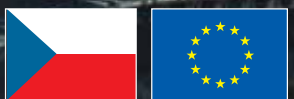
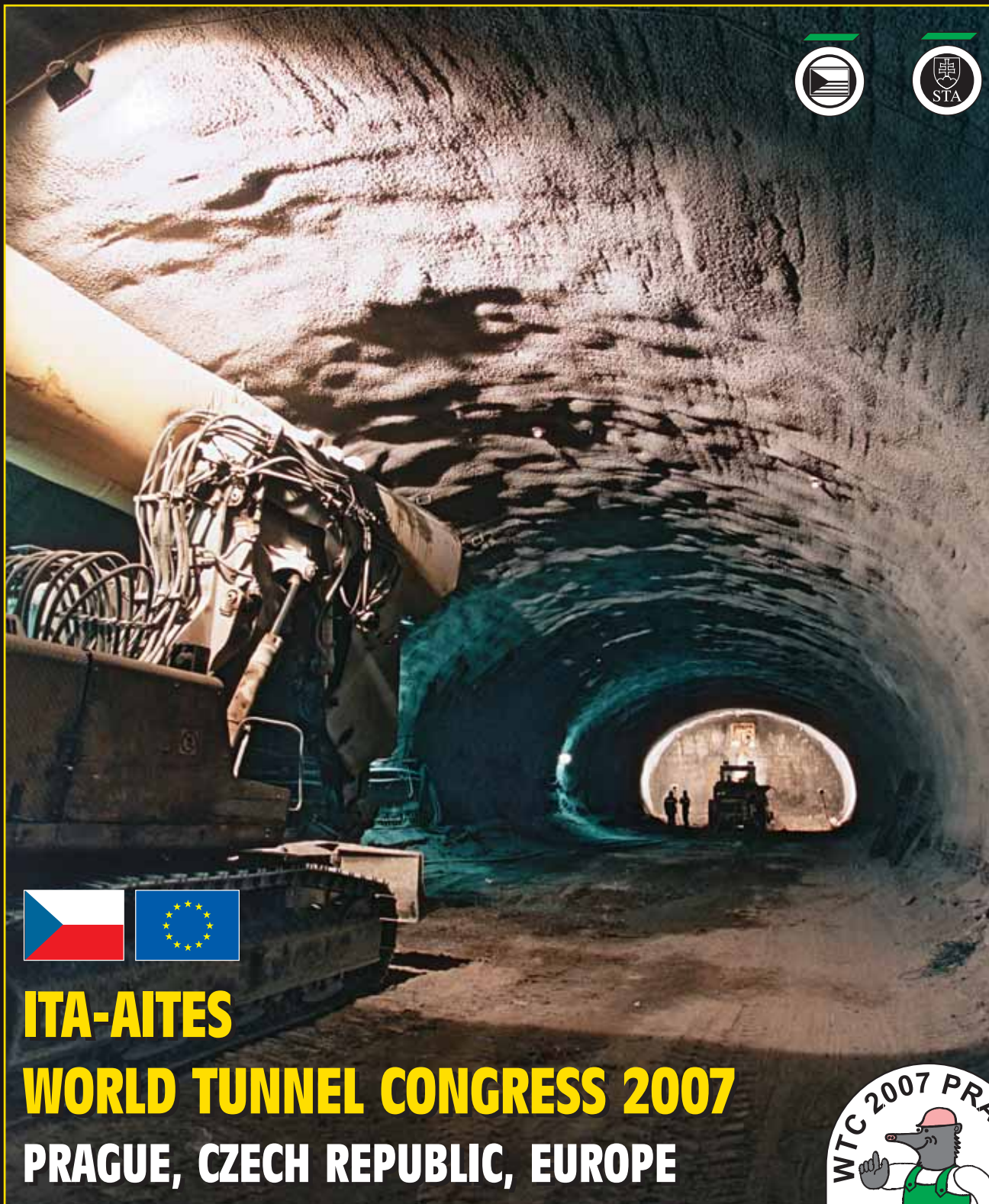


TUNNEL

č. 1
2006

ČASOPIS ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA/AITES
MAGAZINE OF THE CZECH TUNNELLING COMMITTEE AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA/AITES



ITA-AITES

WORLD TUNNEL CONGRESS 2007

PRAGUE, CZECH REPUBLIC, EUROPE





ZLEPŠOVAT POVĚST PODZEMNÍCH STAVEB

Důležitým úkolem všech, kteří pracují v oboru podzemních staveb, musí být značné vylepšení představ o podzemních stavbách nejen v očích politiků a lidí, kteří mají rozhodovací pravomoci, ale i médií a obecně celé veřejnosti. Nechápejte mne, prosím, nesprávně. Pověst oboru není špatná, což dokazuje skutečnost, že množství tunelů a jiných podzemních staveb uváděných do provozu každým rokem roste. Nelze však ani říci, že je všeobecně dobrá.

Proč je tedy potřebné pověst oboru zlepšovat? Odpověď zní, že musíme ulehčit práci subjektům, které rozhodují, aby řádně zvažovaly a spravedlivě posuzovaly vhodnost alternativy tunelu pro stále více projektů. Daly by tak veřejnosti větší možnost využívat četné přímé a nepřímé výhody podzemí. Volba podzemní alternativy znamená vždy namáhavou bitvu, což je způsobeno současnou pověstí tunelů. Existuje mnoho důvodů, proč tunely nedostávají tak často příležitost. Nemůžeme je zde podrobně rozebírat. Některé však souvisejí se skutečností, že lidé, kteří rozhodují, mají mylně za to, že tunel je příliš drahá záležitost, anebo nechtějí být těmi prvními, kdo se pokusí o něco nového nebo jiného.

Jak můžeme svou pověst zlepšit? Měli bychom především ukazovat veřejnosti, jak dobré tunely a podzemní stavby ve skutečnosti jsou. Nemůžeme pouze mluvit o výhodách podzemních staveb se svými kolegy na tunelářských konferencích. Spíše musíme využít každou příležitost k přímému předávání svých názorů a zkušeností veřejnosti, médiím a těm, kteří rozhodují. Především bychom se měli prezentovat na jednáních, kde jsou přítomni ti, kteří rozhodují. Měli bychom zveřejňovat vhodné články a příklady našich úspěchů v populárním tisku. My všichni se musíme aktivně zapojit do procesu rozhodování.

Jak jinak můžeme ještě svou pověst zlepšit? Musíme usilovně zlepšovat ty stránky tunelů a podzemních staveb, které naši pověst poškozují. Tunelové stavby nesmí například přinášet žádná finanční překvapení, což vyžaduje pečlivé stanovení ceny a doby výstavby a přesné řízení záležitostí, které by mohly k překvapivému zvýšení cen a prodloužení doby výstavby vést. Jednou z možností, jak tento problém řešit, je využití metod řízení rizik při stanovení správného rozmezí ceny a doby výstavby v závislosti na tom, jak se různé faktory vyvíjejí v průběhu prací na projektu a na stavbě. Při tomto postupu veřejnost od začátku chápe, že cena a doba výstavby jsou ovlivněny mnoha činiteli. Metody řízení rizik se ukázaly jako úspěšné již na řadě projektů.

Tunely mají velmi mnoho cenných výhod z hlediska životního prostředí. Náš obor musí vytvořit postupy, jak finančně tyto přínosy vyjádřit. Znamenají velké úspory nákladů na zachování životního prostředí, a proto by se měly zahrnovat do rozvah nákladů při zakalkulování dlouhé životnosti tunelů. Měli bychom se rozhodnout, že budeme stavět tunely podle rozvahy nákladů za celou dobu životnosti namísto hlediska počátečních investičních nákladů. K velmi dlouhé funkční životnosti tunelů se při porovnávání tunelových a povrchových alternativ nikdy nepřihlíží, ale mělo by se.

Metody řízení rizik by se měly využívat systematicky u všech projektů od samého počátku, kdy se začne o tunelu vůbec uvažovat. Správné použití metod řízení rizik může významně snížit pravděpodobnost výskytu problémů v průběhu výstavby tunelu. Stále je příliš případů havárií tunelů. Jejich počet se však může a musí značně snížit vhodným využitím metod řízení rizik. Zmenšení problémů v průběhu výstavby významně zlepší pověst našeho oboru.

Vždy by se mělo připomínat, že tunely jsou investice, nikoliv náklady. Zlepšení jejich pověsti přinese více tunelových staveb a více výhod pro veřejnost.

IMPROVING THE IMAGE OF THE UNDERGROUND

A major goal of our industry must be to significantly improve the image of the Underground in the eyes of our politicians, decision makers, the media, and the public in general. Please do not misunderstand me; our image is not necessarily "bad" which is proven by the fact that more and more tunnels and underground facilities are being constructed and put into use each year. But our image is not universally "good" either.

So why must we improve our image? The answer is to make it easier for decision makers to consider and give a fair evaluation of the tunnel alternative on more and more projects. This will give the public a better chance to benefit from the numerous direct and indirect advantages of the underground. Selection of the underground alternative is always an uphill battle which is made difficult because of the current image of tunnels. There are numerous reasons why tunnels are not given a fair chance; too many to discuss in this editorial. However, some relate to the fact that decision makers are not aware of the direct and indirect advantages. Some relate to the fact that decision makers incorrectly "assume" that a tunnel is too expensive. Some relate to the fact that decision makers do not want to be the first one to try something new or different.

How do we improve our image? We should do it by showing the public just how good tunnels and the underground really are. To do this, we can not just talk to our peers at tunnel conferences. Rather, we must take our message directly to the public, the media, and the decision makers at every opportunity. We should make presentations at the meetings where the decision makers will be. We should publish favorable articles and examples of our successes in the popular press. We must all be more active ourselves in the decision-making process.

How else do we improve our image? We must aggressively improve those aspects of tunnels and tunnel construction that adversely affect our image. For instance, we must make sure that our tunnel projects do not have financial surprises. This requires careful determination of the cost and schedule of our tunnels and consideration and management of the things that might lead to surprise increases in cost and schedule. One way to solve this problem is to use risk management techniques to predict a valid "range" of cost and schedule depending upon how various factors develop throughout design and construction. This way, the public understands from the beginning that cost and schedule are affected by many factors. These techniques have been shown already to be successful on several projects.

There are many environmental advantages to tunnels and those advantages have significant value. Our industry must develop ways to give a financial credit for the environmental advantages that tunnels provide. These environmental cost advantages should be incorporated into cost ranges that take into account the long service life of the tunnels. We should make the decision on whether to tunnel on Life-Cycle-Cost-concepts, not initial capital cost. The fact that tunnels last a very very long time is never considered when evaluating a tunnels against a surface alternative, but should be.

Risk management techniques should be used systematically on all projects from the very first time that a tunnel is even considered. The proper use of risk management techniques can significantly reduce the likelihood of encountering problems in tunnelling. There still are too many cases of tunnel failures but these can, and must, be reduced significantly by proper use of risk management techniques. The reduction of problems during construction will also greatly improve our industry's image.

It should always be remembered that tunnels are an investment, not a cost. An improved image will result in more tunnels being built and therefore greater advantages to the public.

Harvey W. Parker,

President

International Tunneling Association ITA - AITES

VÝVOJ PODZEMNÍHO STAVITELSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICĚ

DEVELOPMENT OF UNDERGROUND ENGINEERING IN THE CZECH REPUBLIC

JIŘÍ BARTÁK

Cílem náplně první poloviny tohoto čísla časopisu Tunel je podat výstižný, i když pochopitelně ne zcela vyčerpávající přehled o podzemním stavitelství v České republice (15 následujících příspěvků, strana 2–62).

V první části úvodního článku jsou vzpomenua nejdůležitější, vpravdě historická podzemní díla a vzájemné souvislosti s příbuznými obory (např. hornictvím, vodohospodářskými díly a podzemními fortifikacemi); v další části je potom stručně popsán technologický vývoj podzemního stavitelství druhé poloviny 20. století a uvádějí se vesměs stavby do současnosti již dokončené a provozované (výjimkou je zmínka o kolektoru Vodičkova v Praze, v němž byly na konci roku 2005 dokončovány ražby).

Po úvodním článku následují tři příspěvky věnované jednak probíhajícím i dokončeným realizacím nejdůležitějších tunelů na železničních korytech, které jsou modernizovány na vysokorychlostní provoz, jednak i poměrně velkorysým výhledovým podzemním dílům, uvažovaným do budoucnosti.

Probíhajícím realizacím a plánovaným řešením silničních a dálničních tunelů je věnováno dalších pět článků. Samostatný příspěvek popisuje návrh rozvoje sítě pražského metra o novou trasu D.

Poslední úsek je zaměřen na oblasti speciálních a komunálních podzemních staveb. Články obsahují informace o podzemních kavernách, kolektorech a úložišti jaderného odpadu. Závěrečný článek je věnován připravované zkušební štolě Stavební fakulty ČVUT v Praze, situované v lokalitě Mokrsko ve středním Povltaví.

Celý tento soubor článků se ve zkrácené verzi dotýká řady témat, která budou podrobněji zpracována v souhrnné antologii o českém podzemním stavitelství, připravované ve formě reprezentační publikace. Tu obdrží všichni registrovaní účastníci Světového tunelářského kongresu Praha 2007.

Témata jednotlivých příspěvků byla jako reprezentativní vzorky českého tunelářství vybrána členy redakční rady publikace a redakční rady časopisu Tunel. Na vlastním zpracování příspěvků se podílel kolektiv autorů s odpovídajícím profesním zaměřením.

The objective of the contents of the first half of this Tunel magazine issue is to offer an accurate, even if not totally comprehensive overview of underground engineering in the Czech Republic (the 15 following papers, pages 2 – 62).

The initial part of the opening article recalls the most important, truly historic underground works and mutual connections with related industrial branches (e.g. mining, hydraulic works and underground fortifications); the next part briefly describes the technological development of underground engineering in the second half of the 20th century, and gives examples of projects, which have mostly been completed and are operational (with the exception of the utility tunnel under Vodičkova Street in Prague, where the excavation operations were being completed by the end of 2005).

The opening article is followed by three papers dedicated both to the most important tunnels (under construction or completed) for railway corridors which have been upgraded for high-speed operation and to relatively grandiose prospective underground construction projects which are being considered for the future.

Subsequent articles deal with the current construction and planned development of road and motorway tunnels. An independent paper describes a proposal on the development of the Prague Metro network by the addition of a new line, the Line D.

The last portion is dedicated to the area of special and community underground structures. The articles contain information on underground caverns, utility tunnels and a repository for radioactive waste. The closing article is dedicated to a testing gallery being prepared by the Faculty of Civil Engineering of the Technical University in Prague, which is situated in the Mokrsko locality along the central stretch of the Vltava River.

An abbreviated version of the whole set of these articles touches on a wide range of topics that will be dealt with in much more detail in a synoptic anthology on Czech underground engineering, which is being prepared in the form of a representative publication. This publication will be issued to all registered attendees of the World Tunnel Congress Prague 2007.

The members of the Editorial Board of the publication and members of the editorial board of Tunel magazine selected the topics of the individual papers as representative samples of the Czech tunnelling industry. The authors of the papers are professionals in their own relevant fields.

ÚVOD DO ČESKÉHO PODZEMÍ – STAV DO SOUČASNOSTI

INTRODUCTION INTO THE CZECH UNDERGROUND – THE PAST

HISTORICKÉ PODZEMNÍ STAVBY

Podzemní stavby jsou neodmyslitelně spjaty s horninovým prostředím, v němž jsou budovány. Stáří, původ a typ hornin, tvořících horninový masív, výrazně ovlivňují průběh a bezpečnost tunelování. Nikoliv náhodou i proslulá nejstarší odborná publikace týkající se důlní činnosti v podzemí, kterou je učebnicově pojaté dílo Georgia Agricoly „De Re Metallica Libri XII“, v knize druhé a třetí pojednává v podstatě o problematice geologicko-morfologické a průzkumné. Porozumění geologickému vývoji a obvykle komplikovaným vlastnostem prostředí, které náleží zájmovému území, je nutným předpokladem úspěšného konání v mnohostranně náročném oboru podzemního stavitelství.

STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA GEOLOGICKÉHO VÝVOJE A MORFOLOGIE ÚZEMÍ ČESKÉ REPUBLIKY

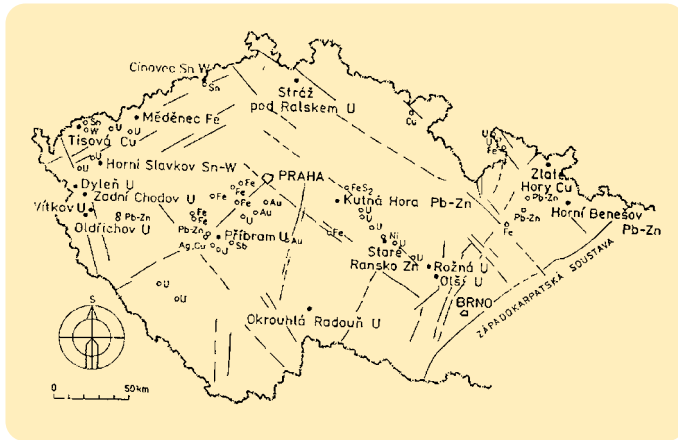
Z regionálně-geologického hlediska lze oblast ČR rozdělit na dva základní celky – Český masív a Karpatskou soustavu. K Českému

HISTORIC UNDERGROUND CONSTRUCTION

Underground structures are always associated with the rock environment that they are built in. The age, origin and type of the rock forming the rock massifs significantly affect the course and safety of tunnelling. It is not by chance that even the famous oldest technical book dealing with mining operations in the underground, the textbook-like work by Georgius Agricola “De Re Metallica Libri XII”, in the volume suitable for doing business in the demanding field of underground engineering successfully.

BRIEF CHARACTERISTICS OF THE GEOLOGICAL HISTORY AND MORPHOLOGY OF THE TERRITORY OF THE CZECH REPUBLIC

From the regional geological perspective, the territory of the Czech Republic can be divided into two basic units, i.e. the Bohemian Massif and the Carpathian System. The Bohemian Massif comprises Bohemia, Western Moravia and Silesia; the Carpathian System consists of



Obr. 1 Schematická tektonická mapa Českého masivu s hlavními rudnými ložisky

Fig. 1 Schematic map of the Bohemian Massif with the main ore deposits

masivu patří Čechy, západní Morava a Slezsko, ke Karpatské soustavě východní a jihovýchodní Morava. Hranice mezi oběma soustavami probíhá ve směru JZ-SV po linii Znojmo – Vyškov – Přerov – Karviná. V důsledku různého vývoje geotektonických cyklů existuje mezi Českým masivem a Karpatskou soustavou řada rozdílů v morfologickém modelování povrchu.

S uvážením pestrosti horninových typů a složité tektonické stavby se nechá říci, že z hlediska geomorfologického bylo území ČR historicky předurčeno zejména k těžební exploataci podzemí a v mnohem menší míře k využití podzemí pro komunikační spoje.

Stará důlní díla. V úvodu zaměřeném na všeobecný historický přehled o českém podzemí nelze proto opomenout historická důlní díla, především rudná, byť se o stavby v pravém slova smyslu nejedná.

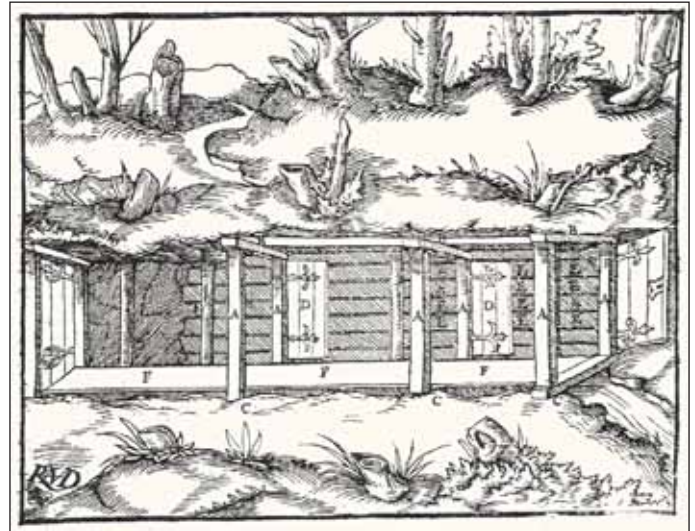
V prostoru Českého masivu k nejvýznamnějším oblastem, s mnohasetletou a významnou hornickou minulostí až po nedávnou současnost, s řadou rudných revírů patřila sasko-durynská (krušnohorská) strukturní zóna. Je vymezena oblastí Krušných hor, Slavkovského a Českého lesa; jsou v ní uložena polymetalická ložiska s obsahem stříbra, mědi, cínu, wolframu, olova, bizmutu, zinku, niklu, kobaltu a uranu. K nejvýznamnějším důlním revírům patřily Jáchymov, Horní Slavkov, Krupka a Cínovec (obr. 1).

S jáchymovským revírem je svázáno vynikající renesanční literární dílo, které je pokládáno za nejstarší komplexní učebnici báňských věd, kniha Georgia Agricoly „De Re Metallica Libri XII“ („Dvanáct knih o hornictví a hutnictví“). G. Agricola pracoval v Jáchymově jako lékárník a lékař v letech 1527 až 1531, výrazně se však angažoval, vzhledem ke svému zájmu o mineralogii, i ve zdejší důlní činnosti. Jáchymov se totiž po objevu bohatého stříbrného ložiska v roce 1516 rozrostl v době příchodu G. Agricoly na město mimořádné velikosti a významu. Počet jeho obyvatel dosáhl 18 000, hornickou prací se zabývalo 8000 dělníků, 400 směn mistrů a 800 důlních dozorců. Průměrný roční výtěžek přesahoval až neuvěřitelných 10 000 kg stříbra.

Skvělé latinsky psané dílo G. Agricoly bylo v Jáchymově započato, dokončeno bylo však až okolo roku 1550 a poprvé vydáno v Basileji roku 1556, několik měsíců po Agricolově úmrtí. Dílo je nejen dobovým odborným pojednáním evropského významu na prahu novověku, svým stylem a provedením je současně i učebnicí, která položila základ pozdějšího rozvoje báňského školství (obr. 2 a 3).

Podzemí historických měst. Sklepy, chodby a katakomby tvoří často rozsáhlé labyrinty pod historickými jádry měst. Tyto podzemní prostory, stejně jako sklepení hradů a zámků, byly téměř vždy původně určeny ke skladování potravin a získávání pitné vody, neboť v nich byly často pramenné jímky a studny, které byly v podzemí dobře chráněny proti znečištění. Zprvu pod jednotlivými domy, lemujícími středověká náměstí, vznikala důmyslně utvářená sklepení. Do tehdejších lednic vedly zpravidla z povrchu úzké komíny ke spuštění kusů ledu, roztátou vodu i přebytečnou podzemní vodu odváděly kanály trativodů, takže vysoká hladina vody neohrožovala stabilitu výrubů.

Později mimořádný hospodářský rozkvět některých středověkých měst vedl k tomu, že bohatí majitelé vytvářeli další patra rozsáhlých



Obr. 2 Vyobrazení výdřevy štoly z knihy páté G. Agricoly

Fig. 2 A figure of gallery timbering from Volume Five of G. Agricola's book

Eastern and South-Eastern Moravia. The divide between the two systems runs in the SW-NE direction, along the Znojmo – Vyškov – Přerov – Karviná line. Owing to the different development of geotectonic cycles, there are many differences between the Bohemian Massif and the Carpathian System in the terrain modelling.

Considering the variety of rock/ground types and the complex tectonic structure, we can say that, from a geomorphological perspective, the territory of the CR is historically predetermined above all to be exploited for underground mining and, to much lesser extent, to offer the underground to communications routes.

Old mining works. The introduction focused on general historic survey of the Czech underground cannot omit historic mining works, primarily ore mining works, even though these are not real underground structures.

Among the most important regions with hundreds of years long and important mining history, containing many ore districts even in the not so distant past, belonged the Saxony-Thuringian (the Erz gebirge) structural zone. It consists of the Krušné Hory Mountains (the Erz gebirge), Slavkov (Austerlitz) Forest and Bohemian Forest; it contains polymetallic deposits with contents of silver, copper, tin, wolfram, lead, bismuth, zinc, nickel, cobalt and uranium. Jáchymov, Horní Slavkov, Krupka and Cínovec were some of the most important districts (see Fig. 1).

The Jáchymov district is associated with outstanding Renaissance work, which is considered to be the oldest comprehensive mining sciences textbook, the book by Georgius Agricola “De Re Metallica Libri XII” (“Twelve Books on Mining and Metallurgy”). G. Agricola worked in Jáchymov as a pharmacist and physician in the years 1527 to 1531, but, because of his interest in mineralogy, he enthusiastically embarked on local mining operations. The reason was the fact that Jáchymov, after the discovery of a rich deposit of silver in 1516, grew during the period around G. Agricola's arrival to become an extraordinarily big and



Obr. 3 Vyobrazení těžního stroje z knihy šesté G. Agricoly

Fig. 3 A figure of a hoisting machine from Volume Six of G. Agricola's book

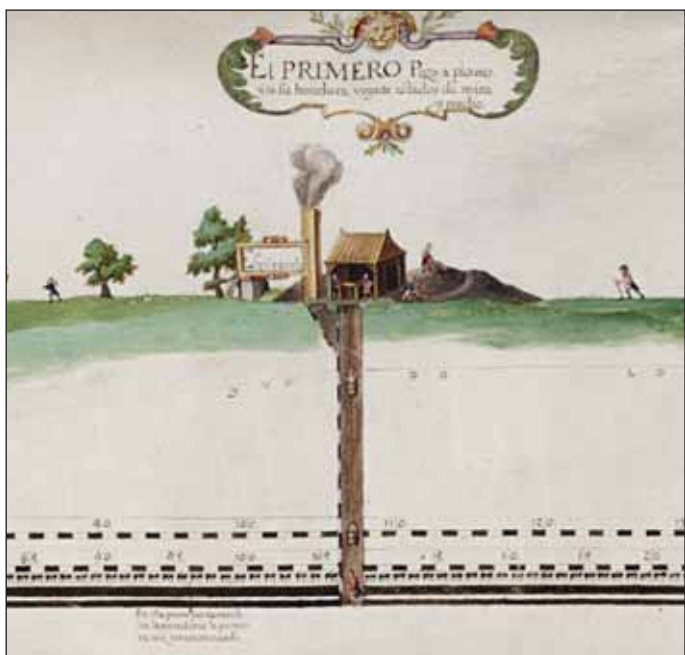


Obr. 4 Charakter výrubů znojemského podzemí (Oto Mašek)
Fig. 4 Cellars in Znojmo underground (Oto Mašek)

sklepení, která přesáhla půdorysy jednotlivých domů. Postupné vzájemné propojování sklepů v soustavu podzemních prostor souviselo nejen s rozšiřováním a propojováním majetků, ale přinášelo též velké výhody při mimořádných událostech, jakými byly časté požáry nebo obléhání nepřátelskými vojsky, nejčastěji obojí najednou. Výstavba a udržování plně funkčnosti podzemních soustav byly technicky náročné a současně nákladné. Podzemí jsou proto typická pro města významná a bohatá, která potřebovala hospodářské zázemí a měla dostatek prostředků na svoje zabezpečení (např. Znojmo, Jihlava, Tábor, Brno a další – obr. 4).

Rudolfova štola v Praze. V ranném novověku vzniklo v Čechách dosud zachované a funkční dílo, které je pozoruhodnou historickou podzemní stavbou, jejíž význam jako nejen čistě technického díla, spjatého s osobností císaře Rudolfa II. Habsburského, přesahuje rámec českých zemí i střední Evropy. Jedná se o vodohospodářskou štolu délky 1100 m, jejímž účelem bylo bez náročného čerpání zásobovat vodou uměle zřízené rybníky v Královské oboře (dnešní park Stromovka). Rudolfova štola protínala pro Prahu typický vltavský meandr, obtékající letenský ostroh, tvořený pevnými ordovickými horninami; zkrácením toku byl získán ve štole potřebný spád pro gravitační napájení zavlažovacích rybníků.

Obdélníková štola s průměrnou šířkou 1 m a výškou 2,2 m byla ražena současně z 10 čeleb, z nichž 8 bylo obsluhováno ze 4 mezi-lehlých šachet a 2 z portálů; pátá šachta se v průběhu prací zavalila



Obr. 5 „Věrné vyobrazení“ Rudolfovy štoly od Isaaca Phendlera – výřez (Archiv NTM v Praze)

Fig. 5 “Authentic image” of the Rudolf gallery by Isaac Phendler – section (Archive NTM in Prague)

important town. Its population reached 18,000, with 8,000 mine diggers, 400 shift leaders and 800 viewers.

The average annual recovery exceeded an unbelievable 10,000kg of silver.

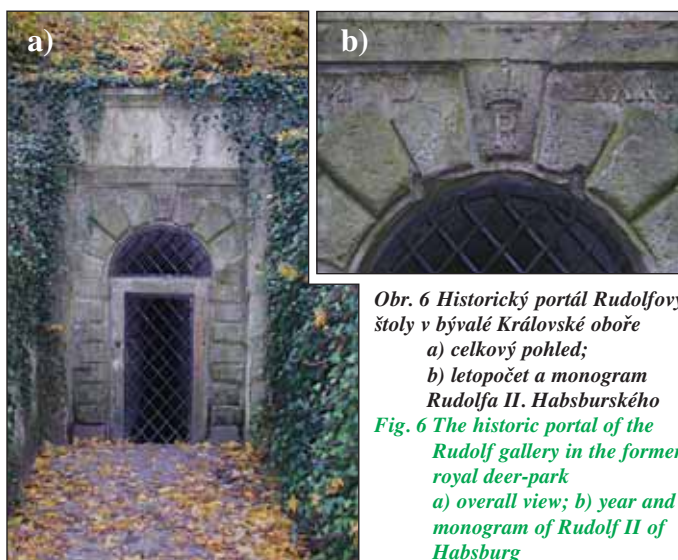
G. Agricola started his magnificent Latin work in Jáchymov, however, he was not to complete it until about 1550. The first edition took place in Basel in 1556, several months after Agricola's death. The work is not only a period technical publication of European importance, which was prepared at the threshold of Modern Times. Through its style and concept it is also the textbook that laid foundation of the subsequent development of mining education (see Fig. 2 and 3).

The subsurface of historic towns. Cellars, corridors and catacombs often form extensive labyrinths under historic cores of towns. Those subsurface spaces, identically with cellars in castles and chateaus, were always originally designed for food storage and provision of potable water as there were catchments and wells well protected from pollution there. Sophisticated systems of cellars were developed starting originally under individual houses around medieval squares. Blocks of ice were lowered from the surface to the refrigerators of the period usually through narrow chimneys. Water from melting ice and excessive ground water was evacuated by drains, therefore high water table did not threaten the stability of the caverns.

Later the extraordinary economic flourishing of some medieval towns led to a situation where rich owners developed additional levels of extensive cellars, which reached outside the footprints of individual houses. The gradual process of interconnecting the cellars to form a system of underground spaces was associated not only with the efforts to expand and interconnect the properties, but it also provided significant advantage in emergencies, for instance the cases of fires, which were in those days frequent, or besieging by enemy armies, most often both together. The process of building and maintaining the underground systems fully serviceable was technically demanding and costly. The underground systems are therefore typical of important and rich towns, which needed economic background and had sufficient economic power for their protection (e.g. Znojmo, Jihlava, Tábor, Brno etc. – see Fig. 4).

The Rudolf Gallery in Prague. The construction, which continues to function and be maintained to this day, was first built in Bohemia in the Middle Ages. It is a remarkable underground construction. The significance of this remarkable historic underground structure reaches beyond the limits of the Bohemian provinces and indeed Central Europe, not just for its association with Emperor Rudolf II of Hapsburg. The works in question is a 1,100m long water supply gallery, which was built to make supplies of water to artificial ponds in Royal Deer Park (today's Stromovka Park) possible without complex pumping systems. The Rudolf gallery cut through a typical Prague meander of the Vltava River, which flows around the Letná hill's nose consisting of massive Ordovician rock. The shortened route of the flow provided the gradient required for gravity supply of the irrigation ponds.

The gallery rectangular cross-section (the width 1m and height 2.2m on average) was driven simultaneously from 10 points of attack, with the access to 8 of them from 4 intermediate shafts and 2 from portals; a fifth shaft collapsed in the course of the work and was not utilised any more. Despite this high number of points of attack which the



Obr. 6 Historický portál Rudolfovy štoly v bývalé Královské oboře
a) celkový pohled;
b) letopočet a monogram Rudolfa II. Habsburského

Fig. 6 The historic portal of the Rudolf gallery in the former royal deer-park
a) overall view; b) year and monogram of Rudolf II of Habsburg



Obr. 7 Podzemí první pražské čistírny odpadních vod
Fig. 7 The underground space of the first sewage treatment plant in Prague

a nebyla dále používána. I přes tento značný počet pracovišť, z nichž se prováděla ražba, trvala pozvaným kutnohorským havířům pod řízením dvorního mincmistra Lazara Erckera ruční ražba v prokře-meněných břidlicích letenského souvrství dlouhých 11 let v období od roku 1582 do roku 1593 (obr. 5 a 6).

První kanalizace s čistírnou odpadních vod. Přestože ve starověku a středověku byly užívané výjimečně pro odvod splašků i podzemní stoky (k nejstarším a nejznámějším patří římská „Cloaca Maxima“), nejběžnějším řešením i v pokročilém novověku zůstávaly strouhy vedoucí středem ulic či podél domů. Měšťané do nich vylévali a sypali odpady ze svých domů a dešťové přívaly čas od času všechno spláchly. Je nasnadě, že řada velkých epidemií moru, chole-ry a tyfu měla příčinu v tomto stavu.

V Čechách byl první projekt kanalizační sítě vypracován pro Prahu profesorem Hergetem ze Stavovské inženýrské školy v roce 1787. Nerealizovaný projekt byl v roce 1791 přepracován a v letech 1818 až 1828, zásluhou osobní a zejména finanční podpory hraběte K. Chotka, nejvyššího purkrabího v Čechách, bylo vybudováno 44 km kanalizačních stok; splašky však jimi byly odváděny do Vltavy bez čistění.

Mimořádně kvalitní projekt kanalizační sítě pod Starým a částí Nového Města pražského vypracoval v roce 1893 anglický inženýr W. H. Lindley. Realizace tohoto projektu byla dokončena v roce 1907 (obr. 7) a spolu s 90 km stokové sítě přinesla Praze i první čistírnu odpadních vod v Bubeneči. Od roku 1967 je stará bubenečská čistírna mimo provoz, z hlediska stavebního se však jedná o jeden ze skvostů industriální architektury konce 19. století.

Od počátku 20. století se pražský kanalizační systém nepřetržitě rozšiřuje a modernizuje. V současné době dosahuje úctyhodných 2500 km délky.

Pevnostní podzemí. Obranné a únikové podzemní chodby hradů a středověkých bohatých měst byly v průběhu času nahrazeny důmyslnými podzemními stavbami, které byly realizovány jako aktivní součást zbraňových systémů a vojenské taktiky. K nejvýznamnějším podzemním stavbám tohoto typu patří barokní fortifikovaná města Terezín a Josefov z 2. poloviny 18. století a pevnostní obranná linie v severovýchodních Sudetech z 30. let 20. století. Pozdější záštitné stavby z 2. poloviny 20. století, kterých rozhodně není na území ČR málo, podléhají z větší části i v současnosti utajení.

Dopravní tunel. Po 1. čtvrtině 19. století nastal velký rozmach tunelového stavitelství. Ten souvisel s celosvětovým nástupem železnice, která po krátkém „koňském“ období ovládla celé 19. století, oprávněně nazývané „stoletím páry“. Pro železnici v Českých zemích, která má více než 160letou historii, je významným dnem 7. červenec 1839, kdy byl zahájen „První parostrojní provoz“ mezi Vídní a Brnem.

V průběhu 19. a první poloviny 20. století bylo postaveno na tratích Českých drah 149 železničních tunelů s délkou zhruba 36,5 km, a lze se proto zmínit pouze o některých pozoruhodnějších.

Nejstarším dílem, s velmi pohnutou historií, byla stavba dvoukolejného **Třebovického tunelu** (1842 až 1845) na trati Česká Třebová – Olomouc, raženého jádrovou metodou v délce 508 m s velkými problémy v prostředí bobtnavých a silně tlačivých miocénních jílu

excavation was carried out from, the hand excavation through quartziferous shale of the Letná Member took the miners invited from Kutná Hora and managed by Lazar Ercker, a court master of the mint, long 11 years, in the period from 1582 to 1593 (see Fig. 5 and 6).

First sewerage with a sewage treatment plant. Despite the fact that sewage was disposed of in ancient Rome and in the Middle Ages exceptionally even by underground sewers (the “Cloaca Maxima” in Rome belongs among the oldest best known), the most common way remained to be ditches running in the middle of streets or along houses even in the advanced modern era. Citizens poured liquid and loose waste from their houses to the ditches, and flash floods flushed everything away from time to time. It is obvious that many serious plague, cholera and typhus epidemics resulted from this condition.

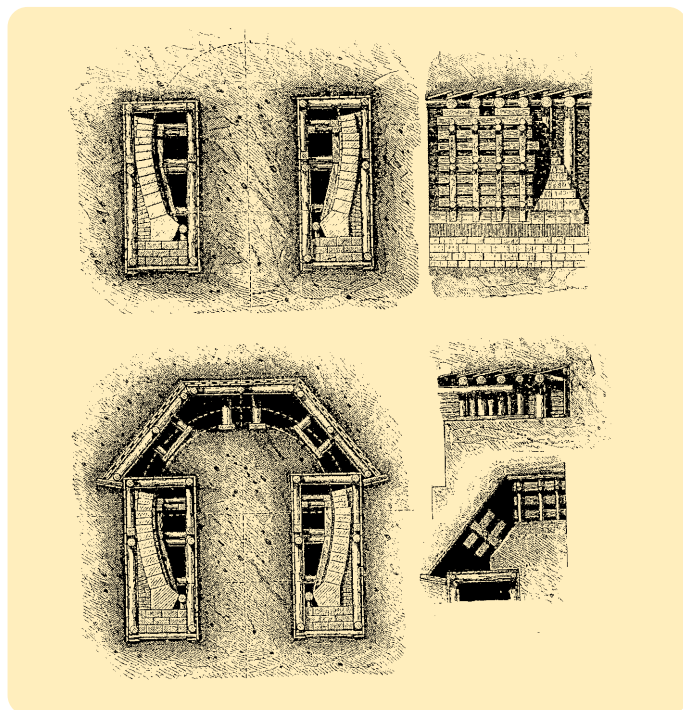
The first sewerage network in Bohemia was designed for Prague by professor Hergert from the States’ School of Engineering in 1787. The design was not realised. The network was redesigned in 1791 and sewers at a length of 44km were built in the years 1818 to 1828, owing to personal and above all financial support by count K. Chotek. Sewage, however, was discharged to the Vltava River untreated.

An exceptionally high quality design of sewerage network under Prague Old Town and part of New Town was developed by W.H.Lindley, an English engineer, in 1893. The construction was completed in 1907 (see Fig. 7). Together with 90km of sewer lines it brought the first sewage treatment plant, the Bubeneč plant, to Prague. The old Bubeneč treatment plant has been out of service since 1967, however its structure remains to be one of gems of industrial architecture from the end of the 19th century.

The Prague sewerage system has been extended and modernised continuously since the beginning of the 20th century. Currently its length reaches respectable 2,500km.

Fortification underground spaces. Defence and escape underground galleries in castles and rich medieval towns were gradually replaced by sophisticated underground structures, which were built as active parts of weapon systems and military tactics. Among the most important underground structures of this type are counted Baroque fortress towns Terezín and Josefov from the 2nd half of the 18th century, and a line of defence fortresses in north-eastern Sudetenland built in the 1930s. Defence structures built in the 2nd half of the 20th century, which are not rare in the Czech Republic, are currently mostly kept secret.

Transit tunnels. A tunnel construction boom started after the 1st quarter of the 19th century. It was associated with the worldwide spread of railway traffic, which, after a short period of horse railway, gained control of the whole 19th century, which is really entitled to be called the



Obr. 8 Třebovický tunel – schéma pobírání jádrovou metodou
Fig. 8 The Třebovice tunnel – a chart of excavation sequences using the German system



Obr. 9 Vinohradské tunely
Fig. 9 The Vinohrady tunnels

(obr. 8). Těžké poruchy obzdvíčky vedly v roce 1866 po 21 letech provozu k opuštění tunelu a trať byla vedena náhradní trasou na povrchu. Po 66 letech, v roce 1932, byl tunel po rekonstrukci jako jednokolejný znovu uveden do provozu. V roce 2004 byl v rámci modernizace železničních koridorů starý Třebovický tunel definitivně opuštěn.

Pozoruhodným dílem byl **Slavič**, první hloubený tunel v Českých zemích, realizovaný v letech 1845 až 1847 na trati Přerov – Hranice na Moravě. Tunel délky 260 m byl také realizován jádrovou metodou, ale její „otevřenou“ variantou (opěry tunelu se provedly v rýhách, klenba byla vyzděna na skružích opřených o horninové jádro). V roce 1873 byla železniční trať přeložena o 100 m k jihu a tunel byl opuštěn. Unikátní solitérní tunelový objekt je veden v seznamu kulturních památek ČR.

Prvními velkými podzemními stavbami v centru Prahy byly **Vinohradské tunely** (obr. 9). Nejstarší byl v délce 1139 m vyražen pilířovou rakouskou soustavou v letech 1869 až 1871 jako součást jednokolejné dráhy císaře Františka Josefa I. z Gmündu do Prahy. Jeho kapacita však záhy přestala vyhovovat růstu dopravní zátěže a v letech 1940 až 1944 byl vyražen druhý tunel délky 1122 m, s technicky zajištěným předpokladem výstavby třetího tunelu. Ten však byl realizován až v letech 1983 až 1989.

Nejdelším železničním tunelem v ČR je **tunel Špičácký** na trati Železná Ruda – Plzeň, jehož délka je 1747 m. Byl ražen v letech 1874 až 1877 v masivu svorových rul současně z 6 čeleb (2 vnější, 4 vnitřní). To bylo umožněno provedením dvou 90 m hlubokých šachet, které byly vyhloubeny v úbočích hory Špičák až na úroveň počvy dvoukolejného tunelu. V letech 1977 až 1982 byla provedena rozsáhlá rekonstrukce tunelu s využitím vyztuženého stříkaného betonu a svorníkové výztuže. V současné době je tunel provozován jako jednokolejný.

V první polovině 20. století k železničním tunelem přibýly v mnohem menší, téměř zanedbatelné míře **tunely silniční**, které nebyly, vzhledem k morfologii našeho území, na silničních tazích staršího typu nutné.

Téměř jako kuriozity lze uvést tři tunely, jejichž délky se pohybují v prvních desítkách metrů – **Vyšehradský tunel** v Praze (délka cca 30 m – obr. 10), **Kokořínský tunel** u Mělníka (dl. 23,7 m) a **Sečský tunel** (dl. 36,5 m) u hráze stejnojmenné přehrady v Železných horách (obr. 11). Všechny tři tunely plní stejné poslání – zajistily výrazné zkrácení velmi potřebného komunikačního spojení a současně ochránily cenné přírodní lokality a historické památky před ohrožením přírodními povrchovými zářezy.

Typickým městským automobilovým tunelem je pražský **Letenský tunel** (obr. 12) délky 426 m, který byl v letech 1949 až 1953 postaven klasickým pilířovým systémem pomocí modifikované rakouské soustavy. Trasa tunelu je esovitá a v celé délce má sklon 5,4 %, včetně 156 m dlouhého předzářezu na severní straně tunelu. Od roku 1969 je tunel větrán nucenou ventilací; při rekonstrukci v roce 2003 byl vybaven standardním bezpečnostním zařízením s moderním řídicím systémem. Podstatně byl zvýšen výkon vzduchotechniky, který nyní zabraňuje úniku škodlivin z portálů do ovzduší a zabezpečuje i požární odvětrání tunelu.

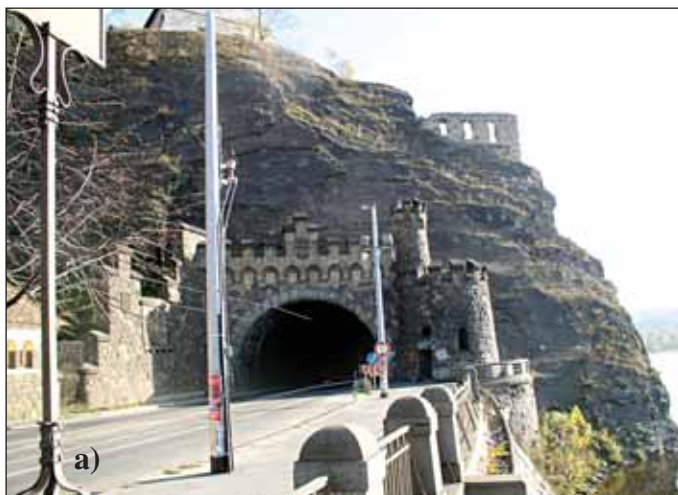
Obdobným automobilovým tunelem na protilehlé straně vltavského údolí měl být **tunel Žižkov – Karlín**, který byl vyprojektován ve

“age of steam”. A proud day in the 160-year history of railways in the Czech provinces is 7 July 1839, when the “First steam train service” between Vienna and Brno commenced.

The 19th century and first half of the 20th century saw 149 **railway tunnels** built on Czech rail lines, with an aggregated length of 36.5km. This is why we can mention only some of the more remarkable of them.

The oldest works with very troubled history was the construction of the 508m long double-rail **Třebovice tunnel** (1842 – 1845) on the rail line Česká Třebová – Olomouc, which was driven using the German system, with serious problems due to the geology consisting of swelling and heavily squeezing Miocene clay (see Fig. 8). Serious defects of the lining caused that the line was abandoned in 1866, after 21-year operation. The track was diverted on to another, at-grade route. After 66 years, in 1932, the tunnel was reopened to traffic, after conversion to a single-track configuration. The old Třebovice tunnel was abandoned definitively after the year 2004, in the framework of modernisation of railway corridors.

The **Slavič** tunnel was notable as the first cut-and-cover tunnel in Czech provinces constructed in the years 1845 – 1847 on the rail line Přerov – Hranice na Moravě. The 260m long tunnel was also excavated using the German system, but its “open” variant (tunnel side walls were built in trenches, the masonry vault was installed on a scaffold braced against the rock core). The railway line was relocated in 1873,



Obr. 10 Vyšehradský tunel
a) severní (podskalský) portál; b) jižní (podolský) portál

Fig. 10 The Vyšehrad tunnel
a) the north (Podskalí side) portal; b) the south (Podolí side) portal

stejně době prakticky v obdobných parametrech jako tunel Letenský. K realizaci automobilového tunelu však nedošlo, a tak v současnosti existuje pouze stejnojmenný fragment původního záměru, kterým je **tunel pro pěší** délky 469 m. Byl postaven v letech 1949 až 1953 a je trvale využíván (obr. 13).

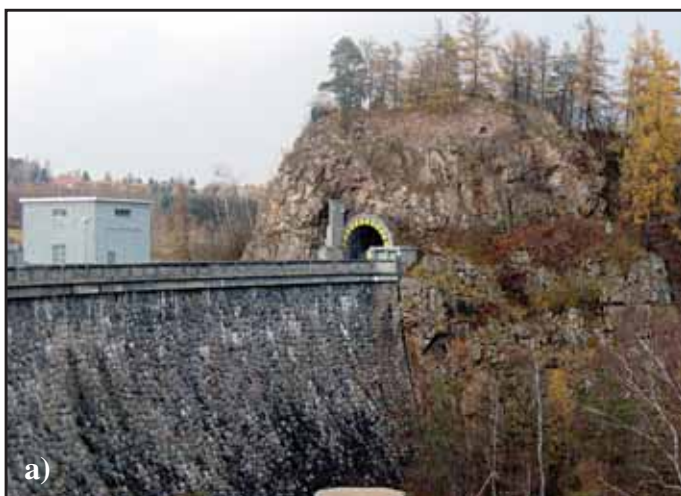
PODZEMNÍ STAVBY REALIZOVANÉ OD 2. POLOVINY 20. STOLETÍ DO SOUČASNOSTI

Přibližně od konce 50. let začal vývoj původního tunelového stavitelství probíhat na značně širší bázi, postavené na vědeckých postupech zkoumání problémů geomechanických, stabilitních i technologických. Do mnohem širěji pojaté sféry podzemního stavitelství byly zahrnuty vedle

- tunelů dopravních (tunely železniční, silniční a dálniční, podzemní rychlodráhy),
- štol a tunelů vodohospodářských (vodní přívaděče, kanalizační sběrače a další)
- i perspektivní podzemní stavby plošné a halové (parkoviště, garáže, skladiště, kaverny hydrocentrál a energetických zásobníků, úložiště nebezpečných odpadů apod.).

Výsledky výzkumů v mechanice hornin, zejména v oblasti pevnostních a deformačních vlastností horninových masivů a jejich stabilitních projevů v čase, umožnily zavést do technologických postupů výstavby tunelů na konci 80. let adaptabilní Novou rakouskou tunelovací metodu, která prakticky úplně vytlačila do té doby preferovanou univerzální prstencovou metodu s kruhovým tubingovým ostěním, ukládaným erektorem.

Výzkum v oblasti technologií rozpojování hornin vedl v průběhu 60. a 70. let k nasazení výkonných vrtacích zařízení a k řadě významných poznatků, umožňujících zavedení milisekundových odstřelů

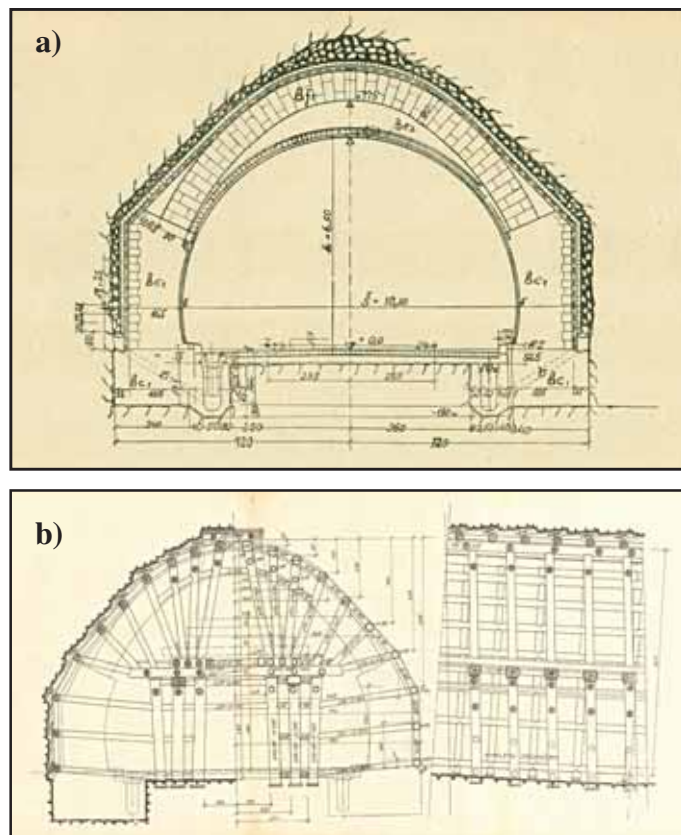


Obr. 11 Sečský tunel

a) přehrada s tunelem; b) pohled na portál

Fig. 11 The Seč tunnel

a) the dam with the tunnel; b) a view of the portal



Obr. 12 Letenský tunel

a) příčný řez; b) výdřeva plného výlomu

Fig. 12 The Letná tunnel

a) cross section; b) timbering of the full-face excavation

shifted 100m in a southerly direction, and the tunnel was abandoned. This unique solitary structure is a listed cultural monument of the CR.

The first large underground constructions in the centre of Prague were the **Vinohrady tunnels** (see Fig. 9). The oldest of them, at a length of 1139m, was driven using the Austrian Pillar Method in 1869 – 1871 as part of the Emperor Franz Josef I single-track line from Gmünd to Prague. Its capacity, however, seized to be sufficient for the growing traffic volume. The second tunnel, 1,122m long, was excavated in 1940 – 1944, with technically guaranteed conditions for the construction of a third tunnel. The third tunnel, however, was built as late as 1983 to 1989.

The longest railway tunnel of the CR is the 1,747m long **Špičák tunnel** on the rail line from Železná Ruda to Plzeň. It was excavated in 1847 to 1877 using 6 concurrent points of attack (2 external, 4 internal) in the micaceous gneiss rock environment. Two 90m deep access shafts reaching up to the bottom of the twin-track tunnel had to be sunk on the slopes of Špičák Hill. In the years 1977 to 1982 the tunnel experienced extensive reconstruction using shotcrete and rock bolts as the support. Today the tunnel is operated in a single-track configuration.

The first half of the 20th century saw an addition of **road tunnels** to the railway tunnels, although in much smaller, nearly negligible extent because of the fact that, considering the morphology of our landscape, they were not necessary on the older type of roads.

Three of those tunnels can be presented nearly as curiosities with their lengths fluctuating within first tens of meters, i.e. the **Vyšehrad tunnel** in Prague (about 30m long – see Fig. 10), **Kokořín tunnel** near Mělník (23.7m long) and **Seč tunnel** (36.5m long) at a dam of the same name in the Železné Hory Mountains (see Fig. 11). The mission of all of the three tunnels was to significantly cut a highly needed route and, at the same time, protect valuable natural localities and historic monuments from threatening by contingent open cuts.

An example of a typical urban automobile tunnel is the 426m long **Letná tunnel** in Prague (see Fig. 12), which was driven in 1949 – 1953 by a traditional pillar system using the Modified Austrian Method. The whole length of the S-shape curving tunnel is at a uniform gradient of 5.4%, including a 156m long open cut on the northern side of the tunnel. Since 1969 the tunnel is ventilated by a forced ventilation system;



Obr. 13 Pohled z tunelu pro pěší do zatopeného Karlína při povodni v roce 2002
Fig. 13 A view of the flooded Karlín district during the 2002 flood, from the pedestrian tunnel

a řízených výlomů (hladký výlom, presplitting). To umožnilo zkvalitnění a zvýšení přesnosti trhacích prací, a to za současného snížení seismických účinků na povrchovou zástavbu.

V poloskalních horninách a v zeminách doznala ve stejném období značného a úspěšného nasazení metoda nemechanizovaného štítování, a to zejména v souvislosti s výstavbou traťových tunelů metra v Praze. Ve značně menším rozsahu byly v 70. a 80. letech nasazeny při ražbě traťových tunelů metra i mechanizované štíty – plnoprofilový sovětský štít TŠČB-3 s ostěním z „pressbetonu“ (např. na trase „A“ pod Vltavou a Starým Městem) a štít s otevřeným čelem a výložníkovou frézou (na trase „B“ do Vysočan). Podstatný rozvoj strojírenských technologií umožnil v 70. letech zavést a v průběhu času zdokonalit mechanizovanou ražbu plnoprofilovými razičmi stroji v pevných skalních horninách, i když pouze menších průměrů (do 4 m). Nicméně rozsah podzemních děl, realizovaných v letech 1970 až 1995 razičmi stroji v ČR je značný, i když málo známý – 25 významných vodovodních přivaděčů, kanalizačních stok a kabelových štol o celkové délce 67 133 m.

Následující výčet podzemních staveb, vzniklých v uvedeném období, zdaleka není úplný, jeho cílem je připomenout některá stěžejní díla, která již vesměs prokázala svou vysokou užitnou hodnotu v civilizační infrastruktuře.

DOPRAVNÍ TUNELY

Období po roce 1945 bylo v železniční síti Českých drah charakterizováno nejprve sanací válkou poškozených staveb a v 60. letech zahájením rozsáhlého programu rekonstrukce železničních tunelů, související s úpravami průjezdného profilu a elektrifikací tratí. K nejvýznamnějším patřila např. rekonstrukce 10 dvoukolejných tzv. blanenských tunelů na trati Brno – Česká Třebová, dále rekonstrukce tunelů povltavských, nelahozevských a dalších. Nových



Obr. 15 Tunel Vepřek
Fig. 15 The Vepřek tunnel



Obr. 14 Tunelové ostění systému BEBO
Fig. 14 The BEBO system tunnel lining

standard safety equipment with a modern control system was added in 2003 as part of a reconstruction contract. The ventilation performance increased substantially. It is capable of preventing pollutants from escaping from the portals to the atmosphere and of ventilating the tunnel in the case of a fire.

A similar automobile tunnel, the Žižkov – Karlín tunnel, was planned for the other side of the Vltava valley. The design parameters very similar to those of the Letná tunnel were applied to this tunnel. This automobile tunnel, however, was not built; only a fragment of the original intention exists – a 469m long pedestrian tunnel of the same name. It was built in the years 1949 to 1953, and has been in permanent use (see Fig. 13).



a)



b)

Obr. 16 Tunel Břežno
a) portál; b) vrubovací stroj při zahájení ražby
Fig. 16 The Břežno tunnel
a) the portal; b) the pre-cutting machine at the beginning of the excavation

železničních tunelů bylo v období od roku 1945 do současnosti v síti ČD vybudováno celkem 21.

