotiv formation, it could not, because of the size of its cross-section,



Obr. 2 Příprava k odstřelu
Fig. 2 Preparation for blasting

pak pod Stromovkou až před Šlechtovu restauraci. Ražba probíhala ve zdravých až navětralých polohách s mocností 10–15 m (například pod Vltavou), ale také ve vrstvách tektonicky namožených (místy výrazně podrcených) s minimálním skalním nadložím od několika metrů po extrém cca 1,5 m (ve Stromovce). Toto souvrství bylo často postiženo zlomovou tektonikou, která se projevovala poruchovými pásmy s tektonicky postiženými polohami a která mnohdy zásadním způsobem zhoršovala kvalitu horninového prostředí. Dobrotivské souvrství se v trase tunelu nachází pod vodotečí Vltavy a pod údolní vltavskou terasou, jejíž šterky jsou výrazně dotovány vodou z Vltavy. Podzemní voda, která prosakovala ze zvodnělé terasy do puklinového systému skalního podloží výrazným způsobem ovlivňovala chování horninového prostředí při ražbě. Projevovalo se to především v polohách s nižším skalním nadložím, dále v polohách intenzivního tektonického porušení horninového masivu, ale i velmi významným způsobem v řevnických křemencích, kde puklinový systém umožňoval výraznější proudění podzemní vody do výrubu. Celkové přítoky vody z obou tunelových trub v rozsahu dobrotivských vrstev (tedy od trojského portálu cca před Šlechtovu restauraci ve Stromovce) dosahovaly za tento poměrně dlouhý vyražený úsek tunelů hodnot do 120 l/sec. Přestože v celém rozsahu dobrotivských vrstev byla v trase JTT a částečně i v STT v předstihu vyražena průzkumná štola, která generálně diagnostikovala horninové prostředí, velikostí svého profilu nemohla dát v některých polohách skutečnou představu o chování více než 10–15krát větších profilů v daném geologickém prostředí.

Libeňské souvrství bylo během ražeb tvořeno nejprve řevnickými křemenci a po té jílovitými až prachovitými jílovitými břidlicemi, převážně zdravými až navětralými, pouze na přechodu do vrstev letenských (v oblasti pod velvyslanectvím Ruské federace) se projevila výrazná tektonika výskytem poruchového pásma. Součástí libeňského souvrství byla i poloha řevnických křemenců, navazující na dobrotivské souvrství z předcházejícího úseku ražeb. Libeňské břidlice, jako součást bývalého letenského břehu Vltavy, byly na rozdíl od vrstev dobrotivských kvalitnější a pro ražbu vesměs bezproblémové. Během ražeb nebyla v tomto souvrství zastížena podzemní voda výraznější vydatností, neboť ražba v libeňských břidlicích probíhala pod okrajem údolní terasy a následně pod svahem Letné, kde již v nadloží nebyla zvodnělá údolní terasa.

Letenské souvrství v monotónním vývoji, jako skalní podloží letenské plošiny, tvoří převážně písčité břidlice s místními vložkami jemnozrnných křemenců. Jedná se o nejkvalitnější horninové prostředí z celé trasy tunelu Královská obora s minimálními přítoky podzemní vody po puklinovém systému do výrubu, pouze místní tektonika vytvořila v některých místech oslabená pásma, zvláště pak v úvodních metrech ražby z portálu Letná.

Ražba tunelů

Původní předpoklad ražeb podle Dokumentace pro stavební povolení (DSP) a Dokumentace pro zadání stavby (ZDS) byl, že dvoupruhové tunely se budou razit z portálu v Troji (STT délky 1649 m, JTT délky 1791 m) a třípruhové tunely z portálu Letná (STT délky 582 m, JTT délky 433 m). Přibližně půl roku po zahájení ražeb se zhotovitel

allow developing of a complete conception of the behaviour of the more than 10- to 15-times larger profiles in the given rock environment.

The Libeň formation encountered during the excavation consisted first of the Řevnice Quartzite and then clayey to silty-clayey shales, which were mostly hard to slightly weathered (with the exception of the transition to the Letná formation, where shear zones appeared under the Russian Federation Embassy). Part of the Libeň formation was a zone of the Řevnice Quartzite, linking to the Dobrotiv formation which had been found in the preceding excavation section. In contrast with the Dobrotiv formation, quality of the Libeň Shale layers, which were parts of the former Letná bank of the Vltava River, was higher, mostly posing no problems to the excavation. No significant ground water yield was encountered while excavating through this rock formation because the excavation through the Libeň shale ran under the edge of a flood-plain terrace and, subsequently, under the slope of the Letná hill, where there was no water-bearing terrace in the overburden.

The monotonous background Letná formation forming the Letná plain bedrock consists mainly of sandy shale with local interlayers of fine-grained quartzite. This is the highest quality rock environment on the entire Královská Obora tunnel route, displaying only minimum ground water inflows to the excavation through the fissure system; weakness zones were created only in some places by local tectonics (especially in the initial metres of the excavation from the Letná portal).

Tunnel excavation

The original assumption about the excavation according to the final design was that the double-lane tunnels would be driven from the portal in Troja (the length of 1649m for the NTT and 1791m for the STT), whilst the triple-lane tunnels would be excavated from the Letná portal (582m on the NTT and 433m on the STT). Approximately half a year after the commencement of the tunnel excavation, the contractor decided that all excavation would be carried out solely from the Troja portal, abandoning the idea of the counter-heading from Letná. This decision was motivated first of all by savings in costs, above all as far as the area of numbers of workers and mechanical equipment is concerned, and by the effort to alleviate the nuisance caused by transportation of muck through the Letná portal to residents of the districts of Prague 6 and 7. But the newly developed works programme assumed that maximum performance results would be reached in individual tunnel tubes, without encountering more significant geological anomalies, without need for additional, time demanding measures. During 2008, the tunnel excavation entered the water-bearing Vltava River's terrace, passing through extremely difficult geological conditions, under a minimum rock cover. It gradually became more and more difficult. Subsequently, two collapses of the overburden happened. Liquidation of these emergencies and subsequent stabilisation measures during the tunnel excavation resulted in a significant time losses compared with the programme (about one year). The advance rates of excavation under the entire area of the Stromovka Park, requiring many stabilisation and technological measures, significantly contributed to this time loss. They dropped from the originally assumed 50 – 90m per month to a half. This fact called for reassessing of the existing programme; the decision was made at the beginning of 2009 that the counter-heading from the Letná portal would commence, as anticipated at the beginning.