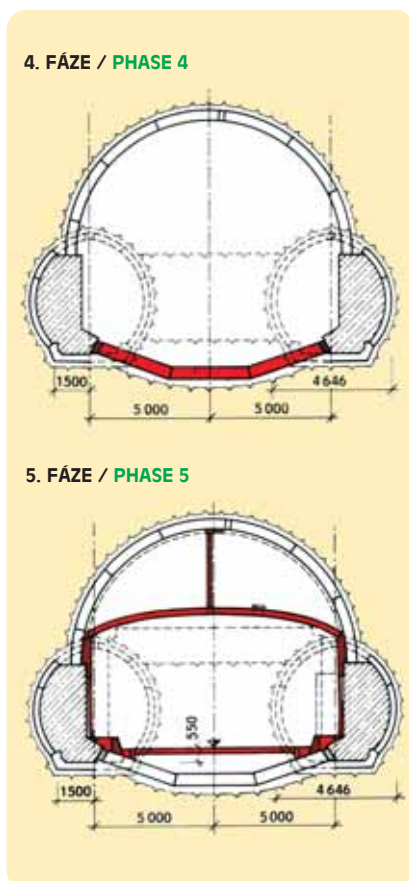
V roce 1980 byl uveden na přeložce trati Sokolov – Chodov do provozu 210 m dlouhý železniční tunel, který je zajímavý tím, že se jedná o **přespávaný tunel** systému BEBO, což je tenkostěnná konstrukce z podélných železobetonových prefabrikátů, zmonolitňovaných na mobilních příhradových skružích (obr. 14).

V rámci přestavby železničního uzlu Praha, kromě v 60. letech postaveného železničního **tunelu pod Bílou Skálou**, proběhla v letech 1983 – 1989 již zmíněná dostavba **III. Vinohradského tunelu**, napojeného pomocí rozpletu na dvoukolejnou počáteční část tunelu, provedenou v předchozí etapě (1940 až 1944). Navazující ražba dvou jednokolejných tunelů byla provedena prstencovou metodou s kruhovým ostěním z železobetonových prefabrikátů, osazovaných do výrubu erektorem. Celková délka III. Vinohradského tunelu je 1599 m.

Modernizace tratí ČD, zahájená v 90. letech, vyžaduje další rekonstrukce a výstavbu nových tunelů, nacházejících se na tranzitních vysokorychlostních koridorech ČD. Jako první byl v roce 2002 zprovozněn 390 m dlouhý **tunel Vepřek** (obr. 15) nedaleko Kralup nad Vltavou a v letech 2004 a 2005 dokončená soustava tunelů na optimalizovaném úseku trati Česká Třebová – Přerov. Jedná se celkem o pět tunelů – **Krasíkovský, Tatenický, Hněvkovský I a II a Malá Huba** v délkách podle pořadí 1099 m, 141 m, 324 m, 180 m a 462 m. Všechny tunely byly realizovány jako dvoukolejně metodou NRTM.

Technologie obvodového vrubu s předklenbou, která je ve světě spojována s francouzskou společností PERFOREX, byla v České republice použita poprvé při výstavbě železničního **tunelu Březno** u Chomutova, zahájené v roce 2002 (obr. 16). Při použití této metody neexistuje volný záběrový prstenec, v němž by byl líc masivu nezajištěný nebo podpíraný pouze liniovými prvky s mezerami, jako jsou např. jehly nebo subhorizontální mikropiloty. Neustálé celoplošné podepření výrubu betonovým primárním ostěním se jeví jako přednost této metody. Nicméně v podmínkách silně porušeného březenského jílovcového masivu došlo po vyražení 860 m tunelu k mimořádné události, spočívající v řetězové ztrátě stability několika předklenb a výstavba tunelu musela být přerušena. Optimální a hlavně bezpečný způsob likvidace závalu a dostavby tunelu je v současné době předmětem spojeného úsilí všech účastníků výstavby.

Silniční a dálniční tunely se v ČR objevily až na konci 20. století v souvislosti s výstavbou městských okruhů, s modernizací stávající silniční sítě a s výstavbou nových dálnic. Prvním tunelem na městském okruhu byl **Strahovský tunel** se dvěma trubami délky 2000 m, postavený v letech 1984 – 1997 v Praze. Nepřiměřeně dlouhá doba výstavby vyplynula mj. z výrazného útlumu investic do této stavby na začátku 90. let. Při stavbě Strahovského tunelu byly použity dvě technologie – ražba nemechanizovaným pološtítem a prstencová metoda s erektorem; v obou případech bylo definitivní ostění z železobetonových tubingů ukládáno na opěry, předem vybetonované v předstihově vyražených opěrových štolách (obr. 17).



Obr. 17 Strahovský tunel
Fig. 17 The Strahov tunnel



Obr. 18 Pisárcký tunel
Fig. 18 The Pisárky tunnel

UNDERGROUND PROJECTS COMPLETED FROM THE 2ND HALF OF THE 20TH CENTURY TO THE PRESENT DAY

Approximately since the end of the 50s, the original basis of the tunnel engineering development started to widen by using scientific methods of research in geomechanical, technological and stability problems. The sphere of underground construction comprising traffic tunnels (railway, highway and motorway, high-speed lines) and water supply galleries and tunnels (aqueducts, sewers etc.) was extended by incorporating prospective areal and large-span underground structures (car parks, garages, stores, caverns for hydropower schemes and energy-related products storage facilities, dangerous waste repositories, etc.).

The results of the research in the rock mechanics, above all in the sphere of strength-related and deformational properties of rock mass and their stability manifestations over time, allowed the New Austrian Tunnelling Method to be introduced into tunnel construction processes at the end of the 80s. It virtually completely replaced the universal ring method with its circular segmental lining and erectors.

The research in the area of rock disintegration equipment resulted in the deployment of high-performance drilling sets and in lots of significant knowledge that made the introduction of the timing of blasts with millisecond delays and controlled blasting (smooth blasting, pre-splitting) possible. Owing to this development, accuracy of blasting operations could be improved and, at the same time, seismic effects on surface buildings decreased.

Regarding semi-rock and soils, non-mechanised shield driving techniques were deployed successfully to a significant extent in the same time period, primarily on running tunnels of the Prague Metro. Mechanised shields were also used for the excavation of running tunnels of the metro in the 70s and 80s, although to a lesser extent. A TŠČB-3 full-face shield (a TBM) producing compressed concrete lining was deployed on the Line A section under the Vltava River, and an open-face shield with a roadheader on the Line B to Vysočany. The substantial development of mechanical equipment in the 70s allowed tunnelers to start and continually improve the mechanised excavation of rock with full-face tunnelling machines (TBMs), even though the diameters were rather small (up to 4m). Nevertheless, the extent of underground excavation performed by TBMs in the period from 1970 to 1995 in the CR is large, even though little known: 25 major aqueduct tunnels, sewers and cable tunnels at a total length of 67,133m.

The following summary of underground works carried out in the above-mentioned period is far from complete. Its objective is to remind us of some outstanding projects, which have already proven their high utility value for the civilisation infrastructure.

TRANSIT TUNNELS

The period after 1945 in the railway network of Czech Railways was characterised at the beginning by rehabilitation of structures damaged by the war, and then, in the 60s, by the commencement of an extensive program of reconstruction of **railway tunnels**, which was connected with modification of the clearance profile and electrification of rail lines.



Obr. 19 Tunel Hřebeč

a) západní portál; b) východní portál před dokončením

Fig. 19 The Hřebeč tunnel

a) the west portal; b) the east portal before completion

K městským tunelům patří i v období 1995 – 1997 postavený **tunel Pisárecký** pod Červeným vrchem v Brně na tzv. pražské radiále, která je přivaděčem dálnice D1. Ražená část tunelu v porušených skalních horninách byla postavena Novou rakouskou tunelovací metodou, zasypávané krajní úseky tunelu v délce 43 a 163 m umožnily velmi citlivé začlenění obou portálů do lesoparkového území (obr. 18). Do komplexu Velkého městského okruhu v Brně patří již provozovaná stavba – hloubený **tunel Husovický** (dokončen 1999).

V roce 1997 byl také dokončen třípruhový silniční **tunel Hřebeč** dl. 350 m na přeložce silnice I/35 nedaleko Moravské Třebové, který eliminoval obtížnou trasu přes stejnojmenné horské sedlo. Tunel s velmi nízkým nadložím písčitojilovitých hlín byl vybudován Novou rakouskou tunelovací metodou se svislým členěním výrubu (obr. 19).

V roce 1999 byl na frekventovaném úseku silnice R35 nedaleko Lipníka nad Bečvou uveden do provozu dvouodní **přesypávaný tunel** systému MATIÈRE (prefabrikované tenkostěnné ostění z velkorozměrových dílů).

V roce 2004 byla dokončena výstavba **tunelu Mrázovka** v Praze. Tento tunel délky 1300 m je významnou částí severozápadního sektoru městského okruhu v Praze, který po dokončení předpokládaném v roce 2010 umožní plynulé převedení dopravy v severojižním směru mimo centrální historickou oblast města. Tunel byl ražen ve dvou paralelních třípruhových troubách se dvěma náročnými rozplety (max. plocha 340 m²) do odbočovacích tunelových větví. Ražba probíhala Novou rakouskou tunelovací metodou převážně s využitím svislého členění výrubu v obtížných geologických podmínkách – z podstatné části v porušeném masivu ordovických břidlic a pod nízkým nadložím s povrchovou zástavbou. Podstatným problémem pro návrh definitivního ostění byly vedle horninových tlaků též tlakové účinky puklinové zvodně, nacházející se v horninovém masivu, která komunikovala s průlinovou zvodní v pokryvných útvarech. Nakonec bylo nutné staticky i konstrukčně zakomponovat desku, která nese vozovku, jako táhlo ztužující definitivní ostění tunelu. Tunel

Among the most important belonged e.g. the reconstruction to 10 double-rail tunnels, so-called Blansko tunnels on the line Brno – Česká Třebová, the reconstruction to tunnels on the lines along the Vltava River, the Nelahozeves tunnels etc. The number of new railway tunnels built from 1945 till now within the network of Czech Railways amounts to 21.

In 1980, a 210m long railway tunnel was opened to traffic on the relocated track from Sokolov to Chodov. The tunnel is interesting by the fact that it is a BEBO system **imbanked tunnel**. The thin-walled structure consisting of individual longitudinal reinforced concrete pre-cast elements was assembled on mobile truss scaffold sets and made fully continuous (see Fig. 14).

The project of reconstruction of the Prague Railway Intersection consisted not only of the **tunnel passing under Bílá Skála** rock, built in the 60s. In addition, this project comprised the above-mentioned completion of excavation of the **Vinohrady III tunnel**, which was connected through a bifurcation structure to the old double-rail section constructed in the previous phase (1940 – 1944). The continuation in a form of a pair of single-rail tunnels was excavated using the ring method, with circular lining from reinforced concrete segments positioned by erectors. The total length of the Vinohrady III tunnel is of 1,599m.

The modernisation of Czech Railways' lines started in the 90s. It will require other reconstruction and construction of new tunnels found along the high-speed transit corridors of the Czech Railways. The first into service was the 390m long **Vepřek tunnel** (see Fig. 15) near Kralupy nad Vltavou, followed by a chain of tunnels on the optimised railway section Česká Třebová – Přerov (completed in 2004 to 2005). This chain consists of five tunnels, i.e. the Krasíkov, Tatenice, Hněvkov I and II, and Malá Huba with their lengths of 1099m, 141m, 324m, 180m and 462m respectively. All of the tunnels were built using the NATM.

The Mechanical Pre-Cutting "Prevault" method, which is associated in the world with French PERFOREX, was used for the first time in the Czech Republic at the construction of the Březno tunnel near Chomutov. The construction started in 2002 (see Fig. 16). A special feature of this

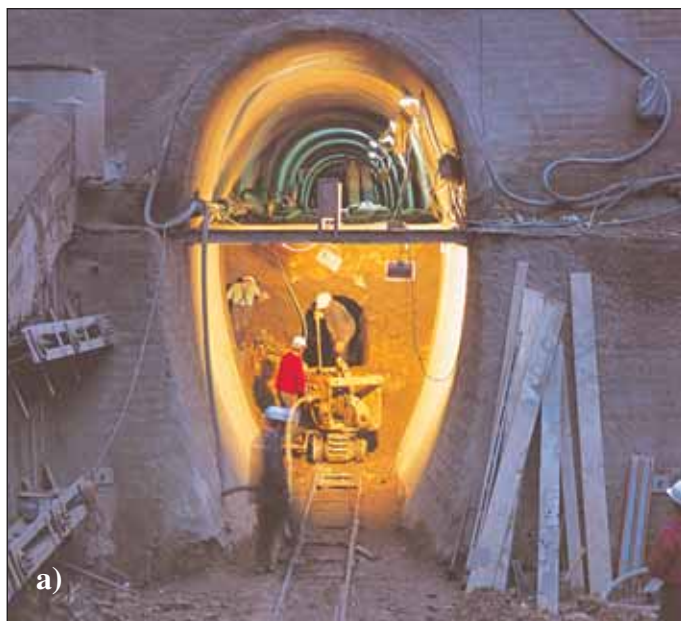


Obr. 20 Tunel Mrázovka

a) západní trouba při zahájení provozu; b) izolace rozpletu

Fig. 20 The Mrázovka tunnel

a) inauguration of the western tunnel tube; b) waterproofing of the wye structure



Obr. 21 Tunel pro pěší na Pražském hradě
a) ražba plného profilu; b) cihelná obezdívka po dokončení
Fig. 21 The pedestrian tunnel at Prague Castle
a) the full-face excavation; b) the brick lining after completion

Mrázovka byl oceněn jako dopravní stavba roku 2005 v České republice (obr. 20).

Taktéž v roce 2004 byl na silnici I/8 v rámci obchvatu Jihlavy uveden do provozu **hloubený tunel** délky 304 m, který byl vybudován modifikací tzv. milánské metody – na podzemních stěnách, tvořících opěrové části ostění tunelu, byla vybetonována plochá stropní klenba, pod níž se od obou portálů prováděla těžba horniny z vnitřního prostoru tunelu čelním odtěžováním.

Nebývá zvykem uvádět mezi dopravními podzemními stavbami podchody pro pěší, tentokrát učiníme výjimku. V červnu roku 2002 byl otevřen **valem Pražského mostu**, který tvoří severní přístupovou cestu do areálu Pražského hradu, **tunelový průchod**. V rámci

method is that there is no unsupported excavation advance length and the support is continuous, without gaps which do exist e.g. in the case of forepoles or sub-horizontal micropiles. The uninterrupted support of the entire rock surface with the primary concrete lining appears to be the advantage of this method. Nevertheless, an emergency occurred when 860m of the tunnel excavation had been completed, due to the heavily disturbed Březno mudstone conditions. A sequential loss of stability of several prevaults caused a collapse and subsequent suspension of the works. The optimal and above all safe method of removal of the collapse and completion of the tunnel construction is currently a matter of joint efforts of all parties to the project.

Highway and motorway tunnels appeared in the Czech Republic as late as the end of the 20th century, together with the development of urban ring roads, upgrading of the existing road network, and development of new motorways. The first tunnel on an urban ring road was the 2,000m long twin-tube **Strahov tunnel**, built in the years 1984 - 1997 in Prague. The inadequately long construction time was due to extensive checks made on investment in this construction at the beginning of the 90s. The Strahov tunnel was built using two techniques, i.e. excavation with a non-mechanised semi-shield, and the ring method with an erector; in both cases the final reinforced concrete segmental lining vaults rested on abutments cast inside abutment drifts excavated in advance (see Fig. 17).

Among the group of urban tunnels there is also the **Pisárky tunnel** built in 1995 - 1997 under Červený Hill in Brno, on so-called Prague Ring Road, which is a feeder road joining the D1 motorway. The mined part of this tunnel passing through broken rock mass was excavated using the New Austrian Tunnelling Method; the 43m and 163m long cut-and-cover end sections made highly sensitive incorporation of both portals into the forest park area possible (see Fig. 18). The Large City Ring Road complex comprises an already operating construction, i.e. the cut and cover **Husovice tunnel** (finished in 1999).

The year 1997 also saw the completion of the 350m long three-lane highway **Hřebeč tunnel** on a realigned road I/35 near Moravská Třebová. The tunnel eliminated a difficult route passage across a mountain saddle of the same name. The tunnel was built under a very shallow cover, using the New Austrian Tunnelling Method with a vertical excavation sequence (see Fig. 19).



Obr. 22 Vysouvané tunely pod Vltavou na prodloužení trasy „C“ metra
Fig. 22 Immersed tunnels of the Line “C” extension crossing the Vltava River before launching



Obr. 23 Jednolodní stanice „Kobylisy“ na prodloužení trasy „C“ metra
Fig. 23 The single-vault station “Kobylisy” on the Line “C” extension

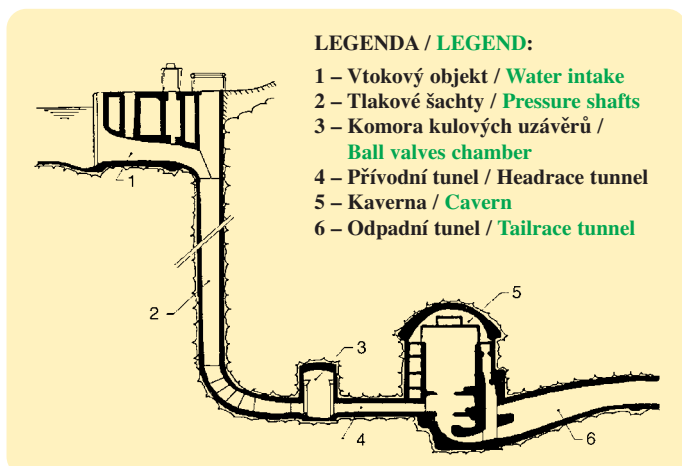
prodloužení nových vyhlídkových cest areálem Pražského hradu tak byla propojena dolní a horní část Jeleního příkopu.

Tunel s profilem do výšky protažený podkovy je dlouhý 84 m. Definitivní ostění je z betonu, lícový obklad je proveden z ostře pálených režných tmavě červených cihel (obr. 21). Tunelový průchod valem Prašného mostu získal v roce 2003 ocenění jako nejlepší cihlová stavba Evropy.

Metro, jehož výstavba byla v Praze zahájena v roce 1966, se stalo naším vůbec největším podzemním dílem a jeho realizace na desítky let ovlivnila život v hlavním městě ČR. Vznik základní sítě tří tras „A“, „B“, „C“ s přestupními stanicemi v centru města přinesl zásadní a veskrze pozitivní zvrat v pražské hromadné dopravě, každý nově dokončený provozní úsek pokračující etapovitě výstavby výrazně zlepšuje dopravní situaci v dotčené oblasti. V současné době má pražské metro délku cca 55 km s 54 stanicemi, což představuje okolo 150 km tunelů a štol.

Použité tunelovací postupy musely respektovat variabilitu pražských geologických poměrů, v nichž se střídají měkké a tvrdé prvohorní ordovické sedimenty. Z podstatné části probíhala výstavba ražením, a to jednak prstencovou metodou s erktorem a ostěním z litinových i železobetonových tubingů, jednak štítováním, převážně nemechanizovaným, v menším podílu i mechanizovaným. V posledním desetiletí je preferována Nová rakouská tunelovací metoda.

Unikátním postupem byla výstavba **vysouvaných tunelů** metra na trase IVC1 při časově posledním podchodu Vltavy v roce 2001 až 2002. Postup spočíval v betonáži každého tubusu v suchém doku, jeho vysunutí pomocí plavení do patřičné polohy a následném osazení na dno řeky. Navržené řešení dostalo v roce 2002 cenu FIB – Award Outstanding Structure a cenu inženýrské akademie České republiky (obr. 22). Za nejprůkaznější ocenění kvality tohoto díla je však nutno pokládat fakt, že v době katastrofální srpnové povodně



Obr. 24 Řez podzemní hydrocentrálou Lipno
Fig. 24 Cross section through the underground powerhouse Lipno

A MATIÈRE system **imbanked tunnel** (the lining assembled from large-size precast thin-walled segments) entered operational service on a busy section of the R35 road near Lipník nad Bečvou in 1999.

Completed in 2004, the 1,300m long **Mrázovka tunnel** in Prague became a significant part of the north-western sector of the City Circle Road in Prague. This road will, after its completion planned for 2010, smoothly divert traffic in the north – south direction away from the central historic region of the city. The tunnel comprising of two parallel three-lane tubes and two complex wye structures (max. cross-section area of 340m²) was driven using the New Austrian Tunnelling Method. A vertical excavation sequence was mostly used in the difficult geology consisting of disturbed Ordovician shales, under a shallow overburden with buildings on the surface. Apart from rock pressures, a serious problem for the design of the final lining was also the pressure effect of a fissure aquifer found in the rock massif, which communicated with an interstitial ground-water body found in the cover. Eventually, an intermediate road deck acting as a final lining strengthening tie had to be incorporated into the design in terms of the structural analysis and detailing. The Mrázovka tunnel was awarded the title of “The traffic construction of the year 2005 in the Czech Republic” (see Fig. 20).

Also in 2004 inaugurated was a 304m long **cover-and-cut tunnel** on the I/8 road, which was built in the framework of a project of bypassing the town of Jihlava. The so-called Milan Method was modified for this construction: a flat vault was cast on the top of sidewalls formed by diaphragm walls. The excavation under the vault proceeded from both portals, using front-end loaders for the mucking-out.

It is certainly unusual to present pedestrian subway structures as underground traffic structures. Let us now make an exception. A **tunnelled passage through the Prašný Bridge embankment**, which carries a northern access road to the Prague Castle grounds, was inaugurated in June 2002. The passage was carried out to interconnect the Lower and Upper Deer Moat in the framework of a project of extending scenic routes within the grounds of Prague Castle.

The tunnel with its elongated horseshoe shape profile is 84m long. The concrete final lining is clad in fair-face dark-red hard-burnt brickwork (see Fig. 21). The tunnelled passage through the Prašný Bridge embankment received acclaim as the best brickwork of Europe in 2003.

The urban underground railway, i.e. the Prague Metro construction started in 1966, becoming the largest underground project of our country, influencing life in the capital of the CR for tens of years. The development of a network consisting of three basic lines “A”, “B” and



Obr. 25 Brněnské kolektory – konečný stav
Fig. 25 Brno utility tunnels – final state

v roce 2002 byly již oba autobusy stabilizovány ve dně napříč korytem Vltavy a povodňové účinky bez úhony přečkaly, na rozdíl od mnoha jiných konstrukcí.

Na stejném úseku prodlužované trasy „C“ byla v obtížných geologických podmínkách se silnými přítoky podzemní vody realizována první **ražená jednolodní stanice** (obr. 23) v provozovaném systému pražského metra.

Ve výstavbě je prodloužení trasy C do severovýchodního sídlištního sektoru města úsekem délky 4,6 km s dalšími třemi stanicemi. Na tomto úseku IVC2 je zhruba polovina tunelů ražených Novou rakouskou tunelovací metodou, zbytek jsou hloubené části. V detailech je technologie výstavby ovlivněna poměrně nízkým nadloží s povrchovou zástavbou a rovněž průchodem oblastí zasažených starou důlní činností.

PODZEMNÍ HYDROTECHNICKÉ A VODOHOSPODÁŘSKÉ STAVBY

Vodohospodářské stavitelství 50. a 60. let bylo v převážné míře zaměřeno na budování velkých staveb, které odpovídaly tehdejší koncepci vodního a energetického hospodářství. V souvislosti s výstavbou přehrad a vodních nádrží byla realizována jednak celá řada podzemních staveb dočasného významu (např. obtokové tunely při stavbě přehrad apod.), jednak mimořádné podzemní komplexy vodních děl Lipno a Dlouhé Stráně.

Podzemní hydrocentrála Lipno s přílehlými objekty patřila k nejvýznamnějším stavbám podzemního stavitelství 50. let. Její kaverna o rozměrech 22,5 x 73,1 x 38,0 m byla vyražena ve stometrové hloubce v žulovém masivu v jihovýchodní části Šumavy na řece Vltavě. Podzemní komplex tvoří několik podstatných částí (obr. 24) – vtokový objekt, tlačné šachty hluboké 169 m s pancéřovou výstrojí, komory kulových uzávěrů, hlavní kaverny hydrocentrály a 3,6 km dlouhého odpadního tunelu do vyrovnávací zdrže navazujícího vodního díla na Vltavě ve Vyšším Brodě. Přístup do kaverny hydrocentrály je zajištěn 150 m dlouhým šikmým tunelem ve sklonu 45°. Stavba byla zahájena v roce 1953, zkušební provoz byl zahájen v roce 1959.

Stavba PVE Dlouhé Stráně byla zahájena v květnu 1978. Opakovaný útlum ve výstavbě v 80. a 90. letech posunul její dokončení až do roku 1995.

Koncem 60. a začátkem 70. let bylo zahájeno období výstavby vodohospodářských staveb nižšího řádu, souvisejících především se zásobováním rozrůstajících se měst pitnou vodou, přiváděnou **štolovými přivaděči**. K významným dílům tohoto typu např. patří:

- Přivaděč pitné vody Želivka (1966 až 1972), který 51,9 km dlouhou štolou vystrojenou monolitickým betonem přivádí vodu s volnou hladinou do vodojemů v Jesenicích u Prahy. Křížení přivaděče s řekami Blanice a Sázavou je provedeno shybkami vystrojenými ocelovým pancířem.
- Štolový přivaděč pitné vody pro město Chomutov z vodního díla Přísečnice (1970 až 1975), kde byl na délce 8,1 km poprvé v naší republice použit pro tunelování plnoprofilový razicí stroj (DEMAG o průměru 2,7 m).
- Štolový přivaděč pitné vody pro Liberec, který přivádí vodu z vodního díla Josefův Důl (1976 až 1984) a má délku 7,2 km.
- Štolový přivaděč ostravského oblastního vodovodu z nádrží Kružberk a Slezská Harta (1985 až 1992) v délce 8 km, ražený z obou portálů dvěma plnoprofilovými razicími stroji.
- Brněnský oblastní vodovod, dokončený v 90. letech, přivádějící pitnou vodu z Vířské nádrže do Brna, je tvořen soustavou ražených štol a potrubí v celkové délce zhruba 75 km. Při ražbě byly opět použity plnoprofilové razicí stroje.

KOMUNÁLNÍ PODZEMNÍ STAVBY A KOLEKTORY

Jedním z podstatných problémů rozvoje městských celků je výstavba nových inženýrských sítí, kabelovodů, teplovodů, telefonních sítí a zejména kmenových kanalizačních stok. Jejich samostatné vedení v podzemních štolách bylo zahájeno v 70. letech a stále pokračuje. Racionálním a současně ekologickým řešením je ukládání elektrických rozvodů a telekomunikačních kabelů, tepelných a plynových vedení, vodovodních řádů a případně kanalizačních stok do sdružených podzemních inženýrských sítí, tzv. **kolektorů**. K nejvýznamnějším systémům tohoto typu podzemních komunálních staveb patří:



Obr. 26 Kolektor Vodičkova v Praze v průběhu ražby
Fig. 26 The utility tunnel under Vodičkova Street in Prague during the course of the excavation

“C” with interchange stations in the centre of the city caused a fundamental and absolutely positive change in Prague mass transit; each newly completed operational section of the ongoing phased construction significantly improves the traffic situation in the particular area. Currently the Prague metro is about 55km long with 54 stations, which represents about 150km of tunnels and adits.

The tunnel excavation methods utilised in Prague had to respect the variability of local geological conditions characterised by alternation of soft and hard Palaeozoic Ordovician sediments. Tunnels were constructed mainly by mining methods, i.e. using both the ring method with cast-iron and reinforced concrete segments positioned by erectors and shield driving methods using mainly non-mechanised shields or, to a lesser extent, mechanised shields. The New Austrian Tunnelling Methods has been preferred in the last decade.

A unique technique applied to the last stretch of the metro under the Vltava River in 2001 to 2002 was the launching of **immersed tunnels**. The respective sections of the tunnel tubes of the operational section IV C1 were one by one cast in a casting basin, floated into place and installed at the riverbed. The design gained recognition with the 2002 FIB Award Outstanding Structure, as well as recognition by the Academy of Engineering of the Czech Republic (see Fig. 22). However, the fact that both tunnel tubes, in contrast with many other structures, managed to withstand without damage the catastrophic August 2002 flood after their stabilisation at the bottom of the Vltava riverbed must be considered as the best proof of quality of this structure.

The same section of the Line “C” extension contains the first **mined single-vault station** in the operational system of the Prague Metro. It was built in difficult geological conditions with significant inflows of ground water.

Under construction is a 4.6km long section extending the Line C to the northeastern residential sector of the city. This is the section IV C2, which will have 3 stations. About a half of the tunnels are mined using the NATM, remaining tunnels are cut and cover. Details of the technique are affected by the relatively shallow overburden with existing buildings on the surface, and also by the fact that the tunnels pass through an area hiding abandoned mining works.

UNDERGROUND HYDRAULIC ENGINEERING WORKS

Hydraulic engineering of the 50s and 60s was mainly focused on development of large projects corresponding to the current conception of water and power generation industries. Many underground structures were constructed in the context of construction of dams and water reservoirs, both temporary (e.g. diversion tunnels for construction of dams etc.) and outstanding underground complexes for the Lipno and Dlouhé Stráně hydroelectric schemes.

The **underground powerhouse Lipno** with adjacent structures belonged among the most important underground engineering projects of the 50s. The cavern with dimensions of 22.5 x 73.1 x 38.0m was mined at a depth of 100m, in a granite massif in a south-eastern part of the Šumava Mountains, on the Vltava River. The underground complex comprises several principal parts (see Fig. 24), i.e. the intake



Obr. 27 Uzavírací pancíř tlakové zátky podzemního zásobníku plynu před nástříkem drátkobetonu

Fig. 27 The closing armouring of a pressure plug of the underground storage reservoir before application of steel fibre reinforced shotcrete

- Systém primárních a sekundárních kolektorů v Brně (obr. 25), jehož výstavba byla zahájena v roce 1974 a probíhá dosud. Ve dně ostění obslužných sekundárních kolektorů jsou umístěny i kanalizační stoky.
- Systém kolektorů II. a III. řádu v Praze (obr. 26), jehož výstavba byla zahájena v roce 1985 a taktéž probíhá i v současné době. K výstavbě pražských kolektorů se váže masivní použití subhorizontálních sloupů tryskové injektáže pro vytvoření nosného klenbového systému v předstihu před čelbou tunelu. Kanalizační síť není součástí pražských obslužných kolektorů III. řádu.
- Od roku 1999 je v provozu kolektor pod centrem Ostravy o délce 800 m a jsou dokončovány práce na další etapě délky 1800 m. Kanalizace je v ostravských kolektorech vedena v potrubí umístěném v prostoru stropu ostění.
- Méně rozsáhlé systémy jsou realizovány např. v Jihlavě a Českém Krumlově.

Z jiných typů komunálních staveb byla v 70. až 90. letech minulého století poprvé do podzemí umístěna např. rozlehlá parkoviště a garáže (Ostrava, Brno, Praha, Karlovy Vary) či podzemní čistírny odpadních vod, např. v Peci pod Sněžkou a v Lokti nad Ohří.

Opominout nelze pozoruhodné dílo vybudované v letech 1992–1998, kterým je podzemní zásobník plynu Příbram. Hlubinný zásobník (hloubka 1100 m) má při tlaku 12,5 MPa kapacitu 80 mil. m³ zemního plynu. Zásobník byl po dokončení uzavřen dvěma páry tlakových uzávěrů (zátek), provedených technologií stříkaného drátkobetonu (obr. 27).

PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.
ČVUT-Fakulta stavební, e-mail: bartakj@fsv.cvut.cz

structure, 169m deep steel lined penstocks, ball valve chambers, generator caverns, and a 3.6km long tailrace tunnel discharging to an equalising reservoir of the subsequent downstream water scheme in Vyšší Brod. The access to the generator cavern is provided via a 150m long, 45° gradient inclined tunnel. The works started in 1953, the trial running commenced in 1959.

The construction of the **pumped storage scheme Dlouhé Stráně** commenced in May 1978. Repeated construction checks made on investments in the 80s and 90s shifted its completion as far as 1995.

- The end of the 60s and beginning of the 70s saw the commencement of a period of development of lower order water-resources projects associated above all with potable water supplied through aqueduct tunnels to continually growing towns. The following tunnels of this type belong among the best known:
- The drinking water supply conduit Želivka (1966 to 1972), which carries water from the Želivka River dam through a 51.9km long, in situ concrete lined tunnel to reservoirs in Jesenice u Prahy. The Blanice and Sázava Rivers are crossed using inverted siphons lined with steel armour.
- The conduit supplying drinking water to Chomutov from the Přisečnice dam reservoir (1970 to 1975), where a tunnel boring machine (DEMAG 2.7m in diameter) was used for the first time in our republic, along a length of 8.1km.
- The conduit forming part of the Ostrava regional system of water supply from the Kružberk and Slezská Harta dam reservoirs (1985 to 1992). Two TBMs drove the 8km long conduit from either side.
- The Brno regional water main completed in the 90s supplies drinking water from the Vír dam reservoir to Brno. It consists of a system of mined tunnels and pipelines at a total length of approximately 75km. TBMs were used for the excavation.

COMMUNITY UNDERGROUND STRUCTURES AND UTILITY TUNNELS

One of significant problems of developing urban regions is construction of new infrastructure networks, cable ducts, heat ducts, telephone networks, and primarily trunk sewers. The system of placement of the lines separately into underground tunnels started in the 70s and still continues. A rational and at the same time environmentally friendly solution is the placement of power distribution lines and telecommunication cables, heat and gas pipelines, water mains and sewers into combined underground utility networks, so-called **utility tunnels**. The most significant systems of this type of underground community structures:

- The system of primary and secondary utility tunnels in Brno (see Fig. 25), which has been under construction since 1974. The secondary service tunnels have even sewers installed at the bottom of the lining.
- The system of 2nd and 3rd category utility tunnels in Prague (see Fig. 26), which continued to be developed since 1985 and is being built even now. The construction of Prague utility tunnels is associated with mass utilisation of sub-horizontal jet grouted columns designed to create a load-bearing canopy ahead of the excavation face. The sewerage network is not included into the Prague system of 3rd category service tunnels.
- Operating since 1999 is the utility tunnel under the centre of Ostrava. It is 800m long, and the work on the next phase, a 1,800m long section, is reaching completion. Sewerage pipelines are installed under the roofs of the Ostrava utility tunnels.
- Les extensive systems are being implemented e.g. in Jihlava and Český Krumlov.

Regarding other types of community construction, we can mention large underground car parks and garages; they were positioned underground for the first time in the 1970s to 1990s (Ostrava, Brno, Prague, Karlovy Vary) or underground sewage treatment plants, e.g. in Pec p. Sněžkou and Loket n. Ohří.

One remarkable underground structure, built in the years 1992 – 1998, i.e. the underground gas storage facility in Příbram. The capacity of the deep storage reservoir (a depth of 1,100m) amounts to 80 million m³ of natural gas stored at a pressure of 12.5Mpa. Two pairs of pressure plugs built using the sprayed steel fibre reinforced concrete technology (see Fig. 27) closed the reservoir once the excavation had been completed.

PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.
ČVUT-Fakulta stavební, e-mail: bartakj@fsv.cvut.cz

TUNELY NOVÉHO SPOJENÍ PRAHA

THE PRAGUE NEW CONNECTION TUNNELS

MICHAL GRAMBLIČKA

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Hlavní město Praha
Investor	SŽDC, a. s.
Projektant	SUDOP Praha, a. s.
Zhotovitel	Sdružení Nové spojení Praha – SKANSKA, a. s., Metrostav a. s., Subterra, a. s., SSŽ, a. s.
Uživatel	České dráhy, s. o.
Období výstavby	2004–2008
Objem stavebních prací	ražené objekty 244 800 m ³ (vyrubaný prostor) hloubené objekty 26 750 m ³ (obestavěný prostor)

ÚVOD

Stavba tunelů Nového spojení v Praze propojuje železniční stanice Praha hlavní nádraží a Praha Masarykovo nádraží se stanicemi Libeň, Vysočany a Holešovice. Nové spojení je zároveň poslední stavbou úplné přestavby železničního uzlu Praha hl. nádraží. Výstavba byla zahájena v roce 2004 a předpokládá se, že bude ukončena v roce 2008.

Tunely jsou tvořeny dvěma hloubenými úseky, ve kterých se ve společné otevřené stavební jámě spojují jednotlivé železniční tratě s raženými úseky pod vrchem Vítkov. Tunely navazují na čtyřkolejnou estakádu na západní straně a na straně východní na dvoukolejnou estakádu a trať v zářezu. V roce 2005 byly vyhloubeny stavební jámy, na jižním tunelu vyraženo 50 % a na severním tunelu 38 % délky.

SMĚROVÉ A VÝŠKOVÉ VEDENÍ

Směrové vedení tunelů určuje skalní hřbet vrchu Vítkova, trasa tunelů je vedena v jeho podélné ose. Osová vzdálenost paralelně vedených tunelů je průměrně 30 m, minimálně 3 m a pod objektem Národního památníku maximálně 42 m. Trasy jsou vedeny v přímých a v obloucích, jižní tunel v poloměrech 648 m a 602 m, severní tunel 902 m a 3602 m.

Tunely ve směru od východu na západ klesají v minimálním sklonu 0,33 %, raží se úpadně.

GEOLOGICKÉ POMĚRY

Vrch Vítkov je výrazný morfologický element v krajině Prahy i přes to, že byl v minulosti upraven lomovou činností a výstavbou Národního památníku. Jeho výrazný hřbet tvoří vůči denudaci odolné křemence a břidlice. Styk šáreckých břidlic a skaleckých křemenců na severním svahu Vítkova tvoří geologický profil, který je zařazen do návrhu chráněných území. Při ražbě jsou zastíženy paleozoické, střednoordovické šárecké břidlice a nadložní dobrotivské souvrství ve facii skaleckých křemenců. Horniny jsou místy silně stlačené, na vrstevních plochách s matným leskem vykazují slabou metamorfózu, podél puklin a poruchových zón jsou prohnětené až drcené. Styk s nadložními křemenci je hodnocen jako stratigrafický s ovlivněním tektonikou pražského zlomu a libeňského nasunutí. Skalecké vrstvy jsou převážně tvořeny lavicovitě vrstvenými křemenci a křemitými pískovci, které se střídají s polohami písčitých a jílovitých břidlic až jílovců. Úbočí svahu Vítkova s výjimkou navážek je vyrovnáno hlinitokamenitými svahovými křemencovými sutěmi. Porušení hornin je podmíněno blízkostí pražského zlomu, který je ve směru severovýchod–jihozápad a libeňského přesmyku, který probíhá v Karlíně podél úpatí Vítkova a přechází přes pilíř prostřední stěny východních portálů.

BASIC DATA

Region	the City of Prague
Employer	SŽDC a. s.
Designer	SUDOP Praha a. s.
Contractor	Sdružení Nové spojení Praha, a group of companies – SKANSKA a. s., Metrostav a. s., Subterra a. s., SSŽ a. s.
User	České Dráhy s. o. (Czech Railways)
Construction period	2004 – 2008
Works volume	mined structures 244,800m ³ (excavated volume) cut and cover structures 26,750m ³ (walled-in space)

INTRODUCTION

The construction of tunnels of the Prague New Connection project interconnects Prague Main Station and Prague Masaryk's Station with railway stations in the Libeň, Vysočany and Holešovice districts. The New Connection project also contains the last construction works which will finish the overall reconstruction of the Prague Main Station rail junction. The works commenced in 2004 and the conclusion is scheduled for 2008.

The tunnels consist of two cut-and-cover sections, where, in a joint construction trench, the individual rail lines are joined with the mined sections passing under Vítkov Hill. The tunnels link to a four-track viaduct on the west and a double-track viaduct and a track in an open cut on the east. The year 2005 saw the excavation of the construction trenches, and excavation of 50% and 38% of the length of the southern tunnel and northern tunnel respectively.

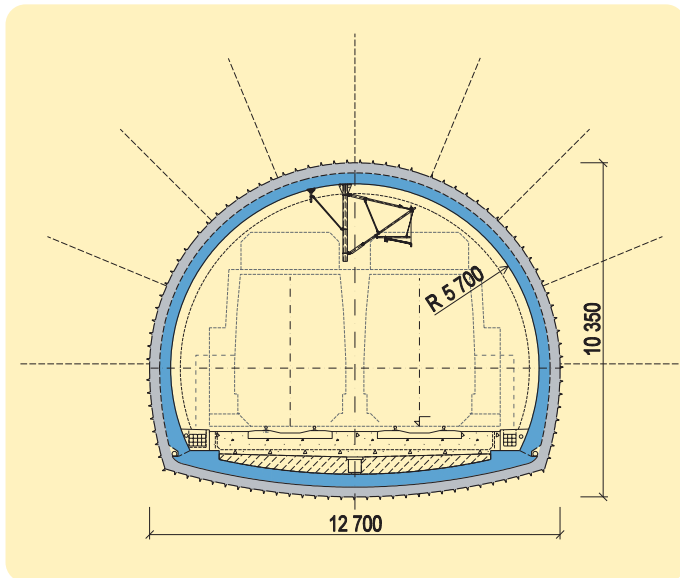
HORIZONTAL AND VERTICAL ALIGNMENT

The horizontal alignment is determined by a rock crest of Vítkov Hill; the tunnel alignment follows its longitudinal axis. The distance between centres of the two parallel tunnels is of 30m on average, with a minimum of 3m and maximum of 42m (under the National Monument grounds). The routes consist of straight sections and curves (648m and 602m radii for the southern tunnel and 902m and 3602m radii for the northern tunnel).

The alignment of the tunnels descends in the east-west direction on a gradient of 0.33%; downhill excavation will take place.

GEOLOGY

Vítkov Hill is a landmark in the morphology of Prague despite the fact that it was changed in the past by quarrying and by the construction of the National Monument. The well recognisable ridge consists of denudation resistant quartzite and shale. The interface between the Šárka Shale and Skalec Quartzite on the northern slope of Vítkov Hill forms a geological profile which is listed among the proposed sites of landscape importance. The excavation encounters the Palaeozoic, Middle Ordovician Šárka Shale overlain by the Dobrotiv Member in the facii of the Skalec Quartzite. The rock is locally heavily compressed, exhibiting slight metamorphism on bedding planes with dull gloss, remoulded to fractured along joints. The interface with overlying quartzite is rated as stratigraphical, affected by the tectonics of the Prague Fault and the Libeň Thrust Fault. Quartzite and siliceous sandstone with bedded jointing prevails in the Skalec Member. Apart from made ground, the slope of Vítkov Hill is covered with loamy-stony quartzite slope debris. The rock mass degradation is associated with the nearness of the NE-SW striking Prague Fault,



Obr. 1 Vzorový příčný řez

Fig. 1 Cross section through the double-track tunnels

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ TUNELŮ

Jižní vítkovský tunel je dlouhý 1365 m. Z toho bude 1250 m ražených. Portálové úseky hloubených tunelů jsou na západě délky 45 m a na východě 70 m. Severní vítkovský tunel je dlouhý 1316 m, z toho ražených bude 1150 m. Portálové úseky hloubených tunelů jsou na západě 58 m a na východě 107 m dlouhé.

Tunely jsou propojeny čtyřmi chodbami celkové délky 100 m, sloužícími v definitivním stavu jako únikové cesty, a jsou vybaveny požárními dveřmi se signalizací, ventilátory a požárními klapkami. Rovněž je v nich umístěna spojka kabelových kanálů a požárního vodovodu. Do prostoru před vjezdový i výjezdový portál tunelů je umožněn přístup silničním vozidlům a na obou stranách jsou zřízeny nástupní plochy pro požární techniku. V době probíhajících ražeb jsou prostorově přizpůsobené tak, aby bylo možné jimi přesouvat razicí a dopravní techniku.

Dočasné ostění je ve shodě s technologií výstavby – Novou rakouskou tunelování metodou, a je tvořeno stříkaným betonem SB20 tl. od 0,20 do 0,30 m, vyztuženým dvěma ocelovými sítěmi, hydraulicky upínanými svorníky a tříprvkovými ocelovými příhradovými ramenaty. Ražba tunelů se provádí v horizontálním členění,

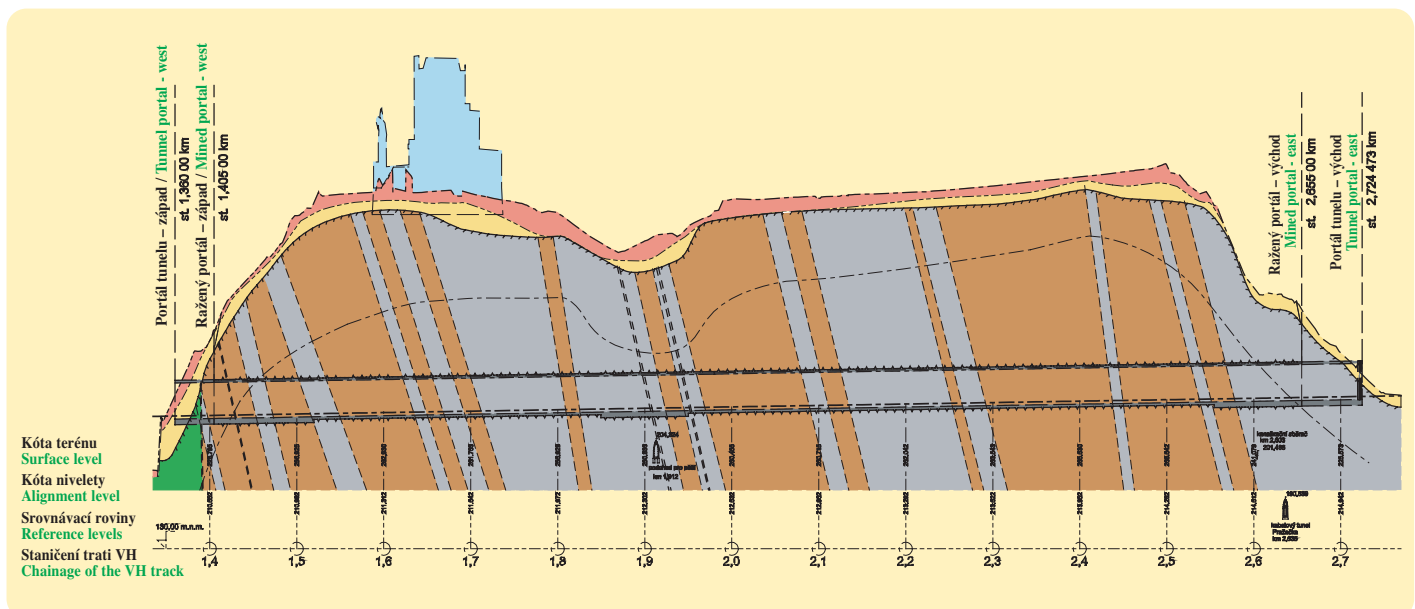
and the Libeň Thrust Fault, which runs across the Karlín district along the bottom of Vítkov Hill and passes across the pillar of the central wall of the eastern portals.

THE TUNNEL DESIGN

The southern Vítkov tunnel is 1,365m long. Out of this length, 1,200m will be built by mining methods. Cut-and-cover sections before the portals on the west and east are 58m and 107m long respectively.

The tunnels are interconnected by four cross-galleries at an overall length of 100m. In the final condition, they will be used as escape ways. They are equipped with fire-check doors with signalling, fans and fire dampers. Cable and hydrant lines are also interconnected through the cross-galleries. The space before the entrance and exit portals of the tunnel are accessible for road vehicles; mustering areas for mobile fire appliances are prepared on both sides. The layout of the areas is accommodated to the needs of the excavation work so that the movement of mining equipment and vehicles during the tunnel driving is possible.

The 0.20 – 0.30m thick temporary lining is designed according to the NATM principles. It consists of sprayed SB20 concrete reinforced with two layers of steel mesh, friction bolts expanded by pressurised water and three-section lattice girders. The horizontal excavation sequence is applied, with the top heading vault having the shape of an ideal 6.05-radius semi-circle. The advance per cycle ranges from 1.0 to 2.0m. Steel forepoles are either driven or inserted into pre-drilled boreholes ahead of the face in the top heading sections where instability is a threat. The distance between the top heading and sidewall drift faces varies from 50m to 120m, depending on the rock mass quality. Double- to triple-length rounds, i.e. 2.0 to 6.0m long, are applied to the sidewall drifting or to the closing of the profile by the invert. The excavated cross-section area grows from 96.22m² at the excavation class III, through 97.51m² at the class IVa, to a maximum of 106.84m² and 108.13m² at the higher classes IVb and Va (involving the invert structure) respectively. Percentage classification of the excavation along the mined tunnels was designed in accordance with the results of the geological investigation. The anticipated need for the application of the higher classes (Va about 36%, IV about 34%, III about 30%) has not been confirmed. The deciding lengths of the completed tunnel excavation were categorised as the easiest class III; only the pre-portal sections were driven in the excavation class Va. About the middle of their length, the tunnels are crossed by the pedestrian tunnel connecting Tachovské Square in Žižkov with Thámova Street in Karlín. The tunnels pass at a distance of 6.50m above the pedestrian



Obr. 2 Podélný řez jižním tunelem

Fig. 2 Longitudinal section through the southern tunnel



Obr. 3 Stavební jáma východních portálů
Fig. 3 The construction trench at the eastern portals

kde kalotu tvoří optimální půlkruh o poloměru 6,05 m. Délka záběrů je od 1,0, do 2,0 m. V úsecích ohrožených nestabilitou přístropí jsou předražené nebo převrtávané ocelové jehly. Vzdálenost pracovišť kaloty a opěr se podle kvality horninového masivu pohybuje mezi 50 až 120 m. Pobírání opěr, případně uzavírání profilu spodní klenbou je v záběrech dvou- až třinásobné délky, tj. od 2 až do 6 m. Plocha výrubu se od technologické třídy III. s 96,22 m², přes třídu IVa. 97,51 m² zvětšuje, vyšší technologické třídy IVb. s protiklenbou dosahují 106,84 m² a Va. maximálně 108,13 m². Podle výsledků geologického průzkumu bylo navrženo procentuální zařazení po délce ražeb. Předpokládaná potřeba vyšších tříd (Va. cca 36 %, IV. cca 34 % a 30 % III.) se zatím nepotvrzuje, rozhodující délky vyražených tunelů byly zařazeny do nejlehčí III., pouze příportálové úseky se realizovaly v technologické třídě Va. Asi v polovině délky ražené tunely křížují tunel pro pěší spojující Tachovské nám. na Žižkově a Thámovu ul. v Karlíně. Tunely procházejí 6,50 m nad tunelem pro pěší. Ochrana pěšího provozu v době ražeb bude zajištěna ocelovými rámy a vydřevěním prostoru mezi obezdívkou a rámem.

Vlastní ražba vítkovských tunelů byla zahájena 27. 5. 2005 v jižním tunelu a 15. 8. 2005 v tunelu severním. Situace na čelbě jižního tunelu byla natolik příznivá, že dodavatel Metrostav a. s. upustil od členění kaloty dle vystrojovací třídy Va. a 90 metrů vyrazil bez použití trhacích prací, 134 m od portálu přešel na nejlehčí třídu III. V severním tunelu byla kalota členěna na délku 24 m, do 70 m bez trhacích prací. Zkušenosti dodavatelů, nasazení optimální strojní mechanizace, zavedení optimalizace vrtných schémat a použití obrysových trhavin pak umožnily dodavatelům výkony při ražbách od 100 do 130 m plného profilu za měsíc. Dosažené měsíční výkony značně ovlivňovala doba pro použití trhacích prací od 7:00 do 21:00 hod. Do konce roku 2005 tak bylo vyraženo 680 m jižního tunelu a 431 m severního tunelu.

Nejdůležitějšími objekty, které budou ražené tunely podcházet s nadloží do 40 m, je budova Národního památníku na vrchu Vítkově s jezdeckou sochou Jana Žižky z Trocnova. Pro prognózu chování horninového masivu byl zpracován statický výpočet metodou konečných prvků, který odhadl celkové poklesy při projetí ražby obou tunelů na 12 mm. Na ochranu budovy i sochy jsou zpracovány projekty seizmického měření a stanovena mezní nálož pro použití trhacích prací.

Navrhované trvalé ostění má úseky s vyztužením i nevyztuženým monolitickým betonem (v poměru délek cca 50/50 %) a bude realizováno pomocí posuvných bednění. Délky bloků bednění jsou 12,50 m, což je poloviční vzdálenost záchranných výklenků, která činí 25 m.

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ PORTÁLŮ

Rozhodující délka ražeb tunelů bude realizována od východního portálu, umístěného v centru stavebních prací proměňujících zanedbané severovýchodní svahy Vítkova. V definitivním stavu zde vznikne moderní park propojený s centrem města nejen dopravními



Obr. 4 Západní ražený portál jižního tunelu
Fig. 4 The mined west portal of the southern tunnel

tunel. The pedestrian traffic will be protected during the excavation by means of steel frames and timbering placed between a frame and the lining.

The excavation of the Vítkov tunnels commenced on 27.5.2005 and 15.8.2005 in the southern tunnel and northern tunnel respectively. The situation at the southern tunnel excavation face was favourable in an extent that allowed Metrostav a.s., the contractor, to abandon the excavation sequence Va designed for the top heading, carry out a length of 90m without blasting, and apply the easiest class III at a distance of 134m from the portal. A top heading excavation sequence was designed for a length of 24m of the northern tunnel; up to a distance of 70m without blasting. The experience gained by the contractors, utilisation of an optimum set of mining equipment, introduction of drill pattern optimisation and application of contour blasting allowed the contractors to achieve advance rates of 100 to 130m of the full-face excavation per month. The monthly advance rates achieved were significantly affected by the time dedicated to blasting operations, i.e. from 7:00 to 21:00 hours. The end of 2005 saw 680m and 431m of the excavation completed in the southern tunnel and northern tunnel respectively.

The most important structures to be passed under by the tunnels with the overburden less than 40m are the building of the National Monument and the equestrian statue of Jan Žižka of Trocnov. A FEM structural analysis was developed for the prognosis of the rock mass behaviour. The analysis resulted in a prediction of a total subsidence value of 12mm following the passage of the two tunnels. A seismic measurement system was designed and maximum charge weight limits were set to enhance the protection of the building and the statue. The cast in situ concrete final lining is designed both reinforced and unreinforced, half-and-half in proportion to the length of the sections. Travelling formwork sets will be used for the casting. The length of the casting blocks of 12.50m corresponds to a half of the 25m distance between safety recesses.

THE DESIGN OF PORTALS

The deciding length of the tunnels will be driven from the east portal, whose location is in the centre of the construction operations designed to improve the uncared northeastern slopes of Vítkov Hill. There will be a modern park in the final condition, connected with the city centre not only via transit tunnels but also via a cycle track. This track will link the park outside Prague Main Station with Balabenka via an existing single-track line (to be abandoned subsequently), and with a part of the Vysočany/Harfa location which is being newly developed.

The construction works started in the autumn 2004 by the site preparation and development of access roads to the tunnel portals. New revetment walls allow the existing rail line to be operated



Obr. 5 Pohled na západní portálovou jámu. V popředí pilíře čtyřkolejné železniční estádky, nad portálem památník na hoře Vítkov s jezdeckou sochou Jana Žižky z Trocnova

Fig. 5 The construction trench for the West Portal. At the front - the pillars of the four-rail viaduct; above the portal - the National Monument on Vítkov Hill with the equestrian statue of Jan Žižka of Trocnov

tunely, ale i cyklostezkou. Ta spojí park před stanicí Praha hl. nádraží po stávající (následně opuštěné) jednokolejné trati s Balabenkou a dále s nově vznikající moderní částí Vysočan a Harfy.

Vlastní výstavba byla zahájena na podzim roku 2004 přípravou území a vytvořením přístupových komunikací k portálům tunelů. Nové zárubní zdi umožňují provozovat současnou železniční trať až do doby zprovoznění nových kolejí, vedených nově postavenými dvoukolejnými tunely. Odvoz rubaniny je zabezpečován kolejovou i silniční dopravou.

Stavební jámy portálů jsou členěné tak, že mezi hloubeným a raženým tunelem vznikají horninové pilíře minimální šířky od 3,5 m do 10 m. Stěny pilířů tvoří dvoustupňová svislá kotvená mikropilotová stěna z ocelových trubek $\Delta 108/16$ mm výšek od 15 do 27 m. Pro stabilizaci stěn jsou použity trvalé horninové lanové kotvy délek od 8 do 22 m. Konečná úprava stěn je ze stříkaného betonu tloušťky 0,25 m. Kořeny jsou upnuty do klenbových oblastí nynějšího železničního tunelu, proto byla při jejich injektování věnována mimořádná pozornost stavu obezdívky. Po vybudování hloubených konstrukcí dvoukolejných tunelů budou tyto zasypány. Před samotnou výstavbou byly provedeny důkladné inventarizace všech nadzemních i podzemních objektů a v souladu s tunelovací metodou NRTM byl navržen podrobný monitorovací systém průběhu výstavby.

ZÁVĚR

Vítkovské tunely Nového spojení řeší napojení centra Prahy na budoucí vysokorychlostní trať z východu a severu České republiky. Umožní také propojení příměstské a meziměstské dopravy napříč hlavním městem a doplní tento segment dopravy, který přechod od východu na západ, nebo i ze severu na jih přes centrum města zatím neumožňuje.

ING. MICHAL GRAMBLIČKA,
SUDOP PRAHA, a. s., e-mail: michal.gramblicka@sudop.cz



Obr. 6 Záběr z ražby kaloty
Fig. 6 Top heading excavation



Obr. 7 Animace definitivních východních portálů
Fig. 7 A view of the east portals

until the moment of the opening of the new tracks running through the newly built tunnels to traffic. The muck is removed both by rail and road-based transportation.

The construction trenches at the portals are designed in a manner guaranteeing that rock pillars with a minimum width of 3.5m to 10m remain between the cut-and-cover and the mined tunnels. The walls of the pillars are supported by 15m to 27m high double-stage anchored vertical micropile walls consisting of 108/16mm steel tubes. The walls are stabilised by permanent cable rock anchors 8.0 to 22.0m long. A 0.25m thick shotcrete layer is applied to the surface of the walls. The toes of the walls are keyed into the areas of vaults of the existing railway tunnel; therefore the condition of the vaults was paid extraordinary attention during the grouting operations. Once the cut-and-cover double-track tunnels are completed, they will be backfilled. A thorough condition survey of all above ground and underground structures will be performed prior to the works commencement. A detailed monitoring system has been designed in compliance with the NATM principles.

CONCLUSION

The Vítkov tunnels solve the connection of Prague's centre with the future high-speed railway lines coming from the east and north of the Czech Republic. Apart from this, they will allow the suburban service and inter-urban lines to pass across the city in the east-west and north-south directions. Thus this, till now unavailable, traffic mood will be added to the scope of transportation services capable of uninterrupted passage through the centre of Prague.

ING. MICHAL GRAMBLIČKA,
SUDOP PRAHA, a. s., e-mail: michal.gramblicka@sudop.cz

TUNELY NA III. TRANZITNÍM KORIDORU

TUNNELS ALONG THE THIRD TRANSIT CORRIDOR

JIŘÍ MÁRA, JIŘÍ RŮŽIČKA, MICHAL GRAMBLIČKA

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Česká republika
Investor	SŽDC, s. o.
Projektant	METROPROJEKT Praha, a. s., SUDOP Praha, a. s.
Uživatel	České dráhy, a. s.
Období výstavby	předpoklad dokončení 2016

ÚVOD

V roce 1973 byl Mezinárodní železniční uníí sestaven řídicí plán evropské železniční sítě, jehož cílem bylo vybudovat na evropských železničních tratích moderní infrastrukturu srovnatelnou rychlostí, pohodlím, bezpečností a dalšími službami se systémem dálnic a leteckých spojů. Po jeho rozpracování a zahájení postupné realizace byla v roce 1985 v rámci EHK/OSN sjednána „Evropská dohoda o hlavních mezinárodních železničních tratích“ a v roce 1991 „Dohoda o nejdůležitějších trasách mezinárodní kombinované dopravy“. Pro Českou republiku byly definovány čtyři tranzitní železniční koridory, na nichž se prioritně provede modernizace v parametrech, které jsou v dohodách AGC a AGTC obsaženy. Mapa sítě koridorů je na příloženém obrázku. Význam těchto železničních tratí potvrzuje jejich zařazení do tzv. panevropských koridorů. Celková délka všech koridorů na území republiky je 1962 km.

Část III. koridoru východně od České Třebové je již v provozu, jeho úseky západně od Prahy jsou v etapě projektové přípravy, se zahájením stavebních prací v úseku Rokycany – Plzeň se uvažuje do tří let a s úsekem Praha – Beroun do pěti let.

REALIZOVANÉ STAVBY – KRASÍKOV, TATENICE, MALÁ HUBA, HNĚVKOVSKÝ I A HNĚVKOVSKÝ II

Na východní větvi III. tranzitního koridoru, spojujícího města Česká Třebová – Zábřeh na Moravě – Olomouc – Přerov, byla v roce 2002 zahájena modernizace úseku Česká Třebová – Krasíkov v délce 22,4 km. Realizace této doposud nejnáročnější stavby v rámci všech koridorů začala 2002 ražbou tunelů Krasíkov a Tatenice. **Tunel Krasíkov**, zatím nejdelší tunel na koridorových tratích, má délku 1101 m, z toho ražená část je dlouhá 1035 m. Maximální výška nadloží v trase tunelu je 42 m. U tunelu Krasíkov stejně jako u dalších tunelů byla uplatněna ustanovení nové normy ČSN 737508 Železniční tunely. Pojistný prostor v klenbě tunelu byl zvětšen ze 150 mm na 300 mm a pro zvýšení bezpečnosti cestujících byla ve středu tunelu realizována úniková štolka délky 240 m zakončená šachtou hloubky 12 m s únikovým schodištěm vyústěným na terén. Trasa dvoukolejné železniční tratě je v tomto tunelu vedena ve dvou protisměrných obloucích s minimálním poloměrem $R = 941$ m. Ražba tunelu, která proběhla bez problémů, byla prováděna metodou NRTM s horizontálním členěním výrubu. Definitivní ostění je monolitické železobetonové, převážně tloušťky 350 mm. Stejným způsobem byl prováděn i navazující krátký **tunel Tatenice**, který má celkovou délku 143,7 m, z toho ražená část je 85 m dlouhá (maximální výška nadloží je 14 m). Definitivní ostění je rovněž monolitický železobeton tloušťky 350 mm. Oba výše uvedené tunely od sebe odděluje údolní niva řeky Moravská Sázava, kterou železniční trať překonává převážně mostem délky 176 m, na kterém je umístěna nová železniční zastávka Tatenice. Toto technické řešení se ukázalo jako velmi zdařilé. Přeložka tratě včetně tunelů Krasíkov a Tatenice byla zprovozněna v srpnu 2004.

Bezproblémový průběh této stavby vytvořil příznivou atmosféru jak v odborné, tak i v laické veřejnosti, což pomohlo i úspěšné realizaci přeložky navazujícího úseku tratě Krasíkov – Zábřeh na Moravě. Tuto stavbu je možno rozdělit na dvě části. První částí je úprava tratě v délce 5913 m mezi zastávkou Tatenice a stanicí Hoštejn, jejíž součástí je přeložka tratě v délce 1800 m s novým **tunelem Malá Huba**, který byl uveden do provozu na podzim roku 2005. Jde o dvoukolejný tunel délky 324 m, ražená část má délku 300 m. Byl ražen v prostředí

BASIC DATA

Region	The Czech Republic
Employer	SŽDC s. o.
Designer	METROPROJEKT Praha a.s., SUDOP Praha a. s.
User	České dráhy a. s. (Czech Railways)
Construction period	the completion anticipated in 2016

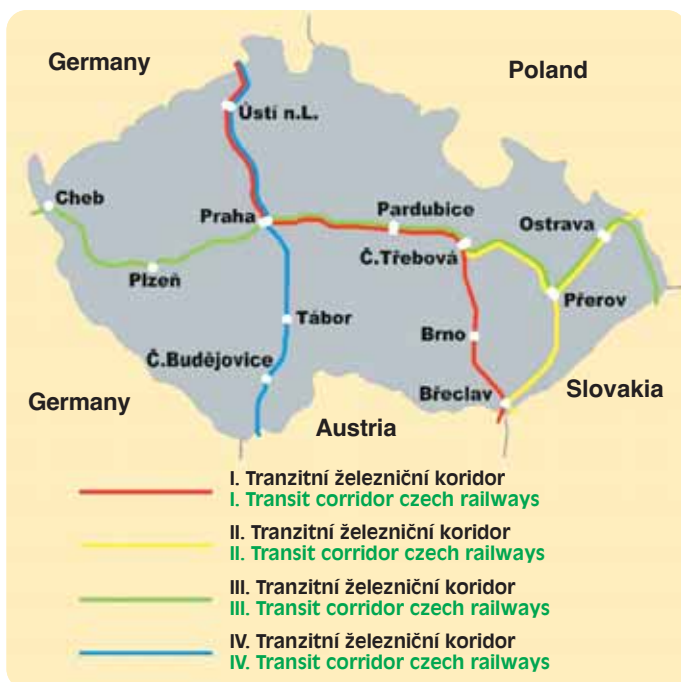
INTRODUCTION

In 1973 the International Railway Union developed the Steering Plan for the European Railway Network. Its aim was to provide European railway lines with a modern infrastructure comparable in terms of the speed, comfort and safety as well as other services with the system of motorways and airlines. Once the plan had been worked out and the construction had gradually commenced, there was the “European Agreement on Main International Railway Lines” (AGC Agreement) concluded in 1985, in the framework of the ECE/UN, which was followed by the “Agreement on Main International Combined Transport Lines and Related Structures” (AGTC Agreement) in 1991. Four railway transit corridors were defined for the Czech Republic that were assigned the priority of being upgraded to a level meeting the parameters contained in the AGC and AGTC agreements. The map of the network formed by those corridors is in the picture attached. The importance of those railway routes is proven by their incorporation into the scheme of so-called Pan-European corridors. The aggregated length of all those corridors in the Czech Republic amounts to 1,962km.

A part of the Third Corridor east of Česká Třebová is already in service; its sections to the west from Prague are in the design phase; the construction work on the Rokycany – Plzeň section is anticipated to commence in three years, while the Prague – Beroun section should see the work start in five years.

COMPLETED STRUCTURES – THE KRASÍKOV, TATENICE, MALÁ HUBA, HNĚVKOV I AND HNĚVKOV II TUNNELS

The first section to be modernised was the 22.4km long stretch between Česká Třebová and Krasíkov. The work on this part of the eastern branch of the Third Transit Corridor connecting the cities of Česká Třebová, Zábřeh na Moravě, Olomouc and Přerov commenced in 2002. The implementation of this construction, which is till now the most difficult one in the network of the corridors, started in 2002 by the excavation of the Krasíkov and Tatenice tunnels. The **Krasíkov Tunnel**, for the time being the longest tunnel found along the corridor lines, is 1,101m long. The mined tunnel portion is 1,035m long. The maximum overburden thickness along the tunnel route amounts to 42m. The new norm, ČSN 73 7508 Railway Tunnels, was applied to the Krasíkov tunnel and the other tunnels design. The safety space in the tunnel crown was enlarged from 150mm to 300mm, and an escape gallery was driven along the middle section of the tunnel to provide enhanced safety of passengers. The gallery is 240m long. It terminates at a 12m deep shaft with an escape staircase ending on the ground surface. The alignment of the double-rail line running through this tunnel is on two reverse curves with a minimum radius $R = 941$ m. The tunnel excavation was performed without problems, using the NATM with a horizontal excavation sequence. The *in situ* reinforced concrete final lining is mostly 350mm thick. The same method was applied to an adjoining short tunnel, i.e. the **Tatenice Tunnel**. This 143.7m long tunnel was constructed using mining methods along a length of 85.0m, under a cover 14m thick as a maximum. The cast *in situ* reinforced concrete final lining is also 350mm thick. Both above-mentioned tunnels are separated by the Moravská Sázava River's valley. The track overcomes the valley via a 176m long bridge. There is the new Tatenice intermediate station built on the bridge. This technical solution proved very successful. The relocated track including the Krasíkov and Tatenice tunnels was opened to traffic in August 2004. The smooth progress of this construction created an atmosphere of both the professional and lay public sympathy, which is helpful even for the successful execution of relocating the adjoining section of the Krasíkov – Zábřeh na Moravě line. This construction can be divided into two parts. The part 1 consists of the re-arrangement of the railway track within a 5,913m long



Obr. 1 Mapa koridorových tratí ČR

Fig. 1 Map of Railway Corridors in the Czech Republic

metamorfovaných hornin, zejména fylitů a fylitických břidlic metodou NRTM s horizontálním členěním výrubu, maximální výška nadloží byla 39 m. Definitivní ostění z monolitického železobetonu má tloušťku 350 mm a bylo prováděno po pasech délky 10 m. Navazující 2. část – úpravy tratě mezi stanicemi Hoštejn a Zábřeh na Moravě v délce 9862 m zahrnuje i přeložku tratě v délce 2570 m, kde jsou situovány další 2 nové tunely. Je to dvoukolejný **tunel Hněvkovský I**, s celkovou délkou 180 m a raženou částí délky 130 m. Maximální výška nadloží je 25 m. Tunel byl ražen v prostředí proterozoických metamorfovaných hornin metodou NRTM s horizontálním členěním výrubu. Převažujícím horninovým typem byly fylity a fylitické břidlice. Definitivní ostění z monolitického železobetonu má tloušťku 350 mm a bylo prováděno po pasech délky 10 m. V současné době je dokončeno definitivní ostění tunelu včetně portálů a provádí se montáž kolejového svršku a technologického vybavení tunelu a terénní úpravy u portálů.

Další tunel realizovaný na této přeložce je **tunel Hněvkovský II**. Je to opět dvoukolejný tunel s celkovou délkou 462 m, ražená část má délku 432 m a maximální výška nadloží je 78 m. Tunel byl ražen opět v prostředí proterozoických metamorfovaných hornin. Převažujícím horninovým typem byly biotitické pararuly. Ražba byla prováděna metodou NRTM s horizontálním členěním výrubu. Definitivní ostění z monolitického železobetonu tloušťky 350 mm bylo prováděno po pasech délky 12 m. V převážném rozsahu bylo prováděno ostění bez spodní klenby. V současné době je dokončena ražba tunelu a betonáž definitivního ostění včetně portálů. Je možno konstatovat, že veškeré práce v ražené části tunelu probíhaly bez větších obtíží a v požadovaných termínech. Mnohem náročnější bylo technické řešení portálů tohoto tunelu. Při zpracování realizační dokumentace byla snaha jak zhotovitele, tak i projektanta využít zkušeností z výstavby tunelů Krasíkov a Tatenice.

Oproti zadávací dokumentaci byly provedeny tyto změny:

– Vjezdový portál je zasazen přímo do mohutného skalního výchozu vrchu Hejnice přímo nad provozovanou silnicí do obce Hněvkov. V zadávací dokumentaci byla hloubená stavební jáma pro portál navržena jako trvale kotvený skalní zářez, půdorysně ve tvaru L. Maximální výška skalní stěny byla cca 45 m. Vlastní portál byl kolmý na podélnou osu tratě. V realizační dokumentaci byl navržen šikmý portál, a tím byl objem odtěžované horniny snížen cca na polovinu a maximální výška zářezu byla snížena na 25 m. Nad šikmou čelní portálovou stěnou byla provedena železobetonová převážka s pramencovými kotvami délky 25 m. Veškeré stavební práce byly prováděny ve spolupráci s horolezci, a proto nebylo nutné budovat těžké lešení, jak bylo v zadání uvažováno. Zároveň se ale ukázalo, že skalní stěna portálu je velmi narušená a není možno ji ponechat jako kotvenou skalní stěnu. Proto byla portálová stěna zpevněna monolitickou stěnou z prostého betonu celkové výšky cca 18 m. Koruna stěny je ukončena tenkou atikovou zídou tvořící

section between the Tatenice and Hoštejn intermediate stations, i.e. the relocation of a 1,800m long track containing the new **Malá Huba Tunnel** (opened to traffic in the Autumn 2005). A 300m long portion of this 324m long double-rail tunnel was mined. The tunnel was driven using the NATM with a horizontal excavation sequence through the metamorphosed rock environment where phyllite and phyllitic shales prevailed. The cover thickness did not exceed 39m. The casting of the 350mm thick reinforced concrete final lining was carried out in 10m long blocks.

The adjoining part 2 of the rearrangement of the 9,862m long track between the Hoštejn and Zábřeh na Moravě intermediate stations consists, apart from others, of the 2,570m long relocated track containing another 2 new tunnels. First of those is the double-track **Hněvkov I Tunnel** (the total length of 180m, the mined section 130m long). The maximum overburden thickness amounts to 25m. The tunnel was driven through the Proterozoic metamorphosed rock environment using the NATM with a horizontal excavation sequence. Phyllite and phyllitic shales prevailed. The cast *in situ* reinforced concrete final lining is 350mm thick. It consists of 10m long casting blocks. Today, the final tunnel lining including the portals are complete; trackwork and technical services are being installed and the terrain is being finished at the portals.

The other tunnel built on this relocated track is the **Hněvkov II Tunnel**. This is again a double-track tunnel; the mined section contributes 432m to the total tunnel length of 462m; the maximum overburden depth amounts to 78m. The excavation also passed through the Proterozoic metamorphosed rock environment. The biotite paragneiss rock type prevailed. The NATM was applied using a horizontal excavation sequence. The casting blocks of the 350mm thick reinforced concrete final lining were 12m long. The invert was left out along a major part of the lining. Currently, the tunnel excavation has been completed as well as the casting of the final lining, inclusive of the portals. It is possible to say that all operations in the mined tunnel section passed without significant problems and the required deadlines were met. Much more difficult problem was the design of the tunnel portals. Both the contractor and the designer tried to implement the lessons learnt in the construction of the Krasíkov and Tatenice tunnels when they were developing the final design.

The following deviations from the tender documents were adopted:

- The entrance portal is positioned directly to a mighty rock outcrop of Hejnice hill, directly above an operated road leading to the village of Hněvkov. The tender documents required an L-shaped layout of the construction trench for the portal, with the rock slopes stabilised using permanent anchoring. The maximum rock wall height amounted approximately to 45m. The portal itself was perpendicular to the longitudinal axis of the track.
- The final design contained an oblique portal solution. Owing to this configuration, the volume of the excavation was reduced roughly to a half and the maximum depth of the cut decreased to 25m. The oblique portal wall was provided with a reinforced concrete capping piece stabilised by 25m long stranded anchors. All construction operations were carried out in close collaboration with rock climbers, therefore the heavy scaffolding assumed in the design became unnecessary. At the same time, however, the rock wall showed to be intensely fractured. The anchored rock wall design could not be applied. A cast *in situ* unreinforced concrete wall about 18m high had to be erected to support the portal wall. The top of this wall is provided with a thin parapet serving as safety railing. The parapet prevents stones from falling from the upper levels of the portal wall, which is stabilised only by a grid of



Obr. 2 Tunel Krasíkov – vjezdový portál

Fig. 2 The Krasíkov tunnel entrance portal



Obr. 3 Železniční zastávka na mostě s portálem Tatenického tunelu
Fig. 3 The intermediate station on the bridge before the Tatenice tunnel portal

zábradlí. Ta chrání portál před pádem kamení z horních partií skalní stěny, která je zpevněna pouze rastrem krátkých tyčových kotev. Dnes je možno konstatovat, že při trasování nové trati měla být pečlivě zvažována poloha portálu. Pokud by byl situován mimo skalní výchoz, bylo by podstatně snazší jej zakomponovat i do relativně strmých svahů vrchu Hejnice a lépe by splynul s terénem.

- Okolní hloubené části výjezdového portálu bylo v realizační dokumentaci řešeno zásypaním zeminou vyztuženou geomřížemi TENSAR, který bude ohumusován. Toto řešení nahradilo původně uvažovanou vysokou gabionovou zeď vytvořenou z třídné rubaniny z tunelu. Nové řešení umožnilo velmi dobré zakomponování portálu do přílehlého svahu.

PŘIPRAVOVANÉ STAVBY

Traťový úsek Praha – Beroun

Modernizace tohoto traťového úseku, kde se uvažují nové tunely v celkové délce až 24,33 km, je podrobně popsána v samostatném příspěvku tohoto čísla časopisu.

Traťový úsek Ejpvovice – Plzeň

Traťový úsek Ejpvovice – Plzeň má v současné době schválenou dokumentaci pro územní rozhodnutí. Oba tunely jsou dvoukolejné a jsou podle místního názvosloví pojmenovány Homolka a Chlum. Úsek mezi tunely (původně uvažován jako hloubený tunel) je při vědomí rozvoje obytného potenciálu veden v otevřeném zářezu hloubky cca 15 m, délky 400 m. Do tohoto místa je umístěna železniční zastávka dl. 170 m a také všechny přístupové rampy pro jednotky integrovaného záchranného systému s potřebnými nástupními a záchrannými plochami. Tunely Homolka a Chlum se projektují tak, aby v budoucnu mohly být součástí vysokorychlostní železniční tratě Praha – Plzeň.

Území je budováno horninami náležejícími dvěma stratigrafickými celkům, svrchnímu proterozoiku a tektonické kře karbonských sedimentů (převážně v oblasti zářezu mezi tunely). Převažujícím horninovým typem proterozoika jsou šedé břidlice a prachovce v různém stupni zvětrání. Sedimenty jsou prostoupeny vulkanity, z nichž nejvýznamnější výskyt je v prostoru vrchu Chlum. Jedná se o jomnozrné masivní horniny převážně zelenošedé barvy – „spility“, kromě vrchních partií masivu obvykle se střední až malou hustotou diskontinuit. Pro obojí horniny jsou charakteristické pyritové impregnace. Horninový komplex je tektonicky značně postižen, porušené stlačené zóny se vyskytují i v prostředí vulkanitů – dosahují mocnosti několika decimetrů až jednoho metru.

Tunel Homolka

Tunel Homolka má délku 2400 m a prochází pod územím využívaným pro zemědělskou výrobu. Ražená část je dlouhá 2186 m. V celé délce tunelu bude v předstihu vyražena souběžná úniková štola umístěná vpravo od tunelu v osové vzdálenosti 20 m. Nejvyšší nadloží tunelu je 50 m.

Z hlediska směrových poměrů je tunel umístěn v přímé, z hlediska sklonových poměrů pak v klesání 10,5 ‰. Světlý tunelový profil (STP) o velikosti 81,2 m² vyhovuje i pro provoz vysokorychlostní trati s návrhovou rychlostí 230 km/h. STP tunelu je dle ČSN 73 7508 navržen s pruhem pojistného prostoru šířky 300 mm. Osová vzdálenost kolejí v tunelu je 4,20 m.

short rod-type anchors. Today we can state that the position of the portal should have been carefully considered when the new alignment had been designed. If the portal had been situated some other place than at the rock outcrop, it would have been much easier for the designer to integrate it even into the relatively steep slopes of Hejnice hill, and it would have better blended into the neighbourhood.

- The surroundings of the cut and cover section found at the exit portal was solved in the final design as an embankment reinforced by TENSAR geogrid. The geogrid is to be covered with topsoil. This solution replaced the originally assumed gabion wall that was to be built using the sized muck extracted from the tunnel. The new solution made the very good incorporation of the portal into the adjacent slope possible.

PLANNED PROJECTS

The Prague – Beroun Line Section

The modernisation of this track section, for which new tunnels are planned at a total length of up to 24.33km, is described in detail in a separate article in this Tunnel magazine issue.

The Ejpvovice – Plzeň Line Section

The Ejpvovice – Plzeň line section has its design documentation for issuance of zoning and planning decision approved. Both tunnels are of the double-rail type. The tunnels are named using local names of hills, i.e. Homolka and Chlum. The track section between the tunnels, which was originally considered as a cut and cover tunnel, is designed to be laid in an about 15m deep and 400m long open cut. The reason is the awareness of the residential development potential of the area. This location between the tunnels is the place suitable for a 170m long intermediate station and all access ramps and mustering areas for the units and equipment of the Integrated Rescue System. The Homolka and Chlum tunnels are being designed so that they can become parts of the high-speed railway line from Prague to Plzeň.

The geology of the location consists of rock types forming two stratigraphic units, i.e. the Upper Proterozoic and a tectonic block of Carboniferous sediments (mainly in the area between the tunnels). Grey shales and siltite of various degree of weathering prevail in the Proterozoic unit. The sediments are permeated with volcanic rocks. The most significant occurrence of the volcanic rock is in the area of Chlum hill. The volcanic rocks are fine-grained massive rocks, mostly green-grey in colour – “spillites”. With the exception of the upper parts of the rock massif, the spacing of joints is usually wide to medium. Both rock types are characterised by pyrite-impregnated positions. The rock complex is significantly affected by faulting; the disturbed compressed zones, which occur even in the volcanic rock environment, reach the thickness of several decimetres to one metre.

The Homolka Tunnel

The 1,400m long Homolka tunnel passes under an area utilised for intensive farming. The mined portion of the tunnel is 2,186m long. There will be a parallel escape gallery driven along the whole length of the tunnel, to its right side, at 20m spacing. The overburden is 50m high as a maximum. The horizontal alignment of the tunnel is straight; its gradient descends at 10.5‰. The clear tunnel section (CTS) of 81.2m² will accommodate train speeds up to 230 km/hour. The CTS designed



Obr. 4 Tunel Malá Huba – vjezdový portál
Fig. 4 The Malá Huba Tunnel entrance portal



Obr. 5 Tunel Hněvkov II – vjezdový portál ve skalní stěně
Fig. 5 The Hněvkov II tunnel entrance portal in the rock wall

Dvoukolejný železniční tunel bude vybaven bezpečnostními výklenky (vzdálenými 24 m), kabelovými trasami, požárním suchovodem umístěným jednostranně v pravém chodníku, osvětlením, madlem a nosiči trakčního vedení.

Ostění tunelu bude mít zčásti podkovovitý (v dl. 1 550 m) a zčásti uzavřený tvar (v dl. 636 m). Teoretický profil výrubu tunelu je 103,6 m² pro podkovovitý tvar ve střední části tunelu a 123,0 m² pro uzavřený tvar v ražených částech tunelu směrem k portálům. Minimální tloušťka klenby ve vrcholu u ostění podkovovitého tvaru je 300 mm, u ostění uzavřeného tvaru 400 mm. Minimální tloušťka spodní klenby u ostění uzavřeného profilu je 500 mm.

Úniková štola je ražená v délce 2186 m. Teoretická plocha výrubu únikové štoly je 27,3 m² (v délce 1150 m), resp. 15,3 m² (v délce 1036 m). Větší profil štoly umožňuje v případě potřeby otevřít další dvě čelby hlavního tunelu zhruba v polovině délky a urychlit tím dobu výstavby. Zbýlých 214 m bude vybudováno v hloubených úsecích, zde je rub ostění tunelu a štoly umístěn ve vzdálenosti min. 1 m. Štola bude na 7 místech (vzájemně vzdálených max. 300 m) propojena s tunelem propojkami, v nichž bude umístěna větrací technologie.

Tunel Chlum

Navrhovaný dvoukolejný ražený tunel je délky 1300 m, z toho ražená část dl. 1118 m, hloubené úseky dl. 182 m. Konstrukčně je tunel řešen shodně s tunelem Homolka. Maximální výška nadloží je 70 m. V délce 600 m je ve střední části tunelu vedena souběžná úniková štola umístěná v ose vzdálenosti 20 m. Tunel a štola jsou na 3 místech propojeny. Z únikové štoly je radiálně vedena štola ústící na povrch západně od zástavby v Újezdě.

Jablunkovský tunel

Na traťový úsek státní hranice SR – Mosty u Jablunkova – Bystřice nad Olší je v současné době vypracována dokumentace pro územní rozhodnutí.

V rámci optimalizace tohoto úseku dojde k nahrazení dvou stávajících jednokolejných tunelů jedním dvoukolejným. První z jednokolejných tunelů bude rozšířen a přestrojen na nový dvoukolejný, druhý bude vyřazen z provozu a vyplněn rubaninou a popílkobetonem.

Nový dvoukolejný ražený tunel má délku 612 m, ražená část je délky 588 m, hloubené úseky celkem 24 m. Maximální výška nadloží je 25 m. Definitivní ostění z monolitického železobetonu v tloušťce 400 – 600 mm, délka sekce betonáže 12 m.

ING. JIŘÍ MÁRA, e-mail: mara@metroprojekt.cz,
ING. JIŘÍ RŮŽIČKA, e-mail: ruzicka@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT PRAHA a. s.
ING. MICHAL GRAMBLIČKA, SUDOP PRAHA a. s.,
e-mail: michal.gramblicka@sudop.cz



Obr. 6 Tunel Hněvkov II – výjezdový portál
Fig. 6 The Hněvkov II tunnel exit portal

according to ČSN 73 7508 contains a 300mm wide safety space. The track centre distance in the tunnel amounts to 4.20m.

The double-track tunnel will be equipped with safety recesses built at intervals of 24.0m, cable runs, a dry hydrant main installed along one side (in the right walkway), the lighting system, a handrail and the contact-line suspension system.

The tunnel lining will be horseshoe shaped along a length of 1,550m and a 636m long section will have a closed profile. The theoretical excavated cross section of the tunnel is of 103.6m² in the central part of the tunnel (the horseshoe shaped profile) and 123.0m² in the remaining parts of the mined tunnel section (the closed profile on the sides heading toward the portals). The minimum thickness of the lining at the crown of the arch is of 300mm and 400mm for the horseshoe shaped profile and the closed profile respectively. The minimum thickness of the invert of the closed profile is of 500mm.

The escape gallery is driven along a length of 2,186m. The theoretical excavated cross section area of the escape gallery is of 27.3m² and 15.3m² within a length of 1,150m and 1,036m respectively. The larger profile of the gallery allows two additional points of attack to be opened roughly in the middle of the main tunnel length if necessary, thus to reduce the construction time. The remaining 214m of the gallery will be cut and cover. The minimum spacing between the external surfaces of the tunnel and the gallery is to be of 1.0m. The gallery will be connected with the tunnel by 7 cross passages (driven at maximum intervals of 300m). The passages will house the ventilation equipment.

The Chlum Tunnel

The proposed double-rail tunnel is 1,300m long (a 1,118m long mined part plus 182m long cut and cover sections). The Chlum tunnel design is identical with that of the Homolka tunnel structure. The maximum overburden thickness amounts to 70m. The 600m long parallel escape gallery runs along the central part of the tunnel at a distance of 20m. There are 3 cross passages between the tunnel and the gallery. An adit ending on the surface, west of the residential development in the village of Újezd, is designed to be excavated in a radial direction from the escape gallery.

The Jablunkov Tunnel

The design documentation for issuance of zoning and planning decision for the Slovakian state border – Mosty u Jablunkova – Bystřice nad Olší track section has been completed.

Two existing single-track tunnels will be replaced by one double-track structure in the framework of the optimisation project for this section. One of the single-track tunnels will be enlarged and relined for the double-track configuration; the other tunnel will be taken out of service and filled with the muck and cinder concrete.

The new double-track tunnel is 612m long, the mined portion is 588m long, the cut and cover sections are 24m long in total. The maximum cover depth is up to 25m. The reinforced concrete final lining is 400 – 600mm thick; the casting blocks are 12m long.

ING. JIŘÍ MÁRA, e-mail: mara@metroprojekt.cz,
ING. JIŘÍ RŮŽIČKA, e-mail: ruzicka@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT PRAHA a. s.
ING. MICHAL GRAMBLIČKA, SUDOP PRAHA a. s.,
e-mail: michal.gramblicka@sudop.cz

MODERNIZACE ŽELEZNIČNÍ TRATĚ PRAHA – BEROUN

MODERNISATION OF THE PRAGUE – BEROUN RAILWAY LINE

JIŘÍ MÁRA, JIŘÍ RŮŽIČKA

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Středočeský kraj, Hlavní město Praha
Investor	SŽDC, s. o.
Projektant	METROPROJEKT Praha, a. s.
Uživatel	České dráhy, a. s.
Období výstavby	předpoklad dokončení 2016

ÚVOD

V přípravě staveb tzv. západní části III. tranzitního železničního koridoru (TŽK) v úseku Praha – Plzeň – státní hranice došlo v minulém roce k zásadním změnám. Modernizační varianta byla schválena usnesením vlády ČR č. 885 z 13. 7. 2005. Tato část III. tranzitního železničního koridoru je považována za prioritní, protože je i součástí IV. koridoru evropské sítě železničních magistrál (AGTC – C40), (AGTC – E40) Lvov – Čierna na Tisou – Žilina – Ostrava – Olomouc – Praha – Plzeň – Frankfurt – Paříž. Součástí tohoto koridoru je i úsek trati Praha – Beroun.

Trasa stávající železniční tratě vede údolím řeky Berounky s hustou obytnou zástavbou a bezprostředně se dotýká území chráněné krajinné oblasti Český kras. Směrové vedení má úseky s maximální dosažitelnou rychlostí 80 km/hod. Při zpracovávání návrhu optimalizace tohoto traťového úseku se ukázalo, že úprava směrového vedení ve stávající stopě je prakticky nereálná a vynaložené prostředky by navíc nepřinesly očekávané zlepšení parametrů tratě. Z těchto důvodů bylo rozhodnuto hledat jiné řešení, které bude sledovat trasu plánované vysokorychlostní tratě (VRT). Ukázalo se ale, že studie VRT je překonaná. Investor proto objednal u firmy METROPROJEKT Praha, a. s., studii, která by prověřila nové možnosti trasování tohoto traťového úseku.

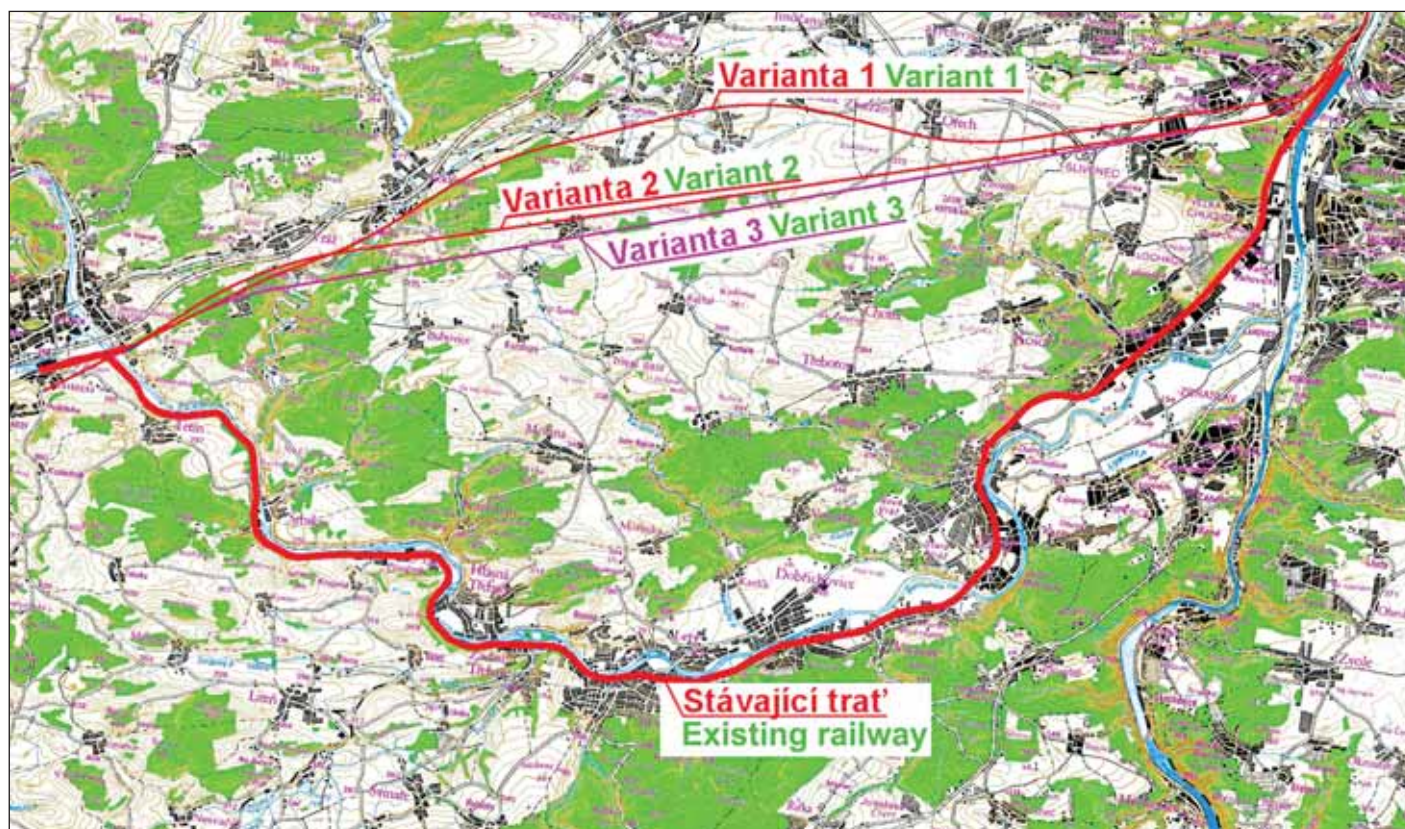
BASIC DATA

Region	the Central Bohemian Region + the City of Prague
Employer	SŽDC s. o.
Designer	METROPROJEKT Praha a. s.
User	České Dráhy a. s. (Czech Railways)
Construction period	anticipated completion in 2016

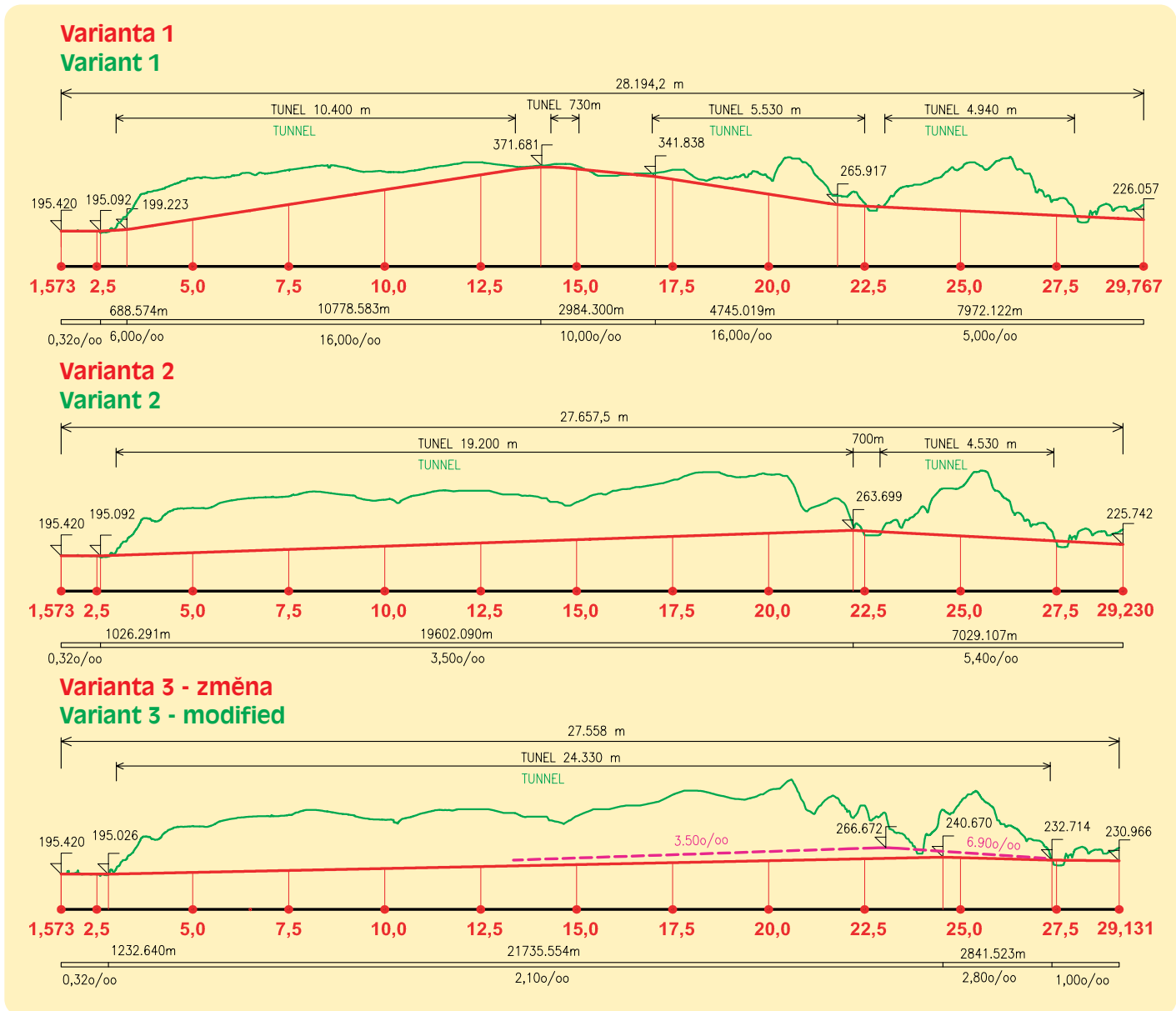
INTRODUCTION

Last year, the construction pre-planning for the so-called western portion of Railway Transit Corridor III in the section Prague – Plzeň – the state border experienced principal changes. The modernisation variant was approved by the Government Decree No. 885 Coll. of 13.7.2005. This portion of Railway Transit Corridor III is considered as priority because it is part of Corridor IV of the European network of railway arteries (AGTC – C40), (AGTC – E40) Lvov – Čierna nad Tisou – Žilina – Ostrava – Olomouc – Prague – Plzeň – Frankfurt – Paris. The Prague – Beroun track section is part of this corridor.

The route of the existing railway leads along the densely developed Berounka River valley, and directly touches the Český Kras (Bohemian Karst) Protected Landscape Area (PLA). The horizontal alignment contains sections with maximum attainable speed dropping to 80km/hour. It was proven during the course of the work on the proposal for the optimisation of this line section that modification of the alignment with the existing path followed is virtually unrealistic, and the investment would not improve the parameters of the line in the expected manner. For those reasons the decision was made to seek for another solution that would follow the route of a high-speed line (HSL). It turned out, however, that the HSL study was outdated. The owner therefore placed an order with



Obr. 1 Přehledná situace trati Praha–Beroun
Fig. 1 General plan of the Prague–Beroun railway line



Obr. 2 Podélné profily variant 1, 2, 3 – upravené
Fig. 2 Longitudinal profiles of variants 1, 2, 3 – modified

VÝSLEDKY STUDIE

Dle požadavku zadání projektant zpracoval několik variant možného řešení nového propojení, které byly prověřovány. Ve všech variantách začíná trasa v železniční stanici Praha-Smíchov a končí vyústěním do údolní nivy Berounky na okraji Berouna v prakticky totožném místě. Studie prověřila celkem sedm variant řešení. V tomto článku uvádíme tři nejzajímavější varianty, které mají minimální negativní vliv na životní prostředí v oblasti města Loděnice.

Varianta 1 – trasa byla zpracována v poloze, která se nejvíce přibližuje návrhu VRT. Z hlediska výškového vedení sleduje terén se značným stoupáním a klesáním.

Varianta 2 – směrově v podstatě také sleduje stopu návrhu trasy VRT, ale kromě úseku v Loděnici a úseku před železniční stanicí Beroun vede celá v tunelu s velmi malými sklony. V prostoru Loděnice je v této variantě kromě krátkých úseků tratě na terénu uvažován i mostní objekt délky 432 m. V této variantě je nadzemní úsek u Loděnice veden v limitní stopě po hranici CHKO Český kras tak, jak bylo požadováno při předběžném projednání správcem tohoto chráněného území.

Varianta 3 – směrově také sleduje trasu návrhu VRT. Je vedena celá v tunelu s velmi malými sklony a údolní říčky Loděnice překračuje krátkým mostem délky 200 m, který je ale situován do území CHKO Český kras. Přesto, že je v této variantě trasa nejkratší, bylo od ní upuštěno na základě zamítavého stanoviska správce CHKO.

Pro další rozpracování v přípravné dokumentaci byla doporučena varianta 2 z těchto důvodů:

– trasa je o 537 m kratší než varianta 1,

METROPROJEKT Praha a. s. for a study that would examine new options for the alignment of this line section.

RESULTS OF THE STUDY

In accordance with the order, the designer developed several variants of the possible solution to the new link. The variants were examined. In all of the variants the alignment starts in the Prague-Smíchov station and ends at the edge of Beroun, in the Berounka River plain, at a virtually identical point. The study examined a total of seven variants of the solution. Three of them, the most interesting ones, are presented in this paper. Their negative environmental impact on the area of the town of Loděnice is the lowest.

Varianta 1 – The alignment was designed to be at a position which is closest of all to the HSL design. Its vertical alignment follows the surface with its considerable rising and descending contours.

Varianta 2 – The horizontal alignment also follows the HSL route but, excepting a section in Loděnice and a section before the Beroun station, the whole line passes through a tunnel with very small gradients. In addition to short at-grade sections, this variant considers a 432m long bridge in the Loděnice area. The at-grade section near Loděnice is designed in this variant to follow the limiting route along the PLA Bohemian Karst, in the manner required by the administrator of this area during preliminary negotiations.

Varianta 3 – The horizontal alignment also follows the designed HSL route. The entire length of this alignment is led through a tunnel with small gradients. The Loděnice River valley is overcome via a short, 200m long bridge, which is situated in the area of the PLA

POROVNÁNÍ PARAMETRŮ VARIANT COMPARISON OF VARIANT PARAMETERS

Popis veličin	1.VARIANTA	2.VARIANTA	3.VARIANTA (změna)
Description of quantities	VARIANT 1	VARIANT 2	VARIANT 3 (modified)
Celková délka trasy Total length of the alignment	28,194 km	27,657 km	27,558 km
Délka trasy na povrchu At-grade alignment length	6,594 km	3,927 km	3,228 km
Délka tunelů Length of tunnels	21,600 km	23,730 km	24,330 km
Maximální podélný sklon Maximum longitudinal gradient	16 ‰	5,4 ‰	2,8 ‰
Maximální převýšení Maximum difference in altitudes	176,600 m	68,600 m	45,600 m
Maximální výška nadloží Maximum depth of cover	151,500 m	171,100 m	201,200 m

Rozdíly v délkách trasy v jednotlivých variantách nejsou velké. Každopádně proti stávajícímu stavu dojde k významnému zkrácení trasy Praha – Beroun o cca 10 km.

The differences in the lengths in the individual variants are not substantial. In any case, the line Prague – Beroun will be significantly shorter compared to the existing state, approximately by 10 km.

- má podstatně menší územní požadavky,
- má podstatně lepší parametry z hlediska výškového vedení (je energeticky úspornější),
- vyhýbá se CHKO Český kras,
- investiční náročnost obou variant je v podstatě stejná.

Při projednávání studie s dotčenými obcemi obdržel investor od starosty obce Svätý Jan pod Skalou písemný nesouhlas s vedením trasy nad údolím říčky Loděnice dle varianty 2, což vedlo projektanta k návrhu upravené verze varianty 3 (viz obr. 2).

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ TUNELŮ KONCEPCE TUNELŮ

Ve variantě 1, ale zejména ve variantách 2 a 3 se uvažuje s výstavbou dlouhých tunelů. Z ekonomických rozborů a na základě znalostí v celosvětovém měřítku jasně vyplývá, že pro navrhované délky tunelů je nejvhodnější uvažovat ražbu plnoprofilovým razičím strojem (TBM), který by měl zajistit rychlý a efektivní postup ražby ze dvou portálů, aniž by bylo nutné v trase budovat další přístupové cesty pro více čeleb.

Pochopitelně není možné opomenout riziko případných krasových jevů, zejména v úseku mezi Loděnicemi a Berounem. Řešení tohoto problému je nutné věnovat patřičnou pozornost již při inženýrskogeologickém průzkumu. Na základě průzkumu lze i blíže specifikovat požadavky na razičí mechanismus a způsob sanace případných poruch či kaveren. Pochopitelně není vyloučeno použití razičího stroje směrem od Prahy do Loděnic a pro protiražbu z Berouna do Loděnic, kde je především riziko krasových jevů, volit jinou technologii. Další otázka, kterou by měl zodpovědět hydrogeologický průzkum, je úroveň hladiny podzemní vody a zatížení ostění tunelů hydrostatickým tlakem. Důvodem je především snaha minimalizovat, respektive prakticky zcela vyloučit negativní vliv této stavby na životní prostředí. Proto předpokládáme, že ostění jednokolejních tunelů bude vodotěsné a nebudou uvažovány trvalé drenáže za ostěním tunelu. Staticky nejvýhodnější kruhový profil tunelu toto umožňuje bez velkých nároků na tloušťku ostění a množství výztuže.

Ve všech variantách se předpokládá umístění pražského portálu v km 3,000. Je to těsně před křížením s výstupní barrandovskou radiálou (ulice K Barrandovu) v Hlubočepích. Při podrobnějším rozpracování projektu v přípravné dokumentaci bude pravděpodobně před tímto portálem místo hlubokého odřezu navržená hloubená část tunelů v délce cca 170 m, která bude následně zasypaná a definitivní portál bude vhodně zakomponován do čela skalního ostrohu mezi stávající tratí směrem do Radotína a tratí směrem na Rudnou. Tunel je situován tak, aby nebyl narušen reliéf výchozů horninových vrstev viditelný na boční straně ostrohu směrem k Vltavě. Toto řešení umožňuje již od zhlaví železniční stanice Praha-Smíchov oddělit novou rychlostí trať od současné tratě do Berouna, která bude využívána zejména jen pro osobní dopravu mezi Prahou a Berounem a vltavské údolí tak bude chráněno před nepříznivými vlivy dálkové dopravy.

Bohemian Karst. Even though this variant of the alignment is the shortest, it was abandoned because of a negative opinion of the HSL administrator.

The variant 2 was recommended for further development in the design documentation for issuance of zoning and planning decision for the following reasons:

- the alignment is shorter by 537m than that of the variant 1,
- its requirements for land are significantly lower,
- its parameters are much better in terms of the levels (it is also more economical),
- it passes outside the PLA Bohemian Karst,
- the capital demands of the two variants are virtually equal.

When the study was being negotiated with affected municipalities, the owner received a letter of disagreement with the route to pass over the Loděnice River valley proposed in the variant 2 written by mayor of the village of Svätý Jan pod Skalou. The modified version of the variant 3 was the result (Fig. 2).

THE TUNNELS ENGINEERING SOLUTION THE CONCEPTION OF THE TUNNELS

The construction of long tunnels is dealt with in the variant 1, but above all in the variants 2 and 3. It follows clearly from economic analyses and from worldwide experience that the most advantageous for the proposed tunnel lengths is to design the TBM excavation technique. It should guarantee fast and effective progress from two portals without a need for other access routes for more headings to be provided along the route.

Naturally, the risk of contingent karstic phenomena must not be disregarded, in particular within the section between Loděnice and Beroun. The solution of this problem must be given special attention as early as the period of the engineering geological investigation. Even the requirements for the tunnelling equipment and the method of removing contingent faults or caverns can be closer specified on the basis of the investigation results. Of course, the possibility cannot be excluded that the TBM would be utilised for the direction from Prague to Loděnice, and another technique for the opposite direction, from Beroun to Loděnice, where the potential for occurrence of karstic phenomena is higher. Another question that should be answered by the hydrogeological investigation is the ground water table level and the hydrostatic head load on the tunnel lining. The primary reason is the effort to minimise or virtually nearly completely exclude the negative environmental impact of the construction. We therefore assume that the tunnel lining will be watertight, and permanent drainage behind the tunnel lining will not be designed. The circular tunnel profile, which is most advantageous in terms of structural calculations, allows this without special requirements for the thickness and amount of reinforcement of the lining.

All of the variants assume that the Prague portal will be at chainage km 3.000, i.e. just before the intersection with busy traffic carrying K Barrandovu Street in Hlubočepy. When the design for the planning phase is developed in more detail, a cut and cover section will probably be designed in this location instead of a deep side-hill cut. The 170m long structure will be eventually backfilled and the final portal will be appropriately incorporated into the face of the rock nose between the existing track running in the direction toward Radotín and the track toward Rudná. The tunnel is situated in a manner preventing the relief of outcrops of rock layers which can be seen on the rock nose side in the direction toward the Vltava River from disturbing. This solution allows the new high-speed track to separate from the existing line to Beroun just at the Prague-Smíchov station gridiron. The existing track will mainly carry the passenger traffic between Prague and Beroun; thus the Vltava River valley will be protected against adverse effects of long-distance traffic.

PROFIL TUNELU

Ve všech uvažovaných variantách se předpokládá v úseku od pražského portálu na Smíchově v délce cca 2,3 km profil dvoukolejného tunelu pro rychlosti do 200 km/hod. V rámci dvoukolejného tunelu je řešen rozplet na jednokolejné tunely a dále odbočné komory pro napojení tratě nového propojení na trať směrem do Krče. Od místa rozpletu až do Berouna je uvažován buď jednokolejný ražený tunel s paralelní únikovou štolou, která může být v další etapě přestrojena na druhý jednokolejný tunel (ve studii je to základní varianta), nebo 2 jednokolejné tunely. V ekonomickém rozboru je uvedeno i řešení s dvoukolejným tunelem a únikovou štolou. Toto řešení ale předpokládá průjezdy vlaků rychlostí 160 km/hod., což je v rozporu s požadavkem na průjezdy vlaků až 300 km/hod. Je ale dokladováno jako průkaz nevhodnosti tohoto řešení jak z hlediska finanční náročnosti, tak i kvůli tlakovým účinkům působícím na cestující při míjení se protijedoucích vlaků v tunelu.

Velikost profilu jednokolejného tunelu je veličina, která velmi výrazně ovlivňuje celkovou finanční náročnost stavby. Pro ekonomický rozbor variant řešení profilu tunelů byly navrženy 3 typy příčného profilu jednokolejného tunelu:

- jednokolejný tunel pro rychlost 300 km/hod. dle směrnic německých drah, světlý průměr tunelu 9,4 m,
- jednokolejný tunel pro rychlost 230 km/hod. dle směrnic německých drah, světlý průměr tunelu 8,9 m,
- úsporný, tzv. „Švýcarský“ profil tunelu uvažovaný v nových dlouhých alpských tunelech ve Švýcarsku pro rychlosti do 200 km/hod., světlý průměr tunelu 8,3 m.

STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA VARIANTY 2

Tato varianta byla doporučena k dalšímu rozpracování. Součástí navrhované trasy jsou 2 tunely. V úseku mezi Prahou a Loděnicemi je navržen tunel v délce 19,2 km a v úseku mezi Loděnicemi a Berounem je uvažován tunel délky 4,53 km.

STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA VARIANTY 3 – ZMĚNA

V případě kladného projednání dočasného záboru pro stavbu v CHKO se správcem tohoto chráněného území, by tato varianta byla vhodnější než varianta 2. Je zcela vyloučen trvalý zásah do

THE TUNNEL PROFILE

A double-track tunnel profile for design speeds up to 200km/hour is assumed for the approximately 2.3km long section from the Smíchov portal in all variants being under consideration. The double-track tunnel design solves, apart from other issues, a bifurcation chamber where the tunnel splits into a pair of single-track tubes, and turning chambers allowing the tracks designed to link to the railway line to Krč to connect. The line section from the bifurcation chamber to Beroun consist either of a single-track mined tunnel and a parallel escape gallery, which can be converted into the second single-track tunnel (this is the basic variant in the study) or twin single-track tunnels. The economic analysis contains even another solution consisting of a double-track tunnel and an escape gallery. This variant, however, assumes train speeds of 160km/hour, which contravenes the requirement for train speeds up to 300km/hour. This particular analysis, however, is a document proving inadequacy of this variant both in terms of cost demands and the pressures acting on passengers when opposing trains are passing each other in the tunnel.

The size of the single-track tunnel profile is a quantity which has a significant impact on the overall capital demands of the project. The economic analysis of the tunnel profile variants operates with the following 3 types of the cross section of the single-track tunnel:

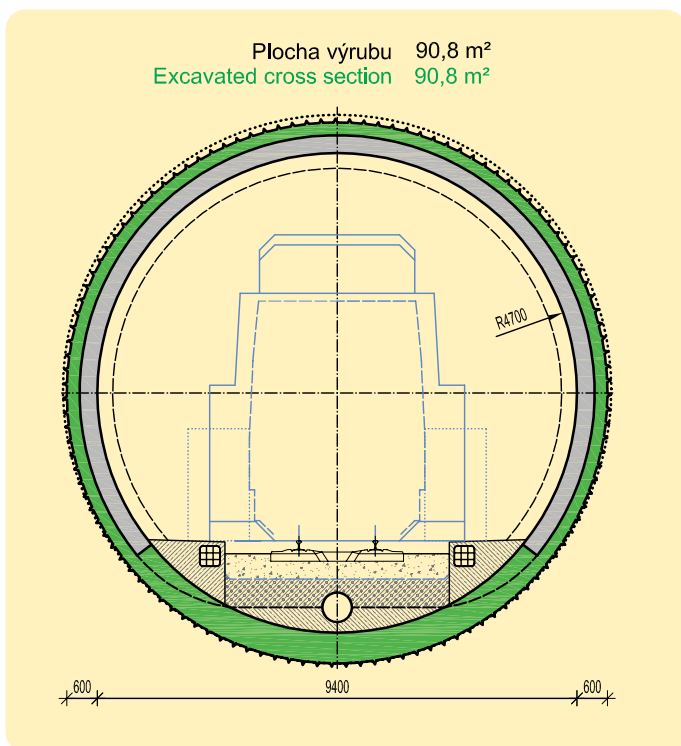
- an up to 300km/hour design speed single-track tunnel according to directives developed by German Railways (DB) (net tunnel diameter of 9.4m).
- a 230km/hour design speed single-track tunnel according to directives developed by German Railways (net tunnel diameter of 8.9m).
- an economic tunnel profile, so-called “Swiss” profile designed for new long Alpine tunnels in Switzerland, according to literature up to speeds of 200km/hour (net tunnel diameter of 8.3m).