The NTT excavation from the Troja portal started at the beginning of July 2007, followed by the STT excavation a month later. The NTT counter-heading from the portal in Letná commenced in the second half of 2009, whilst the counter-heading of the STT started in the second half of August 2009.

At the beginning, the excavation from the Troja portal proceeded without bigger problems, both in terms of the stability of the excavation environment at the heading and in terms of both the deformations of the primary lining and the terrain settlement. The excavation under the Vltava River bed and the shipping canal, as well as the embankment of the Prague – Kralupy nad Vltavou rail line, was successfully accomplished. Problems appeared when the headings arrived at the area under the Stromovka Park, where the rock-head started to descend, reducing the cover thickness to less than 10m, and tectonically strained Dobrotiv shales layers, degraded by tectonic faulting, gradually started to extend to the upper parts of the excavated cross-section. Seemingly stable layers of the rock massif with blocky, often uncontrollable, jointing started to appear in the excavation face. Once excavated, the blocks disintegrated into plates similar to roofing slates. This fact started to seriously influence the stability conditions at the headings of the tunnel tubes. The round length was reduced up to 1m and forepoling started to be installed to support the excavation roof. A rock block fell uncontrollably from the NTT top heading face on 20 May 2008. Subsequently a chimney with dimensions of 3 x 3m developed, with shale plates falling from it.

rozhodl, že veškeré ražby proběhnou pouze z portálu v Troji a protiražbu z Letné realizovat nebude. Toto rozhodnutí bylo motivováno hlavně úsporami nákladů především v personální oblasti a ve strojním vybavení a také omezením negativních účinků od dopravy vyrušeného materiálu z portálu Letná na obyvatele Prahy 6 a 7. Nově zpracovaný harmonogram však předpokládal maximální výkonnosti ražeb v jednotlivých TT bez větších geologických anomálií a bez významnějších doplňujících a časově náročných opatření. V průběhu roku 2008 se ražba tunelů dostala do extrémních geologických podmínek s minimálním nadloží pod zvodnělou vltavskou terasou, kde ražba se stávala stále obtížnější a kde následně došlo ke dvěma mimořádným událostem. Jejich likvidace a následná sanační opatření během ražby způsobily v harmonogramu velkou časovou ztrátu (asi rok). Velký podíl na této časové ztrátě měla výkonnost ražeb s mnoha sanačními a technologickými opatřeními pod celým územím parku Stromovka, kde z původně uvažovaných 50–90 m za měsíc klesla na polovinu. Tato skutečnost si vynutila přehodnocení stávajícího harmonogramu a počátkem roku 2009 bylo rozhodnuto o protiražbě z portálu Letná tak, jak se původně předpokládalo.

Ražba STT z portálu v Troji začala počátkem července 2007 a JTT o měsíc později. Protiražba STT z portálu na Letné byla zahájena v druhé polovině července 2009 a JTT pak v druhé polovině srpna 2009.

Ražba z portálu v Troji z počátku probíhala bez větších problémů, a to jak z hlediska stability horninového prostředí ve výrubu, tak i z hlediska deformací jak primárního ostění, tak i poklesů na povrchu. Úspěšně proběhla ražba pod korytem Vltavy a plavebního kanálu a také pod tělesem železniční dráhy Praha–Kralupy nad Vltavou. Problémy začaly při vstupu ražeb do území pod parkem Stromovka, kde skalní nadloží začalo klesat pod 10 m a do výrubu se postupně z horních partií nasouvaly polohy tektonicky namožených dobrotivských břidlic, degradovaných vlivem tektonického porušení. Ve výrubu se začaly objevovat na pohled zdánlivě stabilní polohy horninového masívu s blokovitou, často nekontrolovatelnou odlučností, avšak po rozpojení se bloky rozsypaly na destičky připomínající střešní břidlicovou krytinu. To začalo velmi výrazně ovlivňovat stabilitní poměry ve výrubu kalot tunelových trub. Zkrátila se délka záběru až na 1 m, začalo se s jehlováním pro ochranu stropu výrubu. Dne 20. 5. 2008 došlo na kalotě STT k nekontrolovatelnému vypadnutí bloku z čelby a k následnému vzniku komínu cca 3x3 m s vypadáváním destiček břidlice. Vzhledem k nízkému skalnímu nadloží se komín rychle přiblížil až ke kvartérním zvodnělým sedimentům, které se kvůli nasycení vodou snadno propadly a došlo na povrchu ke vzniku kráteru o průměru cca 15 m. Do tunelu kromě sedimentů ve formě bahna začala proudit z terasy voda ve vydatnosti několik desítek l/sec. Hlavními použitými sanačními a technologickými opatřeními při likvidaci mimořádné události byly: vytvoření betonové plomby jako prvotní ucpávky volného prostoru v hornině, cementové injektáže nízkotlaké pro vyplnění zbylých dutin, cementové injektáže tlakové pro utěsnění prostoru nad budoucím výrubem a v předpolí budoucí ražby, chemické injektáže pro utěsnění prostoru s průsaky vody v okolí propadu, mikropilotové deštníky provedené z tunelu pro stabilizaci nadložních vrstev a ochranu stropu budoucího výrubu kaloty, striktní zavedení svislého členění kaloty tunelu na dvě části, které bylo následně uplatněno i pro ražbu kaloty JTT a pro další ražbu předurčilo zavedení nové TT jako 5a modifikovaná (5am).

V ZDS bylo pro oblast ražeb pod Stromovkou s nízkým nadloží počítáno se sanačními a doplňujícími opatřeními prováděnými pouze z tunelu (mikropiloty, trysková injektáž). Po zahájení ražeb byla dohodnuta a následně projednána možnost sanovat toto území z povrchu v zimních měsících na přelomu 2007/2008. Tato sanace spočívala v provedení sloupů tryskové injektáže v rozsahu 150–160 m nad STT a JTT včetně tunely obkružujících mikropilotových řad. Rozsah těchto prací byl limitován rozhodnutím MHMP – OOP definující podmínky pro práce prováděné v parku Stromovka a bohužel nepokrýval celou oblast s extrémními geologickými podmínkami. Na základě bezpečnostní dokumentace stavby byly v daném geologickém prostředí, z provozního pohledu v optimálním místě, navrženy v STT a JTT nouzové základy o velikosti třípruhového tunelu.