BRIEF CHARACTERISTICS OF THE VARIANT 2

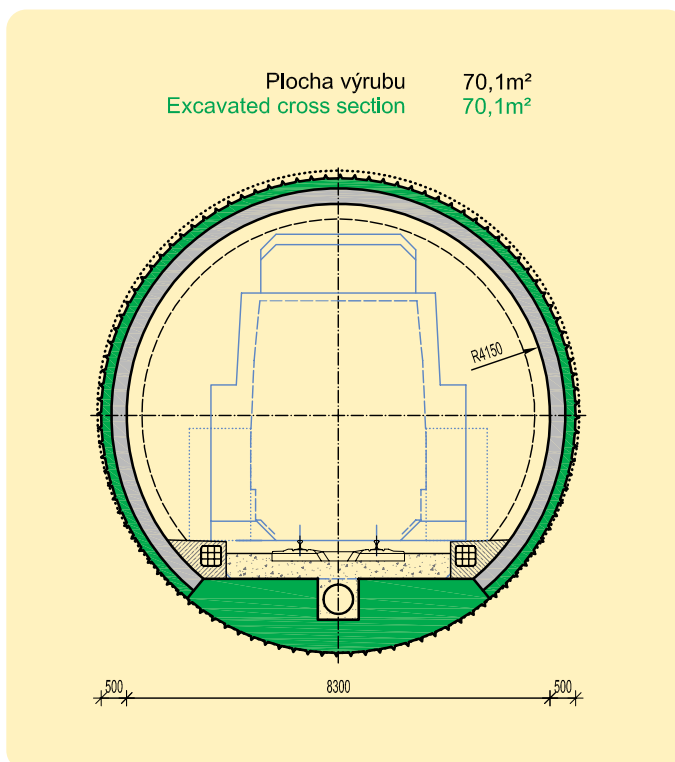
This variant was recommended for further development. The proposed route contains 2 tunnels. A 19.2km long tunnel is designed for the section between Prague and Loděnice; a 4.53km long tunnel is proposed for the section between Loděnice and Beroun.

BRIEF CHARACTERISTICS OF THE VARIANT 3-MODIFIED

This variant would be more advantageous than the Variant 2 if the temporary occupation of the PLA land for construction purposes were approved by the administration of the PLA Bohemian Karst.



Obr. 3 Příčný řez jednokolejným tunelem dle DB (300km/hod)
Fig. 3 Cross section through the single-track tunnel according to DB directives (300km/hour)



Obr. 4 Příčný řez úsporným jednokolejným „Švýcarským“ tunelem
Fig. 4 Cross section through the „Swiss“ single-track tunnel

EKONOMICKÝ ROZBOR VARIANT ŘEŠENÍ PROFILU TUNELU

THE ECONOMIC ANALYSIS OF THE TUNNEL CROSS SECTION VARIANTS

Varianta řešení Design Variant	Plocha výrubu tunelu [m ²] Tunnel Excavation Cross Section [m ²]	Plocha výrubu štoly [m ²] Gallery Excavation Cross Section [m ²]	Poměr nákladů na 1 bm trasy [%] Proportional cost for 1m of the route [%]	Poznámka Note
Jednokolejný tunel dle směrnic DB, pro rychlost do 300 km/hod + úniková štola Single-track tunnel according to DB directives, for speed up to 300 km/h + escape gallery	90,8	18,4	100 %	Základní řešení Basic solution
Jednokolejný tunel dle směrnic DB, pro rychlost do 230 km/hod + úniková štola Single-track tunnel according to DB directives, for speed up to 230 km/h + escape gallery	79,3	18,4	90 %	
1 dvoukolejný tunel pro rychlost do 160 km/hod + úniková štola 1 double-track tunnel for speed up to 160km/h + escape gallery	125,7	18,4	130 %	
2 jednokolejné tunely, „Švýcarský“ úsporný typ pro rychlost do 200 km/hod 2 single-track tunnels, “Swiss” economic type for speed up to 200km/h	2x70,1=140,2	0,0	120 %	
2 jednokolejné tunely dle směrnic DB, pro rychlost do 230 km/hod 2 single-track tunnels according to DB directives, for speed up to 230 km/h	2x79,3=158,6	0,0	130 %	
2 jednokolejné tunely dle směrnic DB, pro rychlost do 300 km/hod 2 single-track tunnels according to DB directives, for speed up to 300 km/h	2x90,8=181,6	0,0	155 %	

území říčky Loděnice a podélný sklon tratě je zcela minimalizován. Ražené tunely jsou přerušeny krátkým úsekem hloubených tunelů v údolní nivě Loděnice, kde je možno konstrukci upravit na projetí razicím strojem anebo ukončit ražbu strojem směrem od Prahy a protiražbu tunelu od Berouna cca 3,2 km v území s pravděpodobným výskytem krasových jevů řešit jinou technologií.

ZÁVĚR

Za nevhodnější považujeme variantu 3 – úprava. Pevně věříme, že správce CHKO Český kras však dá přednost dočasnému záboru v údolní nivě říčky Loděnice před trvalými mostními objekty s příjezdovými komunikacemi k portálům tunelů na hranici CHKO dle varianty 2.

Při rozhodování o velikosti profilu tunelu doporučujeme prověřit použití úsporných profilů tunelu, tj. buď „Švýcarský“ profil (světlý průměr 8,3 m) nebo případně průměr 8,5 m, který v současné době realizují ve Španělsku na několika stavbách tunelů s délkami přes 20 km.

Při rozhodování, zda razit v 1. etapě jeden tunel a únikovou štolu, nebo realizovat 2 jednokolejné tunely současně, je z výše uvedených rozborů jasně patrné, že vhodnější by byla ražba 2 tunelů pokud možno s úsporným profilem. V této variantě je od počátku k dispozici plnohodnotná dvoukolejná trať, která obzvláště u varianty 3 (maximální sklon 2,8 ‰) má z hlediska energetické náročnosti vynikající parametry.

Následná výstavba druhého tunelu přestavbou únikové štoly v další etapě naráží často mimo jiné na problém udržení únikové cesty v provozu během ražby druhého tunelu. Obvykle to končí rozhodnutím vyrazit další tunel a únikovou štolu ponechat v provozu. To v součtu znamená další zvýšení celkových investičních nákladů.

ING. JIŘÍ MÁRA, e-mail: mara@metroprojekt.cz,
ING. JIŘÍ RŮŽIČKA, e-mail: ruzicka@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT PRAHA a. s.

Permanent intervention into the area around the Loděnice River is completely excluded and the longitudinal gradient of the track is absolutely minimised. The mined tunnels are interrupted by a short cut-and-cover section in the Loděnice River plain. This structure can be designed to allow the TBM to pass or the TBM drive in the direction from Prague can be suspended and the counter-excavation from Beroun, which is to pass through an area where the occurrence of karstic phenomena is probable, can be solved using another technique.

CONCLUSION

We consider the variant 3 as the most suitable. We firmly believe that the administration of the PLA Bohemian Karst will prefer the temporary occupation of land in the Loděnice River plain to permanent bridges with access roads leading to the tunnel portals at the PLA border as assumed in the variant 2.

We recommend that the economic tunnel profile options, i.e. the “Swiss” profile (net diameter of 8.3m) or the 8.5m diameter that is currently utilised on several over 20km long tunnelling projects in Spain, be examined when the decision on the tunnel profile size is being made.

Regarding the decision whether the single tunnel plus escape gallery are to be driven in the phase 1 or the pair of single-track tunnels should be excavated simultaneously, the above-mentioned analyses clearly suggest that the latter option with an as economic profile as possible would be more suitable. This variant provides a complete double-rail route, which, especially in the case of the variant 3 (maximum gradient of 2.8‰), features excellent parameters in terms of the energy demand.

The subsequent construction of the second tunnel tube by means of the conversion of the escape gallery carried out in the next phase often faces the problem of maintaining the escape gallery in operation during the course of the excavation of the second tunnel. This problem is usually solved by a decision to drive another tunnel and to leave the escape gallery operable. All in all, this means another increase in the total capital cost.

ING. JIŘÍ MÁRA, e-mail: mara@metroprojekt.cz,
ING. JIŘÍ RŮŽIČKA, e-mail: ruzicka@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT PRAHA a. s.

TUNEL VALÍK, DÁLNIČE D5, OBCHVAT PLZEŇ

THE VALÍK TUNNEL – THE D5 HIGHWAY PLZEŇ BY-PASS

JIŘÍ SVOBODA

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Plzeňský kraj
Investor	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Projektant	PRAGOPROJEKT, a. s.
Zhotovitel	Sdružení 0510/ IB DMB DÁLNIČNÍ STAVBY PRAHA, a. s., METROSTAV a. s., BERGER BOHEMIA, a. s.
Uživatel	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Období výstavby	2004–2006
Objem stavebních prací	
ražené objekty	99 000 m ³ (vyrubaný prostor)
hloubené objekty	15 600 m ³ (obestavěný prostor)

ÚVOD

Již mnoho let jsou doprava ve městě Plzni a životní prostředí plzeňského regionu komplikovány a zatěžovány průjezdem mnoha vozidel, protože zatím není dokončena dálnice D5 (Praha – Rozvadov). Poslední část obchvatu města Plzně zbývá dokončit. Součástí tohoto úseku, v blízkosti obcí Radobyčice, Štěnovice a Útušice je ražený tunel Valík procházející kopcem stejného jména.

Dálniční obchvat Plzně byl vždy zdrojem ideologických střetů mezi technickými odborníky a ekologickými aktivisty. Konečné technické řešení obchvatu a tunelu Valík bylo ovlivněno požadavky orgánů státní správy, místních úřadů a ekologických aktivistů.

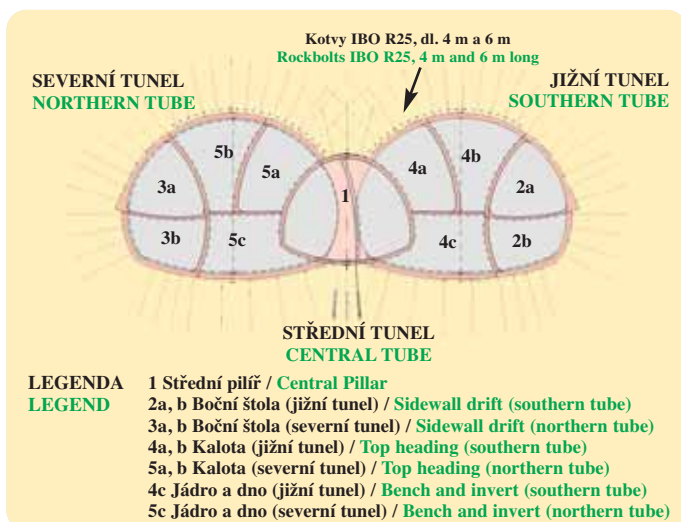
Dálnice D5 včetně tunelu Valík je součástí transevropské silniční sítě. Požadavky českých předpisů, zejména předpisů pro technologické vybavení tunelu, např. TP 98/2004 jsou plně respektovány. Na tunel se nevztahují příslušná ustanovení Směrnice EP č. 2004/54/ES, neboť se jedná o tunel kratší než 500 m.

Tunel Valík je z hlediska bezpečnostního vybavení (s ohledem na intenzitu dopravy 18 125 vozů/24 hod v jednom směru) zaříděn do nejvyšší kategorie TA. Tomuto zařídění odpovídá vybavení tunelu, a to jak v části technologické, tak i v části stavební.

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY V TRASE TUNELU

Vrch Valík je pokryt svahovými čtvrtohorními sedimenty, mocností 0,5 – 2,0 m. Pod vrstvou zhruba 0,2 m mocné hnědé humózní hlíny jsou světlé hnědé až rezavě hnědé hlinitopísčité šterky, místy jílavitě s ostrohrannými úlomky silně zvětralých porfyrů.

Vlastní ražba je vedena ve slabě metamorfovaných proterozoických břidlicích. Břidlice jsou zvětralé až silně zvětralé. Silné zvětrání se



Obr. 1 Členění výrubu tunelu Valík

Fig. 1 The excavation sequence at the Valík tunnel

BASIC DATA

Region	the Plzeň Region
Employer	the Directorate of Roads and Highways of the CR
Designer	PRAGOPROJEKT a. s.
Contractor	Joint Venture 0510 / IB DMB group of companies consisting of DÁLNIČNÍ STAVBY PRAHA, a. s., METROSTAV a. s., BERGER BOHEMIA a. s.
User	the Directorate of Roads and Highways of the CR
Construction period	2004 – 2006
Works volume	mined structures 99,000 m ³ cut and cover structures 15,600 m ³ (wall-in space)

INTRODUCTION

The traffic in Pilsen and the living environment in the Plzeň region have been complicated and burdened by the passage of numbers of vehicles because of the fact that the D5 highway (from Prague to Rozvadov) has not been completed yet. The last section of the Plzeň by-pass remains to be completed. Part of this section is the Valík mined tunnel passing under a hill of the same name near Radobyčice, Štěnovice and Útušice villages.

The highway by-pass of Plzeň has always been a source of ideological clashes between technical professionals and environmental groups. The final technical solution of the by-pass and the tunnel Valík was influenced by requirements of state authorities, local authorities and environmental groups.

The D5 highway, including the Valík tunnel, is part of the Trans-European road network. Requirements of Czech regulations, mainly regulations dealing with tunnel equipment, e.g. the TP 98/2004, are fully adhered to. The tunnel is not ruled by relevant stipulations of the EP Directive No. 2004/54/ES because its length is less than 500m.

In terms of safety equipment, with respect to the traffic intensity of 18,125 vehicles per 24 hours in one direction, the Valík is categorised as the highest TA category tunnel. The tunnel equipment corresponds to this categorisation, both in terms of equipment and the structure.

GEOLOGICAL CONDITIONS ALONG THE TUNNEL ALIGNMENT

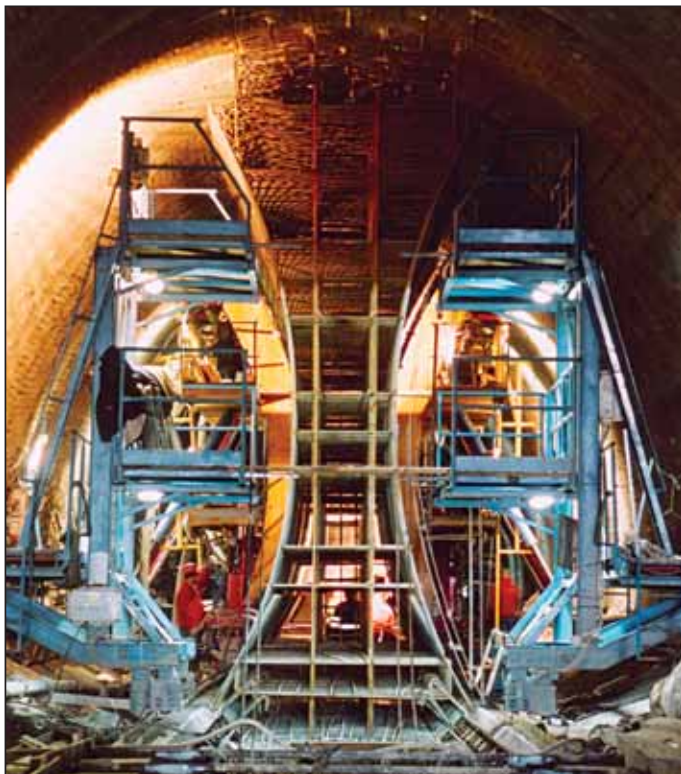
An approximately 0.2m thick layer of brown humus covers light-brown to rusty loamy-sandy gravels, locally clayey gravels with sharply angular fragments of weathered porphyry.

The excavation passes through moderately metamorphosed Proterozoic shales. The shales are weathered to heavily weathered. The heavy weathering reaches to depths ranging from 3m to 20m along the entire length of the tunnel. The tectonic disturbance is strong; the shale is jointed, locally extensively (with four or more fissure systems developed). Sound shales have not been encountered. Combined with the slight to heavy weathering of the porphyry, the extensive jointing (at least in three directions) and the filling of the joints with limonite and clay form an environment susceptible to the development of rather large accidental overbreaks.

With regard to the fact that the shallow placement of the tunnel (the cover depth ranging from 8m to 14m), in the conditions of the existence of lower quality, slightly weathered to heavily weathered rock mass locations, is highly disadvantageous from the geotechnical point of view, it was necessary to carry out detailed geological exploration by means of a mined gallery. The position of the exploration gallery was roughly in the centre of the future central tunnel.

TUNNEL STRUCTURE

The Valík tunnel is a twin-tube highway tunnel. Each tube has two 3.75m wide traffic lanes plus one emergency lane 3.25m wide.



Obr. 2 Výztuž betonového středního pilíře s pojízdným bedněním
Fig. 2 The central pillar – reinforcement and the traveller shutter

pohybuje v hloubkách od 3 m do 20 m v celé délce tunelu. Tektonické postižení je silné, břidlice jsou rozpukané, místy intenzivně (ve čtyřech i více puklinových systémech). Zdravé břidlice nebyly zjištěny. Silné rozpukání, minimálně ve třech směrech, výplň puklin limonitem a jílovými minerály, spolu s navětráním až zvětráním porfyru jsou velice vhodné prostředí pro tvorbu větších nezaviněných nadvýlomů.

Protože mělké umístění tunelu (nadloží od 8 m do 14 m) je z geotechnického hlediska velmi nevýhodné, s ohledem na zastížení horších partií navětralých a zvětralých částí horninového masivu, byl realizován podrobný geologický průzkum pomocí ražené průzkumné stoly. Ta byla umístěna zhruba uprostřed budoucího středového tunelu.

KONSTRUKCE TUNELU

Tunel Valík je dálniční tunel se dvěma tunelovými troubami. Každá trouba má dva jízdni pruhy šířky 3,75 m a jeden nouzový pruh šířky 3,25 m.

Severní tunelová trouba je dlouhá 390 m, jižní trouba je 380 m dlouhá. Průjezdny profil je 4,8 m vysoký, mimořádně je však možno dopravovat tunelem i náklad výšky 5,2 m. Šířka mezi obrubníky je 11,5 m. Chodníky mají šířku 1 m.

Obě tunelové trouby jsou uloženy těsně vedle sebe bez horninového mezopilíře a mají společný středový železobetonový pilíř. Toto řešení bylo zvoleno s ohledem na požadavek ekologů minimalizovat trvalé zábery pozemků v příportálových úsecích dálnice. Minimalizace zásahu do krajiny byla zároveň nutnou podmínkou pro získání stavebního povolení.

Toto technické řešení primárních tunelových konstrukcí je mnohem složitější než u dvojice samostatných tunelových trub s mezilehlým horninovým pilířem. S ohledem na velikost tunelových profilů (2 x 150 m² výrubové plochy) byl nutný podrobný geologický průzkum, jehož výsledky byly zahrnuty do nově upraveného technologického postupu výstavby.

Rovněž z těchto důvodů byly již v úrovni dokumentace pro zadání stavby zpracovány dva zcela nezávislé statické výpočty od dvou vysokých škol (ČVUT v Praze, VŠB v Ostravě).

POSTUP VÝSTAVBY

Ražba tunelu byla provedena Novou rakouskou tunelovací metodou. Vycházelo se přitom ze zásady, že nejprve se vybuduje primární ostění celého tunelu včetně středního pilíře a následně, po provedení neuzavřených mezilehlých izolací (systém „deštník“) se realizovalo sekundární (definitivní) ostění.



Obr. 3 Západní portál v průběhu ražeb
Fig. 3 The west portal during the excavation operations

The northern and southern tunnel tube is 390m and 380m long respectively. The clearance profile is 4.8m high; exceptionally a 5.2m high load can pass through the tunnel. The width between kerbs of 1.0m wide walkways is of 11.5m.

The two tunnel tubes are placed side by side, without an intermediate rock pillar. They have a common central reinforced concrete pillar. This design was chosen with regard to a requirement of environmental groups to minimise the plan area of permanent works in the pre-portal sections of the highway. The minimisation of the impact on the landscape was also a condition necessary for issuance of the building permit.

This design of primary tunnel structures is much more complex than that containing a pair of tunnel tubes with an intermediate rock pillar. Because of the large cross sections of the tubes (2 x 150m² excavated areas), a detailed geological investigation was a necessity. The results of the investigation were incorporated into a newly modified technological procedure of the works.

For the same reasons, two totally independent structural analyses were developed by two universities (the Czech Technical University in Prague, the Mining University in Ostrava) as early as the design for tendering preparation phase.

CONSTRUCTION PROCEDURE

The tunnel was driven using the New Austrian Tunnelling Method. The basic idea was adopted that first the primary lining will be carried out along the whole length of the tunnel, including the central pillar; subsequently, once the unclosed intermediate waterproofing (umbrella) system is finished, the final lining will be erected.

The basic sequencing of the excavation was horizontal; a vertical sequence was utilised to a lesser extent (for partial faces). The primary lining consists of shotcrete, lattice arches, mesh and rock bolts.

The waterproofing membrane system ends in side drains at the tunnel bottom, separately for each tube.

The final lining is from reinforced concrete cast behind a movable steel shutter.

The most complex structure in terms of both the structural analysis and technology is the central reinforced concrete pillar between the two tunnel tubes. The pillar carries forces exerted by the whole of the rock mass above because of the fact that the natural rock arch could not develop due to the low overburden thickness and width of the two tunnels. The pillar was constructed in a central tunnel tube, which was carried out first. The lower-quality rock mass in the areas above and below the central pillar was reinforced by rock bolts and micropiles, and subsequently injected with cement grout.

CENTRAL PILLAR TUNNEL EXCAVATION

The central tunnel provided with primary lining was the first partial tunnelling operation. The 250mm thick lining consisted of

Základní členění výrubu bylo vertikální, v menším rozsahu pak horizontální (dílčí výrubu). Primární ostění je složeno ze střikaného betonu, příhradových oblouků, sítí a svorníků.

Izolace proti vodě je svedena do bočních odvodňovacích drenáží ve dne tunelu, pro každou troubu samostatně.

Definitivní ostění je železobetonové, monolitické betonované do posuvné ocelové formy.

Statically a technologicky nejsložitější konstrukcí je železobetonový středový pilíř mezi oběma tunely. Ten přenáší celé zatížení horninového masivu, neboť s ohledem na nízké nadloží a šířku obou tunelů se nevytvářela přirozená horninová klenba. Pilíř byl vybudován ve středním tunelu, který byl realizován jako první. Méně kvalitní část horninového prostředí v oblasti nad i pod středním pilířem byla zesílena svorníky a mikropilotami a následně proinjektována cementovou směsí.

RAŽBA STŘEDNÍHO OPĚROVÉHO TUNELU

Jako první dílčí výrub byl vyražen střední tunel zajištěný primárním ostěním. Primární ostění bylo 250 mm silné, složeno ze střikaného betonu C20/25-XO, obloukových rámu BTX 112-25, ocelových sítí a dalších prvků (kotvy, jehly). Členění výrubu bylo vertikální, nejprve se vybrala kalota a jádro, poté se zpožděním několika cyklů (cca 10) dno.

Vlastnosti horninového masivu (puklinatost) a fyzikálně-mechanické vlastnosti hornin určily zařazení ražby do technologické třídy NRTM 5a.

Ražba byla prováděna dovrchně z rozvadovského portálu. Ostění průzkumné štoly (již dříve vyražené) nebylo v kontaktu s ostěním středního tunelu. Při vlastní ražbě středního tunelu tedy ostění štoly fungovalo jako „velká kotva“, která výborně zajišťovala stabilitu čelby středního tunelu. Po vyražení prvních metrů bylo na základě výsledků geotechnického monitoringu (GTM) rozhodnuto razit celou kalotu středního tunelu najednou (včetně jádra). Vzhledem k beztrhavinovému rozpojování horniny ve středním tunelu byly nezaviněně nadvýlo-
menší než při ražbě průzkumné štoly za pomoci trhacích prací.

Dobře umístěná průzkumná štola ve vztahu na příčný profil středního tunelu umožnila velmi rychlé a bezpečné vyražení středního tunelu během zhruba 4,5 měsíce.

SANACE HORNINOVÉHO PROSTŘEDÍ, BETONÁŽ STŘEDNÍHO PILÍŘE

Zkušebními injektážemi tunelového podloží na rozvadovském portálu v předstihu (cement, mikro cement a PUR) bylo zjištěno, že prostředí je téměř neinjektovatelné. Proto byla sanace horninového prostředí realizována vždy jen omezeně pomocí mikropilot.

Mikropiloty byly rozmístěny šachovitě, řady byly od sebe vzdáleny 1 m a každá řada obsahovala 3 nebo 4 kusy mikropilot.

Proběhla také sanace horninového nadloží středního pilíře pomocí kotev IBO R25 délky 6 m. Rozmístění kotev bylo obdobné jako ve dne. Řady jsou od sebe vzdáleny 1 m, každá má střídavě 3 nebo 4 kotvy.



Obr. 4 Montáž výztuže definitivního ostění

Fig. 4 The final lining – placement of reinforcement

C20/25-XO sprayed concrete, BTX 112-25 lattice girders, steel mesh and other elements (anchors, needles). Vertical sequencing of this excavation was designed, i.e. top heading, bench and, at a distance of several (about 10) cycles, the invert.

The properties of the rock mass (the jointing) and physical-mechanical rock properties determined the categorisation of the excavation as the NATM class 5a.

The excavation was carried out from the Rozvadov portal, in an uphill gradient. The lining of the exploration gallery (driven beforehand) was not in contact with the central tunnel lining. The lining of the gallery therefore acted as a major anchor during the course of the drive of the central tunnel, which excellently stabilised the face of this tunnel. A decision was made when initial metres of the excavation had been completed and the GTM results assessed that the central tunnel face would be excavated in one pass, i.e. the top heading together with the bench. Owing to the blast-less rock breaking system the accidental overbreaks in the central tunnel were smaller than those experienced during the excavation of the exploration gallery driven by the drill and blast.

The exploration gallery positioned properly within the central tunnel's cross-section made very quick and safe excavation of the central tunnel possible, during approximately 4.5 months.

IMPROVEMENT OF THE ROCK ENVIRONMENT, CENTRAL PILLAR CASTING

It was determined in advance by test grouting (cement, micro-fine cement and PUR) of the tunnel sub-base at the Rozvadov portal that the environment was nearly noninjectable. This is why the rock environment was improved only to a limited extent, step by step, using micropiles.

The micropiles were carried out on a diamond pattern, with the rows of 3 or 4 micropiles spaced at 1m intervals.

The rock above the central pillar was also stabilised, using 6m long IBO R25 anchors. The bolting pattern was similar to that used at the bottom. The rows spaced at 1m intervals contained alternately 3 or 4 bolts.

The central pillar is 7.4m high and 3.58 and 3.00m wide at the top and bottom respectively. Its width is reduced to 1.23m in the central part by 6.0m-radius circular curves. The geometry of the pillar follows the geometry of the primary lining of the future tunnel tubes. There are recesses along the top of the pillar for anchoring of the primary liner; the side edges at the bottom of the pillar are bevelled to allow bracing to the concrete footings. In the longitudinal direction, the central pillar is divided into 10m long blocks (5m at the portals). Expansion joints are vertical, without any shear key. They allow minor angular rotation of the individual blocks against one another. Self-compacting C20/25-XF1 concrete was used for the central pillar.

EXCAVATION OF THE TUNNEL TUBES

Both the northern and southern tunnel tube were excavated from a temporary Rozvadov portal, in an uphill gradient (approximately 40‰). The structural analysis allowed the distance between the two main headings to vary from 10m to a maximum of 30m. This is how the requirement for symmetric excavation relative to the highway centre line was met (side headings were excavated first in both tunnel tubes, followed by the main top headings and benches of both tubes). Because of the symmetric arrangement, it was not important which tunnel tube was excavated first.

To provide support at both portals, 18m long $\varnothing 165/6.3$ mm pipes were installed above the portal to form a canopy. Two rows of the pipes were installed above the tunnels, one row above the central tunnel. The canopy tube pre-support could be installed whenever adverse geological conditions were encountered, from a tunnel profile having its height enlarged, using the BOODEX system.

Středový pilíř je vysoký 7,4 m a široký 3,58/3,00 m nahoře/dole. Ve střední části je symetrický zúžen kruhovým obloukem o poloměru 6,0 m na 1,23 m. Tvar pilíře sleduje budoucí tvar primárního ostění obou tunelových trub. Horní část pilíře má u stran vybrání pro ukotvení primárního ostění, v dolní části jsou boční hrany skoseny pro opření do betonových patek. Podélně je střední pilíř rozdělen na bloky o délce 10 m (u portálů 5 m). Dělicí spáry jsou svislé bez zazubení. Umožňují malé pootočení jednotlivých bloků proti sobě. Pilíř je proveden ze samozhutnitelného betonu C20/25-XF1.

RAŽBA TUNELOVÝCH TRUB

Ražba severní i jižní tunelové trouby byla vedena dovrchně (cca 40 ‰) z provizorního rozvadovského portálu. Statický výpočet povoloval odstup (vzdálenost) obou hlavních čel od 10 m do max. 30 m. Tím se plnil požadavek na symetrickou ražbu k ose dálnice (to znamená, že jako první byly raženy boční tunely obou tunelových trub a následně hlavní kaloty a jádra obou tunelových trub). S ohledem na symetrii bylo jedno, která tunelová trouba je ražena jako první.

Oba portály byly zajištěny v předstihu před ražbou injektovanými mikropilotami Ø 114/6,3 mm délky 18 m. Mikropiloty byly osazeny ve dvou řadách nad klenbou tunelu a v jedné řadě nad středním tunelem. V případě zastížení špatných geologických podmínek bylo možno realizovat ochranný deštík z mikropilot v průběhu ražby z navýšeného profilu tunelu systémem BOODEX.

Ražba bočních tunelů předbýhala ražbu hlavní kaloty vždy o cca 20–30 m. Bylo zde použito horizontální členění výrubu (nejprve ražba kaloty, poté jádro se dnem).

Střední pilíř byl betonován vždy minimálně 40 m před čelbou hlavní kaloty (musel mít zaručené hodnoty pevnosti betonu v tlaku). Stabilita čelby (u všech dílčích výrubů) byla zajišťována střikáním betonem.

Ražba byla vedena převážně bez použití trhačích prací (mechanickým rozpojováním), jen výjimečně s omezeným použitím trhavin. Dílčí výrubby byly navrženy tak, aby bylo možno použít výkonné důlní mechanismy, které měl k dispozici zhotovitel stavby.

Doba ražby každé z tunelových trub se pohybovala okolo sedmi měsíců.

GEOTECHNICKÝ MONITORING (GTM)

Stavba byla prováděna dle principů observační metody, při níž se základní návrh konstrukce průběžně posuzuje a může se měnit v průběhu výstavby. Na stavbě byl zaveden a odsouhlasen odpovědnostní vztah všech účastníků výstavby, kteří byli vybaveni technickými prostředky pro rychlou komunikaci.

Geotechnický monitoring zajišťovala pro objednatele (ŘSD ČR) odborná a nezávislá firma (SG-Geotechnika). Komplexní monitoring sloužil pro kontrolu a řízení technologického postupu ražeb a zejména pro rozhodování o aplikaci konstrukčních prvků primárního ostění.

Výsledky GTM byly předávány zhotoviteli díla, který je využíval při vlastní realizaci ve smyslu báňských předpisů.

V rámci geotechnického monitoringu byly sledovány vybrané parametry chování všech dotčených konstrukcí z hlediska dosažení varovných a limitních hodnot či trendů. Odchyly od požadovaných trendů či překročení varovných nebo limitních hodnot byly signálem nedostatečnosti základního řešení a vyvolávaly proces nutnosti doplnění či náhrady řešením záložním, které bylo již v předstihu projekčně připraveno.

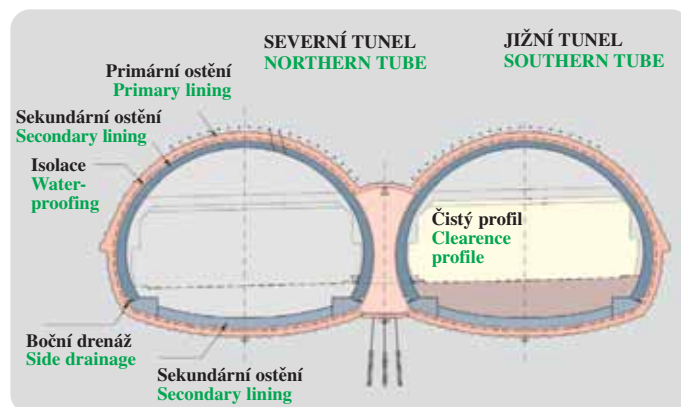
ZÁVĚR

Tunel Valík je krátký dálniční tunel, ale vzhledem ke složitosti technického řešení a k náročným geologickým podmínkám se jedná o stavbu spadající do 3. geotechnické kategorie dle Eurocodu 07.

Pro informování veřejnosti bylo na stavbě vybudováno informační středisko včetně stálé výstavby o projektu a výstavbě tunelu a vizualiizačního programu. Pravidelně každý měsíc byly organizovány exkurze pro příchozí veřejnost.

Provoz tunelu Valík budou řídit pracovníci Policie České republiky, pracovníci provozovatele budou pouze tunelové zařízení udržovat, případně modernizovat a poskytovat servis Policii ČR.

ING. JIŘÍ SVOBODA, PRAGOPROJEKT a. s.,
e-mail: svobodaj@pragoprojekt.cz



Obr. 5 Vzorový příčný řez - konečný stav
Obr. 5 Typical cross section – the final state

The excavation faces of the side headings were always 20 – 30m ahead of the main top heading face. A horizontal excavation sequence was used (top heading followed by bench with invert).

The central pillar casting took place always minimally at a distance of 40m ahead of the main top heading face (concrete compressive strength values had to be guaranteed). Stability of the face was ensured by shotcrete.

The rock was mostly broken mechanically, without blasting; explosives were used only exceptionally. The partial drifts were designed so that efficient mining equipment owned by the contractor could be utilised.

The excavation of each tunnel tube took about seven months.

GEOTECHNICAL MONITORING (GTM)

The tunnels were built using the observational method, i.e. assessing the basic structural design continually and modifying it during the course of the works whenever necessary. Accountability relationships between all parties to the project present on the site were established. All of them were provided with fast technical means of communication.

Geotechnical monitoring services were supplied to the employer (the Directorate of Roads and Highways of the CR) by a professional and independent company (SG-Geotechnika). The comprehensive monitoring results were used for the review and control of the technological procedure for the excavation, above all for making decisions on application of structural elements of the primary lining.

The GTM results were submitted to the contractor, who utilised them during the execution of the works, in compliance with mining regulations.

The geotechnical monitoring followed selected parameters of all relevant structures in terms of the parameters reaching the warning and limiting values or trends. Deviations from required trends or exceeded warning or limiting levels were a signal of insufficiency of the basic design. They triggered a process of supplements or replacement by a contingency solution, which had been designed in advance.

CONCLUSION

The Valík tunnel is a short highway tunnel. Although, considering the complexity of the design and the demanding geological conditions, it is a 3rd geotechnical category structure according to the Eurocode 07.

For the purpose of keeping the public informed, there was an information centre established on site, including a permanent exhibition displaying the tunnel design and construction and a visualisation program. Regular excursions for visitors were organised every month.

The operation of the Valík tunnel will be controlled by the Police of the Czech Republic; employees of the tunnel operator will only maintain or upgrade tunnel equipment, and provide services to the Police of the CR.

ING. JIŘÍ SVOBODA, PRAGOPROJEKT a. s.,
e-mail: svobodaj@pragoprojekt.cz

TUNEL KLIMKOVICE, DÁLNIČE D47

THE KLIMKOVICE TUNNEL, D47 HIGHWAY

JIŘÍ PECHMAN

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

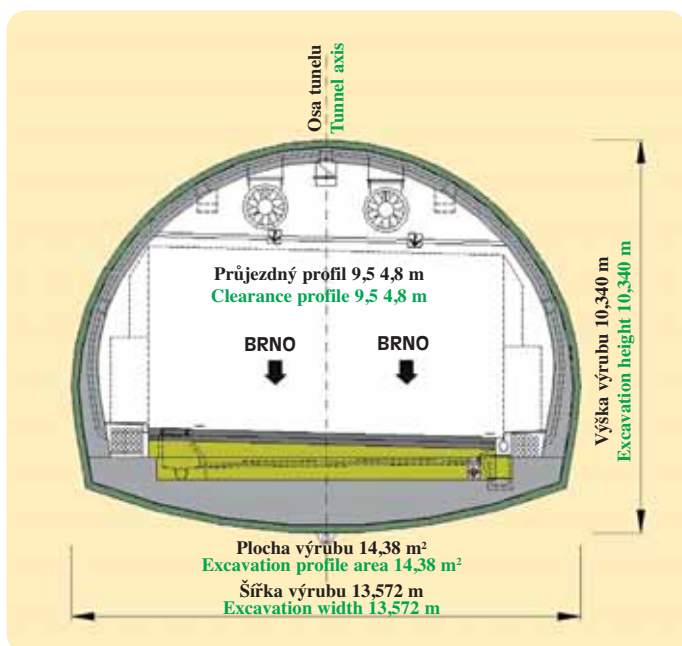
Region	Moravskoslezský kraj
Investor	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Projektant	AMBERG Engineering Brno, a. s.
Zhotovitel	Sdružení 4707 SKANSKA, a. s., METROSTAV a. s., STRABAG, a. s., SUBTERRA, a. s.
Uživatel	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Období výstavby	2004–2008
Objem stavebních prací	
	ražené objekty 217 202 m ³ (vyrubaný prostor)
	hloubené objekty 161 077 m ³ (obestavěný prostor)

ÚVOD

Příspěvek České republiky pro rozvoj vnitrostátní i evropské infrastruktury je realizace dálnice D47 v úseku Lipník nad Bečvou – státní hranice ČR a Polska o celkové délce 80,156 km. Dálnice je poetically nazývána Via Moravica. Vnitrostátní význam spočívá v propojení ostravsko-karvinské aglomerace s Brnem a sítí dálničních a rychlostních komunikací České republiky. V Polsku na dálnici D47 bude navazovat plánovaná dálnice A1 Katowice – Gdaňsk. V budoucnu se stane součástí transevropské magistrály (TEM) propojující skandinávské země s jižní Evropou a s východním Středomořím. Dálnice je navržena jako vysoce kapacitní pro roční průměrnou denní intenzitu až 40 tisíc vozidel. V převážné délce je tvořena směrově rozdělenou čtyřpruhovou komunikací kategorie D28,0/120. Vedení trasy dálnice je výsledkem řady studijních prací. Trasa zohledňuje požadavky ekologie a ochrany přírody v území. Přibližně 5 km před Ostravou se trasa dálnice přibližuje k lázeňskému zařízení „Sanatoria Klimkovice“. Zde v těsném sousedství mezi obcemi Klimkovice a Hýlov proráží protáhlé příčné návrší, po kterém je vedena jediná přístupová komunikace k sanatoriím. Zde je komunikace dálnice vedena v tunelech.

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ

Konfigurace terénu a vedení trasy předurčují tunely jako nízkonadložní. Maximální mocnost nadloží nad tunely je přibližně 31 m.



Obr. 1 Vzorový příčný řez raženým tunelem

Fig. 1 Typical cross section through the mined tunnel

BASIC DATA

Region	the Moravian-Silesian Region
Employer	the Directorate of Roads and Motorways of the CR
Designer	AMBERG Engineering Brno a. s.
Contractor	Group of Companies 4707 consisting of SKANSKA a. s., METROSTAV a. s., STRABAG a. s., SUBTERRA a. s.
User	the Directorate of Roads and Motorways of the CR
Construction period	2004 – 2008
Works volumes	mined structures 217,202 m ³ (excavated space)
	cut-and-cover structures 161,077 m ³ (wall-in space)

INTRODUCTION

The Czech Republic's contribution to the development of both the inland transport and European infrastructure is the construction of the 80.156km long section of the D47 highway from Lipník nad Bečvou to the state border between the CR and Poland. The highway is poetically called the Via Moravica. Internally, this highway section is important because it will link the Ostrava-Karviná agglomeration with Brno and the network of highways and expressways in the Czech Republic. The planned A1 highway Katowice-Gdańsk will link to the D47 highway in Poland. In the future it will become part of the Trans-European Artery (TEA) connecting the Scandinavian countries with southern Europe and the eastern Mediterranean. The highway is designed as a high-capacity facility, for an annual average intensity up to 40 thousand vehicles per day. The best part of its length will be a 4-lane dual carriageway, category D28.0/120. The highway alignment is the result of numerous studies. The route allows for environmental and nature protection requirements existing in the given region. Approximately 5km before Ostrava, the highway route runs near a health-resort facility "Sanatoria Klimkovice". In this location, it passes through an oblong transversal hill with the only access road to the Sanatoria running on its surface. The highway route is placed in tunnels there.

TECHNICAL SOLUTION

The terrain configuration and the tunnel alignment predetermine the tunnels to have a low cover. The maximum thickness of the tunnel cover is approximately of 31m. At the pre-portal sections, the highway passes to bridges spanning over adjacent valleys and watercourses.

There are two separate tunnel tubes, approximately parallel, built for the highway. The tunnel tube A for the traffic flow direction toward Ostrava is 1,076.82m long. The tunnel tube B, in the direction toward Brno, is 1,088.09m long. The spatial parameters of both tubes are identical, i.e. the parameters of a C-category uni-directional double-lane tunnel. Structural design of the tubes is also identical. The roadway in the tunnel has a one-way transversal incline; the width between kerbs is of 9.50m. The clearance height above the roadway is of 4.80m. Walkways on either side of the tunnel tubes are minimally 1.10m wide. The horizontal clearance of the tunnel is of 12.204m. The average excavated cross-section (including overbreaks necessary due to the technology) amounts to 120,17m². Emergency laybys 40m long are provided in the middle of each tube length, on the right side (viewed in the direction of traffic). The tunnel cross-section is widened by 2.25m in those locations, giving the roadway width between kerbs of 11.75m. The clearance width of this profile is of 14.454m; the excavated cross-section area (including overbreaks necessary due to the technology) amounts to 156.48m². Smaller part of the tunnels is built using the cut-and-cover method; longer sections are driven through the rock massif. The cut and cover sections of the tunnel A are 165.83m and 46.17m long on the Brno and Ostrava side, respectively. The mined section is 864.82m long. The sections of the tunnel B built using the cut and cover method are 166.40m and 46.40m long on the Brno and



Obr. 2 Portálová část tunelu Klimkovice
Fig. 2 The portal portion of the Klimkovice tunnel

V předportáli tunelů na obou stranách přechází dálnice na mosty přes přílehlá údolí s vodotečemi.

Pro dálnici jsou vybudovány dva samostatné, přibližně souběžné tunelové tubusy. Tunel A, v dopravním směru do Ostravy, má délku 1 076,82 m. Tunel B, v dopravním směru k Brnu, má délku 1 088,09 m. Oba tunely mají stejné prostorové parametry jedno-směrného dvoupruhového tunelu kategorie T9,5 a stejné konstrukční uspořádání. Dopravní pás v tunelu má jednostranný příčný sklon a šířku mezi obrubníky 9,50 m. Výška průjezdného průřezu nad vozovkou je 4,80 m. Oboustranné chodníky mají šířku minimálně 1,10 m. Tunel má světlová šířku 12,204 m a jeho průměrná výrubová plocha (včetně započítání technologicky nutného nadvýlomu) je 120,17 m². V polovinách tunelových dělek je ve směru jízdy situován pravostranný nouzový záliv o délce 40,00 m. Tunelový profil je zde rozšířen o 2,25 m na šířku vozovky mezi obrubníky 11,75 m. Světlová šířka tohoto profilu je 14,454 m a výrubová plocha (včetně technologicky nutného nadvýlomu) je 156,48 m². Tunely jsou z menší části stavěny jako hloubené v otevřených stavebních jámách s následným přesypáním, v delších částech jako ražené ve skalním masivu. Tunel A je hloubený v délce 165,83 m na brněnské straně a 46,17 m na ostravské straně; ražený úsek má délku 864,82 m. Tunel B je hloubený v délce 166,40 m na brněnské straně a 46,40 m na ostravské straně; ražený úsek má délku 875,28 m. V ražených úsecích jsou konstrukce ostění tunelů dvouplášťové, s uzavřenou mezilehlou hydroizolací. Primární ostění je realizováno ze stříkaného betonu jakosti C20/25, vyztuženého sítěmi a svařovanými příhradovými oblouky z betonářské oceli. Má konstrukční tloušťku minimálně 240 cm. Pro zvýšení stability výrubu v daném geologickém prostředí je primární ostění doplněno horninovými svorníky. Sekundární ostění je železobetonové, z betonu C30/37, o minimální tloušťce 350 mm (v záklenku), s masivní protiklenbou o maximální tloušťce 1204 mm. Sekundární ostění je děleno dle betonáže na dílčí tunelové pásy o dilatační délce 12,00 m. Mezilehlá hydroizolace je tlaková z plastové folie bez rubových drenáží. V hloubených úsecích jsou železobetonové konstrukce tunelových kleneb rovněž rozděleny na tunelové pásy o dilatačních délkách 12,0 m. Klenby jsou v patách uloženy na podélné základové pásy s kloubovým spojením v místě dilatačních spár kleneb. Hydroizolace hloubených konstrukcí je deštníková z plastové svařované folie, s ochrannou vrstvou a s rubovými patními drenážemi.

TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ

Technologické vybavení, řízení dopravy a bezpečnost provozu v tunelech je realizováno dle nejmodernějších evropských standardů. Větrání je podélné, uměle zajištěno reverzními proudovými ventilátory. Pro případ havárie a požáru je každá tunelová roura opatřena šesti nikami se skříněmi SOS a požárními hydranty. Oba tunely jsou opatřeny únikovými cestami vzájemným propojením pěti tunelovými spojkami. Pro případ požáru byla odolnost betonu ostění zvýšena přísadou rozptýlených polypropylenových vláken, navíc zvýšení odolnosti proti chloridům bylo u nejvíce exponovaných

Ostrava side, respectively; the mined section is 864.82m long. A two-pass lining with closed intermediate waterproofing design is used in the mined sections. The primary lining is from C20/25 sprayed concrete reinforced with mesh and lattice girders welded from rebars. The minimum thickness of the primary lining is of 240mm. Rock bolts are added to the primary lining to enhance stability of the excavation in the given geological environment. The secondary lining is from C30/37 reinforced concrete. It is minimally 350mm thick (in the crown of the arch), with a massive invert with a maximum thickness of 1204mm. The secondary lining is divided according to the casting procedures into 12m long expansion blocks. The vaults are supported with longitudinal foundation strips, with articulated joints at the expansion joints of the vaults. The waterproofing system of the cut and cover structures is of the umbrella type, consisting of plastics welded membrane with a protective layer, and outer toe drains.

TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Technological equipment and systems of traffic control and operational safety in the tunnels are designed in compliance with state-of-the-art European standards. The transversal ventilation system is artificially provided by reversible jet fans. As a fire protection measure, fire resistance of the concrete lining was increased by adding polypropylene fibres to the mix. In addition, chloride resistance was enhanced in the most exposed sections by means of concrete aeration. Part of the tunnels are relatively small service structures on the surface, i.e. an automatic sub-switchboard of the control system, and HV and LV distribution substation with a transformer station. The spaces in front of both portals allow the traffic to be switched to bi-directional operation in each tunnel tube in the case of planned repairs and maintenance or an accident in the tunnel.

GEOLOGY

The open cuts for the cut-and-cover sections, and above all the excavation of both tunnels, were carried out in a variable geological environment of rock and semi-rock flysch-type series of measures with various degree of weathering, i.e. sedimentary rock where the most frequent petrographic type are pelitic sediments – claystone and siltstone, mostly thinly laminated. In some layers they are massive, locally even with spherical separation. Frequent are also series of measures consisting of sandstones and greywacke. Proportions of individual rock types are locally variable. Fissure water was encountered locally in mined tunnel sections. Its circulation is connected with water supply from superficial deposits.

CONSTRUCTION PROCEDURE

The tunnels were driven using an observational method based on the principle of the New Austrian Tunnelling Method. A horizontal division of the face was used. The tunnel excavation technology was accommodated to the properties of the geological environment. The cross-section



Obr. 3 Čelba kaloty tunelu Klimkovice
Fig. 3 The Klimkovice tunnel – the top heading face



Obr. 4 Prorážka klimkovického tunelu
Fig. 4 Klimkovic tunnel breakthrough

úseků řešeno provzdušněním betonů. Součástí tunelu jsou relativně velmi malé servisní povrchové objekty – automatická podústředna řídicího systému a rozvodna VN a NN s trafostanicí. Rozvodna je propojena podzemním kolektorem a svislou kolektorovou šachtou s vnitřními prostorami tunelu. Prostory před oběma portály umožňují nouzově převést dopravu na obousměrný provoz v každé tunelové rouře v případě plánovaných oprav a údržby nebo havárie v tunelu.

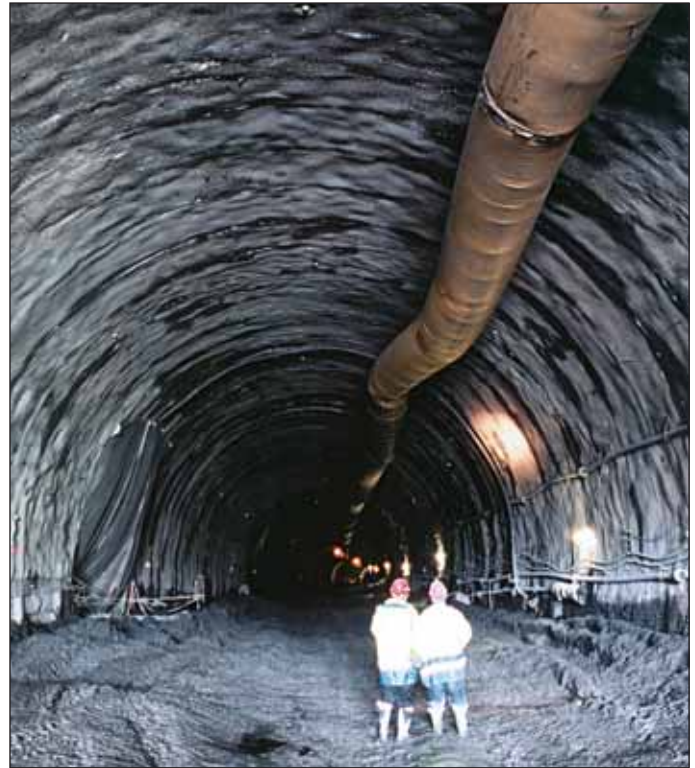
GEOLOGIE

Stavební jámy hloubených úseků a především ražby obou tunelů byly realizovány v proměnlivém geologickém prostředí ve skalních až poloskalních horninách flyšových souvrství, s různým stupněm navětrání. Jsou to sedimentární horniny, kde nejčastějším petrografickým typem jsou peltické sedimenty – jílovce a prachovce, převážně tenké destičkovitě vrstevnaté. V některých polohách jsou masivní, místy i se sférickou odlučností. Častá jsou rovněž souvrství budovaná pískovci a drobnými. Zastoupení jednotlivých typů hornin je lokálně variabilní. V ražených tunelových úsecích se místy vyskytovala puklinová podzemní voda. Její cirkulace je vázána na dotaci z pokryvných vrstev.

POSTUP VÝSTAVBY

Ražba tunelů probíhala s uplatněním observační metody na principu Nové rakouské tunelovací metody. Pro tunelový výrub bylo použito horizontální členění. Technologie ražby tunelů byla přizpůsobena vlastnostem horninového prostředí. V předstihu ražená kalota měla plochu přibližně 65 m². Za ní s potřebným technologickým odstupem následovala dobírka dolní lávky – jádra. Po prorážce tunelů bylo provedeno začistění a zajištění tunelové počvy. Primární ostění bylo realizováno technologií mokrého stříkaného betonu. Původní prognóza inženýrskogeologického průzkumu o výskytu poruchových pásem s velmi nepříznivými geotechnickými parametry se nenaplnila. Stabilita horniny byla příznivá. Rozpojování horniny bylo prováděno trhavinami. Dočistění výrubů se realizovalo mechanicky tunelbagry. Vliv seismiky od trhacích prací podléhal přísné kontrole obyvatel budov v blízkém okolí tunelu. Omezení účinků seismiky ovlivnilo denní postupy ražby kaloty, které v průměru činily asi 3,50 m. Průměrné konvergence výrubových profilů byly 5 až 15 mm, maximálně 25 mm. Největší poklesy na povrchu byly 5 až 32 mm. V místech největšího nadloží se poklesová kotlina v podstatě nevytvořila. Jediným negativním účinkem ražby tunelů je výrazné snížení hladiny podzemní vody v okolí tunelu. Uplatněné technické opatření s tlakovou uzavřenou hydroizolací v ražených tunelových úsecích má za cíl vrátit hladinu podzemní vody do původního stavu.

ING. JIŘÍ PECHMAN, AMBERG ENGINEERING BRNO, a. s.,
e-mail: jpechman@amberg.cz



Obr. 5 Primární ostění tunelu u brněnského portálu
Fig. 5 Primary lining near the Brno portal



Obr. 6 Střední část východní tunelové trouby
Fig. 6 Central part of eastern tunnel tube

of the top heading, which was driven in advance, was approximately 65m². The bench excavation followed at a technologically necessary distance. Once the tunnels broke through, the invert excavation and support were completed. The primary lining was executed using sprayed concrete technology. The occurrence of weakness zones with very unfavourable geotechnical parameters originally predicted by the engineering geological investigation did not materialise. The rock mass stability was favourable. It allowed blasting. Mechanical tunnel excavators were used for trimming the perimeter of the tunnel profile. The impact of blasting vibration on buildings in close vicinity was under stringent control by the residents. The restriction on the blasting vibration affected the top heading advance rates, which amounted to 3.50m per day on average. Average convergences of the excavated profiles varied from 5 to 15mm, maximally 25mm. The largest surface settlement values amounted to 5 to 32mm. The settlement trough virtually did not develop in the deepest cover locations. The only negative effect of the tunnel excavation is a significant lowering of the groundwater table along the tunnel. The purpose of a technical measure consisting of a closed pressure-resisting waterproofing system is to restore the water table level to the original condition.

ING. JIŘÍ PECHMAN, AMBERG ENGINEERING BRNO, a. s.,
e-mail: jpechman@amberg.cz

TUNELY LOCHKOV A KOMOŘANY – SILNIČNÍ TUNELY NA OKRUHU KOLEM PRAHY, STAVBY 513, 514

THE LOCHKOV AND KOMOŘANY TUNNELS ON THE PRAGUE CITY RING ROAD (CONSTRUCTION LOTS #513, #514)

OTAKAR HASÍK, KAREL ZÁVORA, MÁROŠ DAVID

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Středočeský kraj, hlavní město Praha
Investor	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Projektant	METROPROJEKT, a. s., PRAGOPROJEKT, a. s., PUDIS, a. s., VALBEK, s. r. o.
Uživatel	Ředitelství silnic a dálnic ČR
Období výstavby	2006–2010
Objem stavebních prací:	
ražené objekty	351 778/432 000 m ³ (vyrubaný prostor 514/513)
hloubené objekty	109 021/82 000 m ³ (obestavěný prostor 514/513)

ÚVOD

Vývoj automobilizace v České republice po roce 1989 a stále přísnější požadavky na životní prostředí vedly k potřebě přehodnocení přístupu k automobilové dopravě. V hlavním městě Praze byla proto v 90. letech navržena a posléze schválena koncepce sítě hlavních komunikací. Pro město s rozlohou 496 km², kde žije 1,17 mil. obyvatel, byl navržen systém radiálně-okružní, který tvoří dva okruhy (městský a pražský) a 7 radiál.

Pražský (vnější) silniční okruh je veden poblíž hranice města a převádí tranzitní regionální a mezistátní dopravu mimo zastavěné území. Jeho celková délka dosahuje 83 km. Okruh má v současné době v provozu úseky v západní a východní části Prahy celkové délky cca 17 km.