Od místa 1. mimořádné události byla STT ražena v TT 5am s ochrannými deštníky vesměs s použitím IBO kotev \varnothing 32 mm a později \varnothing 51 mm a se svisle členenou čelbou kaloty, stejným způsobem byla ražena i JTT s odstupem cca 1 měsíce. Z obou průzkumných

Because of the thin rock cover, the chimney quickly reached the Quaternary water-bearing sediments, which, owing to the saturation, easily caved in, forming a crater about 15m in diameter on the surface. In addition to the sediments in the form of mud, water from the terrace started to flow into the tunnel at the rate of several tens of litres per second. The main stabilisation and technological measures which were used during the liquidation of the emergency comprised: the creation of a concrete plug filling the free space in the rock mass, low-pressure cementitious grout injection filling remaining cavities, high-pressure cementitious grout injection sealing the space above the future excavation and in the front zone, and chemical grouting sealing the space in the surroundings from which water flew to the sinkhole, canopy tube pre-support installed from inside the tunnel, stabilising the overburden and protecting the roof of the future top heading and strict application of a vertical top heading excavation sequence (dividing it into two parts), which was subsequently applied even to the STT top heading excavation and predetermined the introduction of a new excavation support class even for the subsequent excavation, i.e. 5a modified class (5 am).

The final design (design for tendering) for the area of driving under the shallow rock cover in the Stromovka Park expected that stabilisation and additional measures would be implemented only from inside the tunnel (micropiles, jet grouting). When the excavation had started, a possibility of stabilising this area from the surface during 2007/2008 winter months was negotiated and agreed by authorities. The stabilisation comprised jet-grouted columns above the NTT and STT, along the length of 150 – 160m, including micropile rows straddling the tunnels. The scope of the works was limited by the decision of the MHMP-OOP, defining the conditions for operations to be carried out in the Stromovka park. Unfortunately, this scope did not cover the entire area with extreme geological conditions. According to the construction safety concept, emergency parking bays with the sizes corresponding to the triple-lane tunnel were designed to be carried out in the NTT and STT in the given geological environment, in the location which was optimal from an operational point of view. The excavation for the bays changed the double-lane cross-section to triple-lane, with the upper vault height increased by approximately 1.2m. The design did not require the jet grouting over this enlargement. From the point at which the 1st collapse happened, the NTT was driven through excavation support class 5 am, with canopy tube pre-support, mostly using IBO anchors 32mm in diameter, later 51mm diameter, with a vertical excavation sequence to be used for the top heading. The same procedure was applied to the STT, which followed with an approximately one-month delay. Pre-excavation high-pressure grouting was carried out from both exploratory galleries with the aim of increasing the excavation stability first of all through reducing ground water inflows. A vertical sequence consisting of 3 steps was designed for the emergency parking bay top heading excavation in the NTT and STT. In the emergency parking bay in the NTT, excavation steps 1 and 2 were successfully completed throughout the length of the bay, while less than a half of the bay length in the STT had the steps 1 and 2 finished. On 12 October 2008, the 3rd step work started in the NTT, enlarging the emergency bay excavation to the full width. An opening drift was excavated to the side at the length corresponding to two excavation rounds (2.0m). Despite all measures which were possible at that time, a collapse developed while installing the primary support and remedial measures from the underground failed to succeed. Then the Quaternary sediments rushed into the excavation. The assessment of subsequent remedial measures revealed that the thickness of the rock cover over the emergency bay vault was a mere 4.0m instead of the original approximately 6 metres. This reality had not been identified by a cored borehole which had been carried out from the ground surface about 15m from the collapse location. This emergency manifested itself on the surface by a crater with the average diameter of up to 30m. The excavation work was immediately suspended in both tunnels. The technological principles of the procedure used for the liquidation of the collapse was similar to the procedure applied to the 1st emergency event. The lining in the tunnel location being enlarged to the emergency parking bay, in which the collapse originated, was reinstated to the original state existing after the 1st and 2nd step of the bay top heading enlargement during 1.5 month. It was obvious, with respect to the fact that the most complicated section of the excavation in the extremely difficult geological conditions with the thickness of the rock cover continually diminishing up to a mere about 1.5m was still ahead, that the absolute safety during the tunnelling work could not be secured without additional measures.

When the 2nd emergency event had been overcome, the following principal decisions were adopted, solving the aspects of the design, construction work and checking of the stabilisation operations:

- Modified excavation support class 5a (5am) with the round length of 0.8m was prescribed for the entire length of the section found in the extreme geological conditions.

štol byly v předstihu provedeny sanační vysokotlaké injektáže pro zvýšení stability výrubu především formou omezení přítoků podzemní vody. Nouzový záliv v STT a JTT byl navržen pro ražbu kaloty na tři části svislého rozčlenění. V nouzovém zálivu v STT byla vyražena kalota č. 1 a 2 na celou délku zálivu a v JTT část 1 a 2 na necelou polovinu délky zálivu. Dne 12. 10. 2008 bylo překročeno v STT k rozšíření kaloty na nouzový záliv boční zarážkou 3. části v rozsahu dvou záběrů (2 m). Během instalace primárního ostění došlo i přes veškerá, v té době možná, opatření ke vzniku nadvýmolu, který se nepodařilo z podzemí zajistit, a následnému průniku kvarterních sedimentů do výrubu. Dle vyhodnocení následných sanačních opatření bylo zjištěno, že skalní nadloží nad klenbou nouzového zálivu bylo místo původních cca 6 metrů pouze cca 4 m. Tuto skutečnost neodhalil ani jádrový vrt provedený z povrchu terénu cca 15 m od místa mimořádné události. Na povrchu se tato mimořádná událost projevila kráterem o průměru až 30 m. Ražba na STT a JTT byla okamžitě zastavena. Vlastní likvidace proběhla principiálně technologicky v podobném duchu jako u první mimořádné události. V místě rozšiřování na nouzový záliv, kde došlo k závalu, se podařilo během 1,5 měsíce nainstalovat ostění do původního tvaru po vyražení 1 a 2 částí kaloty zálivu. Vzhledem k tomu, že nejsložitější úsek ražeb v extrémních geologických podmínkách a se stále se snižujícím skalním nadložím až na pouhých cca 1,5 m se teprve očekával, bylo zřejmé, že bez dalších doplňujících opatření nelze zajistit absolutní bezpečnost při provádění razičských prací.

Po zdolání druhé mimořádné události byla přijata tato zásadní rozhodnutí, a to jak po stránce projekční, realizační, tak také po stránce kontroly sanačních prací:

- V celém rozsahu extrémních geologických podmínek byla stanovena pro další ražbu v obou tunelových troukách technologická třída 5a modifikovaná (5am), délka záběru 0,8 – 1,0 m.
- Ražba v TT 5am byla realizována se svisle členenou kalotou a s ochrannými deštníky převážně z IBO kotev R 51 L.
- Rozsah tryskových injektáží prováděných z povrchu byl rozšířen na celou zónu zavedení TT 5am po 2. mimořádné události včetně rozšíření původního rozsahu tak, aby byla eliminována možná rizika při následné ražbě v extrémních podmínkách s minimálním nadložím (až pouze 1,5 m).
- Byla aktualizována bezpečnostní dokumentace stavby, která definovala počet a umístění nouzových zálivů tak, aby byly dodrženy podmínky novelizované ČSN 73 75 07/2006. Na základě tohoto přehodnocení byly v STT a JTT původně navržené nouzové zálivy v extrémních geologických podmínkách pod Stromovkou posunuty do polohy za Šlechtovu restauraci s nadložím cca 11–24 m do kvality horninového prostředí s TT 4, tedy do míst z pohledu definitivního provozu díla méně vhodného.
- Vyražené části nouzových zálivů v STT a JTT byly projekčně a realizačně upraveny na dvoupruhové tunely.
- Do Realizační dokumentace stavby (RDS) a monitoringu byl zaveden systém kontroly kvality provádění všech sanačních opatření – kontrolní odvrty jak z povrchu, tak z podzemí včetně laboratorních zkoušek, kontrolní presiometrická měření, stanovení limitů přítoků podzemní vody do výrubu, stanovení zón se sumárním vyhodnocením všech předepsaných kontrolních zkoušek a měření atd.
- V místech s možností rizika snížení stability horninového masivu vlivem větších průniků podzemní vody do výrubu a v místech s nepříznivou puklinatostí byly použity chemické injektáže z podzemí na kontakt mezi tryskovými injektážemi a skalní bází a také chemické injektáže dvousložkovými pryskyřicemi pro vyplnění puklin s cílem eliminovat přítoky a zlepšit geotechnické parametry horninového prostředí.

Po asi 5měsíční přípravě byla ražba na kalotě STT znovu zahájena v březnu 2009. Ražba po 2. mimořádné události za Šlechtovu restauraci proběhla bez větších dramatických situací. Veškerá použitá sanační a technologická opatření měla své opodstatnění a svůj nezpochybnitelný význam. To se projevilo především na výkonnosti ražeb v TT 5am, kdy původně stanovený výkon na kalotě 34 m/měs. byl pro celý rozsah TT 5am na STT dosažen v ϕ 41,5 m/měs. a JTT v ϕ 37,8 m/měs., což znamenalo na STT úsporu v čase 28 dní a na JTT 18 dní.

Jakmile ražba na obou tunelových troukách prošla za Šlechtovu restauraci a opustila zónu TT 5am a především vstoupila do libeňských

- The excavation in excavation support class 5am was carried out using a vertical sequence in the top heading and protective umbrellas consisting mostly of R 51 L IBO anchors.
- The scope of jet grouting from the surface was extended to cover the entire zone in which the excavation support class 5am was introduced after the 2nd collapse, and the original scope was extended so that the potential risks during the subsequent excavation in the extreme conditions with the minimum rock cover (up to 1.5m thick) were eliminated.
- The safety concept of the construction defining the number and locations of emergency parking bays was updated so that conditions of the reviewed standard ČSN 73 7507/2006 were met. As the result of this reconsideration, the emergency parking bays in the NTT and STT which had originally been designed to be built in the extreme geological conditions under the Stromovka Park, were moved to a location beyond the Šlechta's Restaurant, which location was less convenient in terms of the final operation of the tunnel, where the rock cover thickness rose to 11 – 24m, where a rock environment categorised as excavation class 4 was specified.
- The parts of the emergency bays in the NTT and STT which had been completed before were redesigned and reconstructed to the form of double-lane tunnels.
- The detailed design (design of means and methods, including monitoring) was supplemented by adding a system of checking of quality of all stabilisation operations, i.e. check core boreholes both from the surface and from inside the tunnel, including laboratory tests, check pressuremeter measurements, determination of limits on the rates of ground water inflows to the excavation, determination of zones in which all of the prescribed check tests, measurements etc. were to be summarily assessed.
- Chemical grout was injected to the interface between the jet grouting and the rockhead and chemical grouting with two-component resins was carried out to fill fissures with the aim of eliminating inflows and reducing geotechnical parameters of the rock environment in the locations where the risk of reduced stability of the rock mass due to larger inflows of ground water into the excavation existed and locations with unfavourable jointing.

The NTT top heading excavation resumed in March 2009, after nearly 5-month preparation. The excavation after the 2nd collapse behind the Šlechta's Restaurant proceeded without more significant dramatic situations. All of the stabilisation and technological measures used had reasons and unquestionable importance. It has shown up first of all in the advance rates of excavation through excavation support class 5am. The rate of 34 metres per month was originally set for the top heading excavation. The actually achieved average excavation rates in class 5am were 41.5 metre per month and 37.8 metre per month in the NTT and STT respectively, which meant savings in time of 28 days and 18 days on the NTT and STT respectively.