Navržená trasa jižní části silničního okruhu kolem Prahy přechází údolím Vltavy a Berounky, do kterého klesá z poměrně strmě se zvedající

BASIC DATA

Region	the Central Bohemian Region, the City of Prague
Employer	the Directorate of Roads and Motorways of the CR
Designer	METROPROJEKT a. s., PRAGOPROJEKT a. s., PUDIS a. s.
User	the Directorate of Roads and Motorways of the CR
Construction period	2006 – 2010
Works volumes	
mined structures	351,778/432,000m ³ (excavated space 514/513)
cut-and-cover structures	109,021/82,000m ³ (wall-in space 514/513)

INTRODUCTION

The development of car ownership after 1989 and the more and more stringent requirements for the living environment resulted in a need for re-evaluation of the attitude toward motor-vehicle traffic. Regarding the City of Prague, a conception of a network of major roads was proposed and subsequently approved in the 1990s. A radial-orbital system consisting of two orbital roads (the Prague City Ring Road and the City Circle Road) and 7 radial roads was designed.

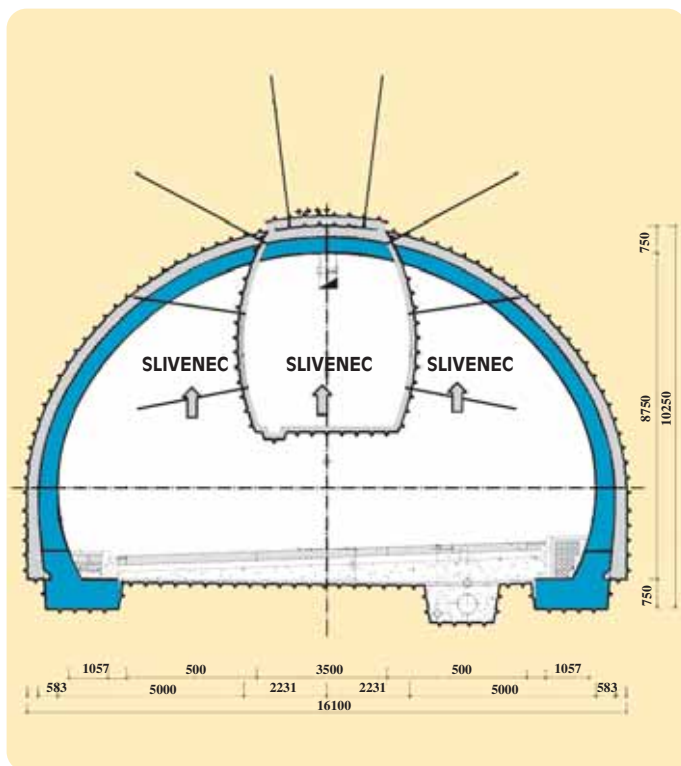
The (outer) Prague City Ring Road runs near the city limits. The regional and interstate traffic is diverted along this road outside the urban development area. The total length of the ring road amounts to 83km. The currently operating sections of the ring road with an aggregated length of approximately 17km are found in western and eastern parts of Prague.

The designed alignment of the southern part of the Prague City Ring Road passes across the Vltava River and Berounka River valley. It descends to this valley from relatively steeply rising downs along its banks. For this reason, and also because it runs across conservation areas, the alignment sections pass through Komořany and Lochkov tunnels. Section from Lahovice to Vestec forming the construction lot #513 and the section from Lahovice to Slivenec forming the construction lot #514. will pass also through tunnels, i.e. the Komořany and Lochkov tunnel respectively. Both sections are twin-tube structures, double-lane in sections and three-lane in ascending sections, where another lane is added for heavy goods vehicles with respect to the approximately 4% gradient. For safety and technical reasons, the tunnel tubes are interconnected by cross passages at intervals of about 200m. Total lengths of the tunnels of the construction lot #513 and #514 amount to 1,930m and 1,620m respectively. To achieve an optimal distance between the tunnel tubes, the right tubes are shifted from the centre line of the route using radii slightly differing from the radii of the route.

GEOLOGY

The relatively thick Quaternary cover in the vicinity of the Radotín portal of the construction lot #514 consists of slope loams containing rock debris. The further tunnels will be driven through Ordovician and Silurian rock consisting of thinly laminated clayey shales. The downhill drive passes through Palaeozoic Silurian rock types with alternation of calcareous shales and clayey tuffite shales.

At the Komořany portal, the cut and cover section of the construction lot #513 will pass through the Quaternary cover consisting of sand with addition of fine-grained soil. The whole length of the mined tunnel will be found in rock, i.e. in the Ordovician measures of homogeneous Letná Shales in the lower part, and Proterozoic



Obr. 1 Vzorový příčný řez třípruhovým tunelem stavby 514 s plochým dnem

Fig. 1 Construction lot 514 – typical cross section through the three-lane tunnel with flat invert



Obr. 2 Portál tunelu Lochkov

Fig. 2 Portal of the Lochkov Tunnel

pahorkatiny podél břehů. Z těchto důvodů, a také protože vede chráněnými územími, bude trasa v úsecích stavby 513 Lahovice – Vestec (tunel Komořany) a stavby 514 Lahovice – Slivenec vedena v tunelech (tunel Lochkov). V obou úsecích jsou jednosměrné tunelové trouby, které jsou v klesání dvoupruhové a ve stoupání s ohledem na sklon cca 4 % rozšířené o stoupací pruh pro těžkou nákladní dopravu, tedy třípruhové. Tunelové trouby jsou z bezpečnostních a technologických důvodů propojeny propojkami ve vzdálenostech po zhruba 200 m. Celkem mají tunely na stavbě 513 délku cca 1930 m a na stavbě 514 cca 1620 m. Aby se v ražených úsecích dosáhl optimální odstup tunelových trub mezi sebou, jsou pravé tunelové trouby odsunuty od osy trasy mírně odlišnými poloměry od poloměrů trasy.

GEOLOGICKÉ POMĚRY

Kvartérní pokryvné útvary tvoří v okolí radotínského portálu stavby 514 poměrně mocné svahové hlíny s úlomky hornin. Tunely budou raženy v ordovických a silurských horninách královodorského souvrství tvořeného jílovitými břidlicemi tence laminovanými. Úpadní ražba prochází v paleozoických horninách siluru se střídáním vápnitých břidlic a jílovitých tufitických břidlic.

Hloubená část stavby 513 bude u komořanského portálu procházet kvartérními pokryvy, písek s příměsí jemnozrnné zeminy. Ražený tunel pak bude v celé své délce ve skalních horninách, ve spodní části v ordovických vrstvách homogenních letenských břidlic, v horní části v polohách proterozoických drob a břidlic s prokřemenělými písčitymi a prachovitými vrstvami.

V převážné délce budou všechny ražby probíhat v podmínkách dobrých nebo zhoršených; nepříznivé až velmi nepříznivé podmínky se očekávají pouze u portálů, než se klenba zahlubí do jen mírně navětralých skalních poloh.

Hydrogeologické poměry jsou z hlediska ražeb poměrně příznivé, i když téměř celá trasa ražených tunelů prochází pod hladinou podzemní vody, ražené štoly tuto hladinu snížily až k úrovni kaloty. Výdatnost přítoků na čele výrubu bude v průměru do 5 l/s, maximálně 15 l/s.

PRŮŘEZ TUNELOVÝCH TRUB A PROPOJEK

Světlé průřezy tunelových trub jsou klenuté a v celé délce jednotné bez ohledu na způsob výstavby. Šířky vozovky byly závazně stanoveny na jednáních a respektují jak požadavky nového návrhu normy ČSN 737507, tak intenzitu dopravy.

Pravý jízdní pruh je široký 3,75 m, levé jsou širší 3,50 m. Třípruhový tunel má celkovou šířku vozovky 11,75 m, dvoupruhový 9 m. Chodníky jsou 1 m široké po obou stranách. Výška průjezdného průřezu je 4,80 m, uprostřed pod klenbou by mohla mimořádně projet i vozidla vyšší.

RAŽENÉ TUNELY

Ražené objekty tvoří podstatnou část staveb 513 i 514 silničního okruhu. Na hlavní tunely z obou stran navazují hloubené úseky a tunelové propojky. V kalotě třípruhového tunelu je vyražena průzkumná štola v celé délce.

greywacke and schist with quartziferous sandy and silty layers in the upper part.

All excavation operations will take place in good or worsened conditions; unfavourable to very unfavourable conditions are anticipated to be encountered at the portals, before the excavation faces advance deeper into the only slightly weathered rock.

Hydrogeological conditions are relatively favourable in terms of the excavation, even though the whole route of the mined tunnels runs under the water table level. The mined galleries lowered this water table down to the top heading level. Intensity of the inflows at the excavation face will amount to 5 l/sec on average, maximally 15 l/sec.

CROSS-SECTIONS OF THE TUNNEL TUBES AND CROSS PASSAGES

Cross sections of the tunnel tubes are vaulted, uniform along the whole length, no matter which construction method is used. Binding values were set for the roadway widths. They comply both with the requirements of the new ČSN 73 7507 norm draft and the traffic intensity demands.

The right traffic lane is 3.75m wide, the widths of the left lanes are of 3.50m. The width of the roadway of the three-lane tunnel and two-lane tunnel is of 11.75m and 9.00m respectively. The walkways designed on either side of the tunnel are 1.00m wide. The vertical clearance height amounts to 4.80m; even higher vehicles could pass through exceptionally, just under the crown of the vault.

MINED TUNNELS

Mined structures form significant part of the construction lots #513 and #514 of the ring road. Linking to the main tunnels there are the cut and cover sections on both sides and cross passages. An exploratory gallery excavation has been completed in the top heading, along the whole length of the tunnel.

All mined tunnel structures are of a similar design. The primary lining is from C20/25 X0 reinforced sprayed concrete; the C25/30 XF4 cast in situ final lining is vaulted, with intermediate waterproofing. All tunnels will be excavated using the NATM with a horizontal excavation sequence (top heading, bench).

THE TUNNEL PORTALS AND CUT-AND-COVER TUNNELS

Tunnel portals are usually a difficult point of a tunnel construction. The portal location itself depends on many factors, primarily the terrain configuration and the route and level parameters, geology in the given location, proper incorporation of the construction into the landscape, etc. All of the above-mentioned circumstances affect also the portals on the Prague City Ring Road. There are many problems, particularly at the Lochkov portal of the construction lot #514. Its position is at a steep slope over Radotín, where the cover consisting of gravelly soil is over 10m thick. At this particular case it would have been reasonable to shift the mined portal as deep into the rock massif as possible, to a location where at least the bottom part of the tunnel is keyed in the bedrock. Unfortunately, a biological corridor crosses the tunnel alignment just at the location suitable for the portal construction. The initial section of the tunnel was therefore placed just to the difficult conditions. Construction trenches for the tunnel portals will have steep slopes supported with sprayed concrete and anchors (nails); the portal over Radotín requires vertical sides supported with pile walls. The trenches will be used for the construction of the cut and cover tunnels and architectural portals. The cross section of the cut and cover tunnels is identical with adjacent mined tunnels; their vaults are 600mm thick. The waterproofing of the cut and cover tunnels will be secured by an external system.

The tunnel portals proper are designed as monolithic reinforced concrete structures. In the construction lot #514, a ribbed collar is put on top of the ellipsoid crown of the portal front ends, which both architecturally shapes the portals and incorporates them into the landscape. This architectural design has been used for the first time for tunnels designed in our country, and it will definitely freshen up the passage along this part of the route.

Všechny ražené tunelové objekty jsou konstrukčně podobné se stejným typem konstrukcí. Primární ostění ze stříkaného vyztuženého betonu C 20/25 X0, definitivní ostění z monolitického betonu C25/30 XF4, klenuté s mezilehlou izolací. Ražba všech tunelů bude postupovat podle zásad Nové rakouské tunelovací metody s horizontálním členěním čelby (kalota, jádro).

PORTÁLY TUNELŮ A HLOUBENÉ TUNELY

Obtížným místem tunelové stavby bývají vždy portály tunelů. Už samotné jejich umístění záleží na mnoha faktorech, zejména na tvaru terénu a směrovém a výškovém vedení trasy, na geologických poměrech v daném místě, na vhodném začlenění stavby do krajiny a na dalších. Všechny tyto okolnosti ovlivňují i portály tunelů na okruhu Prahy. Velmi problematický je zejména lochkovský portál stavby 514. Je umístěn ve strmém svahu nad Radotínem s mocností pokryvných útvarů – štěrkových zemin přes 10 m. V tomto případě by bylo vhodné posunout ražený portál co nejdál do hory, kde je již alespoň spodní část tunelu ve skalních horninách. Ale právě v místě vhodném pro umístění portálu probíhá biokoridor, počáteční úsek tunelu byl proto umístěn právě do obtížných podmínek. Stavební jámy pro portály tunelů jsou navrženy se strmými svahy, zajištěnými stříkaným betonem a kotvami (hřebíky), portál nad Radotínem vyžaduje svislé stěny, které jsou zajištěny pilotovými stěnami. V jamách budou vybudovány hloubené tunely a pohledové portály. Ostění hloubených tunelů má stejný světlý průřez jako příslušné tunely ražené; jejich klenby mají tloušťku 600 mm. Vodotěsnost ostění hloubených tunelů zajistí rubová izolace.

Vlastní portály tunelů jsou všechny konstrukčně řešeny jako monolitické, železobetonové. Na elipsovitou korunu portálových čel stavby 514 je navíc nasazen „žebrovaný límeč“, který architektonicky ztvárňuje portály a začleňuje je do přilehlého území. Toto architektonické ztvárnění je užito poprvé na u nás projektovaných tunelech a rozhodně průjezd touto částí trasy oživí.

ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI A TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ TUNELŮ

Možný únik z tunelu zajišťují propojky mezi tunely, které jsou u obou vstupů do tunelu opatřeny požárními dveřmi a samostatně větrány. V dvoupruhovém tunelu je navíc nouzový záliv pro zastavení nebo odstavení vozidla. Po 150 m jsou v tunelu SOS skříně s telefonem, hasičskými přístroji a dalším vybavením. V tunelu je požární vodovod s velkými hydranty, které jsou určeny pouze pro zásah hasičů. Pochopitelně standardem je již osvětlení tunelu s akomodačním pásmem u portálů, kde snižování četnosti zdrojů osvětlení zajistí postupné stmívání a zvyká oko řidiče při vjezdu do tunelu. Pro případ havárie a požáru je navíc instalováno nouzové a požární osvětlení.

Řízení dopravy bude zajištěno jak proměnným dopravním značením v tunelu, tak ve volné trase před tunely a je navázáno na DIS (dopravní informační systém) přenosem dat do dispečinků v SSÚD Rudná a HDŘÚ Praha s vyhodnocováním dopravních dat z trasy. Dění v tunelu navíc bude možno sledovat pomocí instalovaných kamer.

Tunely jsou větrány proudovými ventilátory umístěnými pod klenbou tunelu po zhruba 200 m. V základním režimu pracují ve směru jízdy vozidel. Určující podmínkou pro umístění a výkon ventilátorů je případ požáru. Při požáru bude větrání spuštěno až po cca 6 až 8 min., kdy vlivem ochlazení kouřových zplodin pod klenbou tunelu by došlo k zadýmení zóny u vozovky a tím k ohrožení cestujících. Do té doby se teplý kouř drží pod klenbou a umožní únik osob. V sousedním nezadýmeném tunelu budou ventilátory spuštěny ve stejném směru jako v tunelu s požárem, aby nedocházelo k nasávání škodlivin (dým a zplodiny z hoření) přes portál do druhého čistého tunelu. Do tohoto tunelu se osoby dostanou únikovými propojkami.

Všechna uvedená zařízení kladou velké nároky na napájení. Trafostanice a rozvodny jsou umístěny v přízemních objektech před portály tunelů, vlastní rozvody v tunelu jsou vypínatelné po 400 m. Napájení je zálohováno pro případ výpadku el.energie.

I při odvodnění vozovky je myšleno na bezpečnost, odvodňovací žlaby podél obrubníků jsou po každých 50 m přerušeny sifonem-shybkou, přes kterou se nemůže šířit požár při havárii s hořlavými tekutinami.

ING. OTAKAR HASÍK, e-mail: hasik@metroprojekt.cz,

ING. KAREL ZÁVORA,

ING. MÁROŠ DÁVID, e-mail: david@metroprojekt.cz,

METROPROJEKT PRAHA a. s.



Obr. 3 Průzkumná štola st. 514 v místě rozšíření do kaloty budoucího tunelu
Fig. 3 Construction lot 514 – the exploration gallery at the section enlarged to the top heading dimension

ENSURING SAFETY IN THE TUNNELS; TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

The possibility of escaping from the tunnel is ensured by cross passages, which are provided with fire-check doors at both entrances and ventilated separately. In addition, there is an emergency lay-by in the double-lane tunnel allowing vehicles to stop or be laid up. SOS boxes with a telephone, extinguishers and other equipment are installed every 150m. A fire main with large hydrants designed for utilisation by fire brigades is in the tunnel. It is well understandable that it is a standard for this tunnel to have the lighting system with transition zones at portals, where reduced frequency of lighting sources ensures gradual darkening and accommodates driver's sight at the tunnel entrance. In addition, an emergency and fire lighting system is installed in case of an accident or fire.

Traffic control will be ensured by variable message signs installed both in the tunnel and along the open-air route before the tunnels. It is connected to the Traffic Information System through data transmission to management centres in Rudná and Prague with assessment of traffic data from the route. In addition, it will be possible to follow the traffic in the tunnel by means of cameras installed in the tunnel.

The tunnels are ventilated by jet fans mounted under the tunnel vault approximately every 200m. In the basic regime they work in the direction of traffic. The basic criterion for determination of the position and performance of the fans is a fire event. The ventilation system will be switched on approximately after 6 to 8 minutes. The smoke keeping under the tunnel crown would be cooled down and fill the zone low above the roadway, thus jeopardising passengers. Till then the warm smoke keeps under the roof and allows the escape of persons. The fans in the neighbouring tunnel will be switched on in the same direction as in the tunnel with the fire so that noxious substances (smoke and combustion products) are not sucked into the clean tunnel via the portal. Passengers will get to the neighbouring tunnel through the escape cross passages.

All above-mentioned services put heavy demands on power supplies. Transformer stations and substations are placed into one-storied buildings in front of the portals. The electrical lines are provided with switches at 400m intervals. Power supply backup is ensured in case of a power failure.

Even the drainage system is designed with the safety taken into consideration. Drainage ducts along the kerbs are interrupted by inverted siphons every 50m. The siphon prevents a fire from spreading in the case of an accident where a flammable load is involved.

ING. OTAKAR HASÍK, e-mail: hasik@metroprojekt.cz,

ING. KAREL ZÁVORA,

ING. MÁROŠ DÁVID, e-mail: david@metroprojekt.cz,

METROPROJEKT PRAHA a. s.

TUNEL BLANKA NA MĚSTSKÉM OKRUHU V PRAZE

THE BLANKA TUNNEL ON THE CITY CIRCLE ROAD IN PRAGUE

ALEXANDR BUTOVIČ, JOSEF DVOŘÁK, PAVEL ŠOUREK

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Hlavní město Praha
Investor	Hlavní město Praha
Projektant	SATRA spol s r. o., METROPROJEKT, a. s., PUDIS, a. s.
Uživatel	TSK, a. s.
Období výstavby	2006–2011 (předpoklad)
Objem stavebních prací	
ražené objekty	944 000 m ³ (vyrubaný prostor)
hloubené objekty	1 270 000 m ³ (obestavěný prostor)

ÚVOD

V roce 1999 byl schválen územní plán hlavního města Prahy, jehož součástí je také hlavní komunikační síť na principu radiálně okružním. Systém tvoří dva okruhy, městský a pražský silniční a sedm radiál. Městský okruh chrání historické jádro města, jeho celková plánovaná délka je 33 km. V současné době je provozována jihozápadní část okruhu se třemi tunely v celkové délce 3,5 km (Zlíchovský 165 m, Mrázovka 1300 m, Strahovský 2040 m). Ve zbývajících částech městského okruhu je navrženo celkem 5 tunelových staveb (Blanka, Povltavská, Balkán, Jarov, Malešice). V severní části okruhu se jedná o souvislý tunelový úsek Blanka celkové délky kolem 5,5 km. Z toho jsou dva úseky ražené, 2211 m a 552 m. Ostatní části tunelu jsou hloubené. Tunel Blanka je městský tunel vedený ve složitých geologických podmínkách, který podchází rozsáhlá území nadzemní zástavby, řeku Vltavu a oblast zvodnělé říční terasy s nízkým nadloží.

Dokončení tohoto segmentu městského okruhu je jednou z hlavních priorit rozvoje hlavního města Prahy v současné době. Po celou dobu projektové přípravy je kladen značný důraz na vysokou úroveň technického řešení. Samozřejmostí je vysoký standard bezpečnosti provozu, řízení dopravy i provozu technologických celků, a vysoce sofistikovaný systém provozního větrání automaticky řízený v návaznosti na hustotu provozu, klimatické podmínky a koncentraci škodlivin. Doprava – předpokládané zatížení 90 000 vozidel v obou směrech za den – bude převedena do tunelů, mimo

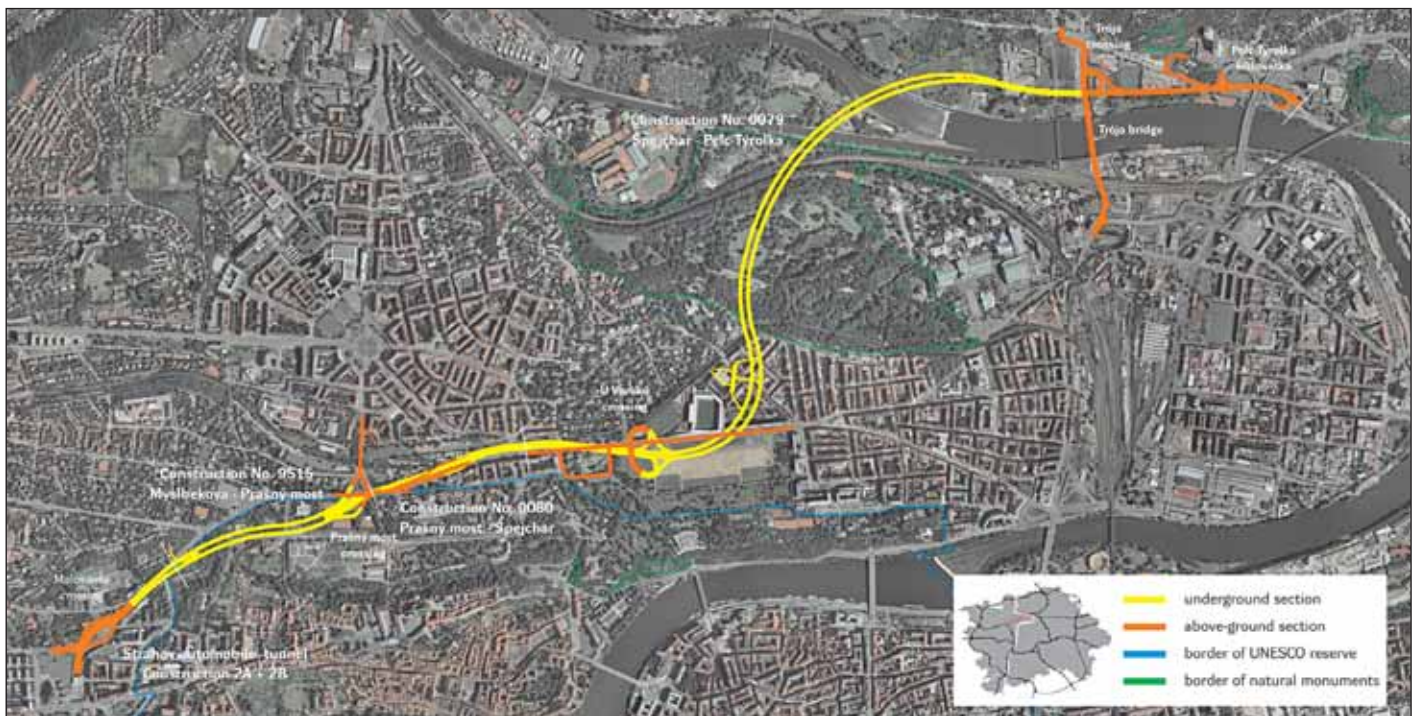
BASIC DATA

Region	the City of Prague
Employer	the City of Prague
Designer	SATRA spol. s r. o., METROPROJEKT a. s., PUDIS a. s.
User	TSK a. s.
Construction period	2006 – 2011 (anticipated)
Works volume	
mined structures	944,000m ³
cut and cover structures	1,270,000m ³ (wall-in space)

INTRODUCTION

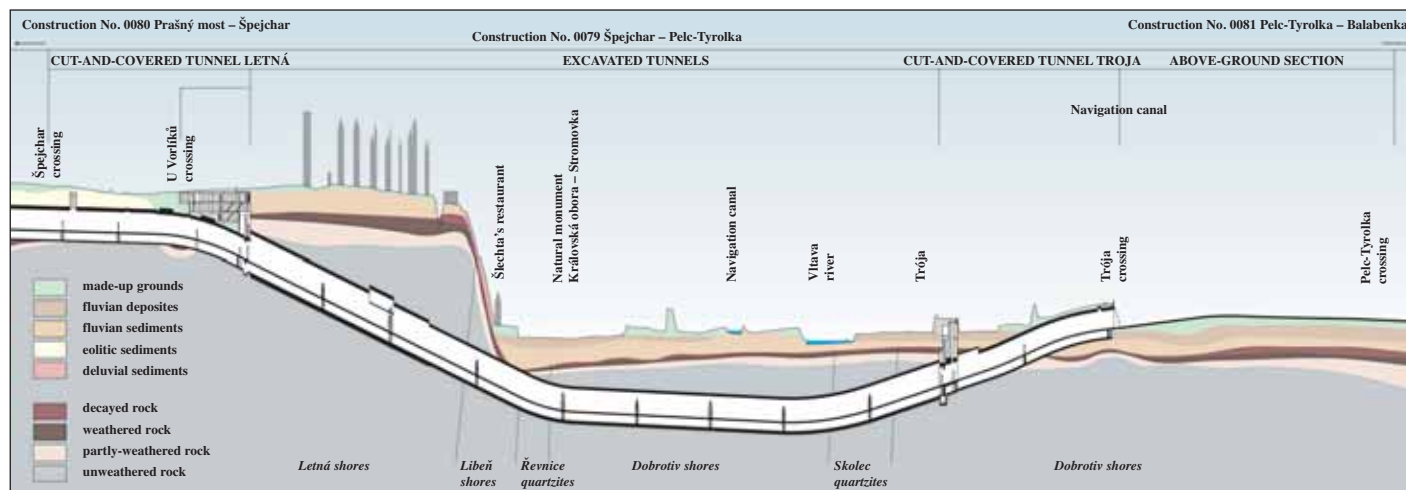
The Master Plan for the City of Prague, whose part is also a major road network based on a radial-orbital principle, was approved in 1999. The system consists of two rings/circles (the City Circle Road and the Prague Ring Road) and 7 radial roads. The City Circle Road protects the historic core of the city; its planned length amounts to 33km. Currently operating is a south-western part of the City Circle Road with three tunnels with an aggregated length of 3.5km (Zlíchov 165m, Mrázovka 1,300m, Strahov 2,040m). The remaining part of the City Circle Road will contain 5 tunnels (Blanka, Povltavská, Balkán, Jarov, Malešice). The Blanka is a continuous 5.5km long tunnelled section found in the northern part of the circle road. Out of this length, two sections are mined tunnels (2,211m and 552m). The other sections of the tunnel are cut and cover. The Blanka tunnel is an urban tunnel led through difficult geology, passing under vast surface development areas, under the Vltava River, and through saturated river terraces with shallow overburden.

The completion of this segment of the City Circle Road is one of today's main priorities of the development of the City of Prague. A high level of the design quality has been placed stress on during the whole time of the design preparation. A high standard of operational safety, traffic a technical services control and a highly sophisticated operational ventilation system controlled automatically according to



Obr. 1 Situace tunelu Blanka

Fig. 1 The Blanka tunnel layout plan



Obr. 2 Podélný řez stavbou 0079

Fig. 2 Longitudinal cross section through the construction lot 0079

stávající a dnes již neúnosně zahlcené komunikace, především Holešovic a Dejvic. Dojde tím ke značnému zlepšení životního prostředí v oblasti na hranicích historického jádra Prahy, zapsaného na seznam kulturního a historického dědictví UNESCO. Navíc dokončení a zprovoznění této části městského okruhu umožní po dlouhých desítkách let znovu otevřít otázku severojižní magistrály, respektive umožní její adaptaci do současného moderního pojetí historického centra města s vyloučením veškeré tranzitní dopravy.

POPIS DÍLČÍCH STAVEB

Tunel Blanka navazuje na severní portál Strahovského tunelu (SAT) nejdříve dvěma stavbami patřícími ještě do 2. etapy výstavby SAT.

Stavba 0065 Strahovský tunel – stavba 2A

Stavba zahrnuje vlastní mimoúrovňovou křižovatku Malovanka před portály Strahovského tunelu a krátký úsek – zárodky tunelů pokračování městského okruhu pod ulicí Patočkova. Stavba je řešena tak, že umožní pozdější napojení Břevnovské radiály i v tunelové variantě pod ulicí Patočkova směrem k Břevnovskému klášteru.

Stavba 0065 Strahovský tunel – stavba 2B

V rámci 2. stavby SAT je ještě řešen úsek městského okruhu vedený v hloubených tunelech pod ulicí Patočkova za křižovatkou s ulicí Myslbekova. Součástí stavby je vlastní technologická vybavenost. Energetické napájení a řízení dopravy a technologické vybavenosti je zajišťováno z navazující stavby Myslbekova – Prašný most.

Vlastní výstavba tunelu Blanka je rozdělena na tři stavby s možností postupného uvádění do provozu na základě požadavku zachovat městské funkce v území dotčeného výstavbou. To znamená zachovat stávající dopravní kapacity území, funkce MHD, obsluhy stávající zástavby, funkce inženýrských sítí, to vše s minimalizací vlivů stavby na životní prostředí.

Stavba 9515 Myslbekova – Prašný most (MYPRA)

Stavba navazuje na hloubené tunely 2. etapy výstavby Strahovského tunelu, jejichž realizace bude probíhat souběžně. Začíná krátkým úsekem hloubených tunelů obsahujících objekt technologického centra, které před podchodem linií historického opevnění pražského hradu přecházejí do ražených tunelů délky 552 m. V závěrečném úseku délky 308 m se obě tunelové trouby spojují do hloubené konstrukce se společnou střední stěnou. V prostoru nad tunely jsou umístěny dvoupodlažní podzemní garáže o 486 stáních s napojením na místní komunikační síť u křižovatky Prašný most. Stávající uliční síť je realizací stavby dotčena jen nepatrně. Třída Milady Horákové si ponechává nynější šířkovou dispozici. Ulice Svatovítská bude rozšířena a z tohoto důvodu dojde k přestavbě mostu přes železniční trať.

Trasa této části městského okruhu je uspořádána jako 2x2 průběžné jízdní pruhy o šířce 3,5 m. V návaznosti na křižovatku jsou k průběžným jízdním pásům přidány přípojovací a odpojovací pruhy stejné šířky, které jsou vzájemně propojeny prodloužením manévrovacího úseku do souvislého pruhu průpletového.

Stavba 0080 Prašný most – Špejchar (PRAŠ)

Jedná se o hloubené tunely délky 660 m přímo navazující na hloubené tunely stavby č. 9515. Šířkové uspořádání je navrženo opět 2x2 průběžné

traffic intensity, weather conditions and concentration of noxious substances. The anticipated traffic flow amounting to 90,000 vehicles per day (in both directions) will be diverted to tunnels from the currently unacceptably congested streets, above all those in the Holešovice and Dejvice districts. Thus the living environment in the area at the border of the historic core of Prague, which is a designated UNESCO World Heritage Site, will be significantly improved. In addition, when this part of the City Circle Road is completed and opened to traffic, it will be possible, after long decades, to readdress the issue of the north-south backbone road, or to adapt it to the today's modern conception of a historic city centre with all transit traffic excluded.

DESCRIPTION OF CONSTRUCTION LOTS

The Blanka tunnel is connected to the north portal of the Strahov Automobile Tunnel (SAT) via two construction lots, which belong to the phase 2 of the SAT construction.

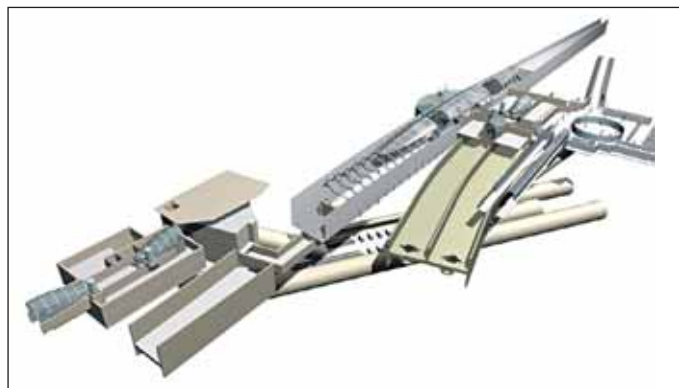
Construction Lot 0065 the Strahov Tunnel – Phase 2A

This construction lot consists of the Malovanka grade-separated intersection before the portals of the Strahov tunnel tubes, and a short section with "starter stubs" of tunnels of the City Circle Road continuing under Patočkova Street. The design allows the Břevnov radial road in its tunnelling variant to connect under Patočkova Street, in the direction toward Břevnov Monastery.

Construction Lot 0065 the Strahov Tunnel – Phase 2B

The Phase 2 of the SAT construction also covers a section of the City Circle Road passing through cut and cover tunnels under Patočkova Street, beyond the crossing with Myslbekova Street. Part of this construction lot is the set of technical services. The power supply and the traffic control and technical services control are provided from the adjoining construction lot, the MYPRA.

The construction of the Blanka tunnel proper is divided into three construction lots. Based on a requirement to preserve functions of the



Obr. 3 Prostorová animace tunelu Blanka v oblasti stanice metra Hradčanská a dejvického nádraží

Fig. 3 3D animation of the Blanka tunnel in the area of metro station Hradčanská and railway station Dejvice



Obr. 4 Fotografie z realizace průzkumné štoly
Fig. 4 Execution of the exploration gallery

jízdní pruhy šířky 3,5 metru, směrově oddělené střední dělicí stěnou. V mezikřižovatkových úsecích, kde probíhají připojovací a odpojovací pruhy stejné šířky, je ve výsledném uspořádání šířka 3x3,5 m. Součástí hloubené konstrukce tunelu jsou vjezdové a výjezdové rampy křižovatky Prašný most. Nejnáročnější částí této stavby je dispozičně komplikovaný úsek mezi současným vestibulem stanice metra trasy A „Hradčanská“ a plánovanou podzemní (zahlobenou) stanicí Českých drah na modernizované trati Praha – Letiště Ruzyně – Kladno. Rekonstrukce stávajícího vestibulu stanice Hradčanská a dostavba jejího severního vestibulu limitují možnosti šířkového uspořádání v tunelech městského okruhu na 2x3 jízdní pruhy.

Stavba 0079 Špejchar – Pelc – Tyrolka (ŠPELC)

Tunely stavby 0079 ŠPELC jsou vedeny od křižovatky Špejchar, v pokračování na stavbu č. 0080, v hloubeném úseku délky 647 m, před fotbalový stadion AC Sparta, kde přecházejí do ražených tunelů délky 2211 m. Dále ražené tunely podcházejí zástavbu na Letné, přírodní památku Královská obora – Stromovka, plavební kanál, Císařský ostrov a Vltavu. Na trojském nábřeží přecházejí ražené tunely do tunelů hloubených délky 580 m. Tunelová trasa končí u nového Trojského mostu, který nahradí stávající tramvajové mostní provizorium. Zbytek trasy až na křižovatkou Pelc Tyrolka je veden povrchově v délce 882 m. Celková délka tunelové části je 3438 m. Součástí stavby jsou podzemní garáže na Letné s kapacitou 873 stání, čtyři podzemní technologická centra a Trojský most. Trojský most propojuje ulici Povltavskou na trojské straně s ulicí Partyzánská v Holešovicích, je navržen s příčným uspořádáním 2x2 jízdní pruhy se středním tramvajovým tělesem a chodníky pro pěší a cyklistickou dopravu.

Hloubené tunely na Letné jsou navrženy jako 2x3 jízdní pruhy šířky 3,5 m, jejich součástí je i rampové propojení s povrchem v budoucí mimoúrovňové křižovatce U Vorlíků. Ražené tunely začínají na Letné jako třípruhové – dva průběžné jízdní pruhy a jeden připojovací/odpojovací – a po 378 metrech (v jižním tunelu), respektive 497 metrech (v severním tunelu) přecházejí do dvoupruhového profilu. Oba tunely jsou vedeny souběžně, tloušťka horninového pilíře mezi oběma tunely je průměrně 18 metrů. Nadloží se pohybuje od 10,5 m u Šlechtovy restaurace do 39 m v ulici Nad Královskou oborou. Ražba se předpokládá podle zásad Nové rakouské tunelovací metody s převážně horizontálním členěním výrubu. Hloubené tunely v Tróji jsou v převážné délce v uspořádání 2+3 jízdní pruhy a budou realizovány do otevřené stavební jámy.

GEOLOGICKÉ POMĚRY

Hloubené úseky zasahují jak do pokryvných útvarů, tak i do skalního podloží. Pokryvné útvary jsou reprezentovány eolickými sedimenty (prachové hlíny, spraše), fluvialními sedimenty a navážkami, vyskytujícími se v zájmové oblasti prakticky v celém území ve značně proměnlivé mocnosti. Co do složení převládá písčité hlína se štěrkem, tj. kameny a valouny různé velikosti, převážně křemence, křemen, opuky a stavební suť. Mocnost pokryvných útvarů se pohybuje v rozmezí 6 m až 17 m.

Skalní podloží tvoří horniny ordovického stáří, které jsou zastoupeny letenskými břidlicemi monotonního i flyšového vývoje. V případě monotonního vývoje se jedná o písčité a prachovité břidlice jemně až hrubě slídnaté a tlustě deskovité vrstevnaté s malou odolností proti zvětrávání. V případě flyšového vývoje se jedná o písčité a drobové břidlice s vločkami křemenců. Břidlice jsou hrubě slídnaté a tlustě deskovité vrstevnaté. Křemence a pískovce tvoří cca 30 až 50 %. Flyšový vývoj letenského

city in the area affected by the works, the lots can be opened to traffic in a stepwise manner. This means that the existing traffic-carrying capacity of the area, public transport services and infrastructural services can be maintained and the environmental impact of the works can be minimised.

Construction Lot 9515 Myslbekova Street – Prašný Most (MYPRA)

This construction lot is a continuation of the cut and cover tunnels of the phase 2 of the Strahov tunnel construction, which will be built concurrently. It starts by a short section of cut and cover tunnels, which contains the structure of the technical services centre. This structure passes to a 552m long section of mined tunnels. At the end, the two tubes join to form a 308m long cut and cover section with a joint central wall. The space above the tunnels contains a double-storey underground garage car parking with 486 parking lots. The parking is connected to local streets around the Prašný Most intersection. The existing street network is affected by the works in a minimal extent. Milady Horákové Avenue will maintain its current width. Svatovítská Street will be widened. For this reason the bridge over the railway track will be reconstructed.

The road in this part of the City Circle has 2 x 2 thoroughfare lanes 3.5m wide. Merging and turning lanes with the same width are added to the thoroughfare lanes at intersections. These lanes are interconnected by extending the manoeuvring section to a continuous weaving lane.

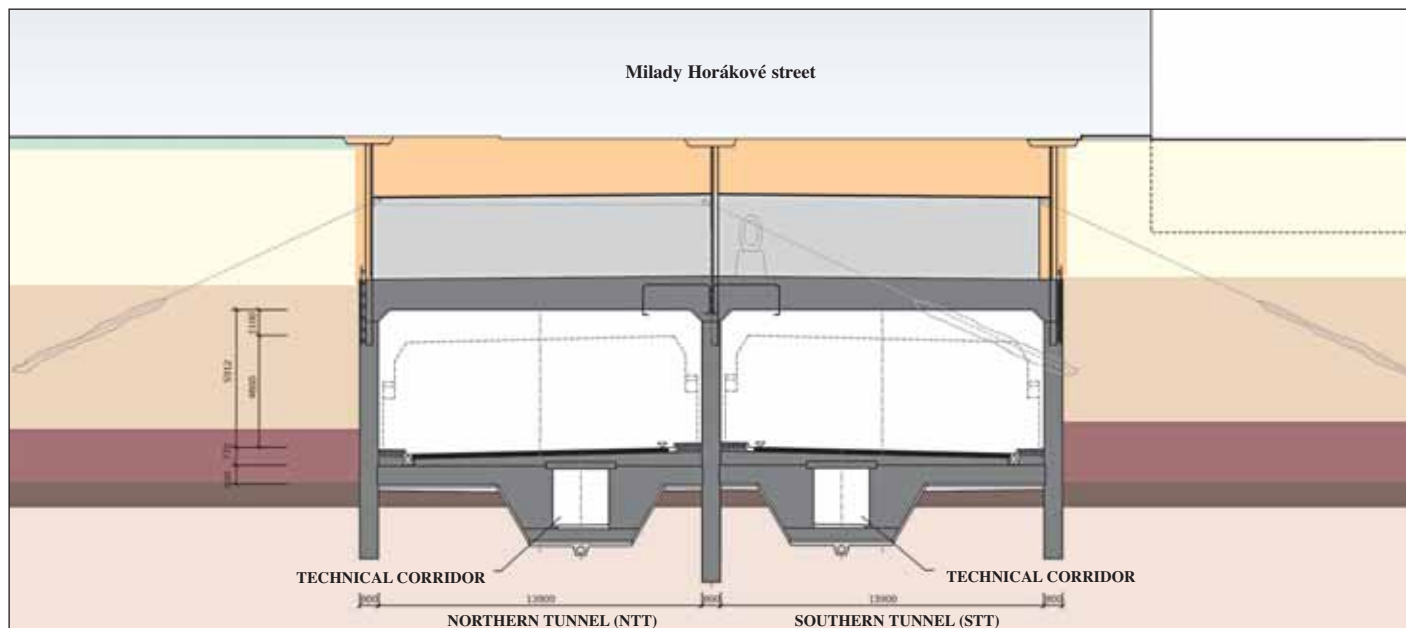
Construction Lot 0080 Prašný Most – Špejchar (PRAŠ)

This construction lot consists of 660m long cut and cover tunnels connected directly to the cut and cover tunnels of the construction lot 9515. The width configuration is again designed with 2 x 2 thoroughfare traffic lanes 3.5m wide. The carriageways are separated by a central dividing wall. The width in the sections between intersections where the uniform-width merging and turning lanes are designed is of 3 x 3.5m. Parts of the cut and cover tunnel are the entry ramps and exit ramps at the Prašný Most intersection. The most demanding part of this construction lot is the section between the existing concourse of the Hradčanská Station on the metro line A and the planned cut and cover railway station on the upgraded track Prague – Ruzyně Airport – Kladno. Reconstruction of the existing concourse of the Hradčanská Station and addition of a northern concourse pose limitation of the possibility to design the tunnels of the City Circle Road with 2 x 3 traffic lanes.

Construction Lot 0079 Špejchar – Pelc-Tyrolka (ŠPELC)

The tunnels of the construction lot 0079 ŠPELC from the Špejchar intersection toward the construction lot 0080 are designed as a cut and cover structure along a length of 647m, up to the AC Sparta football stadium where a 2,221m long mined section begins. Further the mined tunnels pass under existing buildings in the Letná area, the Royal Deer Park – Stromovka natural monument, a shipping canal, Císařský Island and the Vltava River. The mined tunnels terminate at the Troja embankment. A 580m long section of cut and cover tunnels starting from this point ends at the new Trója Bridge, which will replace the existing temporary tramline bridge. The remaining 882m long at-grade section ends at the Pelc Tyrolka intersection. The total length of the tunnelled part amounts to 3,438m. Parts of this construction lot are also an underground car park in Letná with a capacity of 873 parking spaces, four underground technical services centres, and the Trója Bridge. The Trója Bridge connects Povltavská Street on the Trója bank with Partyzánská Street in Holešovice. Its cross section design contains 2 x 2 traffic lanes with a central tramline trackbed, and pavements for pedestrian and bicycle traffic.

The cut and cover tunnels in Letná will accommodate 2 x 3 traffic lanes 3.5m wide; their part is also a ramp at the future grade-separated intersection U Vorlíků connecting them with the surface. The mined tunnels begin in Letná as three-lane tunnels (two thoroughfare lanes and one merging/turning lane), and after 378 metres and 497 metres (in the southern and northern tube respectively) their profile is converted into a double-lane design. The tunnel tubes run in side by side; the thickness of the rock pillar between them is of 18 metres on average. The overburden thickness varies from 10.5m at the Šlechta's restaurant to 39m in Nad Královskou Oborou Street. The application of the New Austrian Tunnelling Method with prevailing horizontal excavation



Obr. 5 Vzorový příčný řez tunelem na Letné
Fig. 5 Typical cross section through the Letná Tunnel

souvrství je proti zvětrání odolný a mocnost zvětrání dosahuje většinou menších hodnot okolo 3 m.

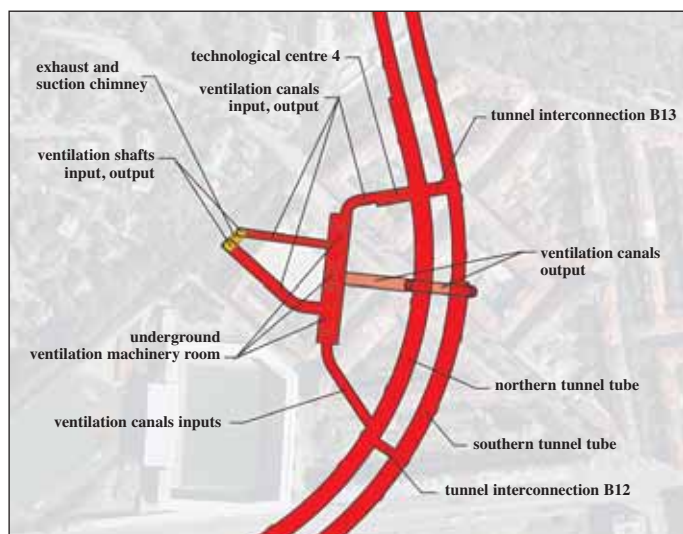
Podzemní voda sleduje převážně povrch skalního podloží a její hladina se pohybuje v rozmezí 8 až 13 m pod terémem.

PRŮZKUMNÁ ŠTOLA PRO STAVBU 0079

Před započítím průzkumných prací bylo informací o geotechnických poměrech v trase budoucích tunelů jen velmi málo. Z tohoto důvodu byl navržen a realizován podrobný geotechnický průzkum formou vrtných prací, geofyzikálních měření a v nejobtížnějším úseku pomocí průzkumné štoly. Celková délka průzkumné štoly dosáhla 2150 m, v převážné délce je štola vedena v profilu budoucí jižní tunelové trouby (JTT), a to excentricky v kalotě profilu. Pod Vltavou a v závěrečném úseku na úpatí svahu z Letné, kde jsou očekávány velmi komplikované geotechnické podmínky, je průzkumná štola ražena i v profilu budoucí severní tunelové trouby (STT). Profil štoly činí 10 m².

Ražba štoly probíhala v souladu se zásadami Nové rakouské tunelovací metody (NRTM) v technologických třídách NRTM 2 – 5a určených na základě regionální klasifikace QTS. Rozpojování horniny bylo prováděno pomocí trhacích prací. V listopadu 2005 byly ražby ukončeny.

Po jejím vyražením je možné konstatovat, že zastížené geotechnické podmínky jsou příznivější, než bylo předpokládáno. Jedním z největších problémů při ražbě tunelů bude zvodnělost horninového prostředí. V závislosti na množství jílových minerálů v základní hornině se bude



Obr. 6 Situace podzemního vzduchotechnického komplexu
Fig. 6 The underground ventilation centre layout

sequence is anticipated. The cut and cover tunnels in Trója will have 2+3 traffic lanes within a major part of their length. They will be built in an open trench.

GEOLOGICAL CONDITIONS

The cut and cover tunnel sections will pass both through the cover and the bedrock. The cover consists of Eolith sediments (silty loams, loess), fluvial sediments and made ground, which occur virtually everywhere within the area of interest, with a variable thickness. Regarding the composition, sandy loam with gravel, i.e. pebbles and boulders of various sizes, mostly quartzite, quartz, cretaceous marl and rubble prevail. The thickness of the cover varies from 6.0m to 17.0m. The bedrock consists of Ordovician rock types represented by the Letná Shales of both monotonous and flysch origin. In the case of the monotonous origin, the shales are sandy and silty, finely to coarsely micaceous, forming thick tabular layers. The quartzite and sandstone form approximately 30 to 50% of the rock mass. The flysch-origin Letná Shale measures are weathering resistant, and the weathering depth is mostly smaller, about 3.0m.

The groundwater table mostly follows the bedrock surface. It is found at a depth ranging from 8.0 to 13.0m under the surface.

THE EXPLORATION GALLERY FOR THE CONSTRUCTION LOT 0079

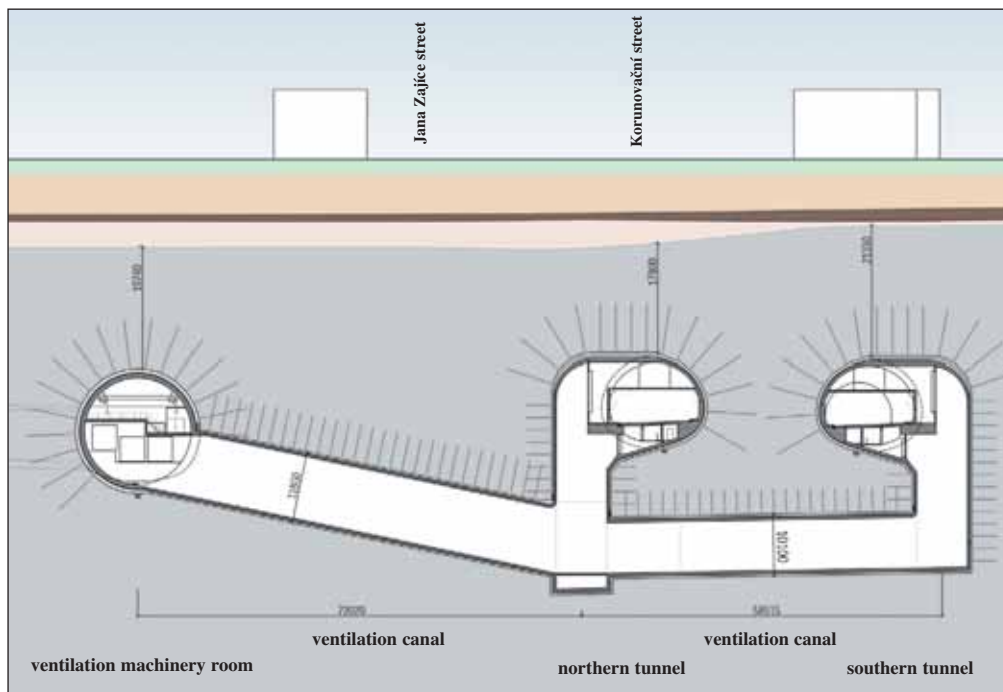
Information on geotechnical conditions along the alignment of the future tunnels had been rather insufficient. For that reason a detailed geotechnical survey was designed and carried out in a form of drilling, geophysical measurements and, within the most difficult section, by means of an exploration gallery. The total length of the exploration gallery amounted to 2,150m. Along major part of its length, its position was designed within the cross section of the future southern tunnel tube (STT), out of the centre of the top heading profile. Under the Vltava River and in the final section at the bottom of Letná Hill, where very complicated geotechnical conditions are anticipated, the exploration gallery is also driven in the profile of the future northern tunnel tube (NTT). The gallery has a cross section of 10m².

The gallery was driven using the NATM, through NATM 2 – 5a excavation classes determined according to the QTS regional classification system.

The rock was broken by the drill and blast technique. The excavation was completed in November 2005.

Once the excavation of the gallery is finished, it can be stated that the geological conditions encountered are more favourable than anticipated. One of the biggest problems during the excavation of the tunnels will be the saturated condition of the rock environment. The quantities of water flowing into the excavation will vary depending on the content of clayey minerals in the rock matrix (quartzite x clayey shales of the Dobrotiv Member). The final inflow of groundwater into the gallery fluctuated about 80 l/sec.

A relationship between the rate of flow in the Vltava River and the volume of inflow into the exploration gallery was registered.



Obr. 7 Podélný řez vzduchotechnickým kanálem
Fig. 7 Longitudinal section through the ventilation duct

výrazně měnit množství vody přitékající do díla (křemence x jílovité břidlice dobrotivského souvrství). Konečný přítok do celé průzkumné štoly se pohyboval okolo 80 l/s.

Byla zaznamenána vazba mezi protékajícím množstvím vody ve Vltavě a přítokem podzemní vody do průzkumné štoly.

TECHNICKY ZAJÍMAVÉ ČÁSTI STAVEB

Stavba severozápadní části městského okruhu není pozoruhodná pouze z hlediska dopravního významu v severozápadní části Prahy, celospolečenského přínosu, ale také z hlediska technického.

Mezi zajímavé technické části patří zejména:

- Hloubené tunely za použití konstrukčních podzemních stěn
- Podzemní vzduchotechnické centrum na Letné
- Sanační injektáže v blízkosti Šlechty restaurace.

Hloubené tunely za použití konstrukčních podzemních stěn

Provádění hloubených tunelů z Letné až po křižovatku Prašný most se během výstavby bude potýkat s výrazným nedostatkem prostoru a s nutností zachování neustálé průjezdnosti na povrchu, minimálně s jedním jízdním pruhem v každém směru. Uzavření celého prostoru pro dopravu by znamenalo kolaps dopravy nejen v bezprostředním okolí, ale v podstatě v celé centrální a severní části města. Proto byla při návrhu hloubených tunelů, jako nejdůležitější kritérium výběru technologie výstavby stanovena minimalizace prostorových nároků, možnost etapizace a také rychlost výstavby. Vybrána byla technologie provádění tzv. čelním odtěžováním prostoru tunelu pod ochranou definitivní stropní konstrukce a konstrukčních podzemních stěn. Postup prací spočívá v realizaci podzemních konstrukčních stěn z povrchu, dále v odtěžení zeminy na spodní úroveň stropu, následném provedení definitivní stropní konstrukce a jejím zasypaní. Až poté dochází k odebírání zemního materiálu z vlastního profilu tunelu, a to z čela postupnou ražbou dle časových a prostorových možností odděleně v jednotlivých tubusech. Výhodou tohoto řešení je maximální možné omezení šířky záborů stavby a zároveň velmi rychlé navrácení povrchových komunikací a inženýrských sítí do požadovaného stavu. Princip je velmi podobný systému želva.

Konstrukční podzemní stěny tvoří definitivní stěny budoucího tunelu a jsou vetknuty do skalního podloží. Po odtěžení prostoru tunelu je na dně vybetonována rozpěrná deska s technickou chodbou. Izolace proti vodě bude tvořena pouze vodotěsným betonem s doplňkovým opatřením pracovních a dilatačních spár (princip bílá vana).

Podzemní vzduchotechnické centrum na Letné

Pro potřeby zajištění požárního a provozního větrání převážně části ražených tunelů z Letné do Tróje je pod obytnou zástavbou na Letné navržen složitý komplex podzemních technologických objektů. Jedná se

TECHNICALLY INTERESTING PARTS OF THE PROJECT

The project of the north-western part of the City Circle Road is unusual not only in terms of its significance for the traffic in the north-western part of Prague or its all-society benefits, but also in terms of technology.

The following parts belong among the technically interesting ones:

- Cut and cover tunnels built using structural diaphragm walls
- The underground technical services centre in Letná
- Pre-excitation grouting in the vicinity of the Šlechta's Restaurant

Cut and Cover Tunnels Built Using Structural Diaphragm Walls

The works on the cut and cover tunnels from Letná up to the Prašný Most intersection will be hampered with a significant lack of space and an obligation to maintain the continuous running of surface traffic, at least along a single lane in each direction. Any closure of the space for traffic would

mean a collapse of the traffic not only in the surrounding neighbourhood but, in essence, in the whole central and northern part of the city. For that reason the most important criteria adopted for the design of the cut and cover tunnels were the construction technique, minimisation of requirements for space, the possibility of dividing the construction into phases, and also the construction speed. Regarding the excavation technique, a cover-and-cut top-down excavation between retaining walls method was chosen. The method comprises construction of retaining walls from the ground surface, excavation of the ground up to the level of the bottom of the roof deck, casting of the final roof deck and covering the deck with backfill. Only then the excavation under the roof deck starts, gradually from the face, separately in the individual tubes, as the time and space conditions allow. The advantage of this solution is the maximum possible reduction of the width of the land required for the construction, and very quick restoration of the surface roads and infrastructure services to the required condition. The principle is very similar to the "Turtle" method.