Immediately after the excavation of both tunnel tubes passed behind the Šlechta's Restaurant and left the 5am class zone, entering the Libeň formation area with continually increasing height of the rock cover, there was no need for solving any crucial stability problems. The excavation proceeded using a standard horizontal sequence (top heading, bench and invert), with the exception of the shifted emergency bays, where the top heading excavation was divided into two sequences. The double-lane tunnels were successfully driven from the Troja portal using this procedure.

The excavation of the triple-lane tunnels commenced by a counter-heading from the Letná portal. In contrast with the final design, where a vertical excavation sequence (side drifts and central pillar) was planned, both tunnel tubes driving started using a horizontal sequence, assuming that if the deformational response exceeded specified limits, it would be switched to the vertical sequence. This requirement was strictly prescribed first of all for the passage under the residential complex in Marie Horákové Street, known as Molochoch. In this location, deformation limits for the excavation of both double-lane tunnels were set at the insurmountable maximum of 60mm (settlement) and 1 : 800 (slope of the settlement trough). The Letná formation within a section reaching about 200 – 250m from the portal were frequently interspersed with tectonic faults and frequent changes in the bedding, which reduced the ground mass quality and led to overbreaks and instable excavation in the cases of greater round lengths. Combined with problems with blasting operations under existing buildings, this meant that the originally planned round lengths within the range of 2 – 2.5m had to be reduced to 1.3 – 1.8m. This measure affected the total time of the triple-lane tunnels excavation. Fortunately, the Letná

vrstev se stále se zvyšujícím nadložím, nebylo nutno řešit zásadní stabilitní problémy. Ražba probíhala se standardním horizontálním členěním, pouze v posunutých zálevech se kalota členila na 2 části. Úspěšně tak byly vyraženy dvoupruhové tunely z trojského portálu.

Ražba třípruhových tunelů začala protiražbou z portálu Letná. Oproti ZDS, kde bylo počítáno s vertikálním členěním, byly ražby na obou troubách zahájeny s horizontálním členěním s tím, že pokud deformační odezva překročí stanovené limity, změně se členění na vertikální. Tento požadavek byl striktně předepsán především pro podchod obytné zástavby v ulici Milady Horákové známou jako Molochoh. Zde deformační limity po vyražení obou třípruhů max. pokles 60 mm a sklon poklesové kotliny 1:800 byly stanoveny jako nepřekročitelné. Letenské vrstvy v délce cca 200–250 m od portálu byly často prostoupeny tektonickými poruchami a častou změnou vrstevnatosti, které snižovaly jejich kvalitu projevující se nadvýlomy a nestabilitou výrubu při delších záběrech. V kombinaci s problémy s trhacími pracemi pod zástavbou to znamenalo původně uvažované záběry v rozsahu 2–2,5 m upravit na 1,3–1,8, což mělo dopad na celkovou dobu ražeb třípruhových tunelů. Naštěstí se zastížená letenská vrstva velmi dobře chovaly z hlediska deformací, deformační odezvy na kalotách STT a následně i JTT umožnily podchod Molochova s horizontálním členěním bez výrazných opatření. Velkým problémem při ražbě třípruhových tunelů pod zástavbou byly odezvy trhacích prací a hluku s negativním ohlasem u obyvatel nadzemní zástavby. Bylo nutné vyloučit trhací práce v nočních hodinách a regulovat seismické účinky volbou upravovaných technologií trhacích prací. Zřejmě poprvé v České republice byly v tak velkém měřítku použity programovatelné elektronické rozbušky. Nebylo možné z důvodu dodržení seismických parametrů používat i v lepších horninových podmínkách delší záběry než max. 1,8 m. Vzhledem k tomu, že nebylo možné plnit předem stanovenou výkonnost při ražbách třípruhových tunelů a vzhledem k časové úspoře na ražbách dvoupruhových tunelů, bylo rozhodnuto, že ražba na STT bude pokračovat z trojského portálu i do třípruhu, a to v délce 186 m. K tomuto rozhodnutí přispěl i zájem na včasné zahájení ražeb vzduchotechnických objektů, které jsou závislé na dokončení ražeb na STT.

Ražba vzduchotechnických objektů má a bude mít několik technických a časových aspektů:

- Rozhodnutí z listopadu 2009 o vyražení všech vzduchotechnických objektů (kromě šachet) pouze přes STT přináší velké problémy v časových vazbách mezi raženými tunely a hloubenými objekty v jámě Letná.
- Toto rozhodnutí klade velké nároky na organizaci ražeb mezi jednotlivými objekty a raženými tunely Královská obora včetně realizace definitivního ostění.
- Čeká nás doražení největšího profilu – strojovny vzduchotechniky dl. 123 m a profil cca 286 m².
- Čeká nás ražba vzduchotechnického kanálu pod již vyraženými STT a JTT s technicky náročným propojením s oběma tunelovými troubami.
- Čeká nás permanentní dialog s veřejností při ražbě pod zástavbou a s možnými dalšími omezeními, která mohou ve svém důsledku mít zásadní vliv na termín celkového dokončení stavby.

Závěr

Prorážka kalot na STT proběhla 12. 1. 2010 a na JTT 16. 2. 2010. Ukončení ražeb včetně vzduchotechnických objektů je plánováno 15. 1. 2011, ukončení hlavních stavebních prací na ražených tunelech a objektech se předpokládá v březnu 2012.

TUNEL BRUSNICE

Úvod

Ražený tunelový úsek Brusnice jako součást tunelového komplexu Blanka propojuje část mezi portály umístěnými do stavebních hloubených jam Myslbekova a Prašný most. Tunelové trouby jsou realizovány jako ražené pomocí NRTM pod územím s relativně řídkou zástavbou, avšak pod historickými bastiony barokního pražského opevnění, chouloustvími inženýrskými sítěmi, tramvajovým tělesem a také poblíž objektu Ministerstva kultury ČR a historických objektů v ul. Jelení. Od vydání ZDS došlo v přípravě tunelů a při zpracování RDS k významnému vývoji s cílem co nejvíce eliminovat rizika jak stabilitní povahy, tak především z pohledu deformačních účinků ražeb na povrchové objekty. Rozhodujícím argumentem pro tyto úpravy

Member rocks behaved very well as far as deformations were concerned. Deformation responses at the NTT top heading and, subsequently, the STT top heading allowed the excavation to pass under Molochoh using a horizontal sequence without substantial measures. Vibrations and noise generated by the drill-and-blast operations during the excavation of triple-lane tunnels under existing buildings induced negative reactions of inhabitants, posing a serious problem. It was necessary to avoid blasting operations at night and seismic effects had to be regulated through choosing modified blasting technologies. It was probably for the first time in the Czech Republic that programmable electronic detonators were used to such a great extent. It was impossible for the reason of keeping to seismic parameters to excavate longer rounds than 1.8m even in better rock conditions. Taking into consideration the fact that it was impossible to meet the original requirements for the advance rate in triple-lane tunnels and with respect to time savings in the excavation of the double-lane tunnels, the decision was made that the NTT excavation would continue from the Troja portal further to the triple-lane tunnel section, at a length of 186m. The interest in timely commencing the excavation of the ventilation structures, which depend on the completion of the NTT excavation, contributed to this decision.