The retaining walls also perform the function of final walls of the future tunnel; they are keyed into the bedrock. When the tunnel space excavation is finished, a bracing bottom slab with a technical corridor is cast. The waterproofing will be guaranteed simply by water retaining concrete plus additional treatment of day joints and expansion joints (the White Tank principle).

The Underground Ventilation Centre in Letná

A complex system of underground structures housing tunnel equipment under the residential development of Letná is designed, which will ensure fire and operational ventilation of a major part of the mined tunnels section from Letná to Trója. The system comprises a ventilation plant cavern, ventilation ducts (connecting, intake and outlet ducts) and shafts.

The largest structure is the ventilation plant cavern. It is designed to lie in parallel to the tunnel route, with the distance between the hall centre and the NTT about 85m. The excavated cross-section of the 125m-long cavern amounts nearly to 300m². A vertical sequence will be used for the NATM excavation carried out in the Letná Shales, under a 25m thick rock cover.

The ventilation ducts providing both the supply and extraction of air connect to the ventilation plant cavern. The fresh air duct (tunnel) supplying the northern tunnel tube (NTT) and serving at the same time as a transport route for assembly and later also replacement of the equipment in the plant hall, connects to the western end of the cavern. The eastern end of the cavern receives the tunnel supplying fresh air to the southern tunnel tube (STT) via the technical services centre (TSC 4) and the cross passage B13. The intake structure of the 10m-diameter

o strojovnu vzduchotechniky, propojovací, přívodní a odvodní vzduchotechnické kanály a šachty.

Největším objektem je strojovna vzduchotechniky, která je navržena paralelně s trasou tunelů v osové vzdálenosti od severní tunelové trouby (STT) cca 85 m. Plocha výrubu činí téměř 300 m², délka 125 m. Při její ražbě (NRTM) v letenských břidlicích s výškou skalního nadloží 25 m bude použito vertikálního členění výrubu.

Do objektu strojovny vzduchotechniky jsou zaústěny vzduchotechnické kanály zajišťující přívod i odvod vzduchu. Na západním konci strojovny se napojuje tunel přivádějící čerstvý vzduch do severní tunelové trouby a sloužící zároveň jako dopravní cesta pro zavážení i následné výměny technologických zařízení ve strojovně. Na východním konci na strojovnu navazuje tunel přivádějící přes technologické centrum (TGC 4) a propojku B13 čerstvý vzduch do jižní tunelové trouby (JTT). Do středu strojovny je zaústěn tunel kruhového \varnothing 10 m, odvádějící znečištěný vzduch z obou tunelových trub. S třípruhovými tunely je propojen svislými šachtami \varnothing 8 m.

Tento složitý podzemní uzel zde bylo možné navrhnout jen díky velmi dobré geologii, kterou představují zdravé písčité břidlice letenské souvrství bez významnějšího tektonického porušení. Pro ověření napjatostně-deformačního vlivu ražby na horninové prostředí a povrch byl proveden rozsáhlý matematický model metodou konečných prvků. Jeho výsledky potvrdily realitu navrženého řešení a poskytly informace o předpokládaných velikostech deformací na povrchu, které by neměly překročit 35 mm.

Sanační injektáže v blízkosti Šlechtovy restaurace

V rámci podrobného geotechnického průzkumu byla na úpatí svahu z Letné do prostoru parku Stromovka v blízkosti historického objektu Šlechtovy restaurace kontrolními předvrtými z průzkumné štoly zmapována skutečná výška skalního nadloží. Zjištěny byly relativně malé odchylky od předpokládaných hodnot a nejmenší výška skalního nadloží budoucího tunelu byla stanovena na 1,5 m. Nad skalním nadložím se nacházejí saturované šterkropisky o mocnosti cca 11 m. V takových geotechnických podmínkách je ražba tunelu bez doplňujících bezpečnostních opatření při ražbě v podstatě nemožná.

Pro bezpečný průchod průzkumné štoly byly použity sanační injektáže na bázi cementu. Vytvořením obálky o mocnosti cca 2,5 m došlo ke zpevnění části nadloží a zvýšení jeho nepropustnosti. Pro ražbu samotných tunelů je navrženo řešení obdobné. V předstihu před ražbou vlastních tunelů bude z průzkumné štoly provedena trysková a tlaková horninová injektáž pomocí systému radiálních vějířů. K vrtání budou použity vrty \varnothing 75 mm proměnlivých délek. Strídavě budou injektovány vrty vlevo a vpravo, postupováním bude dovrhne. Celou problematiku provádění injektáží komplikuje skutečnost, že bude prováděna do vrchně pod hladinou podzemní vody, resp. pod plně zvodněnými sedimenty, což s sebou přináší nutnost použití preventrů. Výsledkem prováděných injektáží bude cca 1,0 – 1,5 m silná „betonová vrstva“ napomáhající bezpečnému průchodu ražeb a oddělující saturované sedimenty od výrubu. Boční, tlaková injektáž bude sloužit k dotěsnění horninového prostředí a minimalizaci průsaků do výrubu.

Samotná ražba bude v těchto místech prováděna pod ochranou mikropilotových deštníků z injektovaných ocelových trubek 108/16 mm délky 12,0 m s horizontálním členěním výrubu a dočasnou spodní protiklenbou. V případě velmi nepříznivých stabilitních podmínek bude kalota dále členěna.

Existuje varianta provádění pomocí vějířů tryskové injektáže z povrchu, ale i přestože je tato metoda bezpečnější, výrazně levnější a nijak zásadně nenarušuje životní prostředí, zůstává zatím pouze variantou teoretickou. Podmínky pro realizaci stavby, které vyplývají z projednání dokumentace pro stavební povolení, toto řešení neumožňují.

ZÁVĚR

V současné době je stavba 2A Strahovského tunelu v realizaci. Na stavbu 2B je vydáno platné územní rozhodnutí a probíhá zpracování dokumentace ke stavebnímu povolení. Také na zbývajících třech stavbách souboru je vydáno platné územní rozhodnutí a je odevzdána dokumentace ke stavebnímu povolení. U stavby č. 0079 ŠPELC je reálné zahájení realizace cca v polovině roku 2006. Příprava staveb probíhá tak, aby bylo možné celý komplex uvést do provozu najednou.

Tento článek shrnuje pouze základní informace o jednotlivých částech tunelu Blanka na městském okruhu v Praze přesto, že každá popisovaná část by si vzhledem ke svému rozsahu a významu zasloužila daleko podrobnější výklad.

ING. ALEXANDR BUTOVIČ, e-mail: alexandr.butovic@satra.cz,
ING. JOSEF DVORÁK, e-mail: josef.dvorak@satra.cz,
ING. PAVEL ŠOUREK, e-mail: pavel.sourek@satra.cz,
SATRA spol. s r. o.

circular profile tunnel extracting the polluted air from both tunnel tubes is at the centre of the cavern. This tunnel is connected with the three-lane tunnels through 8m-diameter vertical shafts. This complex underground node could be designed in this location only owing to very good quality geology, which is represented by sound sandy Letná Shale Member without any significant tectonic faulting. An extensive FEM mathematical model was developed for the purpose of verification of the stress-strain impact of the excavation on the rock environment and the surface. The results of the analysis confirmed that the designed solution is feasible. They also provided information on the anticipated magnitude of surface deformations, which should not exceed 35mm.

Pre-excavation Grouting in the Vicinity of the Šlechta's Restaurant

As a part of the detailed geotechnical investigation, the actual thickness of the rock cover in the area around the Šlechta's Restaurant was mapped by means of probe holes drilled in the direction of Stromovka Park from the exploration gallery, in advance of the heading, which was at that time under the foot of the Letná Hill slope. Relatively small deviations from the anticipated values were identified; the lowest thickness of the rock cover of the future tunnel was determined at a value of 1.5m. The rock cover is overlain by a saturated gravel-sand layer about 110 thick. Tunnel excavation in such the geotechnical conditions is impossible without additional safety measures implemented during the work.

Pre-excavation grouting with cementitious grout was carried out to allow safe passage of the exploration gallery. The development of an about 2.5m thick envelope consolidated the overburden and enhanced its impermeableness. A similar solution is designed for the excavation of the future tunnels. Jet grouting and pressure grouting of the ground using a system of radial fans will be carried out from the exploration gallery, in an advance of the tunnel excavation. Boreholes 75mm in diameter of varying lengths will be drilled. A staggered system of injecting the grout into the boreholes to the left and right side will be utilised. The grouting operations will proceed in the upward direction. The entire issue of the grouting is complicated by the fact that it will be carried out upward, under the water table, or under fully saturated sediments. The use of preventers is therefore necessary. The grouting operations will result into the origination of an about 1.0 – 1.5m thick "concrete canopy" facilitating the safe passage of the excavation and separating the saturated sediments from the excavation. The pressure grouting of the sides is designed to seal the rock environment and minimise the seepage into the excavation.

The excavation work in this location will be protected by a canopy of grouted 108/16mm x 12m long steel tubes, with a horizontal excavation sequence and a temporary invert. The top heading will be further divided in the case of very unfavourable stability conditions.

An excavation variant comprising jet grouting fans to be executed from the surface also does exist. Although, despite the fact that this method is safer, substantially cheaper and causes no significant disturbance of the living environment, it has remained a purely theoretical variant for the time being. The construction conditions following from the final design do not allow this solution.

CONCLUSION

Currently the construction phase 2A of the Strahov tunnel is being implemented. The zoning and planning decision for the phase 2B has been issued and the final design is being developed. The zoning and planning decision has been issued and final design submitted for the three remaining construction lots of the project. The works on the construction lot 0079 ŠPELC could commence around the mid 2006. The preparation of the partial construction sites is managed in a manner allowing the entire complex to be opened to traffic en bloc.

This article summarises only basic information on individual parts of the Blanka tunnel built on the Prague City Circle Road despite the fact that each of the above-described parts would deserve much more detailed comments, considering their extent.

ING. ALEXANDR BUTOVIČ, e-mail: alexandr.butovic@satra.cz,
ING. JOSEF DVORÁK, e-mail: josef.dvorak@satra.cz,
ING. PAVEL ŠOUREK, e-mail: pavel.sourek@satra.cz,
SATRA spol. s r. o.

TUNELY DOBROVSKÉHO I A II, SILNICE I/42 VMO BRNO

THE DOBROVSKÉHO I AND II TUNNELS, THE LCRR BRNO, I/42 ROAD SECTION

VLASTIMIL HORÁK

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Jihomoravský kraj – město Brno
Investor	Ředitelství silnic a dálnic ČR, město Brno
Projektant	AMBERG Engineering Brno, a. s.
Uživatel	Brněnské komunikace, a. s.
Období výstavby	2006–2012
Objem stavebních prací	
	ražené objekty 265 574 m ³ (vyrubaný prostor)
	hloubené objekty 84 340 m ³ (obestavěný prostor)

ÚVOD

Severní část velkého městského okruhu v Brně (dále jen VMO), která je v současnosti připravována k výstavbě, je umístěna na území městských čtvrtí Královo Pole a Žabovřesky. Je pro ni používáno stručné označení VMO Dobrovského podle názvu ulice, v jejíž ose bude komunikace procházet. Hlavním prvkem této části VMO jsou dva autobusy ražených tunelů. Před oběma portály tunelů na komunikaci VMO navazují dvě významné radiální komunikace ve směru od Svitav, které jsou připojeny přes mimoúrovňové křižovatky.

Tunel I – délka celkem 1 239,87 m. Z toho ražená část dl. 1 053,42 m a hloubené části budované v otevřených pažených jámách dl. 133,66 m v Žabovřeskách a 52,79 m v Králově Poli.

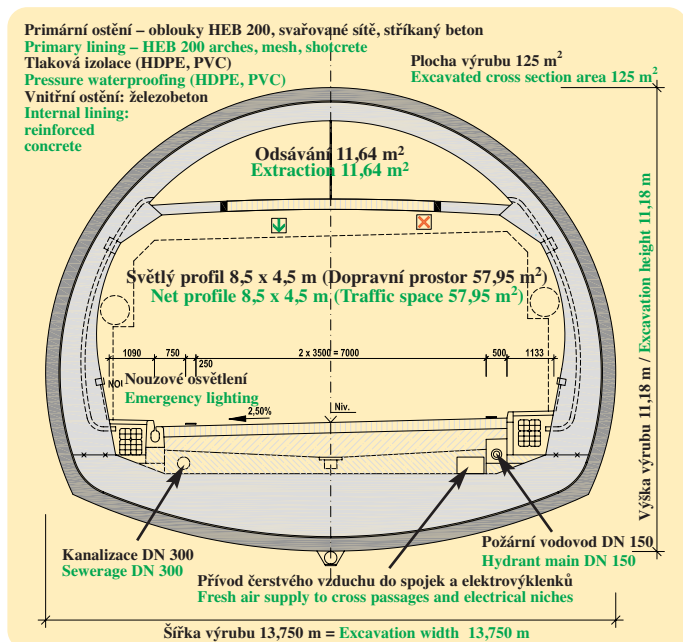
Tunel II délka celkem 1 261,25 m. Z toho ražená část dl. 1 059,97 m a hloubené části budované stejnou technologií jako u tunelu I, dl. 148,61 m v Žabovřeskách a 52,67 m v Králově Poli.

Na straně Žabovřesky je úsek VMO doplněn ještě dvěma galeriemi délky téměř 300 m pro snížení hlukové zátěže okolních domů.

SMĚROVÉ A VÝŠKOVÉ VEDENÍ

Z hlediska směrového řešení je tunel I prakticky v přímé a kopíruje osu povrchové komunikace – ul. Dobrovského. Tunel II, vedený paralelně v odsunutí jižně cca o 70 m, je naproti tomu navržen s několika protisměrnými oblouky. Důvodem je snaha vyhnout se negativním vlivům na problematickou povrchovou zástavbu – 12 podlažní panelový dům, budovy TELECOMU, bazény koupaliště “Dobrák” apod.

Výškové řešení obou tunelů je podřízeno technologii ražby v daném prostředí brněnských téglů, nutnosti navázání na předportálové úseky v Králově Poli bez kolize s důležitými páteřními kanalizačními stokami – zatrubněný



Obr. 1 Vzorový příčný řez

Fig. 1 Typical cross section

BASIC DATA

Region	the South Moravian region – the City of Brno
Employer	the Directorate of Roads and Highways of the CR
Designer	AMBERG Engineering Brno a.s.
User	Brněnské komunikace a.s.
Construction period	2006 - 2012
Works volume	
	mined structures 265,574m ³ (excavated volume)
	cut and cover structures 84,340m ³ (walled-in space)

INTRODUCTION

The northern part of the Large City Ring Road (LCRR), which is currently being prepared for construction, is located in the area of the Královo Pole and Žabovřesky districts. It is briefly named the LCRR Dobrovského, after the street that the road will pass under, following its centre line. The principal element of this LCRR part is a twin-tube tunnel. Two major radial roads join the LCRR in front of both portals in the direction from Svitavy, via grade-separated intersections.

The overall length of the tunnel I is of 1,239.87m. Out of that, the mined section length amounts to 1,053.42m; the cut-and-cover sections constructed in open pits in Žabovřesky and Královo Pole are 133.66m and 52.79m long respectively.

The tunnel II is 1,261.25m long. Out of that, the mined section length amounts to 1,059.97m and the cut-and-cover sections, also constructed in open pits in Žabovřesky and Královo Pole, are 148.61m and 52.67m long respectively. The LCRR section on the Žabovřesky side is further complemented by two nearly 300m long galleries reducing the noise load on the buildings around.

HORIZONTAL AND VERTICAL ALIGNMENT

The horizontal alignment of the Tunnel I is virtually straight. It copies the centre line of Dobrovského Street on the surface. In contrast, the Tunnel II, which is led parallel at a distance of 70m to the south, comprises several reverse curves. The reason is the effort to avoid negative impacts on problematic surface structures, i.e. a 12-storey panel building, TELECOM buildings, the “Dobrák” swimming pools etc.

The design of the vertical alignment of both tunnels is subjected to the technique of excavation in the given geological conditions of so-called “Brno tégl” ground, to the necessity for linking to the pre-portal sections in Královo Pole without any collision with trunk sewers (the Ponávka I covered brook, the Ponávka II sewer) and the minimisation of demolition work. From the tunneller’s and future user’s point of view, the vertical alignment of both tunnels is improper because there are sags in the lower parts of the tubes. Water will have to be pumped both during the tunnel excavation and the operation. The maximum longitudinal gradient amounts to 4.5%.

GEOLOGY

The sequence of strata in the tunnel cross section is relatively very monotonous, i.e. secondary loess and anthropogenic fills up to 3 – 10m thick, locally with layers of saturated gravel to sand terraces. The sub-base of the terraces consists of Neogene clay (“Brno Těgl”) several tens of metres thick (the bedrock was not found even by boreholes over 60m deep). Groundwater is bound in gravel sand layers on the upper horizon of the Neogene in the form of aquifers in local depressions. The consistence of the Neogene clays is stiff, locally hard. In terms of plasticity, Brno Těgl is highly plastic; in combination with water it is extremely squeezing.

The overburden depth is approximately the same for both tunnels. It ranges from 6m to a maximum value of about 21m. The alignment is designed to pass through Neogene clay so that a minimum thickness of 2 - 3m of the impervious Neogene clay cover is always guaranteed.

The tunnel construction was preceded by geological exploration galleries driven at a total length of 2,000m within the cross sections of the Tunnels I and II to allow detailed geological and geotechnical investigation, including measurement of deformations and settlement of the surface. The galleries were driven as parts of the excavation of the tunnels, by the technique which will be utilised for the big tunnels. The impacts of the gallery excavation were taken into account in a back analysis, where the overall effects of the tunnel construction on existing buildings were calculated.

potok Ponávka I, stoka Ponávka II a minimalizaci demoličních prací. Z pohledu tunelářského i budoucího uživatele je podélný profil obou tunelů velmi nevhodný – v obou tunelech se v dolní části vyskytuje údolnicový zakružovací oblouk. Při ražbě i za provozu bude nutno trvale čerpat odpadní vody. Maximální podélný sklon dosahuje 4,5 %.

GEOLOGIE

V profilu tunelů je geologický sled relativně velmi monotónní – pokryvné vrstvy sprašových hlín a antropogenních navážek mocnosti 3 až 10 m, ve spodním horizontu s místními polohami lokálně zvodnělých šterkových až písčitých teras. Podloží teras je tvořeno neogenními jíly (brněnské tégly) o velké mocnosti několik desítek metrů (skalní podloží nebylo zastiženo ani vrty hloubky přes 60 m). Spodní voda je vázána ve šterkopískových polohách na svrchním horizontu neogenu ve formě zdrží v lokálních depresích. Konzistence neogenních jílu je tuhá až mírně pevná. Z hlediska plasticity jsou tégly vysoce plastické a ve spojení s podzemní vodou silně tlačivé.

Výška nadloží u obou tunelů je přibližně stejná a pohybuje se v rozmezí od 6 m do maximální hodnoty cca 21 m. Výškově jsou oba tunely vedeny v neogenních jílech tak, aby byla vždy zajištěna minimální nepropustná výška nadloží neogenních jílu nad výrubem cca 2 až 3 m.

Výstavbě tunelů předcházela ražba průzkumných geologických štol v profilu tunelu I i II o celkové délce přes 2000 m, kde byl proveden podrobný geologický a geotechnický průzkum včetně měření deformací a poklesů na povrchu. Štoly byly raženy již jako součást ražby tunelů – dílčí výrubu prováděné stejnou technologií, jako budou raženy velké tunely. Účinky ražby štol byly zohledněny v rámci zpětné analýzy při výpočtech celkových účinků stavby tunelu na povrchovou zástavbu.

TECHNOLOGIE RAŽBY

Metoda ražby je navržena se svisle i horizontálně členěnou čelbou (Ulmenstollen), s primárním ostěním ze stříkaného betonu s ocelovými výztužnými prvky.

Poklesová kotlina se vytvářela dle matematických modelů relativně velmi úzká, v závislosti na mocnosti nadloží do max. vzdálenosti cca 22 až 25 m od osy tunelu, s maximálními poklesy do cca 110 mm nad osou tunelu.

KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TUNELOVÉHO OSTĚNÍ

Příčné uspořádání tunelů je tříprostorové – dopravní prostor a přístropí rozdělené na dvě části – přívod čistého a odtah znečištěného vzduchu. Tunelové ostění je dvouplášťové s mezilehlou uzavřenou izolací. Primární ostění je navrženo ze stříkaného betonu s ocelovými výztužnými ramenaty (plnostěnné nebo příhradové), v extrémních případech v úsecích s malým nadložím nebo nebezpečím vytváření nepřípustných poklesů na povrchu, bude ostění doplněno o krycí mikropilotový deštník v horní části klenby. Vzhledem ke zjištěné agresivitě podzemních vod bude mít primární ostění temporární charakter – hlavní nosnou funkci bude mít ostění sekundární ze železobetonu.

EXCAVATION TECHNIQUE

Both the horizontal and vertical sequences (Ulmenstollen) are designed, with the excavation supported by primary lining consisting of shotcrete and steel support elements.

A relatively very narrow settlement trough was developed according to mathematical models, depending on the thickness of the cover up to a distance of approximately 22 to 25m from the tunnel centre line; maximum settlement values about 110mm above the tunnel centre line.

TUNNEL LINING DESIGN

The cross-section of the tunnel consists of three compartments, i.e. the traffic space and the roof space, which is divided into two parts – for supply of fresh air and exhaust of polluted air. The tunnel lining is a double-shell structure with intermediate waterproofing. The primary lining is designed from sprayed concrete with steel arches (compact or lattice types); a canopy of pre-sprayed tubes will be installed in extreme cases of sections with a low cover or sections risky in terms of development of unallowable settlement of the surface. Considering the information about the groundwater aggression action, the primary lining will be of a temporary character – the principal load bearing structure will be the reinforced concrete secondary lining.

TUNNEL CROSS-SECTION – BASIC DATA

Basic width of traffic lanes in the tunnel	3.50m
Clearance height	4.50m
Net width between kerbs	8.50m
Traffic space	57.95m ²
Air exhaust space	12.0m ²
Primary lining 350mm thick	11.95m ³ /lm
Secondary lining min. 450mm thick	32.53m ³ /lm
Excavated cross-section of the tunnel	125m ²

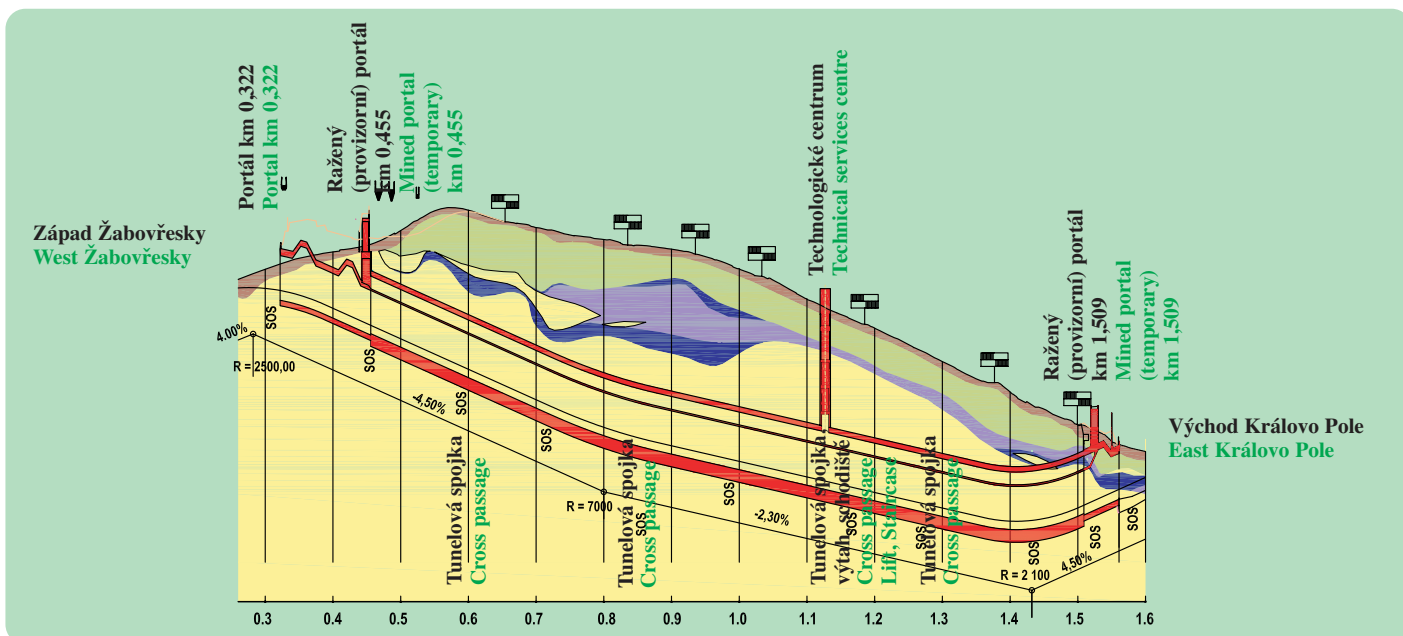
OPERATIONAL VENTILATION OF THE TUNNEL

A semi-transversal ventilation system is designed. Fresh air will be sucked into the tunnels via portals on both sides. Polluted air will be exhausted centrally to the space of a tunnel services centre, which is approximately one third of the tunnel length distant from the end. It will be discharged into the atmosphere at a height of 25m above the ground surface, at an increased velocity, through two 25m high shafts. Both tunnels will have separate ventilation systems, entirely independent, with a possibility of exhausting the smoke generated during a fire event from any place centrally. The cut-and-cover sections of the tunnels are equipped with longitudinal reversible jet fans allowing corrections of the air flow velocity and direction.

SAFETY ASPECTS OF THE STRUCTURE

The tunnel tubes are interconnected by four cross passages; one of the passages allows escape directly into the open space via a staircase or using an evacuation lift. Emergency laybys 40m long will be provided in both tunnels.

There will be 6 SOS niches installed in each tunnel, in recesses in the right-hand sidewalls, provided with a standard set of equipment. Hydrant lines will



Obr. 2 Podélný profil tunelu

Fig. 2 Longitudinal cross section through the tunnel

PROFIL TUNELŮ – ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE

Základní šířka jízdních pruhů v tunelu	3,50 m
Světlá podjezdová výška	4,50 m
Světlá šířka mezi obrubníky	8,50 m
Plocha dopravního prostoru	57,95 m ²
Prostor pro odsávání vzduchu	12,0 m ²
Primární ostění tl. 350 mm	11,95 m ³ /bm
Sekundární ostění tl. min. 450 mm	32,53 m ³ /bm
Výrubový profil tunelu	125 m ²

PROVOZNÍ VĚTRÁNÍ TUNELU

Je navrženo polopříčné odvětrání. Čistý vzduch bude do tunelů přísáván portály na obou stranách. Znečištěný vzduch bude odsáván centrálně do prostoru technologického centra cca v 1/3 délky tunelu. Do ovzduší bude vyfukován zvýšenou rychlostí dvěma komíny výšky 25 m nad okolním terénem. Odvětrání obou tunelů bude samostatné a zcela nezávislé s možností centrálního odsávání kouře při požáru z kteréhokoliv místa. Hlubené části tunelů jsou doplněny podélnými proudovými reverzibilními ventilátory pro případnou korekci rychlosti a směru proudění vzduchu.

BEZPEČNOSTNÍ STAVEBNÍ ÚPRAVY

Obě tunelové roury jsou propojeny celkem čtyřmi tunelovými spojkami, z nichž jedna umožňuje únik přímo do volného prostoru po schodišti nebo evakuačním výtahem. V obou tunelech budou zřízeny nouzové odstavné zálivy délky 40 m.

Vpravo ve směru jízdy budou umístěny výklenky se skříňemi SOS – celkem 6 výklenků SOS v každém tunelu se standardním vybavením. V obou tunelových rourách a únikových cestách včetně podzemních prostor technologického centra bude zřízen požární vodovod se zaokružováním a možností odstavování jednotlivých okruhů v případě velkých havárií, doplněný navíc v tunelových spojkách a únikových cestách ještě suchovody.

Kanalizace bude provedena se šachtami s protipožární úpravou (možný požár PHM), čerpací stanice odpadních vod v nejnižším místě obou tunelů bude mít 100% rezervu včetně jistiění a zálohování čerpadel.

TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ TUNELU

Z hlediska bezpečnosti provozu a osob v tunelu je možno konstatovat, že technologické vybavení tunelu odpovídá běžným standardům, které jsou rovněž v již provozovaných brněnských tunelech. V Brně již funguje pod správou Brněnských komunikací, a. s., od roku 1999 centrální tunelový dispečink (CTD) s trvalou obsluhou, na který budou veškerá zařízení Královopolských tunelů napojena.

TECHNOLOGICKÉ CENTRUM

Pro zvolený systém odvětrání tunelů a ostatní technologická zařízení je nutno vybudovat odpovídající prostory, zejména pro ventilátory a výdechový objekt, a to uprostřed relativně velmi husté obytné zástavby. Podzemní objekt technologického centra bude mít půdorysné rozměry 14x44 m, hloubka čisté podlahy únikové cesty a nejspodnější podlaží je 25,50 m pod terénem. Celkem bude mít technologické centrum šest podzemních a jedno nadzemní podlaží, dva komíny s výškou 25 m nad terénem. Tunel II bude k technologickému centru připojen dvěma stolami – únikovou cestou s kabelovým kanálem a větrací stolu přes samostatnou strojovnu VZT přímo do komínu. Na povrchu budou pouze dva relativně malé přízemní objekty (zastavěná plocha 315 m²) s příjezdovou komunikací a dva komíny. Uvedené nadzemní objekty budou architektonicky začleněny do budoucí výstavby polyfunkčního objektu.

ZÁVĚR

Tunely jsou situovány do území z hlediska urbanistického a dopravního velmi exponovaného. Hustá povrchová obytná a občanská zástavba se souvisejícími inženýrskými sítěmi a dopravními komunikacemi na povrchu, spolu se specifickými geologickými podmínkami brněnských neogenních jíílů (tégllů) řadí stavbu tunelů a souvisejících objektů VMO Dobrovského mezi zcela ojedinělá inženýrská díla, nemající v České republice obdoby.

Na základě geotechnických a geologických poznatků z ražby štol byly matematickým modelováním podrobně prošetřeny vlivy ražby na povrchovou zástavbu v okolí tunelových tras. Zpracovává se podrobná pasportizace objektů v trase obou tunelových rour v zóně ohrožení, která obsahuje 260 objektů. Asi 100 nadzemních objektů bude před ražbou dodatečně vyztuženo a podchyceno. V nejkritičtějších místech ražby budou provedena pomocná opatření ke zmírnění účinků ražby. Jde o mikropilotové deštníky, injektáže zvodnělých šterkových vrstev a clonící či příčné stěny z pilířů tryskové injektáže. Zahájení výstavby tunelů se předpokládá v roce 2006.

ING. VLASTIMIL HORÁK, Amberg Engineering Brno a. s.,
e-mail: vhorak@amberg.cz



Obr. 3 Čelba průzkumné štoly

Fig. 3 Exploration gallery heading

be installed in both tubes and escape corridors, including the underground technical services centre. The distribution system will consist of circuits allowing their closure in a major emergency. Dry mains will be added in the cross passages and escape corridors.

The sewerage system will comprise fire-protected shafts (fuel or oil fire is possible); the fault water pumping station built at the lowest point of both tunnels will have a 100% reserve capacity, including circuit breakers and standby pumps.

TECHNICAL SERVICES IN THE TUNNEL

Regarding the safety of operation and persons in the tunnel, it is possible to state that the technical services in the tunnel correspond to common standards, which have been applied to Brno's operating tunnels. A permanently manned tunnel management centre, which all equipment of the Královo Pole tunnels will be connected to, has been working since 1999.

TECHNICAL SERVICES CENTRE

The tunnel ventilation system and other technical services designed for the tunnels require adequate spaces, above all a ventilation fan room and an exhaust structure, all of this amid relatively very dense residential development. The underground structure of the technical services centre will have the footprint dimensions of 14 x 44m; the escape corridor floor and the lowest floor of the centre are at a depth of 25.50m under the surface. In total, the centre will have 6 underground and one above ground levels and two 25m high chimneys. The Tunnel II will be connected to the technical services centre via two galleries, i.e. the escape route with a cable duct, and a ventilation duct leading via the independent ventilation plant room directly to the chimney. There will be only two relatively small single-storey buildings (ground-floor space of 315m²) with an access road, and two chimneys. In terms of architecture, the above-mentioned surface structures will be incorporated into the future construction of a multi-purpose centre.

CONCLUSION

The tunnels are situated in an area that is extremely exposed in terms of urban design and traffic needs. The dense community and residential development and all related utility services and roads on the surface, together with the specific geological conditions of the Brno Neogene clays (Brno Téggl), rank the construction of the tunnels and other structures of the LCRR Dobrovského with outstanding civil engineering projects having no match in the Czech Republic.

The impacts of the excavation on the existing surface structures around the tunnel routes have been investigated in detail by mathematical modelling based on the geotechnical and geological data obtained from the exploration gallery drives. A detailed condition survey of the structures found along the routes of the tunnel tubes, within an endangered zone containing 260 structures is being carried out. Approximately 100 above ground structures will be reinforced and underpinned prior to the excavation. Additional measures designed to mitigate the effects of the excavation will be implemented in the most critical locations. Those measures consist of canopy tube pre-support, grouting of saturated gravel layers, and jet grouted columns forming longitudinal cut-off walls or transversal walls. The tunnel construction is expected to commence in 2006.

ING. VLASTIMIL HORÁK, Amberg Engineering Brno a. s.,
e-mail: vhorak@amberg.cz

PRAŽSKÉ METRO – TRASA D

PRAGUE METRO – THE D LINE

JIŘÍ RŮŽIČKA, VLADIMÍR CIGÁNEK

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Hlavní město Praha
Investor	Hlavní město Praha
Uživatel	Dopravní podnik hlavního města Prahy
Období výstavby	zahájení po roce 2008

ÚVOD

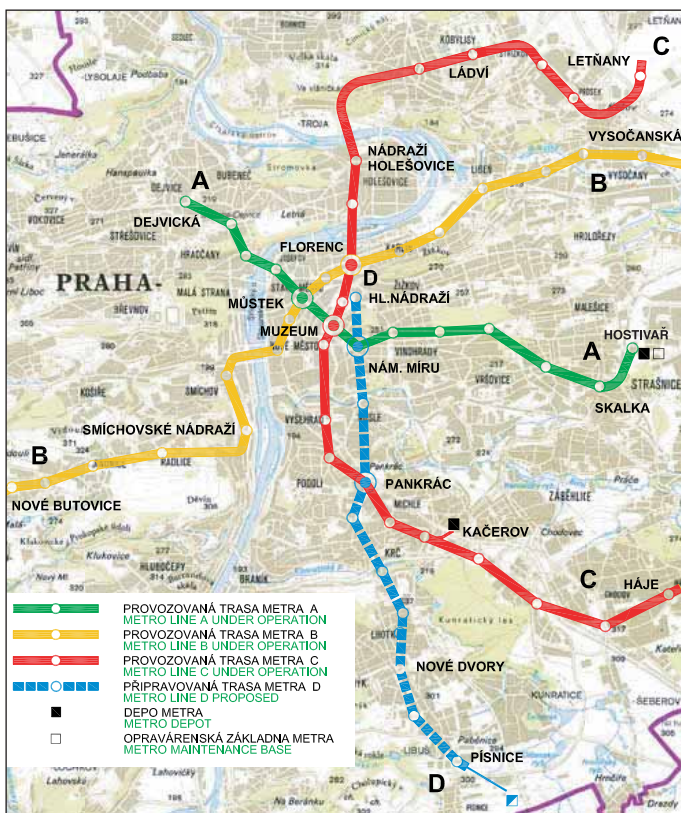
Trasa D je čtvrtým diametrem v síti pražského metra. Jejím cílem je v časovém horizontu územního plánu hlavního města Prahy k roku 2010 zajistit radiální cesty z oblasti Krče, Lhotky, Libuše, Nových Dvůrů, Písnice a rozvojových území na jižním okraji Prahy do centra.

První provozní úsek trasy D by měl rovněž částečně zlepšit provozní situaci na trase C. Zprovoznění trasy D umožní převedení části přepravní zátěže z trasy C na trasu D a tím částečně sníží obsazenost souprav na provozované trase C.

Hlavní přínos prvního provozního úseku trasy D je však třeba hledat v nahrazení silné autobusové dopravy vedené ulicí Vídeňskou a poklesu silného zatížení stanice metra Kačerov. Zároveň lze očekávat i snížení objemu přestupujících cestujících ve stanici Muzeum.

Nezanedbatelnou výhodou je i odstranění provozní zranitelnosti trasy C na Nuselském mostě a vytvoření další trasy metra z jižní části města do centra. Předpjatá železobetonová konstrukce Nuselského mostu je z hlediska dlouhodobé perspektivy ohrožena působením bludných proudů a v budoucnu nelze vyloučit její celkovou rekonstrukci.

Na obrázku 1 je výřez síť metra s provozovanými třemi trasami metra A, B, C a s připravovanou trasou ID. Trasa C je zakreslena včetně budovaného úseku IVC2 Ládví – Letňany, který má být dokončen v roce 2008. Rozsah trasy A zahrnuje i novou stanici metra v areálu Depa Hostivař, která bude dokončena v polovině letošního roku.



Obr. 1 Výřez síť pražského metra
 Fig. 1 Section of the Prague Metro network

BASIC DATA

Region	the City of Prague
Employer	the Municipality of Prague
User	Dopravní podnik hlavního města Prahy (a passenger transport authority)
Construction period	commencement after 2008

INTRODUCTION

The Line D is the fourth diameter in the Prague metro network. Its objective is to provide radial transit to the centre from the areas of Krč, Lhotka, Libuš, Nové Dvory, Písnice and the development territories on the southern edge of Prague.

The first operational section of the Line D should partially improve the operational situation on the Line C.

By opening the Line D to traffic, a portion of the traffic load will be transferred from the Line C to the Line D, thus the train occupancy on the operating Line C will be partially reduced.

The main benefit of the first operational section of Line D must, however, be sought for in the replacement of the extensive bus traffic leading along Vídeňská Street, and a decrease in the high passenger traffic intensity at the Kačerov metro station. At the same time we can expect that the passenger interchange volume at the Muzeum station will also be diminished.

Not negligible advantage is also elimination of operational vulnerability of the Line C on the Nusle Bridge, as well as the development of a new metro line from the southern region of the city to the city centre. The pre-stressed reinforced concrete structure of the Nusle Bridge is threatened in the long term by the effects of stray currents and by the fact that the need for overall reconstruction of the bridge in the future cannot be excluded.

A section of the metro network with the three operating lines A, B and C and the Line ID under preparation, is shown in Fig. 1. The Line C is shown including its section IV C2 Ládví – Letňany, which is under construction with the completion scheduled for the middle of this year.

ROUTE DESCRIPTION

The basic extent, or the sphere of service provided by this section of the Line D marked as ID is currently understood to cover an area from Písnice to the Hlavní Nádraží station. Variants to the solution are focused specially on the vehicle category and corrections in the details of the horizontal and, above all, vertical alignment associated with the selected vehicle category. At the same time, the issue of compatibility with the other kinds of rail transit existing in the PID (Prague integrated transit system), is under consideration from the aspect of possible utilisation of the system in a regional scale.

The above-mentioned extent of the line differs from the expectations of the planning department of the City of Prague. It roughly represents unification of the originally discussed two operational sections of this line (the section ID from Náměstí Míru to Nové Dvory and section II D from Nové Dvory to Písnice), with an extension comprising one interstation section toward the south (a part of the originally discussed section III D) to the Hlavní Nádraží metro station. The internal division of the project and the process of opening the Line ID to traffic into phases has not been stabilised unambiguously; it will be a subject of further design preparation.

A total of 10 metro stations have been included into the design of the first operational section of the Line D, i.e. the Hlavní Nádraží, Náměstí Míru, (the crossing with the Line C), Olbrachtova, Nádraží Krč, Nemocnice Krč, Nové Dvory, Libuš and Písnice stations.

It will be possible to design 60 – 100m long trains for the Line D, considering the transport demand. The line will be serviced by a new depot in Písnice with a planned capacity of 20 trains 100m long.

The newest documentation prepared by METROPROJEKT Praha a.s. in 2004 in two variants agrees with the positions of stations and general horizontal alignment of this line determined by previous studies.

The dissected topography of Prague, the considerable differences in elevations of individual valleys and terraces above them (e.g. the Vltava River valley, Nusle valley, Pankrác terrace, Krč valley, Nové Dvory and Libuš

POPIS TRASY

Základní rozsah, respektive působnost tohoto úseku trasy D s označením ID, je nyní chápán v rozsahu Písnice – Hlavní nádraží. Varianty řešení jsou pak zaměřeny zejména na použitý systém dopravního prostředku a s tím související korekce v detailu směrového a zejména výškového vedení trasy. Současně je sledována otázka kompatibility s ostatními druhy kolejové dopravy PID s možností případného využití systému v regionálním měřítku.

Výše uvedený rozsah trasy je odlišný od předpokladů ÚPn hl. m. Prahy a představuje prakticky sloučení původně uvažovaných dvou provozních úseků trasy (ID Náměstí Míru – Nové Dvory a IID Nové Dvory – Písnice) s prodloužením o jeden mezistaniční úsek severním směrem (část původně uvažovaného úseku IIID) do stanice Hlavní nádraží. Vnitřní etapizace výstavby a postupného zprovoznění trasy ID dosud není jednoznačně stabilizována a bude předmětem další projekční přípravy.

Na prvním provozním úseku trasy D je navrženo celkem 10 stanic metra, a to: Hlavní nádraží, Náměstí Míru (křížení s trasou A), Náměstí bratří Synků, Pankrác (křížení s trasou C), Olbrachtova, Nádraží Krč, Nemocnice Krč, Nové Dvory, Libuš a Písnice.

Na trase D bude možné uvažovat s ohledem na přepravní poptávku s provozem vlaků délky cca 60–100 m. Obsluhovat ji bude nové depo v Písnici, jehož kapacita se předpokládá 20 souprav délky 100 m.

Nejnovější materiál zpracovaný firmou METROPROJEKT Praha, a. s., v roce 2004 ve dvou variantách potvrzuje již dřívějšími studii lokalizovanou polohu stanic a rámcový směrový průběh trasy.

Členitý terén Prahy, značné výškové rozdíly jednotlivých údolí a teras nad nimi (např. údolí Vltavy, nuselské údolí, pankrácká terasa, krčské údolí, terasa Nových Dvorů a Libuše atp.), to vše klade velké nároky na vyvinutí tras klasických kolejových systémů. V oboru kolejových systémů MHD pak zejména trasy klasického metra se svými návrhovými parametry (směrový oblouk o poloměru $R \geq 500$ m, stoupání do 40 ‰, stanice v přímé či do poloměru $R \geq 800$ m) se jen velmi těžko přizpůsobují náročnému terénnímu reliéfu, což ve svém důsledku mnohdy znamená stanice uložené ve značných hloubkách, náročné přístupové cesty, časové ztráty cestujících a velké provozní náklady zejména eskalátorů (viz obr. 2).

V návaznosti na výše uvedené a s ohledem na skutečnost, že nebyl zadáním určen konkrétní systém či vozidlo, byly v úvodu prací formulovány základní návrhové parametry pro trasy tzv. lehkého metra:

Směrové oblouky v trase	.....	obecně $R \geq 305$ m (80 km/hod)
Směrové oblouky		
ve stanici	.....	min $R = 300$ m (při max. délce nástupiště 100 m)
Maximální stoupání v trase	.....	60 ‰
Maximální stoupání ve stanici	.....	15 ‰

Varianta 1 přestavuje pojetí trasy D v systému „klasického metra“ ve smyslu zásad ÚPn hl. m. Prahy s výjimkou celkového rozsahu trasy ID a jejího odklonění z původně sledované polohy stanice Zálesí do stanice Nemocnice Krč. Provozní délka trasy v této variantě je 10,2 km.

Varianta 2 je řešena v pojetí „lehkého metra“. Z hlediska směrového průběhu trasy respektuje trasu klasického metra (**Varianta 1**), avšak jednotlivé stanice jsou podle lokálních možností více přiblíženy k povrchu. Stanice Zálesí je podobně jako v případě Varianty 1 nahrazena stanicí Nemocnice Krč. Stanice Hlavní nádraží je ve vazbě na uvažovanou urbanizaci přilehlého území situována v odsunutě poloze severozápadním směrem do těsné blízkosti drážních ploch. Provozní délka trasy v této variantě je rovněž 10,2 km.

terraces, etc.) puts heavy demands on the design of the alignment for lines using traditional rail systems. Within the scope of rail systems used for urban mass, traditional heavy metro rail lines with their standard design parameters (horizontal curve diameter $R \geq 500$ m, rising gradient up to 40 ‰, stations on straight line or up to a radius $R \geq 800$ m) are especially difficult to accommodate to Prague terrain configuration. This often results in stations placed at great depths, with demanding access roads, time losses for passengers, and significant operational costs, incurred namely due to escalators (see Fig. 2).

With respect to the above problems and because of the fact that the order had specified neither a particular system nor a vehicle, the following basic design parameters of a light rail mass transit system were formulated at the beginning of the work on the design:

Horizontal curves	.....	in general $R \geq 305$ m (80 km/hour)
Horizontal curves		
on a running track	.....	min $R = 300$ m (at max. platform length of 100m)
at a station	.....	Maximum rising gradient on a running track
	.....	60 ‰
	.....	Maximum rising gradient at a station
	.....	15 ‰

The variant 1 represents the conception of the Line D as a “traditional metro” in the meaning of the principles developed by the planning department of the City of Prague, excepting the overall extent of the Line 1 D and the route deviation from the originally intended Zálesí station to the Nemocnice Krč station. The operational length of this variant amounts to 10.2 km.

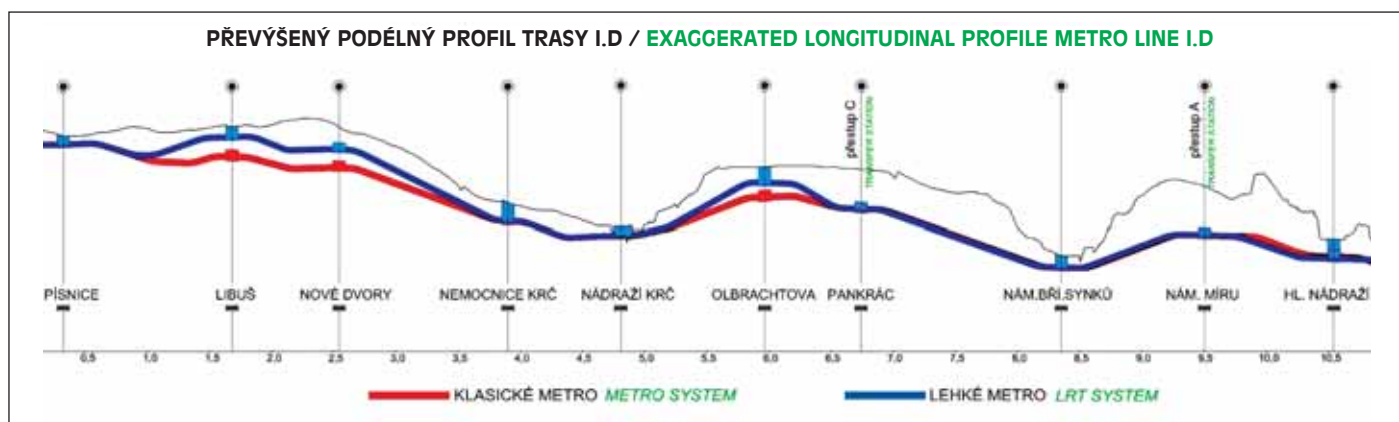
The variant 2 deals with a light rail mass transit concept. Regarding the horizontal alignment, it keeps the horizontal alignment designed for the traditional metro (Variant 1), but individual stations are closer to the surface, as allowed by local conditions. The Zálesí station is, similarly as in the variant 1, replaced by the Nemocnice Krč station. The Hlavní Nádraží station is situated in a position set off in the northwest direction to the close vicinity of railway areas. The operational length of this variant of the route is also of 10.2 km.

It must be added for the sake of completeness that also legislative issues will probably have to be solved should the light rail system or another similar system be introduced. The technical level of today produced trains eliminates differences between metro cars and tramway cars. The LRT or light metro conception has been used for rather a long time. Those trains are capable of safe operation in the conditions of tramlines while providing travelling comfort of traditional metro. No explicit regulations exist currently for this track conception. The main issues are the spatial arrangement of railway structures and geometrical configuration of rails; the current regulations valid for tramlines allow more economic alignment, differing clearance profiles for the tramline and metro, and other aspects. The Ministry of Transport, the Department of Railway Tracks and Railway Transport, are not preparing any regulation for the light metro or LRT. It would certainly be possible to start from regulations used in other EU member countries.

DESCRIPTION OF THE VARIANT 1 STATIONS

The Písnice Station

The Písnice station is very important both for the overall line D and the southern sector, but also, above all, for the onward transport services operating outside the agglomeration. This is because the station will become a large traffic terminal for buses and for car traffic. At the same time, the station is likely to be a three-rail terminal. Running rails continue further as a connecting track to the planned depot for the Line D in Písnice. This arran-



Obr. 2 Převýšený podélný profil trasy I.D. (varianta 1 a 2)

Fig. 2 Exaggerated longitudinal profile line I.D. of the Variant 1 and 2

Pro úplnost je třeba v této souvislosti dodat, že s případným zavedením systému lehkého metra či obdobného systému bude možná nutné řešit i otázky legislativní. Technická úroveň dnes vyráběných vozidel stírá rozdíly mezi vozidly metra a vozidly tramvají. Již delší dobu se prosazuje a užívá pojem LRT respektive lehké metro. Tato vozidla jsou schopna bezpečného provozu v podmínkách tramvajových tratí, i když svou charakteristikou umožňují dopravní komfort klasického metra. Pro takto pojímanou dráhu v současné době neexistují jednoznačné předpisy. Jde zejména o prostorové uspořádání staveb dráhy a geometrické uspořádání kolejí, kde současné předpisy pro tramvajové tratě umožňují ekonomičtější vedení tratí. Jiný průřezný průřez pro tramvajovou trať a metro trať a další souvislosti. Ministerstvo dopravy – odbor drah a železniční dopravy – žádný předpis pro lehké metro nebo LRT nepřipravují. Samozřejmě by bylo možné vyjít z předpisů užívaných v jiných zemích EU.

POPIS JEDNOTLIVÝCH STANIC VARIANTY 1

Stanice Písnice

Stanice Písnice má značný význam, a to jak pro celou trasu a jižní sektor, tak především pro návaznou dopravu z aglomerace. Stane se totiž velkým dopravním terminálem pro autobusy a pro individuální automobilovou dopravu. Zároveň bude stanice pravděpodobně dlouhodobě koncová s tříkolejným uspořádáním. Traťové koleje pokračují jako koleje spojky do uvažovaného depa trasy D – depa Písnice. Toto uspořádání je vhodné při definitivním ukončení trasy D v tomto prostoru. Stanice je 8,30 m pod úrovní terénu, hloubená s ostrovním nástupištěm a dvěma povrchovými vestibuly.

Stanice Libuš

Stanice svou polohou odpovídá zásadám územního plánu. Přiléhá k Novodvorské ulici v protilehlé části sídliště Libuš a jejího centra vybavenosti. Stanice je navržena jako jednolodní ražená v hloubce cca 25 m pod terémem, s jedním povrchovým vestibulem orientovaným jižním směrem k podchodu pod Novodvorskou ulicí.

Stanice Nové Dvory

Je řešena jako ražená, TK cca 34 m pod terémem, se dvěma vestibuly. Typově se jedná o podzemní raženou jednolodní stanici se dvěma vestibuly, s možnou funkcí dočasně koncové stanice. Severní, hlavní vestibul se váže k Durychově ulici jako místu, kde je zajištěna přestupní vazba k návazné dopravě. Jižní vestibul orientovaný k Chýnovské ulici je navržen jako povrchový, s možností pozdějšího zakomponování do nové urbanistické struktury.

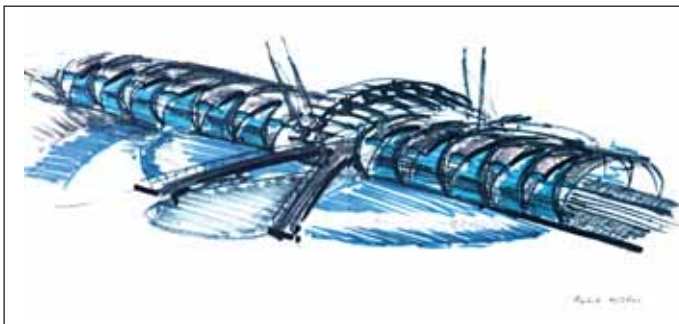
Stanice Nemocnice Krč

Stanice je navržena jako hloubená s ostrovním nástupištěm, ze kterého vedou vertikální komunikace na obou koncích do dvou vestibulů. Oba vestibuly jsou pojaty jako lehké prosklené pavilony jehlanovitého tvaru. Hloubka stanice je 13,0 – 15,5 m pod terémem.

Stanice Nádraží Krč

Na této trase jediná povrchová stanice má boční nástupiště a dva povrchové vestibuly. Je částečně na mostní konstrukci překračující Kunratický potok mezi rychlostní komunikací „Jižní spojkou“ a mezi areálem železniční stanice Praha-Krč. Přestože z hlediska obrátu cestujících bude Nádraží Krč asi nejméně zatíženou stanicí trasy D, spočívá její nesporný význam v nezpochybnitelném důležitém přestupu na železnici v souvislosti s tvorbou systému pražské integrované dopravy (PID) a s postupným zaváděním intervalové městské železniční dopravy.

Druhým, neméně důležitým aspektem urbanistického řešení stanice Nádraží Krč je fakt, že díky dvěma protilehlým povrchovým vestibulům a navazujícím pěším podchodům (severní pod rychlostní komunikací „Jižní spojka“ a jižní pod kolejištěm železničního nádraží) umožňuje stanice metra vzájemné propojení území severně od Jižní spojky, zelených ploch okolo původního zámečku a podél potoka, a území jižně od nádraží, která jsou dnes od sebe zcela izolována. Stanice metra tak zpřístupní existující plochy zeleně pro pěší a pomůže tak překonat stávající urbanistické bariéry v podobě dvou skoro rovnoběžných liniových dopravních staveb.



Obr. 3 Stanice Krč – architektonický návrh
Fig. 3 Perspective view of the Nádraží Krč Station

gement is suitable in the case of the Line D definitively terminating at this location. This cut and cover station, which is designed to have an intermediate platform and two surface concourses, is at a depth of 8.30m under the ground surface.

The Libuš Station

The position of the Libuš station is designed in compliance with the principles of the town planning scheme. It is in the neighbourhood of Novodvorská Street, across the Libuš residential area and its servicing facilities centre. The station is designed as a mined single-span structure, at a depth of about 25m under the ground surface, with one at-grade concourse oriented toward the south, toward a pedestrian subway under Novodvorská Street.

The Nové Dvory Station

This station is designed as a mined station, the top of rail (TR) about 34.0m under the ground surface, with two concourses. It is of an underground, mined, single-span, two-concourse type, capable of functioning as a terminus. The northern, main concourse is connected to Durychova Street, which is a place where a transfer link to onward means of transport is provided. The southern concourse is oriented toward Chýnovská Street. It is designed as an at-grade structure, which will be easy to incorporate to the new urban structure in the future.

The Nemocnice Krč Station

The station is designed as a cut-and-cover structure, with an intermediate platform connected at the ends with concourses via vertical roads. Both concourses are designed as lightweight glazed pyramid-shaped pavilions. The station is 13.0 – 15.5 deep under the surface.

The Nádraží Krč Station

This is the only at-grade station on this line. It has side platforms and two at-grade concourses. It is built partially on a bridge structure spanning Kunratic Brook between the “Southern Connection” expressway and the area of the railway station Prague – Krč. Despite the fact that the station is likely to be the least exploited station of the Line D in terms of the volume of passenger traffic, its undisputed significance lies in the unquestionable importance of the transfer to railway in the context of the development of the Prague integrated transit system and gradual implementation of an interval urban railway traffic system.

The other, not less important town design aspect of the Nádraží Krč station is the fact that owing to the pair of opposite at-grade concourses and connected pedestrian subways (the northern subway is under the “Southern Connection” expressway, and the southern under the station yard) the metro station allows the interconnection of the area found north of the Southern Connection, the grassed areas around an original manor-house and along a stream, and areas south of the railway station, which are today completely isolated from each other. In this way the metro station will make the green areas accessible for pedestrians, thus it will help to overcome the existing urban barriers formed by a couple of nearly parallel line traffic structures. A glazed steel structure of the platform and connected concourses will provide a pleasant contrast with the other underground metro stations. Daylight penetrating to the platform, the possibility to watch surrounding greenery and immediately adjoining water surfaces from the metro car interior, as well as the night illumination of the grounds, should represent architectural aspects for overall cultivation of this, today “forgotten” corner of Prague.

The Olbrachtova Station

This is a mined single-vault station with a pair of side platforms. It is situated under Na Strži Street, with the top of rail (TR) level about 26.0m under the ground surface. The only at-grade concourse hall is placed to the free space of the south-western quarter of the intersection of Jeremenkova, Olbrachtova and Na Strži Streets.

The Pankrác Station

This single-vault mined station with side platforms and the TR level about 33.0m under the ground surface is situated in the close vicinity of the cut-and-cover station existing on the Line C, in an area limited on one side by the intersection of Na Pankráci and Na Strži Streets. The construction will create a passenger interchange node comprising the station on the Line C and the station on the Line D.

The Náměstí Bratří Synků Station

This is a structure where combined techniques are to be utilised. The 30m long part of the station that is situated at a shallow depth under existing buildings is an atypical double-vault mined structure with load bearing pillars in the centre of the platform. The station is situated to the flood plain of Botič Brook, and a major portion of the tunnel profile will extend into saturated fluvial sediments. A special microtunnelling technique is therefore being under consideration, i.e. a continuous canopy consisting of micro-tunnels installed along the profile of the future station tunnel to stabilise the subsequent partial excavation faces. The other part is situated outside the building. It is a large-span cut-and-cover structure with 2 rows of internal columns. The TR level is about 11.0m under the ground surface. The station has side platforms

Prosklená ocelová konstrukce nástupiště a navazujících vestibulů bude představovat příjemný kontrast oproti ostatním podzemním stanicím metra. Průnik denního světla na nástupiště, možnost pozorovat okolní zeleň i bezprostředně navazující vodní plochy z interiéru soupravy metra a večerní osvětlení areálu by měly představovat důležité architektonické aspekty pro celkovou kultivaci tohoto dnes „zapomenutého“ zákoutí Prahy.

Stanice Olbrachtova

Je ražená jednolodní stanice s dvojicí bočních nástupišť, situovaná pod ulicí Na Strži, s TK cca 26 m pod terénem. Jediný povrchový vestibul je umístěn do volného prostoru jihozápadního kvadrantu křižovatky ulic Jeremenkovy, Olbrachtovy a Na Strži.

Stanice Pankrác

Jednolodní ražená stanice s bočními nástupišti, s TK v hloubce cca 33 m pod povrchem terénu, je situovaná v těsné blízkosti hloubené stanice na trase C v oblasti ohraničené z jedné strany křižovatkou ulic Na Pankráci a Na Strži. Vzniká tak přestupní uzel tvořený stanicí na trase C a stanicí na trase D.

Stanice Náměstí bratří Synků

Po stavebně technické stránce se jedná o využití kombinovaných technologií, kdy část stanice situovaná mělce pod stávajícími budovami v délce 30 m je atypická dvoulodní ražená konstrukce s nosnými pilíři uprostřed nástupiště. Stanice je situována do údolní nivy Botiče a převážná část profilů tunelů bude zasahovat do zvodnělých fluvialních sedimentů. Při ražbě tohoto úseku stanice je proto uvažováno se speciální technologií mikrotunelování. To znamená, že po obvodu budoucího profilu stanice se vytvoří souvislá klenba z mikrotunelů, která zajišťuje stabilitu následně prováděných dílcích výrubů. Druhá část situovaná mimo budovy je halová hloubená konstrukce s dvěma řadami vnitřních sloupů. Hloubka TK pod terénem je cca 11 m. Stanice má ostrovní nástupiště a dva vestibuly. Jižní povrchový vestibul je situován přímo do prostoru náměstí bratří Synků.

Stanice Náměstí Míru

Stanice Náměstí Míru se středem situovaným s TK v hloubce cca 40 m pod terénem je řešena jako ražená jednolodní stanice s ostrovním nástupištem s přímým přestupem na trasu A a se dvěma vestibuly, situovanými k vyústění ulice Sázkavská na Vinohradskou třídu a k vyústění ulice Sázkavská do Francouzské ulice. Je tak umožněn přímý přestup z trasy D i z trasy A na všechny tramvajové linky v dané oblasti. Bezbariérový přístup z terénu na nástupiště trasy D i trasy A zajišťují svislé výtahy do Korunní třídy a nástupiště na obou trasách jsou rovněž propojena výtahem.

Stanice Hlavní nádraží

Jednou z rozhodujících dopravních staveb celoměstského významu, která výrazně ovlivňuje možnosti využití přestavbového území v jihozápadním kvadrantu křižovatky ulice Seifertova, Italská je i plánovaná trasa metra D, respektive stanice metra Hlavní nádraží. Stanice bude realizována pod ochrannou konstrukcí ve tvaru obráceného „U“. Tato konstrukce slouží jednak pro založení komerčních objektů budovaných v předstihu, taktéž pro následnou „vestavbu“ stanice metra. V ochranné konstrukci investor nadzemní části stavby zajistí technickou realizovatelnost potřebných prostupů pro potřeby vyústění vertikálních komunikací ze stanice (severní vestibul) a pro realizaci příjezdových ramp ke stavbě metra.

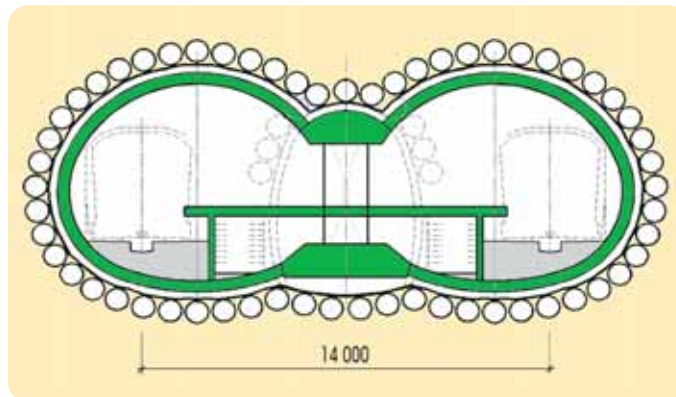
POPIS VARIANTY 2

Základním principem této varianty je max. přiblížení trasy lehkého metra k povrchu: Ve vazbě na užitá vozidla se sleduje menší průřezný průřez, větší podélné sklony v trase (přizpůsobení trasy terénu za účelem zlevnění výstavby) a případný automatický provoz.

Prostorové uspořádání stanic je totožné jako v variantě 1, stanice jsou však přiblíženy více k povrchu do polohy, kterou dovoluje max. možné podélné stoupání trasy v rámci daného terénního reliéfu. V případě stanic Náměstí Míru a Náměstí bratří Synků zůstává rovněž i jejich výšková poloha totožná s variantou 1, neboť stanice Náměstí bratří Synků již nelze k povrchu více přiblížovat z prostorových důvodů a u stanice Náměstí Míru je prioritní krátkost přestupní vazby ke stanicí trasy A.

Obecně z hlediska směrového vedení ve variantě 2 lze konstatovat, že trasa kopíruje stopu varianty 1, to znamená, že návrhové parametry jsou plně kompatibilní s klasickým metrem. Pokud se týká sklonových poměrů jsou v úseku Pankrác – Hlavní nádraží ponechány z důvodu praktické neměnnosti výškového uložení stanic, dle návrhu varianty 1, tedy opět plně kompatibilní s klasickým metrem. V úseku Nové Dvory – Pankrác jsou pak v návrhu použity sklony větší než 40 ‰. Tím je dosaženo přiblížení stanice Nové Dvory k terénu o cca 14 m (TK – 19 m, stanice však zůstává ražená, trojlodní) a stanice Olbrachtova o cca 12 m (TK – 14 m, stanice je řešena jako hloubená). Zvednutí stanice Nové Dvory s sebou přineslo možnost přiblížit k terénu i stanici Libuš (TK – 12 m, stanice řešena jako hloubená).

ING. JIRÍ RŮŽIČKA, e-mail: ruzicka@metroprojekt.cz,
ING. VLADIMÍR CIGÁNEK, e-mail: ciganek@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT PRAHA, a. s.



Obr. 4 Příčný profil ražené části stanice Náměstí bratří Synků

Fig. 4 Cross section through the mined part of the Náměstí bratří Synků Station

and two concourses. The southern at-grade concourse is situated directly to the space of Bratří Synků Square.

The Náměstí Míru Station

The Náměstí Míru station with the TR level at a depth of roughly 40.0m under the ground surface is designed as a mined single-vault station with an intermediate platform, with direct transfer to the Line A, and with two concourses situated towards the points where Sázkavská Street meets Vinohradská Avenue and Francouzská Street respectively. This design allows direct transfer from the Line D and Line A to all tramlines in the given area. The barrier-free access from the ground level to the platform of the Line D is provided by vertical lifts with their entrances in Korunní Avenue. The platforms on the lines D and A are also interconnected by a lift.

The Hlavní Nádraží Station

One of the deciding traffic structures important for the whole city, which significantly affects the possibilities of making use of the area of reconstruction existing in the south-western quarter of the intersection of Seifertova and Italská Streets, is also the planned metro Line D, or the metro station Hlavní Nádraží. This station will be built under an inverted U-shaped protective structure. This structure will allow both the commercial buildings that are to be built in advance of the metro to be founded, and the metro station to be constructed subsequently inside this space. The client for the above ground part of the project will take care of technical feasibility of execution of openings in the protective structure required for the passage of vertical routes leading from the station (the northern concourse) and for the access ramps built for metro construction purposes.

DESCRIPTION OF THE VARIANT 2

The basic principle of this variant is the effort to get the light metro alignment as close to the surface as possible. The aim of utilisation of smaller vehicles is to achieve a smaller clearance profile, steeper longitudinal gradients along the route (accommodation of the alignment to the terrain configuration so that the project is cheaper) and possibly automatic operation.

The spatial design of the stations is identical with the design used in the variant 1, although the stations are placed closer to the ground surface, to a position that is allowed by the maximum longitudinal gradient possible in the framework of the given terrain configuration. Regarding the Náměstí Míru and Náměstí bratří Synků stations, even the elevation remains the same as the elevation used in the variant 1. The reason is that the Náměstí bratří Synků station cannot be closer to the surface because of the existing structures in the underground space, and the priority for the Náměstí Míru station is to have short transfer relationships to the existing station on the Line A.

In general, from the aspect of the horizontal alignment designed in the variant 2, it can be stated that the alignment copies the trace of the variant 1, which means that the design parameters are fully compatible with a traditional metro system. Regarding the gradients, for the reason of virtual invariability of the elevation of the stations within the section Pankrác – Hlavní Nádraží, the route gradient is left identical with that designed in the variant 1. It is therefore again fully compatible with the traditional metro. Gradients over 40 ‰ are designed for the section Nové Dvory – Pankrác. This solution gets the Nové Dvory station closer to the ground surface approximately by 14m (TR – 19m, the station remains to be of the mined three-vault type) and the Olbrachtova station roughly by 12m (TR – 14m, cut-and-cover design). The risen station Nové Dvory allowed also the Libuš station to get closer to the surface (TR – 12m, cut-and-cover design).

ING. JIRÍ RŮŽIČKA, e-mail: ruzicka@metroprojekt.cz,
ING. VLADIMÍR CIGÁNEK, e-mail: ciganek@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT PRAHA, a. s.

KOLEKTORY V PRAZE

UTILITY SUBWAYS IN PRAGUE

JAN SOCHŮREK

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Hlavní město Praha
Investor	Hlavní město Praha
Projektant	INGUTIS, spol. s r. o.
Uživatel	Kolektory Praha, a. s.

ÚVOD

V Praze bylo v posledních 50 letech postaveno mnoho kilometrů kolektorových tras (do současnosti je to celkem asi 90 km, z toho ražených asi 15 km v centru Prahy), které díky své koncepci a vzniklé legislativě patří k jedněm z technicky nejdokonalejších na světě.

Podstatnou předností kolektorových tras je předcházet nenadálým škodám způsobeným výkopovými pracemi, čímž je zvyšována bezpečnost před následky náhlých havárií, jako např. výbuchu plynu, porušení vodovodního potrubí, atd. Sítě je možno průběžně sledovat, vizuálně kontrolovat, a tak předcházet výše uvedeným haváriím, což uložení v chodníku nebo vozovce neumožňuje. Sledování provozu kolektoru je jednoduché pomocí počítačové techniky propojené s moderními monitorovacími systémy nepřetržitě 24 hod.

Toto vše včetně skutečnosti, že práce při stavbě probíhají převážně v podzemí jako ražené dílo bez dopadu na povrch a na provoz, má kladný vliv nejen na životní prostředí, ale i na život obyvatel města.

Prospěšnost kolektorů, které znamenají z počátku (na první pohled) vysoké investice, je během času rychle potvrzena komerčním využitím místa v kolektoru, což bylo prakticky prokázáno na již realizovaných stavbách kolektorů v Praze.

Důležitým prvkem pro rozvoj kolektorové sítě je uvažovaný systém a výhledový záměr celé sítě kolektorů, podle kterého se jednotlivé úseky dají finančně plánovat a po realizaci pak uvádět do samostatného provozu. Tímto plánovacím dokumentem byl v minulosti „Generel kolektorizace centrální oblasti Prahy“ (vydán v roce 1982, další v roce 1984 a poslední v roce 1991), dle něhož bylo v minulosti realizováno několik kolektorů 2. a 3. kategorie. Pro plánování rozvoje kolektorové sítě na další období, která jsou stanovena do roku 2010 a po roce 2010, by měla sloužit vypracovaná plánovací dokumentace kolektorové sítě (z roku 1999), která je součástí „Urbanistické studie pražské památkové rezervace“, a ta je i podkladem územního plánu této oblasti, případně slouží jako podklad i pro regulační plány dílčích městských částí. Další etapa studie kolektorizace v rozšířené oblasti i do městských částí mimo hranice pražské památkové rezervace byla dokončena a předána v listopadu 2005. Jedná se o nový dokument, který doplňuje územní plán kolektorové sítě z roku 1999 o nové rozvojové oblasti.

KONCEPCE ŘEŠENÍ KOLEKTOROVÝCH SYSTÉMŮ V CENTRÁLNÍ ČÁSTI HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY

Koncepce kolektorových systémů v centrální části Prahy je založena s ohledem na rozlohu předmětného prostoru, to jest na principu uložení sítí podle toho, zda mají význam pro celou centrální část, nebo pouze pro úzce vycílenou oblast. Jedná se o dva typy rozvodů, z nichž první slouží pro přivedení média nebo informační cesty do centrální oblasti a rozvedení do uzlových bodů a druhý pro přímý rozvod ke konkrétním odběratelům či klientům do jednotlivých nadzemních objektů.

Prvně uvedené sítě jsou vlastně páteřními systémy 2. kategorie. Druhou skupinu tvoří rozvody z těchto napojení zajišťující zásobování nebo spojení konkrétních odběratelů a účastníků. Jedná se tedy o sítě 3. kategorie. Podle tohoto klíče je řešena i koncepce kolektorové sítě s tím, že i označení kolektorů je odvozeno od uložených sítí a rozeznáváme tedy:

- Kolektory 2. kategorie – páteřní
- Kolektory 3. kategorie – distribuční

KOLEKTORY 2. KATEGORIE

Tyto páteřní kolektory jsou situovány do hloubek cca 25 až 30 m pod upraveným terénem, tedy jejich trasy nekolidují s úložnými systémy inženýrských sítí a je možno navrhnout co nejpřímější propojení jednotlivých bodů, které určují kudy je třeba dílo vést s potřebou dopravit tam média nebo zajistit spojové a informační cesty.

BASIC DATA

Region	the City of Prague
Employer	the City of Prague
Designer	INGUTIS, spol. s r.o.
User	Kolektory Praha a. s.

INTRODUCTION

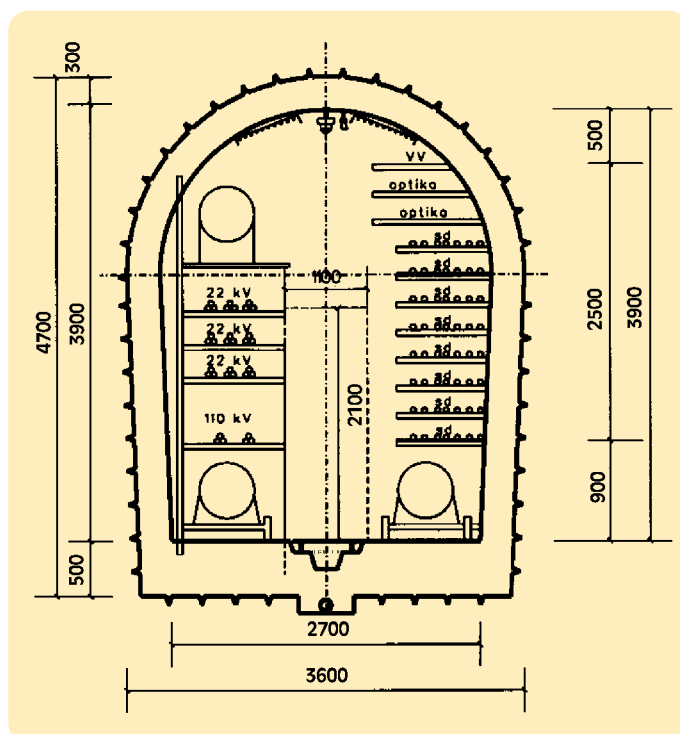
Many kilometres of utility subways have been built in the City of Prague during previous 50 years (about 90km in total, including 15km of mined tunnels in the Prague downtown). Owing to their conception and relevant legislation, they belong among the best utility subways in the world from the technical point of view.

Significant advantage of utility subway routes is the fact that this solution prevents damages caused by excavation of trenches; thus the safety against consequences of sudden emergencies, e.g. explosion of gas, major water main bursts, etc. is enhanced. The utility lines can be followed continually and inspected visually so the above-mentioned incidents are prevented. This is impossible in the case of the placement under a pavement or roadway. The operation of a utility subway can be monitored continuously, round-the-clock, simply using computer-based techniques interconnected with up-to-date monitoring systems.

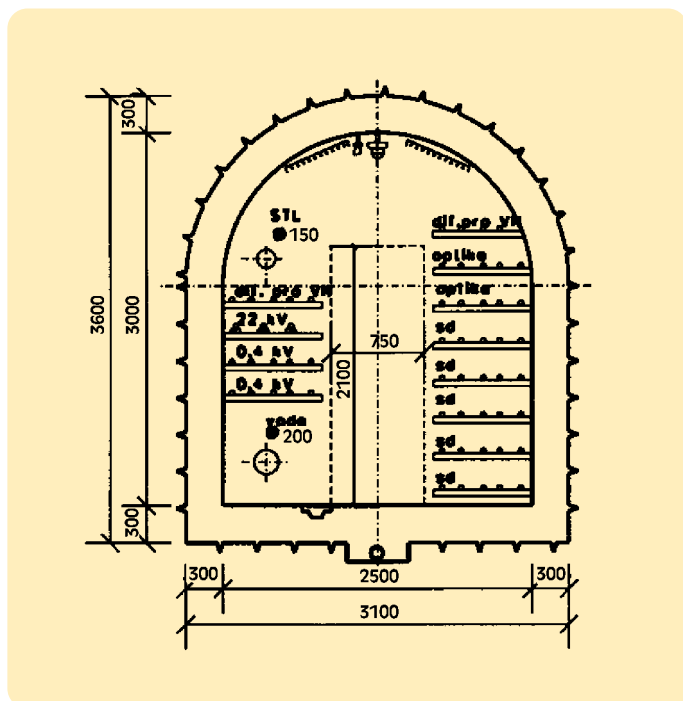
All of this, including the fact that the construction work is carried out mostly underground, without any impact on traffic, affects positively not only the living environment, but also the living of residents.

The benefits of utility subways, which require seemingly too large volumes of investment at the beginning, become visible in a short time of commercial utilisation of the space in the subway. This has been proven on utility tunnel projects completed recently in Prague.

An element significant for the development of a network of utility subways is the intention to execute the financial planning, construction and operation of individual sections of the future system separately. The planning document dealing with this issue was the “Master Plan for development of the network of utility subways in the central area of Prague” (issued in 1982,



Obr. 1 Vzorový příčný řez kolektorem 2. kategorie – typ B
Fig. 1 Typical cross section through the 2nd category utility tunnel – type B



Obr. 2 Vzorový příčný řez kolektorem 3. kategorie – typ A
Fig. 2 Typical cross section through the 3rd category utility tunnel – type A

Vstupy a výstupy sítí na tomto systému jsou řešeny pomocí šachet, které je spojují buď přímo s povrchem, nebo s kolektorem 3. kategorie, často pak povrch s oběma kolektory současně. Posledně jmenované řešení je výhodné hlavně proto, že sdružuje dopravní a únikové cesty obou systémů.

KOLEKTORY 3. KATEGORIE

Kolektory 3. kategorie, tedy distribuční sloužící pro rozvedení sítí do povrchových objektů, jsou situovány do hloubek cca 6 až 11 m. Limitující pro volbu založení stavby jsou hlavně průběhy stávajících stokových sítí, kanalizačních rozvodů, vč. přípojek a tvárníkových tratí sdělovacích a informačních systémů.

Podle konfigurace povrchové zástavby a požadavků na četnost ukládaných sítí se zřizuje buď jeden kolektor s oboustrannými přípojkami, nebo kolektory dva, každý při jedné čáře zastavení s jednosměrnými přípojkami. Navíc se pak realizují příčná propojení obou souběžných kolektorů 3. kategorie z důvodu nutného dlíhého zokruhování některých inženýrských sítí.

Vstupy a výstupy sítí jsou řešeny tak, jak je uvedeno v předchozí kapitole s tím, že je snahou navrhovatele trasy zajistit průchozí propojení i mezi sousedními stavbami kolektorů jak 2., tak 3. kategorie. Pokud toto nelze řešit průchozím profilem s požadovanou světlostí pro pohyb osob, řeší se takový propoj systémem sestavy chráničků umožňujících alespoň průchod sítí – týká se pouze 3. kategorie.

Spojení kolektorů 3. kategorie s objekty na povrchu je řešeno tak, že z kolektorové přípojky jsou provedeny vrty, které podle cílového místa, kde má síť přejít k odběrateli nebo účastníkovi, směřují do suterénů, do průjezdu, nebo před objekt do chodníku.

LIMITUJÍCÍ FAKTORY PRO NÁVRH VEDENÍ KOLEKTOROVÝCH TRAS

Limitující faktory, které zásadně ovlivňují jednak směrové vedení, jednak výškové vedení tras kolektorů 3. kategorie, lze rozčlenit do následujících okruhů problematik:

- uspořádání technologických profilů sružené trasy podle problémových nároků na počet uložených sítí,
- velikost výrubu tunelu a jeho zajištění podle technologie ražby a skladby ostění tunelu,
- vliv přilehlé zástavby (charakter objektu, hloubka založení, celkový statický stav),
- vliv stávajících inženýrských sítí (hustota uložení, stav, event. přeložitelnost),
- nároky na řešení místních komunikací a zachování dopravy na povrchu vč. městské hromadné dopravy,
- geologické a hydrogeologické poměry,
- statické aspekty – přípustné deformace na okolní zástavbě a sítích v nadloží,

next issue in 1984, last issue in 1991), which was the basis for the construction of several 2nd and 3rd category utility subways in the past. The planning of the development of the network of utility subways in the periods to come, i.e. till 2010 and after 2010, should be controlled by utility subway planning documents approved in 1999, which are part of the "Town-Planning Study for the Historic Prague Reserve". This study is also the basis of the Land-Use Plan for this area or serves as a basis for partial regulation plans of city districts. Another phase of the study covering utility subways in an extended area, i.e. in city districts outside the Historic Prague Reserve area, was completed and submitted in November 2005. It is a new document that adds new development areas to the 1999 land-use plan for the utility subway network.

THE CONCEPTION OF THE SOLUTION OF UTILITY SUBWAY SYSTEMS IN THE CENTRAL PART OF PRAGUE

The conception of utility subway systems in the central part of Prague is developed taking into consideration the extent of the space in question. A principle of placement of services according to their purpose is applied, i.e. whether they are designed for the whole central area or for a specifically delimited area. Two different types of distribution systems are in question. The first type is designed to carry media or information routes to the central area and distribute them to nodal points. The direct distribution to particular consumers or subscribers, to individual surface buildings, is provided by the other type.

The former type of networks are in reality 2nd category arterial systems. The latter group consists of distribution routes linking to those systems. It provides supplies or connection for particular consumers and subscribers, therefore it forms 3rd category distribution systems. The conception of the utility tunnels is also solved according to this key, including the denomination of utility subways, which is derived from the utility lines installed. We therefore distinguish the following types:

- 2nd category utility subways, i.e. arterial subways
- 3rd category utility subways, i.e. distribution subways

2ND CATEGORY UTILITY SUBWAYS

These subways are situated to depths about 25 to 30m under the finished grade level. Therefore their routes do not collide with installation systems of infrastructure services, and the connection to individual points to which the media are to be supplied or communication and information routes are to be led can be designed as straight as possible.

Entries and exits of networks within this system are solved by means of shafts, which connect them either directly with the surface or via a 3rd category utility subway, often they also connect the surface with both utility subways concurrently. The latter solution is advantageous mainly because it combines traffic and escape routes of both systems.

3RD CATEGORY UTILITY SUBWAYS

The 3rd category utility subways, i.e. the distribution subways carrying the networks to surface buildings, are situated to depths about 6 to 11 m. Limiting elements regarding the design of the subway alignment are mainly the courses of existing sewers, sewerage lines including house services, and ducts for communication cables and information systems.

Depending on the configuration of surface buildings and requirements for the quantity of networks to be installed, either one subway with connections from both sides is designed, or a pair of subways, each of them along one street boundary line, with connections from one side. In addition, cross connections between two parallel 3rd category subways are built to allow formation of partial circuits where necessary.

Entries and exits of utility lines are solved as described in the chapter above. The route designer's effort is to provide walkways connecting neighbouring subways of both 2nd and 3rd category. If this structure cannot be designed as a profile passable for persons, the connection is solved by a system of casing pipes allowing at least the passage of utility lines (only 3rd category subways).

The connection between 3rd category utility subways and surface buildings is solved by means of boreholes drilled from the subway connection ending in basements, passages or in structures embedded in pavements, depending on the place where the network is designed to pass to the consumer or subscriber.

LIMITING FACTORS FOR THE DESIGN OF THE UTILITY SUBWAY ROUTE LOCATION

The limiting factors that significantly affect the line and level of 3rd category utility subways can be divided into the following circuits of issues:

- vliv výstavby na zástavbu a provoz města,
- vliv výstavby na životní prostředí,
- koordinace se stavbami jiných investorů, uvážení možnosti sdružených investic v podzemí,
- prognóza urbanistických záměrů v území (včetně prognózy rozvoje inženýrských sítí),
- investiční náročnost, časová a materiálová náročnost.

Ze srovnání těchto kritérií vyplývá zásadní rozdíl mezi podmínkami pro návrh kolektorů 2. a 3. kategorie. Pro kolektory 2. kategorie, zpravidla uložené a ražené v přímých trasách a ve větších hloubkách ve skalním podloží, se prakticky neuplatní vliv stávajících sítí a provozu města. Limitující faktory vedení tras se redukují na podmínky omezení vlivu ražby na deformace povrchu a zástavby, které však mohou být ve srovnání s kolektory 3. kategorie rozsáhlejší a s dalekosáhlými negativními důsledky. Výjimkou je pouze vyústění hloubených šachet na povrch, kde je kontakt s provozem města a sítěmi bezprostřední a plně odpovídá limitujícím faktorům kolektorů 3. kategorie.

DOPORUČENÉ, POPŘ. NAVRHOVANÉ ZPŮSOBY PROVÁDĚNÍ SDRUŽENÝCH TRAS

Řešené území zahrnuje Starého Město, Nového Město, Malou Stranu a část Smíchova. Kolektory jsou nadále ražovány dle účelu do dvou kategorií.

KOLEKTORY 2. KATEGORIE

Jsou navrhovány ražené pomocí frézy (např. Eikhof, popř. Alpina) převážně ve skalním podkladu geologických vrstev pražského algonkia. Vyztužení díla se navrhuje dle podmínek Nové rakouské tunelovací metody (dále NRTM) s plným využitím důlních rámců, stříkaného betonu a prefabrikované betonářské výztuže. Definitivní konstrukce kolektoru je tvořena také stříkaným betonem s přísadami zajišťujícími vodotěsnost. V podlaze kolektoru je dle ČSN 73 7505 osazena ocelová kolejová drážka pro usnadnění pohybu, montáží a revizí v kolektoru. Parametry sklonu kolektorové trasy se navrhuje tak, aby bylo možno gravitačně všechny trasy odvodnit směrem k šachtě J50 na Staroměstském náměstí. Inženýrské sítě se ukládají dle již dříve úspěšně vyzkoušených zvyklostí z realizovaného kolektoru Centrum I, popř. kolektorů v Brně.

KOLEKTORY 3. KATEGORIE – DISTRIBUČNÍ

Kolektory 3. kategorie jsou navrhovány ražené klasicky, ražba pomocí mechanizace s prefabrikovaným ostěním se po mnoha pokusech v minulosti neosvědčila. Pro nové trasy kolektorů 3. kategorie lze proto využít zkušeností z realizace kolektoru C1A a kolektoru Příkopy, kde bylo docíleno v samotném centru města v extrémně složitých geologických podmínkách vltavské terasy výborných výsledků. Poklesy nadloží se pohybovaly do max. hodnoty 4 mm,



Obr. 3 Fotografie z realizace kolektoru Na Příkopech – výstavba
Fig. 3 A picture from the work on the Na Příkopech utility subway – construction

- configuration of technological profiles of a combined route according to problematic requirements for the number of utility lines installed,
- the dimensions of the tunnel excavated cross-section and the excavation support according to the excavation technique and the composition of the lining,
- the influence of existing buildings along the route (character of the structures, foundation depth, overall structural condition),
- the influence of existing utility networks (density of lines installed, condition, or possibility to be relocated),
- demands on the solution of local roads and preservation of surface traffic including public transportation,
- geological and hydrogeological conditions,
- structural analysis aspects, i.e. permissible deformations of existing buildings and utility services found in the overburden,
- the influence of the construction on the existing buildings and traffic in the city,
- the influence of the construction on the living environment,
- co-ordination with other projects, consideration of possibility of combined underground investment projects,
- prognosis of town planning conceptions in the area (including a prognosis on development of utility networks)
- demands on capital, time and materials.

A comparison of the above criteria signals a basic difference between 2nd and 3rd category utility tunnel design conditions. The influence of existing utility networks and surface traffic virtually does not apply to 2nd category subways, which are usually straight, placed and excavated at bigger depth, in the bedrock. The set of factors limiting the alignment design is reduced to conditions restricting the influence of the excavation on deformations of the surface and existing buildings. This influence, however, may be more extensive and accompanied with much more serious negative consequences compared to the influence of the 3rd category subways.

RECOMMENDED OR PROPOSED METHODS OF EXECUTION OF COMBINED ROUTES

The area being solved covers the Old Town, Lesser Town and a part of the Smíchov district. Utility subways are further divided into two categories, according to the purpose:

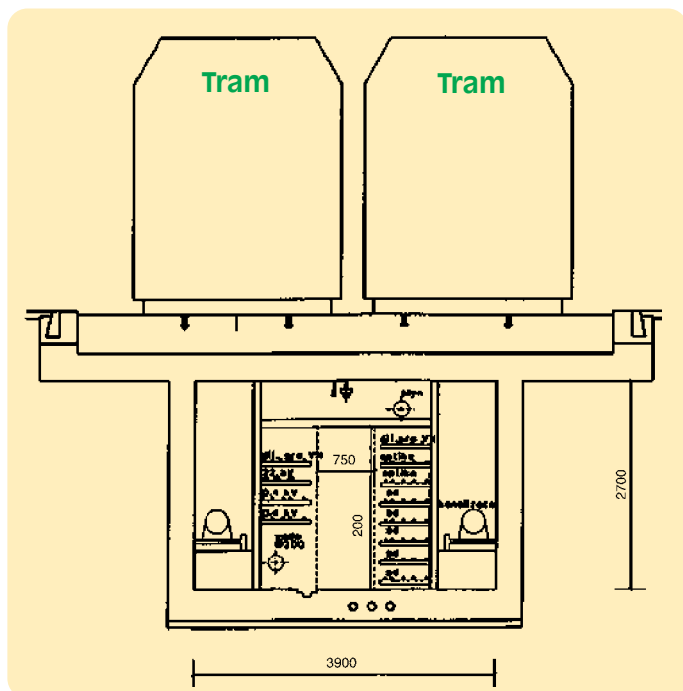
2ND CATEGORY UTILITY SUBWAYS

Roadheader (e.g. Eikhof or Alpina) excavation is proposed, mostly through the bedrock of geological measures of the Prague Algonkian. The excavation support is designed depending on the conditions of the New Austrian Tunnelling Method (NATM), fully utilising colliery frames, sprayed concrete and welded mesh. Final structures of the subway also consist of sprayed concrete with an admixture ensuring waterproofing. According to ČSN 73 7505, a steel rail track is embedded in the bottom of the subway to facilitate movement, installation and operations and inspection. The parameters of the utility subway gradient are designed so that all routes can be gravity-drained in the direction toward the J50 shaft in Old Town Square. Utility lines are installed according to the practice well proven in the utility subway Centrum I or subways in Brno.

3RD CATEGORY UTILITY TUNNELS – DISTRIBUTION

Traditional excavation methods have been designed for 3rd category utility tunnels because mechanised excavation with prefabricated lining did not prove to be suitable in the past. This is why the experience gained in the execution of the C1A and the Příkopy utility subways, where excellent results were achieved in the very centre of the city, in very difficult geological conditions of the Vltava River's terrace, can be applied to new routes. Maximum measured values of settlement amounted to 4mm with the majority being close to zero. The excavation through totally incohesive fine sands at a level just underneath sewers is designed with primary support consisting of horizontal jet grouted columns. The excavation method is conventional, using colliery sets or lattice girders and shotcrete with mesh.

The final lining structure is from shotcrete, identical with that of the 2nd category utility subways. House connections are driven in an uphill gradient, perpendicularly to building facades. Individual media continue from the ends of the connections through cased inclined boreholes. Utility subways designed at shallow depths are excavated by traditional methods using colliery sections and forepoling with steel lagging. Sprayed concrete



Obr. 4 Vzorový příčný řez kolektorem 3. kategorie – vzor Curych
Fig. 4 Typical cross section through the 3rd category utility tunnel – Zurich design

převážná většina naměřených hodnot byla blízka nule. Ražba v úrovni pod kanalizací ve zcela nesoudržných jemných píscích je navrhována s primárním zajištěním nadloží pomocí pilířů tryskové injektáže. Vlastní ražba je navrhována klasická v důlních rámech nebo příhradové vyztuži a s ostěním z vyztuženého stříkaného betonu.

Definitivní konstrukce je ze stříkaného betonu jako u kolektorů 2. kategorie. Domovní přípojky jsou navrženy ražené „dovrchně“ kolmo na líc domů. Z konce přípojky se navrhuje „dovrchně“ vystrojené vrty pro jednotlivá média. Mělce navržené trasy jsou raženy klasickým způsobem s vyztužením důlními profily a hnaným pažením s ocelovými pažinami. Definitivní ostění se navrhuje ze stříkaného betonu, přípojky k domům jsou navrhovány také až na líc zdíva suterénu. Z přípojek se provádějí vystrojené vrty do míst napojení inženýrských sítí.

KOLEKTORY 3. KATEGORIE BUDOVANÉ V SOUBĚHU S REKONSTRUKCÍ TRAMVAJOVÉHO TĚLESA

Jde o specifickou metodu realizace distribučních kolektorů navrženou pro úseky kolektorů prováděných současně s rekonstrukcemi tramvajových tratí. Program tohoto způsobu obnovy by měl být zařazen do časového plánu rekonstrukcí realizovaných DP – Elektrické dráhy.

Konkrétně se jedná o následující navrhované kolektory: kolektor soutěska Karlovy Lázně, kolektor Letenská, kolektor Karmelitská. Kolektor Spálená – (podmínečně) a kolektor Ječná – (podmínečně) – obě ulice mají tramvajové těleso, ale nejsou limitovány šířkou ulice jako předchozí soutěsky, proto není nutno uvažovat s výše uvedenou metodou výstavby distribučního kolektoru v celém průběhu těchto ulic.

Pro návrh lze využít zkušeností z již realizovaného kolektoru ve Švýcarsku ve městě Curych, jeden z mnoha příkladů použití je v ulici Löwenstrasse. Jednoduše řečeno se jedná o železobetonové krabicové těleso, které je realizováno do pažené otevřené rýhy pod tramvajovým tělesem. Stropní železobetonová deska tvoří zároveň podklad pod tramvajové koleje. Konstrukce kolektoru je definitivní a je ji možno z líců strany izolovat proti zemní vlhkosti.

Kolektor v Curychu obsahuje kromě plynového potrubí i kanalizaci, vč. zaústění domovních přípojek. Přípojky k domům je možno realizovat buď vrtané přímo z kolektoru, nebo provést stejnou, byť i prefabrikovanou konstrukci přípojkového profilu v paženém výkopu kolmo k domu. Tento způsob provádění kolektoru se nabízí i v těch částech centra Prahy, kde došlo v roce 2002 díky povodni k velkým poruchám na kanalizacích a vodovodech a pod tramvajovým tělesem vznikly díky tomu velké kaverny, které se musí odstraňovat výkopem celého středu ulice až na úroveň kanalizací. V případě řešení rekonstrukce celé ulice, tramvajové trati a inženýrských sítí systémem podpovrchového kolektoru by byly veškeré problémy s případnou další velkou vodou do budoucna definitivně vyřešeny. Zároveň tento způsob řeší i otázku častých rekonstrukcí těles tramvajových tratí.

ING. JAN SOCHŮREK, INGUTIS s. r. o., e-mail: sochurek@ingutis.cz



Obr. 5 Fotografie z realizace kolektoru Na Příkopech – definitivní stav
Fig. 5 A picture from the work on the Na Příkopech utility subway – final state

final lining is designed; house connections are designed to reach the surface of basement walls. Cased boreholes are carried out from the connections to the utility lines destinations.

3RD CATEGORY UTILITY SUBWAYS BUILT CONCURRENTLY WITH RECONSTRUCTION OF TRAMLINE TRACKBED

A specific procedure of construction of distribution utility subways is designed for the subway sections built concurrently with reconstruction of tram trackbed. Application of this procedure of reconstruction is to be incorporated into the time-schedule of reconstruction of tramlines performed by DP – Elektrické dráhy (the Tram-Lines branch of the Passenger Transport Authority). In particular this procedure is proposed for utility subways under the following streets: “Bottleneck” Karlovy Lázně, Letenská, Karmelitská. Conditionally it is also proposed for the subways under Spálená Street and Ječná Street, where tramlines do exist but the street width, as opposed to the former streets, is sufficient and does not necessitate the application of this procedure.

The design can take advantage of the experience gained from a recently completed utility subway in Zurich, Switzerland. One of many instances of the application is in Löwenstrasse Street. Simply put, this is a reinforced concrete box structure erected in an open cut box. The reinforced concrete roof slab forms at the same time the tramline trackbed. The utility tunnel structure is final; it can be provided with waterproofing on the internal face.

Apart from a gas pipeline, the utility subway in Zurich houses a sewer with house connections. The connections can be either drilled from within the subway or also constructed in an open cut box perpendicular to the building, using a precast design instead of an in situ structure, with a profile required for house connections. This method of utility subway construction offers itself also in the parts of the Prague centre where major defects on sewers and water mains were caused by the 2002 floods, resulting in large caverns eroded under the tramline trackbed. The defects must be removed by excavating the complete central part of the street down to the level of the sewer or water main. If the overall reconstruction of the street, tramline and utility lines is solved by the sub-surface utility subway method, all problems accompanying contingent floods in the future will be resolved for ever. At the same time, this method solves the issue of frequent tramline reconstruction operations.

ING. JAN SOCHŮREK, INGUTIS s. r. o., e-mail: sochurek@ingutis.cz

PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNA DLOUHÉ STRÁNĚ

THE DLOUHÉ STRÁNĚ PUMPED STORAGE SCHEME

JIŘÍ BARTÁK, JIŘÍ SMOLÍK

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Olomoucký kraj, Hrubý Jeseník		
Investor	ČEZ, a. s.		
Projektant	HYDROPROJEKT, a. s., závod Brno		
Zhotovitel	INGSTAV Opava, a. s., dodavatel stavení části SUBTERRA, a. s., subdodavatel podzemní části ČKD BLANSKO vyšší dodavatel technologické části		
Uživatel	ČEZ, a. s., Ostravsko-karvinské elektrárny		
Období výstavby	1978 – 1996		
Objem stavebních prací	ražené objekty	290 000	m ³

ÚVOD

Přečerpací vodní elektrárny (PVE) jsou celosvětově osvědčeným moderním regulačním prvkem energetických soustav. Výstavba PVE Dlouhé Stráně na severu Moravy byla zahájena již v květnu roku 1978, od roku 1981 až do roku 1987 následoval útlum výstavby, vyvolaný problémy v koncepci řešení energetické politiky státu. Dobré zkušenosti získané s provozem reverzních turbin na PVE Dalešice, a po roce 1989 možnost úspěšného srovnání technického řešení PVE Dlouhé Stráně s obdobnými díly v západní Evropě, přispěly ke stanovení termínu dokončení výstavby na rok 1994. V téměř roce však došlo při zkouškách soustrojí TG 1 k havárii, která termín dokončení odsunula na konec roku 1996.

V roce 2005 zvítězila PVE Dlouhé Stráně v internetové anketě na téma „Sedm divů České republiky“.

VŠEOBECNĚ

Přečerpávací elektrárna využívá půlkilometrového rozdílu mezi horní vodní nádrží, vyhloubenou na vrcholu hory Mravenečník (1350 m n. m.), a spodní přehradní nádrží na řece Divoká Desná.

BASIC DATA

Region	the Olomouc Region; Hrubý Jeseník		
Employer	ČEZ a. s.		
Designer	HYDROPROJEKT a. s., Brno plant		
Contractor	INGSTAV Opava a. s., civils works contractor SUBTERRA a. s., sub-contractor for underground structures ČKD Blansko, mechanical equipment main contractor		
User	ČEZ a. s., Ostrava Karviná power plants		
Construction period	1978–1996		
Works volume	mined structures	290,000	m ³

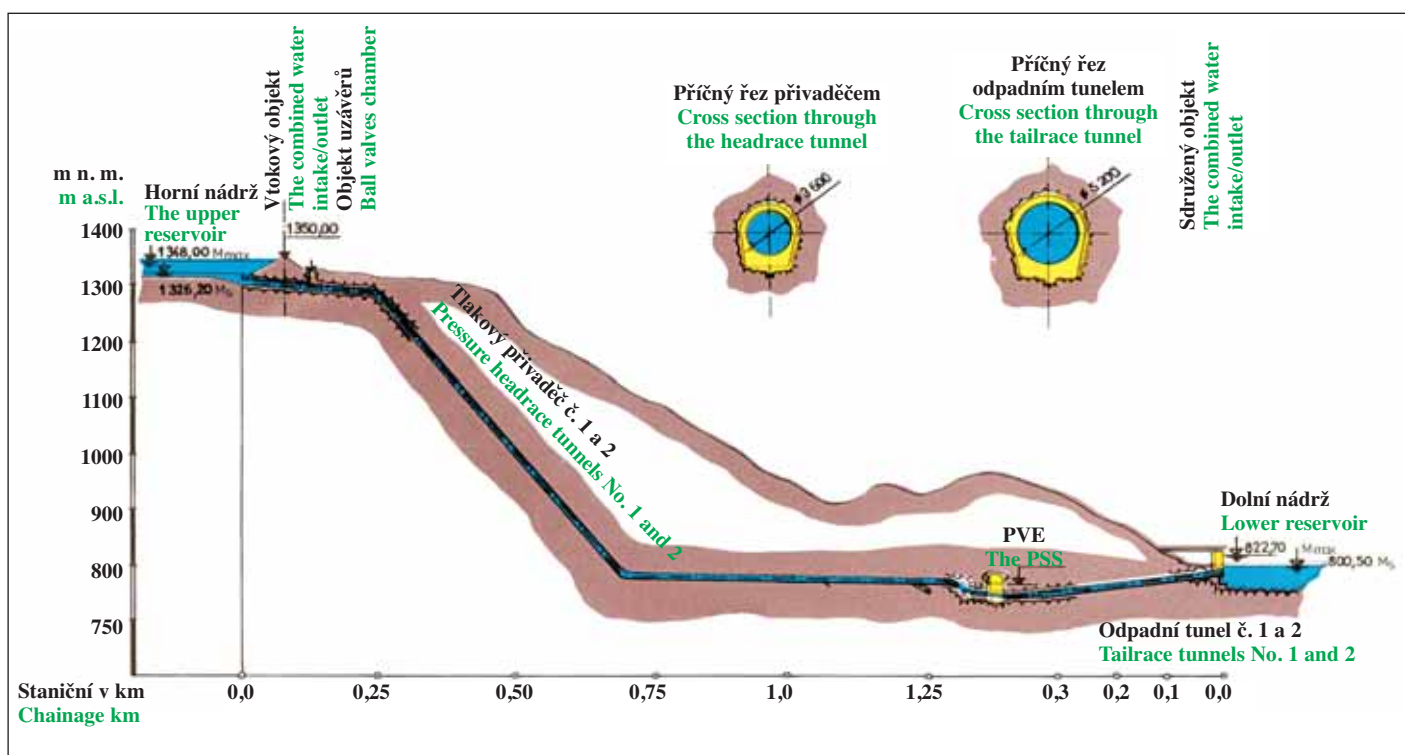
INTRODUCTION

Pumped storage schemes (PSS) are a well-proven regulation element of power generation systems. The construction of the PSS Dlouhé Stráně commenced in May 1978. Subsequent construction checks in the 1981 - 1981 period resulted from problems in the conception of the solution of the national power generation policy. Positive experience in operation of reversible turbines at the PSS Dalešice, and the possibility after 1989 to successfully compare the technical solution of the PSS Dlouhé Stráně with similar schemes in Western Europe contributed to a decision on the works completion deadline to be the year 1994. In the same year, however, an incident occurred during the TG 1 power generating set testing. It shifted the completion date to the end of 1996.

The PSS Dlouhé Stráně was the winner in an Internet survey on the topic “The Seven Wonders of the Czech Republic”.

IN GENERAL

The pumped storage scheme makes use of the difference of about 500m between the upper reservoir, which was dug on the top of



Obr. 1 Hydraulický obvod PVE Dlouhé Stráně
Fig. 1 Hydraulic circuit of the PSS Dlouhé Stráně

Horní nádrž je v době energetických přebytků plněna čerpadly vodou ze spodní nádrže, v období špičkové spotřeby tato vodní zásoba pohání dvě reverzní Francisovy turbíny, které jsou umístěny v kaverně podzemní hydroelektrárny, každá o výkonu 325 MW. To je největší instalovaný výkon ze všech vodních elektráren v ČR. Maximální spád pro turbíny činí 532,7 m a dopravní výška pro čerpadla 554,1 m, což u obou hodnot jsou opět maxima dosažená v ČR. K hlavním efektům elektrárny patří schopnost plnit funkci výkonové rezervy energetického systému, vyrábět regulační výkon a podílet se na řízení kmitočtu celé soustavy.

GEOLOGIE

PVE DS a její podzemní části jsou umístěny do mohutného horského masivu severomoravského pohoří Hrubého Jeseníku. Horninové prostředí je tvořeno poměrně stabilním rulovým masivem; biotitické pararuly jsou slabě až silně migmatizovány s lokálním výskytem vloček amfibolitu a pegmatitu. Podrobný inženýrskogeologický průzkum umožnil vytvoření trojrozměrného matematického modelu, kterým byla stanovena napjatost a deformace masivu v průběhu výstavby podzemí. Závěry průzkumných zjištění byly v průběhu realizace z větší části potvrzeny, i když během ražeb došlo ve třech případech k poměrně rozsáhlým zavalům o velikosti až 200 m³.

HLAVNÍ PODZEMNÍ OBJEKTY

Při výstavbě PVE bylo realizováno celkem 35 podzemních objektů. Klasickou ražbou bez kolejové mechanizace byly vyraženy:

- kaverna pro elektrárnu o rozměrech 87 x 25 x 50 m,
- kaverna pro trafostanici o rozměrech 117 x 16 x 21 m,
- štoly a tunely o příčných profilech 12 až 50 m² v celkové délce 5,5 km.

Nejnáročnějšími podzemními pracemi byly výlom klenbové části kaverny elektrárny s konečnou velikostí rozpětí 25,5 m a výlom šikmých částí tlakových přivaděčů. Ražba klenbové části kaverny elektrárny byla v souladu se statickým výpočtem členěna na výlom podstropní štoly a výlom štol v patkách klenby. Po skončení betonáže patek v patkových štolách byl výrub pro klenbu dokončen vyražením mezipilířů a následně byla provedena betonáž klenby. Provizorní výztuž klenby a stěn kaveren byla kromě armovaného stříkaného betonu tvořena sítí tyčových kotev délky 5,7 m s nosností 170 kN. Deformace horninového prostředí a provizorní výztuže byly monitorovány konvergenčním a tensometrickým měřením.

Výlom lávek kavernového prostoru byl prováděn trhacími pracemi po stupních výšky 5 m s použitím řízeného výlomu za stálých měření,



Obr. 2 Kaverna pro elektrárnu – plný výlom
Fig. 2 The fully excavated cavern

Mravenečník Mountain (1,350m a.s.l.), and the lower reservoir on the Divoká Desná River. The upper reservoir is filled by pumps with water from the lower reservoir in periods of power surpluses; in periods of peak consumption this water propels a pair of reversible Francis turbines with a total power of 2x325MW, installed in the power cavern. This installed output is the highest of all hydropower plants in the Czech Republic. Maximum gradient for the turbines amounts to 532.7m, and maximum delivery head for pumps to 554.1m. These values are again the maximums achieved in the CR. Counted among main effects of the power plant is the capability to assume the function of a reserve of capacity of the power generating system, to produce regulation power, and contribute to the frequency control of the entire power generation system.

GEOLOGY

The PSS DS and its underground parts are located in a mighty mountain massif of the North Moravian Hrubý Jeseník mountain range. The rock environment consists of relatively stable gneiss; biotite paragneiss is weakly to heavily migmatitised, with local occurrence of interlayered amphibolite and pegmatite. The detailed engineering geological investigation allowed a 3D mathematical model to be developed that was used for the determination of the state of stress and deformations of the rock mass during the course of the underground works. The conclusions of the investigation findings were mostly proven during the works, despite the fact that three events of relatively serious cave-ins occurred (up to 200m³).

MAIN UNDERGROUND STRUCTURES

The PSS construction comprised 35 underground structures in total. Traditional mining methods without track-bound equipment were used for the excavation of:

- the powerhouse cavern with dimensions of 87m long x 25m wide x 50m high,
- the transformer cavern with dimensions of 117m long x 16m wide x 21m high,
- galleries and tunnels with cross-sections of 12 to 50m², total length of 5.5km.

The most demanding underground work was the excavation of the vaulted part of the powerhouse cavern with the final span of 25.5m, and the excavation of inclined parts of pressure headrace tunnels. The excavation of the vaulted part of the powerhouse cavern was divided, in compliance with the structural analysis, into a drift under the roof and excavation of side drifts at the springing level. Once the footings had been cast in the side drifts, the excavation for the vault was completed by removing the intermediate pillars. The vault casting followed. Temporary support of the cavern vault and walls consisted, apart from reinforced shotcrete, of a system of 5.7m long anchor rods with a capacity of 170kN. Deformations of the ground environment and temporary support were monitored by convergence and strain-gauge measurements.

The benches of the cavern were excavated by drill and blast with vertical advances of 5m. Controlled blasting procedures were adopted with continual measurements for the monitoring of seismic forces acting on the concrete vault. The walls of the powerhouse cavern were supported by a system of permanent 10 – 25m long cable anchors with a capacity of 840kN.

The difficult uphill excavation of the inclined sections of the headrace tunnels (a length of 687.1m, gradient of 45°) was carried out using a Groundhog – GLH 500 Alimak inclined mining platform. A full-face (15.88m²) excavation system was adopted, without any pilot borehole and without independent EG investigation along the route of the headrace tunnels. The only data available were the results of refraction seismic measurements carried out from the surface. The rock mass quality was relatively good. The only problem occurred in the course of the uphill excavation of the headrace tunnel #2 when a weakness zone was being passed through. A water saturated clastic material was tapped at a depth of 134m under the surface. It



Obr. 3 Letecký pohled na horní nádrž PVE Dlouhé Stráně (Agentura MAFA)
Fig. 3 The upper reservoir of the PSS Dlouhé Stráně – aerial view (Agency MAFA)

monitorujících seismické zatížení betonu klenby. Stěny kaverny elektrány byly zabezpečeny sítí trvalých lanových kotev délky 10 – 25 m nosnosti 840 kN.

Náročná dovrchní ražba šikmých částí přivaděčů délky 687,1 m ve sklonu 45° byla prováděna s použitím razicího komplexu Groundhog – GLH 500 Alimak. Razilo se plným profilem o ploše 15,88 m² bez pilotního vrtu a bez samostatného podrobného IG průzkumu v trase přivaděčů, pouze na základě seismického měření z povrchu území. Horninový masiv byl poměrně kvalitní, pouze při dovrchní ražbě přivaděče 2 došlo při přechodu poruchy v hloubce 134 m pod povrchem k načepování zvodnělého klastického materiálu, který do raženého profilu vytékal 2 dny.

Komplex Groundhog-Alimak, pohybující se po vodící dráze přichycené svorníky do stropu výrubu, umožňoval bezpečné vrtání při dovrchní ražbě a současně obslužnou zdviž zajišťoval dopravu minérů na čelbu. Odstřelená rubanina se pohybovala gravitačně až k patě šikmé části přivaděče, odkud byla odtěžována kolovými nakladači.

Velmi náročnou operací bylo zasouvání pancíře o průměru 3,6 m do přivaděčů, zejména do jejich šikmých částí a přechodových kolen. Po uložení každého segmentu pancíře se prováděla betonáž prostoru mezi pancířem a výrubem a po zatvrdnutí betonu navazovaly injektáže spáry beton – hornina (cementová suspenze) a beton – pancíř (epoxyakrylátová pryskyřice).

VZTAH DÍLA K ŽIVOTNÍMU PROSTŘEDÍ

Výstavba PVE Dlouhé Stráně v centrální části Chráněné krajinné oblasti Jeseníky znamenala prostorově a časově ohraničený vliv na okolní přírodu, ke kterému došlo pouze v období výstavby. I v té době však byly negativní vlivy výstavby investorem důsledně regulovány. Rozsah jejich působení byl zanedbatelný např. ve srovnání s negativními účinky průmyslových exhalací a nadměrné lesní těžby. Nicméně po uvedení díla do provozu došlo k postupnému propojování povrchových objektů s okolní přírodou a v současné době je toto technické dílo a jeho začlenění do okolní krajiny pozitivně přijímáno jak orgány státní ochrany přírody, tak návštěvníky Hrubého Jeseníku.

PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., ČVUT – Fakulta stavební,
e-mail: bartakj@fsv.cvut.cz
ING. JIŘÍ SMOLÍK, SUBTERRA, a. s.,
email: jsmolik@subterra.cz

took two days for this material to stop flowing into the excavated space.

The Groundhog Alimak set, which moves along a guide rail fixed to the excavation roof with bolts, made safe drilling for the uphill excavation possible. In the same time, its component, a service lift, ensured transport of miners to the excavation face. The blasted debris moved downwards with gravity, up to the toe of the inclined part of the headrace tunnel, where it was loaded and moved away by wheeled loaders.

A very complex operation was the insertion of the 3.6m-diameter armouring into the headrace tunnels, especially their inclined sections and bends. The annulus between the armouring and rock was filled with concrete after the installation of the particular armouring segment. Once the process of concrete hardening was over, cement suspension and epoxy-acrylate resin were injected into the concrete-rock and concrete-armour interfaces respectively.