The excavation for ventilation structures has and will have several technical and time-related aspects:

- The decision from November 2009 on the excavation for all ventilation structures (apart from shafts) solely through the NTT brings about serious problems in terms of time relationships between mined tunnels and cut-and-cover structures in the construction trench in Letná.
- This decision puts heavy demands on the organisation of the excavation between individual structures and the Královská Obora mined tunnels, including the installation of the final lining.
- The completion of the excavation of the largest profile, i.e. the 123m long cavern for the ventilation plant with the cross-sectional area of about 286m² is ahead of us.
- The excavation of a ventilation tunnel under the beforehand excavated NTT and STT, with technically complicated connections to the two tunnel tubes, is awaiting us.
- Permanent dialogue with the public during the excavation under existing buildings will have to be maintained, with possible additional restrictions, the results of which may crucially affect the overall final completion date.

Conclusion

The top heading breakthroughs on the NTT and STT took place on 12/01/2010 and 16/02/2010 respectively. The completion of excavation operations, including the ventilation structures, is scheduled for 15/01/2011; the completion of principal civil works on the mined tunnels and structures is expected in March 2012.

BRUSNICE TUNNEL

Introduction

The Brusnice mined tunnel section, as a part of the Blanka complex of tunnels, provides the interconnection between portals located in the construction trenches Myslbekova and Prašný Most. The mined tunnels are constructed using the NATM. On the one hand, they pass under a relatively little developed area. On the other hand, they run under historic Prague bastions of a Baroque fortification system, sensible utility networks, a tram track and near the building of the Ministry of Culture and historic buildings in Jelení Street. After the final design (tender documentation) was issued and during the work on the detailed design, significant development took place with the aim of eliminating risks as much as possible as far as the excavation stability and, above all, deformational effects of the excavation on existing buildings are concerned. The deciding argument for the modifications was new information on geological and geo-technical conditions in which the tunnel tubes are driven. During the preparation, even the construction organisation was changed, with respect to the time-related development of the excavation of construction trenches.

Basic information on the tunnels

The mined tunnel tubes are designed and built as triple-lane structures with the common excavated profile area of 168 – 175m², which increases to up to 206m² in ventilation tunnels. The mined parts of the Northern Tunnel Tube (NTT) and the Southern Tunnel Tube (STT) are 534m and 549m long, respectively. A vertical excavation sequence originally designed for the excavation of both tunnel tubes in the final design and detailed

byly nové informace o geologických a geotechnických podmínkách, ve kterých se tunelové trouby razí. Během této přípravy také došlo k zásadní změně organizace výstavby s ohledem na časový vývoj realizace stavebních jam.

Základní informace o tunelech

Ražené tunelové trouby jsou navrženy a realizovány jako třípruhové o běžném profilu 168–175 m² ve výrubu, ve vzduchotechnických kanálech jsou profily zvětšeny až na 206 m². Severní tunelová trouba (STT) je v ražené části dlouhá 534 m a jižní tunelová trouba (JTT) pak 549 m. Původně byly obě trouby navrženy v DSP a ZDS s vertikálním členěním. Na základě snížení podélného vedení trasy a vyhodnocení skutečně zastižených geotechnických podmínek při hloubení stavební jámy Myslbekova a na základě permanentního vyhodnocování skutečných geotechnických podmínek během ražby v rámci geotechnického monitoringu bylo postupně rozhodováno o tom, že STT v délce cca 366 m bude ražena s použitím horizontálního členění. Také na JTT došlo k úpravě v tom smyslu, že kromě úvodních 50 metrů od portálu Myslbekova je dalších min. 200 m raženo s horizontálním členěním. Původně obě tunelové trouby spojovala jedna propojka, v bezpečnostní dokumentaci jsou navrženy propojky dvě. Oproti DSP a ZDS došlo během prací na RDS k zásadní změně výškového vedení trasy v oblasti tunelu Brusnice z důvodu nových informací o skutečných geologických poměrech, a to na základě výsledků doplňujícího geotechnického průzkumu z 4/2008. Obecně byly geotechnické podmínky podle tohoto průzkumu vyhodnoceny jako podstatně horší, než bylo v DSP a ZDS uvažováno, a to především s ohledem na významné zastižené snížení mocnosti skalního nadloží (max. z 12 m na 3 m). Vzhledem k výsledkům tohoto doplňujícího GP došlo i ke změně rozsahu technologických tříd (TT) NRTM. V obou tunelových troubách došlo ke snížení nivelety až o max. 5,6 m.

Velkou a zásadní změnou oproti ZDS byla změna organizace výstavby. Původně se uvažovalo s nasazením ražeb vesměs z portálu Prašný most dovrchně a s předem zasanovaným územím za portálem. Vzhledem k tomu, že došlo k významnému časovému posunu začátku prací na hloubení jám Prašný most, byl zhotovitel nucen začít razit z portálu Myslbekova, a to úpadně a prostorově ve velmi stísněných podmínkách.

Součástí ražeb tunelu Brusnice je i ražený vzduchotechnický kanál o výrubu cca 80 m² dl. 145 m a zakončený větrací šachtou hloubky 40 m. Tento kanál bude ražen ze západní stěny stavební jámy Myslbekova opačným směrem než vlastní tunelové trouby.

Geologické a hydrogeologické poměry

Výsledky všech stupňů IGP potvrdily původní předpoklad, že geologické a geotechnické poměry jsou značně složité a velmi proměnlivé. Z hornin skalního podloží se v trase tunelu Brusnice vyskytuje ordovické souvrství letenské v monotónním vývoji. Monotónní vývoj těchto břidlic je proti zvětrávání méně odolný, zvětralínový horizont má mocnost 3–5 m, v tektonických poruchách může být i mocnost až několikanásobně větší. U portálu Prašný most ražba STT zastihne svou horní část i přes výrazné snížení nivelety kvartérní sedimenty tvořené nejspíš sprašemi a sprašovými hlínami. Jejich kvalita je závislá především na přítomnosti vody. Generálně lze konstatovat, že ražba od portálu Myslbekova probíhá v poměrně dobrých geologických podmínkách, kde kromě krátkého příportálového úseku s TT 5a je převážně zastoupena TT 4. Tyto podmínky se mění před a pod ulicí U Brusnice s postupným, ale výrazným snižováním mocnosti skalního nadloží a s avizovanými tektonicky porušenými pásmy. V této oblasti se vyskytuje TT 5a. Jako oblast s velmi obtížnými geologickými podmínkami je avizován úsek dl. cca 100 m před portálem Prašný most, kde budou zastiženy zvětralé až rozložené břidlice a v STT i přechod do kvartérních sedimentů s TT 5a a 5b.

Ražba tunelů

Ražba STT začala 9. 10. 2009 a JTT 9. 1. 2010. STT je ražena na předpokládanou délku cca 366 m s horizontálním členěním. Ražby na začátku STT byly koncipovány tak, aby co nejdříve bylo uzavřeno cca 30 m celého tunelu. Dále ražba probíhá se souběhem kaloty a opěří s odstupem cca 60–80 m. Při ražbě se používají trhací práce, ve zhoršených podmínkách pouze strojní rozpojování. V době zahájení ražeb STT na její kalotě a později i na opěří byly zastiženy některé portálové pramencové kotvy, které ražbou byly vyraženy z funkce. Portálová stěna vykážala trigonometrií na geodetických bodech pohyby

design. On the basis of lowering of the tunnel alignment and assessing the geotechnical conditions actually encountered during the excavation of the Myslbekova construction trench, and on the basis of permanent assessments of actual geotechnical conditions during the excavation within the framework of the Geotechnical Monitoring, the decision was gradually made that the NTT would be driven using a horizontal sequence in an approximately 366m long section. Changes were made also in the STT. Apart from the original 50 metre section behind the Myslbekova portal, additional 200m is driven using the horizontal sequence. Originally, the two tunnel tubes were interconnected by one cross passage. The safety design requires two cross passages. Compared with the final design, the vertical alignment was fundamentally changed in the detailed design in the Brusnice tunnel area, taking into consideration new information about actual geological conditions, based on results of the Supplementary Survey from 04/2008. In general, the geotechnical conditions identified by this survey were assessed as substantially worse than those assumed in the final design and detailed design, first of all with respect to the significantly reduced thickness of the rock cover which was identified (maximum reduction from 12m to 3m). Taking into consideration results of the supplementary geological survey, even the NATM excavation support categorisation was changed. The vertical alignment of both tunnel tubes was lowered by 5.6m as the maximum.

A change in the organisation of the construction meant a significant, principal change of the final design. It was originally assumed that the headings would start from the Prašný Most portal, inclined upwards, with the area beyond the portal stabilised in advance. Because of the fact that the commencement of the excavation of the Prašný Most construction trench (for cut-and-cover tunnels) was substantially delayed, the contractor was forced to start the excavation from the Myslbekova portal, downhill, in highly constrained conditions.

Part of the Brusnice tunnel construction is a 145m long mined ventilation tunnel with the excavated cross-sectional area of about 80m², with an 80m deep ventilation shaft at its end. This tunnel will be driven from the western wall of the Myslbekova construction trench, counter the direction of the excavation of the main tunnel tubes. See Fig. 4

Geological and hydrogeological conditions

Results of all degrees of engineering geological surveys confirmed the original assumptions that the geological and geotechnical conditions are very complex and highly variable. The bedrock along the Brusnice tunnel route consists of the Ordovician, monotonous background Letná formation. The monotonous background shales are less resistant to weathering; the soil mantle is 3–5m thick; in tectonically faulted zones the thickness can be even multiply bigger. Despite the significantly lowered alignment, the upper part of the NTT excavation will encounter Quaternary sediments probably formed by loess and secondary loess. Their quality depends above all on the presence of water. It can be generally stated that the excavation from the Myslbekova portal proceeds in relatively good geological conditions, where, with the exception of a short portal section categorised as excavation support class 5a, class 4 prevails. These conditions change before and under U Brusnice Street, where the thickness of the rock cover gradually but substantially diminishes and tectonically faulted zones are predicted. The ground in this section is of 5a excavation support class. Very difficult geological conditions are predicted to exist in the about 100m long section before the Prašný Most portal, where weathered to decomposed shales will be encountered, in addition with a transition to Quaternary sediments (excavation support classes 5a and 5b) in the NTT.

Tunnel excavation

The NTT and STT excavation commenced on 09/10/2009 and 09/01/2010 respectively. The NTT is being driven using a horizontal excavation sequence for the planned length of 366m. The excavation at the beginning of the NTT were planned with the aim of closing the whole tunnel profile within an about 30m long tunnel section. Then the excavation proceeds with the top heading at the distance of about 60–80m ahead of the bench. The drill-and-blast is used during the excavation; rock is broken only mechanically in deteriorated conditions. Several stranded anchors supporting the portal were encountered when the NTT top heading and later the bench excavation started. They were put out of action by the excavation. A trigonometric survey on survey points installed on the portal wall proved displacements and tension dynamometer measurements showed a significant increase in tensile forces. These manifestation stabilised when the NTT profile had been closed and some measures had been implemented directly at the portal. The STT excavation started using a vertical excavation sequence. This vertical sequence was prescribed for a



Obr. 3 Ražba kaloty STT tunelu Brusnice
Fig. 3 Brusnice NTT top heading excavation

a dynamometrická měření na několika kotvách vykazovala značný nárůst tahových sil. Po uzavření STT a po některých opatřeních přímo na portále se tyto projevy uklidnily. Ražba JTT byla zahájena s pomocí vertikálního členění. Toto vertikální členění bylo předepsáno na délku 50 metrů s tím, že celá JTT musí být uzavřena co nejdříve na délku min. 35 m. Další úsek v JTT v dl. min. 200 m je ražen s horizontálním členěním výrubu s permanentní kontrolou deformační odezvy. STT a JTT vedené z jámy Myslbekova podcházejí přilehlý park, dále pak jsou vedeny podél ul. Jelení ke křižovatce s ul. U Brusnice. Následné ražby podcházejí parkoviště a park podél objektu Ministerstva kultury ČR. Žádné objekty nadzemní zástavby nejsou přímo podcházeny, ale některé jsou v zóně poklesové kotliny. Celkem na čtyřech místech obě tunelové trouby přímo podcházejí památkově chráněné barokní bastiony. Nad tunelovými troubami se na mnoha místech nacházejí choulstivé inženýrské sítě – plyn, kanalizace, voda atd. a také provozovaná tramvajová trať. Tyto inženýrské sítě a tramvajová trať jsou bez plánovaných přeložek, a proto ve stavebním povolení jsou stanoveny deformační kritéria pro poklesy na terénu po všech ražbách – max. pokles 6 cm a sklon kotliny 1:1000. Statické výpočty prokázaly, že v kritických místech se zhoršenými geotechnickými parametry tyto limity jdou splnit pouze tehdy, pokud se při ražbě použije vertikální členění. Z těchto důvodů jsou v kritických místech STT a JTT raženy s tímto typem členění.

Závěr

Ražený tunel Brusnice byl zahájen s určitým zpožděním oproti jiným stavbám tunelového komplexu Blanka. To bude jistě vést k velkému tlaku na včasné dokončení s ohledem na předpokládaný termín dokončení celé trasy městského okruhu od Strahovského tunelu k napojení na most Barikádníků. Již ve fázi přípravy bylo nutné z časových důvodů ustoupit od původního záměru razit tunel Brusnice z portálu Prašný most s lepšími dispozičními a prostorovými podmínkami pro ražbu a bylo nutné přehodnotit organizaci prací pro zahájení za méně výhodných podmínek z portálu stavební jámy Myslbekova, a to v úklonu s 5% spádem.

Ukončení ražeb se předpokládá koncem března 2011 a ukončení hlavních stavebních prací na ražených objektech ke konci roku 2011.

ING. JAN KVAŠ, jan.kvas@metrostav.cz,
ING. MILOSLAV ZELENKA, miloslav.zelenka@metrostav.cz,
ING. MILOSLAV SALAČ, miloslav.salac@metrostav.cz,
METROSTAV a. s.

Recenzoval: doc. Ing. Karel Vojtasík, Ph.D.



Obr. 4 Portál JTT raženého tunelu Brusnice
Fig. 4 Brusnice STT mined tunnel portal

length of 50 metres, with a requirement that the entire STT profile had to be closed within a minimum length of 35m as early as possible. The next STT section, 200m long as a minimum, is driven using a horizontal excavation sequence, with permanent checking on the deformational response. The NTT and STT excavation starting from the Myslbekova excavation trench passes under an adjacent park and proceeds along Jelení Street up to the intersection with U Brusnice Street. The subsequent excavation runs under a car park and a park running along the building of the Ministry of Culture. No existing buildings are directly passed under, but some are found in the settlement trough. The two tunnel tubes pass directly under historically protected Baroque bastions in four locations. Sensitive utility networks (gas pipelines, sewers, water lines etc.) and also a tram track are found in many locations above the tunnel tubes. No diversions are planned for the utility networks and the tram track. For that reason, deformation criteria are prescribed in the Building Permit, limiting the surface settlement after all excavation operations: 6cm for the settlement and 1 : 1000 for the settlement trough slopes. Structural analyses proved that these limits can be met in critical locations with deteriorated geotechnical parameters only if a vertical excavation sequence is used. For that reason the NTT and STT are driven in critical stretches solely using this excavation sequence.

Conclusion

The Brusnice mined tunnel excavation started with a certain delay compared with other sections of the Blanka complex of tunnels. This will certainly lead to considerable pressures on timely completion with respect to the expected completion of the entire route of the City Circle Road between the Strahov tunnel and the connection to the Barikádníků Bridge. The original intention to drive the Brusnice tunnel from the Prašný Most, for which the excavation conditions were better in terms of the layout and spatial conditions, had to be abandoned as early as the planning stage. The entire organisation had to be reconsidered to allow the operations to start in rather disadvantageous conditions, from the Myslbekova construction trench, on a down gradient of 5%.

The excavation is expected to be completed at the end of March 2011, while the main civil works on mined structures are to be finished at the end of 2011.

ING. JAN KVAŠ, jan.kvas@metrostav.cz,
ING. MILOSLAV ZELENKA, miloslav.zelenka@metrostav.cz,
ING. MILOSLAV SALAČ, miloslav.salac@metrostav.cz,
METROSTAV a. s.

LITERATURA / REFERENCES

- Šourek, P., Butovič, A., Dvořák, J., Polák, F., Šajtar, L. – Tunelový komplex Blanka – mimořádná stavba nového století, Tunel č. 3, 2007
Kvaš, J., Chmelař, R. – Výstavba silničního tunelového komplexu Blanka v Praze, stavba 0079 – Tunel mezi Špejcharem a Pelc-Tyrolkou, Tunel č. 1, 2008
Zadávací dokumentace stavby – Městský okruh, Stavba ev. č. 0079 Špejchar – Pelc-Tyrolka – ŠPELČ, Satra spol. s r. o., a ev. č. 9515 Myslbekova – Prašný most – MYPRA, PUDIS a. s., 2006
Vorel, J., Březina, B. MO stavba č. 9515, úsek Myslbekova Prašný most – Podrobný inženýrskogeologický průzkum, PUDIS a. s., Praha 2003
Stavba č. 9515 Myslbekova – Prašný most – závěrečná zpráva o doplňujícím geotechnickém průzkumu, PUDIS a. s. a SG Geotechnika a. s., 06/2008