THE RELATIONSHIP OF THE WORKS TO THE LIVING ENVIRONMENT

The construction of the PSS Dlouhé Stráně in a central part of the Conservation Area of the Jeseník Mountains affected nature in an extent that was limited in terms of space and time, ending with the conclusion of the works. Although, even then were the negative effects of the works uncompromisingly regulated by the employer. The extent of the effects was negligible compared, for instance, with the negative effects of industrial emissions and excessive forest exploitation. Nevertheless, the view of the surface structures of the already operating scheme has mingled step by step with the surrounding landscape, and today this technical facility and its incorporation into its surroundings is accepted positively by both conservation authorities and visitors to the Hrubý Jeseník.

PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., ČVUT – Fakulta stavební,
e-mail: bartakj@fsv.cvut.cz
ING. JIŘÍ SMOLÍK, SUBTERRA, a. s.,
email: jsmolik@subterra.cz

STUDIE VÝSTAVBY PODZEMNÍ ČOV PRAHA

STUDY ON THE UNDERGROUND STW PRAGUE PROJECT

KAREL ZÁVORA, JIŘÍ SMOLÍK

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Region	Hlavní město Praha
Investor	Hlavní město Praha
Projektant	Hydroprojekt, a. s. Metroprojekt, a. s. – výlom a provizorní konstrukce podzemní části
Uživatel	Pražské vodovody a kanalizace, a. s.
Období výstavby	v horizontu 30 let
Objem stavebních prací	2 608 000 m ³ (celkový objem výlomů)

ÚVOD

V roce 2003 byla zpracována další studie výstavby Čistírny odpadních vod (ČOV) Praha v podzemí, která navázala na dřívější studijní návrhy. Nové zpracování návrhu bylo vyvoláno poškozením stávající ČOV po katastrofální povodni v roce 2002 a potřebou jak rychlé rekonstrukce poškozené kapacity, tak i potřebou modernizace tohoto zařízení v blízkém výhledu. Současně byly řešeny varianty rekonstrukce stávající ČOV na Trojském ostrově a podzemní varianta ČOV.

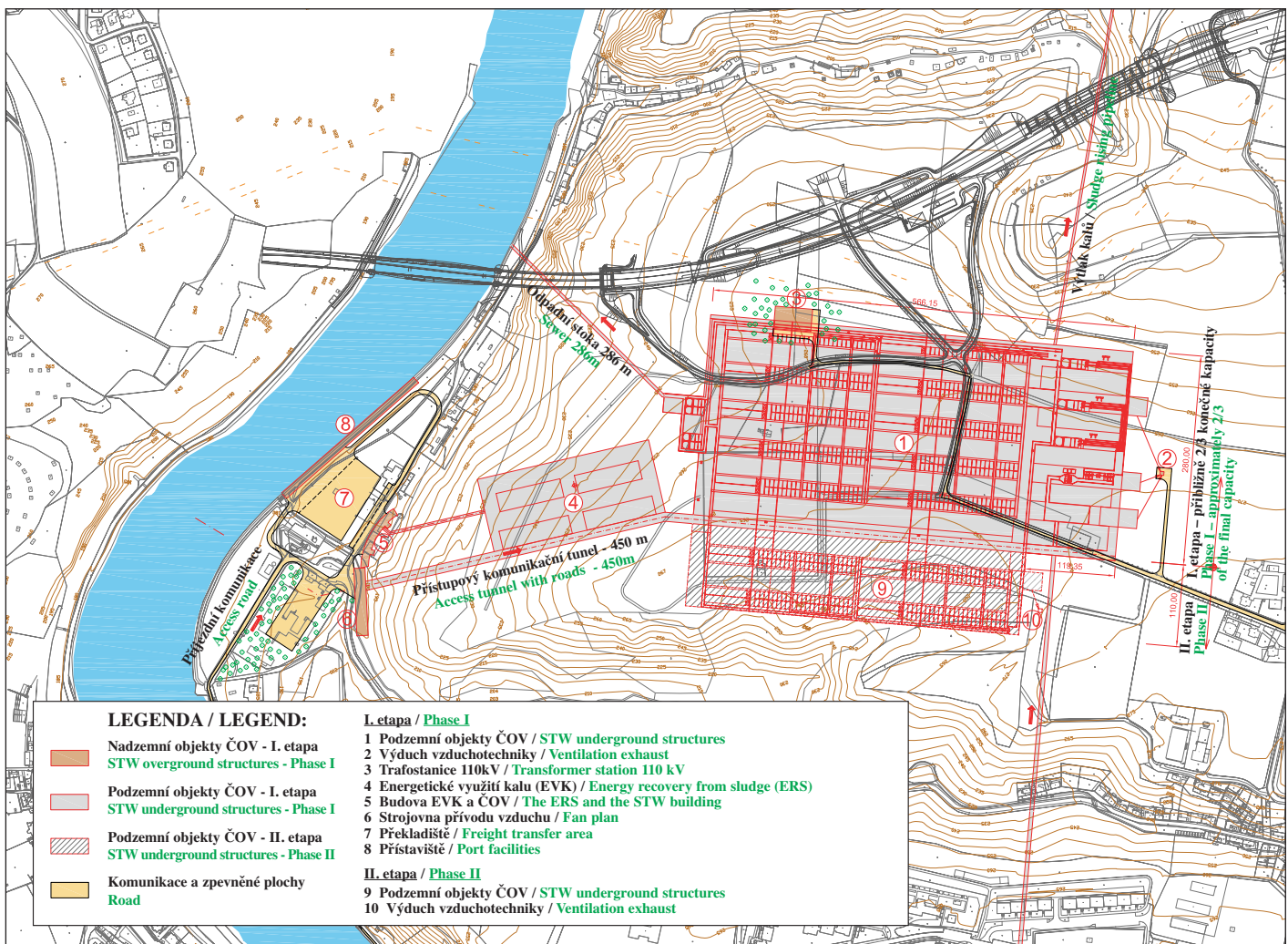
Při výběru variant řešení byla přijata rekonstrukce ČOV na Trojském ostrově s tím, že podzemní návrh ČOV Praha byl zařazen jako výhledové řešení tohoto zařízení po dožití znovu rekonstruované sou-

BASIC DATA

Region	the City of Prague
Employer	the City of Prague
Designer	Hydroprojekt a.s., Metroprojekt a.s. – underground excavation and temporary structures
User	Pražské vodovody a kanalizace a. s. (Prague water resources and sewerage company)
Construction period	within a time horizon of 30 years
Works volume	mined volume 2,608,000m ³

INTRODUCTION

Another study on the project of the Underground Sewage Treatment Works in Prague, which was tied up with preceding studies, was developed in 2003. The requirement for the development of this study resulted from the catastrophic floods 2002, which damaged the existing sewage treatment works (STW), and from the need for accelerated reconstruction of the damaged facility, as well as the need for an upgrade to the works in the short term. At the same time other variants were prepared, i.e. reconstruction to the existing STW in Trója Island, and an underground STW variant. The STW in Trója Island reconstruction variant was chosen in the selection process, whilst the underground STW option was classified as a prospective design



Obr. 1 Situace podzemní ČOV v Praze Čimicích

Fig. 1 Underground STW Prague – Čimice layout

STUDIE HLUBINNÉHO ÚLOŽIŠTĚ RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ V ČR

STUDY ON A DEEP GEOLOGICAL REPOSITORY FOR RADIOACTIVE WASTE IN THE CR

KAREL KUNC, JIŘÍ SVOBODA

ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Investor, uživatel	Správa úložišť radioaktivních odpadů (SÚRAO)
Projektant	EGP Invest, spol. s r. o.
Objem stavebních prací	1 615 340 m ³ (předpokládaný objem ražeb)

ÚVOD

V České republice jsou v současné době v provozu dvě jaderné elektrárny – Dukovany a Temelín. Program nakládání s radioaktivními odpady je řešen na základě vládou schváleného dokumentu pod názvem „Koncepte nakládání s radioaktivními odpady a vyhořelým jaderným palivem v ČR“, která vešla v platnost usnesením vlády ČR č. 487 dne 15. 5. 2002. Koncepte doporučuje další provoz stávajících úložišť nízkou- a středněaktivních odpadů (tj. Dukovany, Richard u Litoměřic a Bratrství u Jáchymova). Dále pak pro konečné zneškodnění vysoce radioaktivních odpadů a vyhořelého jaderného paliva doporučuje připravovat hlubinné úložiště, přičemž ponechává dostatečný prostor pro další využití vyhořelého jaderného paliva.

Milníky realizace hlubinného úložiště (HÚ):

- 2015 – výběr dvou lokalit pro HÚ (hlavní a záložní lokalita),
- 2030 – výstavba podzemní laboratoře v hlavní lokalitě,
- 2050 – výstavba vlastního HÚ,
- 2065 – zprovoznění hlubinného úložiště.

GEOLOGIE A LOKALITA

Najít vhodné místo pro hlubinné úložiště (HÚ) znamená najít masiv odpovídající řadě požadavků. Za vhodné horniny jsou dnes všeobecně považovány žuly (granity), tufy, jílovce, jílové břidlice a soli.

Na území České republiky se v seizmicky stabilních oblastech nacházejí rozsáhlé žulové masivy a je téměř jisté, že hlubinné úložiště bude umístěno právě v jednom z nich.

Na základě předběžného průzkumu bylo v první etapě vybráno celkem jedenáct lokalit, ze kterých bylo v roce 2003 vybráno šest, na kterých byly provedeny geologické a další práce pro hodnocení a pro zúžení množství vybraných lokalit pro umístění HÚ. Jsou jimi Lubenec-Blatno (Ústecký kraj), Budišov (Vysočina), Pačejov (Plzeňský kraj), Rohozná (Vysočina), Pluhův Ždár-Lodhřov (Jihočeský kraj) a Božejovice-Vlksice (Jihočeský kraj). Geologické podloží všech blíže zkoumaných lokalit je tvořeno granitickými horninami.

REFERENČNÍ PROJEKT

Pro potřeby dalšího postupu přípravy této výjimečné podzemní stavby byl vypracován referenční projekt hlubinného úložiště bez umístění do konkrétní lokality. Projekt uvažuje přístup do podzemí svislými šachtami (těžební a spouštěcí), dále pak ukládání vyhořelého jaderného paliva (VJP) a radioaktivního odpadu (RAO) na jedné hloubkové úrovni 500 m pod povrchem. Dále řeší realizaci technického horizontu, zajišťujícího odvodnění a zčásti výstavbu hlubinného úložiště na úrovni 550 m pod povrchem. Variantně je možno realizovat těžební a spouštěcí díla jako díla úklonná (šroubovice, úpadnice lomená, úvratová, atd.). Tyto varianty nebyly v referenčním projektu řešeny.

Referenční projekt předpokládá rozpojování horninového masivu trhacími pracemi s hladkým výlomek výrubu, případně využití tunelovacího stroje.

Hlavním cílem při volbě technologie ražby bude minimalizace oblastí snížených napětí v masivu narušeném těžbou horniny (EDZ-excavation disturb zone) a dále minimalizace objemu rubaniny. Z tohoto důvodu se předpokládá v případě použití trhacích prací jejich využití na rozpojení max. cca 70 % plochy výrubu (jádro) a pro zbylou část výrubu pak využití mechanického rozpojování. Vzhledem k požadovaným parametrům okolního masivu s minimálním výskytem podzemní vody se nepředpokládá systémové využití jak dočasných, tak i definitivních ostění, rovněž proto, že celý prostor bude v rámci uložení paliva zaplněn výplňovým materiálem. Nebudou také použity vodotěsné izolace klasické pro tunelové stavby, ale pouze se předpokládá využití izolací proti radiaci, které jsou zcela jiného typu a jsou součástí celého bezpečnostního systému úložiště.

ING. KAREL KUNC, Ph.D., SÚRAO, e-mail: kunc@rawra.cz
ING. JIŘÍ SVOBODA, Ph.D., ČVUT PRAHA - Fakulta stavební,
e-mail: jiri.svoboda@seznam.cz

BASIC DATA

Employer	Radioactive Waste Repository Authority (RAWRA)
Designer	EGP Invest, spol. s r. o.
Works volume	mined structures 1 615 340 m ³ (excavated volume assumed)

INTRODUCTION

There are currently two nuclear power plants under operation in the Czech Republic, (CZ) i.e. the Dukovany and Temelín plants. The nuclear waste management program has been worked out on the basis of a document approved by the government named "The concept of the nuclear waste and spent nuclear fuel management in the CZ", which came into effect on 15.5.2002, through the decree of the government of the CZ No. 487. The concept recommends that the operation of the existing repositories for low- and intermediate-level radioactive waste (Dukovany, Richard at Litoměřice and Bratrství at Jáchymov) should continue. It further recommends that a deep geological repository should be prepared to disposed of high level and long lived radioactive waste and spent nuclear fuel. It leaves sufficient space for other utilisation of spent nuclear fuel.

The milestones of the deep geological repository (DGR) development are following:

- 2015 – selection of two localities for the DGR (a main one and an alternative locality),
- 2030 – construction of an underground laboratory at the main locality,
- 2050 – construction of the DGR proper,
- 2065 – bringing the deep geological repository into service.

GEOLOGY AND THE LOCALITY

To find a suitable locality for an DGR means to find a massif meeting numbers of requirements. Considered as suitable rock type is currently granite, tuff, mudstone, clayey shale and salt. The list of seismically stable regions of the Czech Republic consists of vast granite massifs, and it is nearly certain that the DGR will be located in one of them.

Eleven localities were selected in the first phase based on preliminary investigation.

Out of those, 6 localities (Lubenec-Blatno in the Ústí nad Labem region, Budišov in the Vysočina region, Pačejov in the Plzeň region, Rohozná in the Vysočina region, Pluhův Ždár-Lodhřov in the South Bohemian region and Božejovice-Vlksice in the South Bohemian region) were selected in 2003 and subjected to geological survey and other assessment work designed to allow reduction in the number of localities suitable for the DGR. All of those localities consist of granite.

REFERENCE PROJECT

A reference project (RP) of a deep geological repository has been developed for the needs of the further progress of the preparation, without determination of a particular locality. The RP considers the access to the underground facility through vertical shafts (for winding up and lowering), storage of spent nuclear fuel (SNF) and radioactive waste (RAW) at a single level of 500m under the surface. Further the PR solves the development of a technical level, which will ensure drainage and partly the construction of the deep geological repository at a level of 550m under the surface. Slanted variants of the winding-up and lowering shafts can also be designed (helix, polygonal inclined drift, dead point inclined drift, etc.). Those variants were not dealt with by the RP. The RP expects that the rock mass will be broken by drill and blast using a contour blasting procedure, or by a TBM.

The main objective of the excavation technique selection will be minimisation of the extent of the excavation disturb zone (EDZ) where the stress-relief phenomenon occurs, and minimisation of the volume of the muck. For that reason it is expected that if the drill and blast technique is utilised, maximally 70 % of the excavated cross section (the core) will be disintegrated by this technique, and the remaining part will be disintegrated mechanically. Considering the parameters of the surrounding massif required, i.e. a massif with minimal occurrence of groundwater, there is no systematic utilisation of temporary or permanent lining anticipated. Another reason is the fact that the whole excavated space will be backfilled with the filling material in the process of storing the fuel. Nor the waterproofing traditional for tunnel construction will be applied. Only the installation of radiation insulation, which is part of the overall safety system of the DGR, is predicted. It is, however, of an absolutely different type than a waterproofing system.

ING. KAREL KUNC, Ph.D., SÚRAO, e-mail: kunc@rawra.cz
ING. JIŘÍ SVOBODA, Ph.D., ČVUT PRAHA - Fakulta stavební,
e-mail: jiri.svoboda@seznam.cz

PODZEMNÍ LABORATOŘ STAVEBNÍ FAKULTY ČVUT

UNDERGROUND LABORATORY OF THE FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, THE CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

JAROSLAV PACOVSKÝ

ÚVOD

Snaha zřídit podzemní laboratoř jako nové, moderní experimentální pracoviště byla inspirována existencí obdobného zařízení v Colorado School of Mines v Golden (Denver, USA). Tato báňská univerzita provozuje pro potřebu praktické výuky a výzkumu v oblasti geotechniky, geologie a mapování školní důl „The Edgar Experimental Mine“ v Idaho Springs. Obdobná pracoviště však existují i v Evropě, k neznámějším patří např. pokusná štola Hagerbach ve Švýcarsku, která je provozována sdružením stavebních firem.

Motivace pro zřízení laboratoře vycházela z předpokladu, že i v ČR

- existuje potřeba rozvoje experimentální výzkumné činnosti vysokých škol hlavně v oblasti materiálového inženýrství, environmentální geotechniky, geologie či hydrogeologie v přírodním „in situ“ prostředí,
- neexistuje reálná možnost (v dostupné vzdálenosti od Prahy) pro praktický trénink studentů v oblasti inženýrsko-geologického a geotechnického průzkumu a mapování,
- zřízení tohoto pracoviště přispěje k užší spolupráci mezi vysokými školami a praxí,
- v současné době existuje v ČR řada uzavřených, neprovozovaných, menších podzemních děl, jejichž využívání pro obdobné účely se přímo nabízí.

VÝBĚR LOKALITY

Pro vyhledání vhodného podzemního díla byly definovány některé základní požadavky:

- finanční dostupnost (pořizovací cena, náklady na provozování a uzavření),
- pestřejší geologické podmínky (zastižení různých nemonotónních geologických formací),
- možnost dílo v budoucnosti rozšiřovat (rozrážky pro jednotlivé experimenty),
- vzdálenost do 60 km od Prahy.

Při výběru lokality se vycházelo z předpokladu, že předmětem zájmu je horizontální dílo (štola), nikoli na provoz finančně značně náročnější šachta.

Z ekonomického hlediska byla jednoznačně vyhodnocena jako nejprůzračnější varianta získat nevyužívané podzemní dílo. Ze stávajících děl, co se týče geologických podmínek, dostupnosti od Prahy, dobré infrastruktury i perspektivy vytvoření zázemí (rekonstrukcí stávajícího objektu), se jevila od počátku jako nejvhodnější štola Josef v lokalitě Mokrsko – Čelina.

Vlastníkem opuštěného důlního díla Josef je Ministerstvo životního prostředí ČR, se kterým Stavební fakulta ČVUT v Praze uzavřela 31. 3. 2005 smlouvu umožňující podzemní dílo využívat pro studijní, vzdělávací a výzkumné účely. Zřízení podzemní laboratoře podpořilo zastupitelstvo obce Chotilsko i vlastník okolních pozemků Lesy ČR, a. s. V původním areálu průzkumného díla JOSEF se nachází dvoupodlažní nevyužívaná nemovitost, kterou získá Stavební fakulta ČVUT od vlastníka (MŽP) darem pro vybudování provozního zázemí podzemní laboratoře.

HISTORIE ŠTOLY JOSEF

Lokalita Mokrsko – Čelina, na které se štola Josef nachází, patří do zlatonosného jílovského pásma. V jílovském revíru na ploše přibližně 25 km² je zaregistrováno okolo 3000 báňských děl. Zlato zde bylo rýžováno již v 1. století před Kristem. V době vrcholného rozvoje středověké těžby se tu pracovalo v 500 dolech, které v době Karla IV. (kolem roku 1350) dosahovaly hloubek 150 – 200 m. Po roce 1420 a v dalších stoletích těžba živořila. Teprve technické prostředky 20. století umožnily, aby se na krátký čas znovu rozběhla. V letech 1958 až 1968 vydal zdejší revír 1133 kg zlata. Bylo vytěženo 420 000 tun rudy s průměrnou kovnatostí 3,2 g Au/t. Pro nerentabilitu byla v roce 1970 těžba zastavena.

V roce 1981 byl zahájen nový průzkum celé ložiskové oblasti. V rámci tohoto průzkumu byla vyražena průzkumná štola Josef, která zjistila u obcí Čelina a Mokrsko, v místě starých důlních prací, významná zlatonosná ložiska. Při poloprovozním dobývání bylo v roce 1989 až 1991 z ložiska vytěženo 19 500 tun rudniny s průměrnou kovnatostí 1,6 g Au/t. Průzkumná činnost na štolu Josef byla ukončena v roce 1991, po roce 2000 byl přístup do podzemí znemožněn uzavřením vstupních portálů betonovými zátkami.

INTRODUCTION

The effort to set up an underground laboratory as a new modern experimental work place was inspired by the existence of a similar facility at the Colorado School of Mining in Golden (Denver, the USA). This mining university runs a school mine “The Edgar Experimental Mine” in Idaho Springs for the purpose of practical teaching and research in the fields of geotechnics, geology and mapping. Similar work places, however, exist also in Europe; among the most popular belongs for instance the experimental school in Hagerbach, Switzerland, which is run by a group of construction companies.

The motivation for setting up the laboratory was based on an assumption that the Czech Republic

- also needs experimental research activities of universities continuously developing, primarily in the fields of material engineering, environmental geotechnics, geology or hydrogeology in a real “in situ” environment,
- does not offer students any realistic opportunity (i.e. within a reasonable distance from Prague) for practical training in the fields of engineering-geological and geotechnical investigation and mapping,
- needs this work place so that the cooperation between universities and the practice is closer,
- has a number of smaller underground works that are not worked, which literally offer themselves to be used for similar purposes.

SELECTION OF THE LOCATION

The following basic requirements were selected for the purpose of the search for suitable mining works:

- financial feasibility (acquisition cost, operational cost, termination of the works),
- rather variable geological conditions (various non-homogeneous geological formations available),
- possibility to expand the works in the future (points of attack for individual experiments),
- up to 60km distance from Prague.

The selection of the location was based on an assumption that the point of interest is a horizontal works (a gallery), not a shaft, which is more cost demanding during operation.

From the economic point of view, the variant based on acquisition of not-worked underground works was assessed as the most advantageous solution. Regarding geological conditions, attainability from Prague, good infrastructure and a prospect of developing the background (by reconstructing the existing structures), the most suitable out of the existing underground works appeared to be the Josef Gallery in the Mokrsko – Čelina locality.

The owner of the abandoned mine Josef is the Environmental Ministry of the CR. On 31.3.2005, the ČVUT in Prague (Czech Technical University), the Faculty of Civil Engineering concluded an agreement with this ministry making the utilisation of the underground works for study, research and educational purposes possible. The act of setting up the underground laboratory was supported by both the municipality of Chotilsko and the owner of neighbouring land, Lesy ČR a.s.



Obr. 1 Vstupní portál zkušební štoly Josef
Fig. 1 Entrance portal of the testing gallery Josef



Obr. 2 Fotografie typického profilu štoly Josef
Fig. 2 Typical profile of gallery Josef

ZÁKLADNÍ POPIS ŠTOLY JOSEF

Průzkumná štola Josef je vedena ve směru SSV napříč horninovým masivem vrchu Mokrsko. Celková délka páteřní štoly je 1700 m, příčný průřez 14 až 16 m². Výška nadloží je 90 až 110 m. Ze vstupních portálů jsou souběžně vedeny dva tunely délky 80 m o průřezu 40 m². Vedle vstupních portálů ústí štola menšího průřezu. Na páteřní průzkumnou štolu, která byla vyražena s ohledem na odvod podzemních vod v mírném dovrchním sklonu, navazují další liniová průzkumná díla s četnými rozrážkami, sledujícími rudní struktury s napojením do dalších dvou pater. Přibližně 90 % výlomů není vystrojeno. Konec páteřní štoly je propojen 90 m vysokým větracím kominem s povrchem terénu.

GEOLOGICKÉ POMĚRY

Štola Josef se nachází ve zlatorudném revíru Psí Hory s převážným výskytem zlata a wolframu (Au,W). Stratigraficky patří lokalita do davelského souvrství kralupsko-zbraslavské skupiny hornin proterozoika. Jedná se o vulkanicko-sedimentární horniny jílovského pásma, převážně vulkanity (bazalty, andezity, ryolity), sedimenty (rohovce) a jejich kombinace (tufy, tufity), pronikane mladšími intruzivními horninami (granodiority, albitické žuly). Celá oblast je složitě, pravděpodobně opakovaně, tektonicky zpracována (puklinatost, dislokace a další tektonizace).

Ložiska zlatonosných rud jsou vázána na poruchové zóny v horninách jílovského pásma a v okolních horninách středočeského plutónu. Jedná se o křemenné žíly, žilné roje a žilníky.

MOŽNOSTI VYUŽITÍ PODZEMNÍ LABORATOŘE JOSEF

Podzemní laboratoř Josef bude budována jako multidisciplinární pracoviště ČVUT v Praze. Jako hlavní oblasti experimentálního výzkumu se předpokládají: materiálové inženýrství, geotechnika, inženýrská geologie a hydrogeologie. Vzhledem k tomu, že se jedná o vysokoškolské pracoviště, primárním posláním bude výchova mladých vědců – specialistů v daném oboru. Stavební fakultě ČVUT to umožní výrazně zvýšit úroveň praktické výuky např. v oblasti podzemních staveb, mechaniky hornin, materiálového zkušebnictví, inženýrsko-geologického průzkumu, geodetických prací a mapování, destrukčních prací, ventilační techniky či bezpečnostního tréninku studentů.

Rozsah podzemního díla Josef a jeho geologická pestrost však umožní, za předpokladu splnění podmínek stanovených statutem pracoviště, uspokojení širokého spektra zájemců o experimentální výzkum.

Možnou oblastí bude řešení tuzemských i zahraničních výzkumných projektů (grantů), mono- i multidisciplinárně zaměřených. Vzhledem k rozloze průzkumného díla Josef umožní podzemní laboratoř realizaci rozsáhlých „in situ“ experimentů.

Významnou oblastí bude předpokládána spolupráce s praxí při řešení aktuální problematiky stavebního inženýrství, ekologického inženýrství, ověřování nových stavebních technologií a materiálů apod. Podzemní laboratoř bude také schopna poskytnout prostory pro specializovaný trénink a školení zaměstnanců stavebních firem (technologie stříkaných betonů, svorníková výstroj a kotvení, obsluha moderních stavebních strojů a zařízení, školení z bezpečnosti práce apod.).

Zprovoznění Podzemní laboratoře Josef v dohodnutém rozsahu zajistí Metrostav a. s. na základě smlouvy o spolupráci se Stavební fakultou ČVUT. Zahájení provozu se předpokládá v první polovině roku 2007.

PROF. ING. JAROSLAV PACOVSKÝ, CSc.,
ČVUT PRAHA – Fakulta stavební, email : pacovsky@fsv.cvut.cz

There is an unused two-storey building within the original grounds of the exploratory works JOSEF, which will be given to the Faculty of Civil Engineering of the ČVUT as a gift by the owner (the Environmental Ministry) to be reconstructed and converted to the operational background of the underground laboratory.

HISTORY OF THE JOSEF GALLERY

The Mokrsko – Čelina locality, where the Josef Gallery is found in, belongs to the Jílové gold zone. There are about 3000 mining works registered in the Jílové mining district, within an area of approximately 25km². Gold was washed there as long ago as the 1st century B.C. There were 500 mines worked there in the period of the culminating development of the medieval mining. The mines reached depths of 150 – 200m in the Charles IV period (around 1350). After 1420 and in the following centuries the mining dwindled. It was new mining equipment of the 20th century that made it possible for the mining to recover for a short time. In the years 1958 to 1968 this district yielded 1,133kg of gold; 420,000 ton of the ore was extracted with average metal contents of 3.2g Au/t. The mining was terminated in 1970 due to unprofitability.

New exploration of the deposit area started in 1981. The Josef gallery was driven as a part of the exploration. The gallery identified significant gold-bearing deposits at a location of abandoned mining works near the Čelina and Mokrsko villages. In the course of semi-operational mining operations in 1989 to 1991, about 19,500 ton of the raw ore was extracted with average metal contents of 1.6g Au/t. The exploration activities in the Josef gallery were terminated in 1991; after 2000 the access to the underground space was prevented by concrete plugs cast at the entrance portals.

BASIC DESCRIPTION OF THE JOSEF GALLERY

The Josef gallery leads in the NNE direction across the rock massif of Mokrsko Hill. The overall length of the arterial gallery amounts to 1,700m, the cross-section area is of 14 – 16m². The overburden is 90 to 110m thick. There are two parallel tunnels with a cross-section area of 40m² running from the entrance portals. A mouth of a smaller-profile gallery is next to the entrance portals. There are other exploration drifts joining the arterial exploration gallery, which was driven on a slight uphill gradient to allow gravity drainage of groundwater. The drifts have numerous side drifts following the ore structures, connected to other two levels. Approximately 90% of the excavated space is unsupported. The end of the arterial gallery is connected with the surface via a ventilation shaft.

GEOLOGICAL CONDITIONS

The Josef gallery is found in the Psí Hory gold-ore district, where gold and wolfram (Au, W) prevail. In terms of stratigraphy, the locality belongs to the Davle Member of the Kralupy-Zbraslav Unit of the Proterozoic rock. The rock environment comprises volcanic-sedimentary rock of the Jílové Zone, mostly volcanites (basalt, andesite, rhyolite), sedimentary rocks (hornblende) and their combinations (tuff, tuffite), penetrated with younger intrusive rock types (granodiorite, albitic granite). The whole district is tectonically affected in a complicated manner, probably repeatedly (jointing, dislocations and other tectonic effects).

The deposits of gold ore are fault zones bound, i.e. the Jílové Zone rock types and other rock types existing in the neighbourhood, in the Central Bohemian Plutonic, i.e. in quartzite veins, stringer veins and reticulated veins.

POSSIBLE UTILISATION OF THE UNDERGROUND LABORATORY JOSEF

The underground laboratory Josef will be built as a multidisciplinary work place of the ČVUT in Prague. The main fields of the experimental research are to be material engineering, geotechnics, engineering geology and hydrology. Because this is a university work place, the primary task will be to educate young scientists – specialists in the given discipline. The faculty of civil engineering of the ČVUT will be able to significantly increase the level of hands-on training, e.g. in the field of underground structures, rock mechanics, material testing, engineering geological investigation, survey and mapping, demolition operations, ventilation technology or safety at work training of students.

Although, the extent of the underground works Josef and its geological variability will make it possible to satisfy a wide range of technicians interested in experimental research if they meet the conditions set by the statute of the work place.

Involvement in both domestic and foreign research projects (grants), with a mono- and multidisciplinary focus, is also a field of the activity possible. Considering the extent of the exploration works Josef, the underground laboratory will make the execution of wide-range in situ experiments possible.

An important area will also be the anticipated collaboration with the practice on solving topical problems of civil engineering, environmental engineering, assessment of new construction techniques and materials, etc. The underground laboratory will be able to provide premises for specialised training and courses for employees of construction companies (application of shotcrete, installation of rock bolts and anchors, operation of modern construction equipment, safety at work training, etc.)

The timely opening of the Underground Laboratory Josef in the agreed scope of works will be taken care of by Metrostav a.s. on the basis of a co-operation agreement concluded with the Faculty of Civil Engineering of the ČVUT. The start-up of the facility operation is scheduled for the first half of 2007.

PROF. ING. JAROSLAV PACOVSKÝ, CSc.,
ČVUT PRAHA – Fakulta stavební, email : pacovsky@fsv.cvut.cz

TUNELY A PODZEMNÉ STAVBY V SLOVENSKEJ REPUBLIKE

TUNNELS AND UNDERGROUND STRUCTURES IN THE SLOVAK REPUBLIC

JOZEF FRANKOVSKÝ, MILOSLAV FRANKOVSKÝ, ROMAN HLA VATÝ, ŠTEFAN CHOMA

ÚVOD

Morfologická konfigurácia a geologická skladba Slovenska

Územie Slovenska je pokryté horskými útvarmi patriacimi k Alp-sko-Karpatskej sústave vytvorenej sústavou komplikovaných vrás a príkrovov počas Alpínskeho vrásnenia. Časť veľkého karpatského oblúka začínajúceho na sever od Viedne a končiaca pri Železných vrátnach na Dunaji, rozprestierajúca sa na území Slovenska, sa vydeľuje ako Západné Karpaty. Pásmové pohoria Západných Karpát majú tvar dlhých tiahlych oblúkov kopírujúcich priebeh štátnej hranice s prevahou východno-západného smeru. Pre geomorfológiu Západných Karpát, okrem dominanty tiahlych údolí, je typický aj výskyt depresí medzi horskými útvarmi v tvare kotlín.

Vekove sú v Karpatoch zastúpené všetky geologické útvary od proterozoika po kvartér. Podrobnejšie geomorfologické členenie na území Slovenska rozlišuje 11 regionálno-tektonických pásiem, z ktorých pre stavbu tunelov najväčší význam majú útvary vonkajšieho flyšového pásma a vnútrokarpatského flyšu, bradlové pásmo, jadrové pohoria, veporské a spišsko-gemerské pásmo a neovulkanity karpatského vulkanického venca. Vzhľad krajiny okrem vysokohorských štítov Vysokých a Nízkyh Tatier modelujú najmä mezozoické pokryvové útvary obalových sérií jadrových pohorí tvorené vápencami a dolomitmi.

Plošne je Slovensko z dvoch tretín pokryté horami. Obraz krajiny dotvárajú tri nížinné celky: Záhorská, Podunajská a Východoslovenská nížina. Výškový reliéf má rozpätie od 94 do 2655 m n. m.

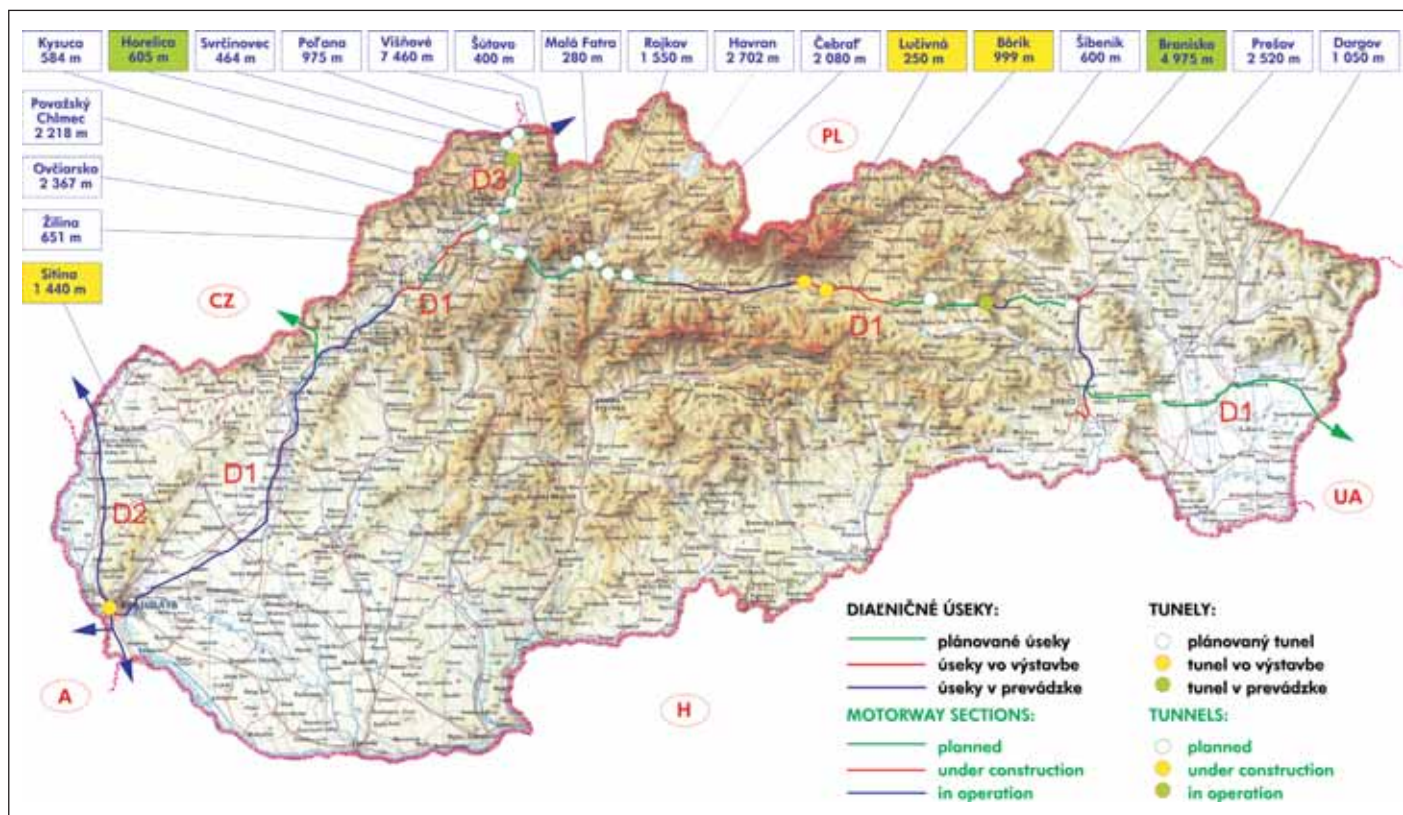
INTRODUCTION

Morphologic configuration and geology of Slovakia

The territory of Slovakia is covered with mountains belonging to the Alpine-Carpathian mountain system consisting of a system of complicated faults and overthrusts that originated during the Alpine orogeny. The part of the great Carpathian bow (starting north from Vienna and ending at the Danube River's Iron Gate) that is found in Slovakia is zoned off as the Western Carpathians. The configuration of the mountain ranges of the Western Carpathians is that of long protracted curves copying the state border, with the east-west direction prevailing. Apart from dominating protracted valleys, the occurrence of basin-shaped depressions between mountains is typical of the geomorphology of the Western Carpathians.

Regarding the age, all geological formations of the Carpathians originated in the Proterozoic to Quaternary periods. A more detailed geomorphologic categorisation distinguishes 11 regional tectonic zones in Slovakia. The most significant in terms of tunnel construction are formations of the external flysch zone and internal Carpathian zone, the klippen zone, the core mountain range, the Vepor and Spiš-Gemer zones and neovolcanites of the Carpathian volcanic ring. Apart from the Alpine peaks of the High Tatra and Low Tatra Mountains, the terrain configuration is determined by Mesozoic napes of coating series of core mountain ranges consisting of limestone and dolomite.

Regarding the surface, two thirds of Slovakia are covered by mountains. The landscape view is complemented by three lowlands, i.e. the Záhorská, Danube and East Slovakian lowlands. The surface altitude



Obr. 1 Mapa Slovenskej republiky s plánovanými diaľničnými tunelmi
Fig. 1 The map of the Slovak Republic with planned highway tunnels

Riečnou magistrálou Slovenska je rieka Váh, ktorá pre lode nie je splavná, ale jej údolím prebieha hlavný dopravný koridor od Bratislavy po Tatry. Východozápadná dopravná magistrála smerom na Košice vedie ďalej povodím Popradu, Hornádu a Torysy, ale jej trasa pretína Levočské pohorie, Branisko, Slanské vrchy a ďalej pokračuje cez Východoslovenskú nížinu až po štátnu hranicu s Ukrajinou.

História podzemného stavebníctva na Slovensku

Začiatky podzemného stavebníctva, podobne ako v mnohých iných krajinách sú úzko späté s ťažbou nerastných surovín. Západné Karpaty sa vyznačujú vysokým stupňom mineralizácie, preto má Slovensko mimoriadne bohatú históriu baníctva. Jej najslávnejšie kapitoly sa písali hlavne v dvoch obdobiach. Prvé obdobie siaha do 13. – 16. storočia, keď sa začal rýchly rast ťažby drahých kovov a medi, zakladali sa banské mesta, kodifikovalo sa banské právo a z povrchovej ťažby sa prechádzalo na hlbinnú. Ďalšiemu obdobiu rozkvetu spadajúceho do rokov 1740 až 1790 sa hovorí zlatý vek baníctva, keď sa štát veľkou mierou pričínal o rozvoj ťažby drahých kovov. Slovenské baníctvo sa dostalo na popredné miesto vo svete vďaka preberaniu a zavádzaniu novej techniky, zakladali sa nové školy na výchovu odborníkov, domáci odborníci konštruovali dômyselné stroje, rozvíjali sa banské vedy. Pozoruhodným javom z tohto obdobia je vývoj banských škôl. V rokoch 1632 a 1676 bola Banskou komorou kodifikovaná výučba banských expeťantov v Banskej Štiavnici a v roku 1747 bola ďalšia takáto škola otvorená v Smolníku. V roku 1763 bola v Banskej Štiavnici zriadená katedra mineralógie, chémie a hutníctva. V roku 1770 bola štiavnická banská škola povýšená na akadémiu a stala sa tak prvou baníckou vysokou školou na svete.

Pozoruhodnými podzemnými dielami od konca stredoveku až po koniec 20. storočia sú stavby dlhých odvodňovacích (dedičných) štôlní, ktoré v minulosti predstavovali takmer jedinú možnosť odvodnenia a postupu s dobývaním hlbších partíí ložísk. Stavba dedičných štôlní pokračovala až do konca 20. storočia. Najdlhšou dedičnou štôľňou bola štôľňa Jozefa II. z Voznice do Banskej Štiavnice dlhá 16 210 m vybudovaná v rokoch 1782 – 1878.

K renomé slovenského baníctva a zároveň aj k veľkému technickému pokroku banských prác prispelo zavedenie strelného prachu na rozpojovanie hornín. Prvý verejný pokus sa uskutočnil 8. februára 1627 vo veľmi tvrdých horninách v Hornej Bieberovej štôlni v Banskej Štiavnici. S myšlienkou pokusu prišiel sapérsky dôstojník



Obr. 2 Bratislavský tunel č. 1
Fig. 2 The Bratislava Tunnel No. 1

ranges from 94 to 2655m a.s.l. The major Slovakian river, the Váh, is not navigable. Although the river valley represents the main traffic corridor from Bratislava to the Tatra Mountains. The east-west backbone road toward Košice leads further via the catchment area of the Poprad, Hornád and Torysa, but its route crosses the Levoča Mountain Range, Branisko, Slanské Hills, and further continues across the East Slovakian Lowlands up to the Ukraine state border.

History of underground construction in Slovakia

The beginning of underground construction in Slovakia, similarly to many other countries, is closely connected with extraction of raw mineral materials. The Western Carpathians are noted for a high degree of mineralisation, therefore the history of mining is extraordinarily rich in Slovakia. The most famous chapters of the history were written mainly in two periods. The first period reaches back to the 13th – 16th century where the rapid growth of extraction of precious metals and copper began, associated with foundation of mining towns, codification of mining legislation; opencast mining methods were replaced by underground mining then. The other period of prosperity, which took place from 1740 to 1790 when the government contributed significantly to the development of extraction of noble metals, is labelled the golden age of mining. Slovakian mining achieved a leading position in the world owing to taking over and introduction of new techniques. New schools were founded to educate technicians, domestic professionals designed ingenious mechanisms, mining sciences flourished. A noteworthy phenomenon of this period is the development of mining schools. Teaching of mining “expeťants” in Banská Štiavnica was codified by the Chamber of Mining in 1632 and 1676; another school of this kind was opened in 1747 in Smolník. In 1763 a department of mineralogy, chemistry and metallurgy was established in Banská Štiavnica. The school in Banská Štiavnica was promoted to an academy in 1770. It became the first university of mining in the world.

Remarkable underground works from the end of the Middle Ages up to the end of the 20th century are long drainage galleries, which represented nearly the only method of evacuation of water allowing miners to proceed to deeper parts of the deposits. The excavation of drainage galleries continued until the end of the 20th century. The longest drainage gallery was the 16,210m long Joseph II gallery from Voznica to Banská Štiavnica, built in 1782 – 1878.

The introduction of gunpowder in the rock breaking process contributed to the reputation of the Slovakian mining and to the great technical progress of mining operations. First public trial took place on 8 February 1627, in very hard rock conditions of the Horná Bieberová gallery in Banská Štiavnica. It was an idea of Gašpar Weindl, a sapper officer, to carry out the trial. He continued to utilise gunpowder in the excavation of the Daniel crosscut. The success of the gunpowder application spread to other mines very quickly.

The era of construction of railway tunnels commenced in Slovakia as early as the first half of the 19th century. It lasted for over 100 years. The last railway tunnels were opened to traffic in 1966. This period saw 84 railway tunnels built in Slovakia.

Názov tunela Tunnel Name	Rok dokončenia Year of Completion	Dĺžka v m Length in m
Bratislavský č.1 / Bratislava No.1	1848	704
Strečno III. / Strečno III.	1871	542
Kraľovianský I. / Kraľovianky I.	1871	408
Píla / Píla	1871	125
Kriváňsky / Kriváň	1871	320
Bartoška / Bartoška	1872	107
Blaufus / Blaufus	1872	531
Hrenca I. / Hrenca I.	1872	487
Hrenca II. / Hrenca II.	1872	129
Kečka / Kečka	1872	338
Kremnický / Kremnica	1872	122
Turček / Turček	1872	37
Veľká Skalka / Veľká Skalka	1872	214
Malá Skalka / Malá Skalka	1872	79
Skalický / Skalica	1872	74
Pitelová / Pitelová	1872	374
Söhler / Söhler	1872	707
Margecanský / Margecany	1872	404
Lupkowský / Lupkow	1876	234
Ťahanovský starý / Ťahanovce – Old	1876	277
Jablonický / Jablonica	1898	900
Oravský / Orava	1898	96

Tab. 1 Železničné tunely vybudované v 19. storočí
Table 1 Railway tunnels built in the 19th century

Gašpar Weindl a s použitím strelného prachu pokračoval pri razení prekopu Daniel. Úspech použitia strelného prachu sa následne rýchlo rozšíril aj do ďalších baní.

Už v prvej polovici 19. storočia sa na Slovensku začala éra výstavby železničných tunelov, ktorá trvala viac ako 100 rokov, keď posledné železničné tunely boli uvedené do prevádzky v roku 1966. Na území Slovenska sa za toto obdobie vybuďovalo 84 železničných tunelov.

Rozvoj moderných technológií výstavby v dvadsiatom storočí

Vývoj techniky a technológií podzemných stavieb na Slovensku nestratil kontext s vývojom vo svete aj napriek prekážkam brániacim transferu technických novinek zo Západu. Oneskorenie sa prejavilo viac v tom zmysle, že sa časovo odsúvala stavba diaľničnej siete, a tým aj tunelov. Na druhej strane toto oddialenie umožnilo prevziať všetky pozitívne výsledky technických riešení vygenerované vo svete, aj keď s určitým časovým odstupom.

V odvetví banských a podzemných inžinierskych stavieb sa v druhej polovici 20. storočia na Slovensku preberali postupne všetky technické novinky: svorníky, striekaný betón, raziace štíty, vrtacie vozy, šplhavé raziace plošiny, pneumatická a čerpadlová doprava betónu, prefabrikované betónové ostenie, vrtacie vozy, bezkoľajový systém odtážby nakladačmi a dumprami na kĺbových podvozkoch, veľkopriemerové súpravy na vrtanie komínov, raziace stroje s čiastočným záberom, plnoprofilový tunelovací stroj, oceľové teleskopické debnenia, gravitačná doprava betónu, zmrazovanie tekutým dusíkom, hydraulické pretláčanie potrubí a železobetónových rámov pri stavbe podchodov, nové druhy trhavín a roznecovadiel, hladký výlom, moderné vrtné schémy a zálomy a pod. Tento potenciál sa prirodzene na začiatku novej vlny tunelových stavieb mohol naplniť a bez obmedzení využiť.

Prvý diaľničný tunel na Slovensku, tunel Branisko, sarazil konvenčnou technológiou podľa princípov Novej rakúskej tunelovacej metódy. Výsledky tak po stránke razičských výkonov ako aj kvalitatívnych parametrov sú na zrovnateľnej úrovni s Rakúskom alebo Nemeckom. Napokon slovenskí raziči sa novodobým tunelárskym praktikám priučili na stavbách v zahraničí skôr ako sa začali raziť diaľničné tunely na Slovensku. Prvou zahraničnou stavbou, na ktorej sa podieľali slovenskí tunelári, bol diaľničný tunel Kohlberg pri Mníchove, stavaný v rokoch 1987 – 1990. Po ňom nasledovali tunely Engelberg, Rennsteig a tiež päť tunelov na stavbe rýchlej železnice Kolín nad Rýnom – Frankfurt nad Mohanom. Slovenskí tunelári sa v poslednej dekáde 20. storočia presadili vo viacerých nielen európskych krajinách a dnes ich je možné stretnúť na stavbách v Nemecku, Taliansku, Fínsku či Islande.

ŽELEZNIČNÉ TUNELY

Počiatky budovania železníc na Slovensku siahajú do druhej tretiny 19. storočia.

Neoddeliteľnou súčasťou budovania železničných tratí vzhľadom na hornatý charakter krajiny boli tunely. Pri navrhovaní železničnej trate je nutné prihliadať k smerovému a výškovému vedeniu s oveľa väčším dôrazom ako pri cestnej komunikácii, kvôli čomu bolo v minulosti budovaných podstatne viac železničných tunelov ako cestných. Tunely na železnici boli budované okrem prekonávania horských masívov aj cez zosuvné územia, kde vybudovaním otvoreného zárezu by mohlo dôjsť k zosunutiu celého svahu. Zvláštnosťou sú tunely „dvojičky“, pomocou ktorých sa v úzkom údolí otočí smer o 180°, alebo tunely „špirálové“ na prekonanie výškového rozdielu medzi údoliami.

Výstavba železničných tunelov v 19. storočí

V 19. storočí bolo na území Slovenska postavených 22 železničných tunelov. Všetky tunely boli jednokoľajové, iba Lupkowský tunel bol budovaný dvojkolajový. Niektoré z nich sú dnes už mimo prevádzky (Kráľovanský II, Píla, Kriváňsky, Margecanský a Ťahanovský starý).

Bratislavský tunel č. 1 je najstarší železničný tunel na území Slovenska postavený počas výstavby jednokoľajnej trate Viedeň –



Obr. 3 Lupkowský tunel
Fig. 3 The Lupkow Tunnel

Development of modern construction techniques in the twentieth century

The development of equipment and techniques for underground construction in Slovakia did not lose touch with the development in the world, despite obstacles preventing the import of technical innovations from the West. The fact of lagging behind was more apparent considering the set off of the development of the highway network with its tunnels. On the other hand, this postponement allowed us to take over all positive results of technical solutions generated in the world, although with a certain delay.

The mining and underground construction industries utilised all technical novelties in the second half of the 20th century in Slovakia: rock bolts, sprayed concrete, driving shields, drilling sets, climbing-type mining platforms, pneumatic conveying or pumping of concrete, precast concrete lining, trackless loading and haulage with loaders and dumpers on articulated undercarriages, large diameter shaft boring machines, roadheaders, full-face tunnel boring machines, telescopic steel shutters, gravitational conveyance of concrete, nitrogen method of freezing ground, hydraulic jacking of pipes and reinforced concrete frames in construction of subways, new types of explosives and primers, smooth blasting, modern drilling patterns and cuts, etc. This potential was fully and without limitation available for the use at the beginning of the new wave of tunnelling projects.

The Branisko tunnel, first highway tunnel in Slovakia, was excavated using a conventional technique utilising the principles of the New Austrian Tunnelling Method. In terms of the excavation outputs or quality parameters, the results are at a comparable level as those achieved in Austria or Germany. Why not? Slovak miners had learned the new tunnelling practices on foreign sites before they started the excavation of tunnels in Slovakia. First foreign project that Slovak miners participated on was the Kohlberg tunnel near Munich, built in 1987 – 1990. The Engelberg and Rennsteig tunnels followed, as well as five tunnels on the high-speed rail line Cologne on the Rhine – Frankfurt on the Mohan. Slovak tunnellers have won contracts in more countries, not only European, in the last decade of the 20th century. Today you can meet them on construction sites in Germany, Italy, Finland or Island.

RAILWAY TUNNELS

The beginning of building railways in Slovakia goes back to the second third of the 19th century. Because of the mountainous landscape, inseparable part of the construction of railways were tunnels. The railway route design must pay much more attention to the directional and vertical alignment parameters than a road design. This is why significantly more railway tunnels were built in the past than road tunnels. Tunnels were built on rail lines not only to overcome mountain massifs but also to pass across landslide-prone areas where excavation of an open cut could result in a failure of the entire slope. Special tunnelling elements were so-called “tunnel couples” allowing the tracks to make a U-turn in narrow valleys, or “spiral tunnels” overcoming differences between elevations of valleys.

Railway tunnel construction in the 19th century

In the 19th century, there were 22 railway tunnels built in the territory of Slovakia. All tunnels were single-rail excepting the Lupkow

Bratislava. Tunel je priamy a svojou pôvodnou dĺžkou 704 m patril v tom čase k najdlhším v Európe. Po rozhodnutí, že trať Viedeň – Bratislava bude predĺžená až do Budapešti, začala sa stavať nová stanica, ktorá bola priebežná a z toho dôvodu bolo potrebné skrátiť tunel na 593 m a vytvoriť otvorený zárez pre vybudovanie zhlavnia stanice.

Lupkowský tunel nachádzajúci sa v nadmorskej výške 655 m. n. m. preklenuje Lupkowský priesmyk. Tunel rozdeľuje štátna hranica medzi Slovensko a Poľsko. Slovenská časť tunela dĺžky 234 m bola navrhnutá na svetlý tunelový prierez podľa maďarských vzorových listov na 8,2/6,3 m pre dvojkolažnú prevádzku s osovou vzdialenosťou koľají 3,5 m. Na poľskej strane bola obmurovka z dôvodu veľkých deformácií a porúch zosilnená zmenšením prierezu tunela na jednokolažný tunel. Trať je v oblúku o polomere R 200 m a v dĺžke 316 metrov je v stúpaní až 22 ‰. Nadložie tunela je tvorené mäkkými a tlačivými horninami o maximálnej výške 25,5 m. Razenie sa vykonávalo sčasti belgickou a sčasti rakúskou tunelovacou metódou.

Výstavba železničných tunelov v 20. storočí

V 20. storočí bolo na území Slovenska postavených 62 železničných tunelov, z toho 57 jednokolažných a 5 dvojkolažných (Štiavnický, Kraľoviansky I., Ružínsky, Bujanovský a Ťahanovský).

Bralský tunel (3012 m) prekonával Bralskú skalu vysokú 825 m. Razenie sa vykonávalo upravenou rakúskou tunelovou metódou. Najväčšia výška nadložia bola 218 m, pričom nadložie pozostávalo z vyvrélych hornín, tufitov, andezitových zlepcov, dolomitov, vrsťev ílu a sutových úsekov. Početné komíny, ktoré vznikli pri razení, boli vyplňované kamenným murivom. Pri razení bolo nutné čeliť veľkým tlakom, ktoré spôsobovali napučiacie bridlicové horniny, ďalej to bolo veľké množstvo vody, ktorá vyrážala pod veľkým tlakom z vzniknutých trhlín. Najväčšie množstvo vody, ktoré otekalo zo stavby, bolo 350 l/s.

tunnel, which was built as a double-rail structure. Some of them are today out of operation (the Kraľoviany II, Píla, Kriváň, Margecany and old Ťahanovce).

The Bratislava tunnel No.1 is the oldest railway tunnel in Slovakia, built during the construction of the single-rail track from Vienna to Bratislava. The tunnel alignment is straight. With its original length of 704m it belonged to the longest tunnels of that period. When a decision had been made that the Vienna-Bratislava line would be extended as far as Budapest, a new station construction started. It was a through station, and the construction required the length of the tunnel to be reduced to 593m to allow an open cut to be excavated for development of the gridiron for the station.

The Lupkow tunnel, which is found at an altitude of 655m a.s.l., leads across the Lupkow pass. It is bisected by the state border between Slovakia and Poland. The 234m long Slovakian part of the tunnel was designed for a clearance profile according to Hungarian standards, i.e. 8.2/6.3m for double-rail operation with the track centre distance amounting to 3.5m. On the Polish side, the thickness of the lining had to be increased because of large deformations and defects, thus the tunnel cross-section was reduced to a single-rail configuration. The rail line is in a curve with a radius R 200m, a 316m long section inclines up to 22‰. The tunnel overburden consists of soft and squeezing ground with a maximum thickness of 25.5m. The excavation was carried out using partially the Belgium Tunnelling Method and partially the Austrian Method.

Railway tunnel construction in the 20th century

The 20th century saw the construction of 62 railway tunnels in Slovakia, out of that 57 single-rail a 5 double-rail types (the Štiavnica, Kraľoviansky I, Ružín, Bujanov and Ťahanovce tunnels).

The Bralský Tunnel (3012m) overcoming the Bralská Skala mountain (825m a.s.l.) was excavated using the Modified Austrian Method. The deepest overburden was of 218m. It consisted of igneous rock, tuffite, andesite conglomerates, dolomite, clayey beds and debris sections. Numerous chimneys, which originated during the course of the

Názov tunela Tunnel Name	Rok dokončenia Year of Completion	Dĺžka v m Length in m
Banskoštiavnický / Banská Štiavnica	1949	1194
Banskobystrický I. / Banská Bystrica I.	1938	350
Besnický / Besné	1935	849
Bralský / Bralský	1931	3012
Bratislavský č.2 / Bratislava No.2	1902	596
Bujanovský / Bujanov	1955	3 410
Čabradský I. / Čabrad I.	1938	280
Čabradský II. / Čabrad II.	1939	144
Čachtický / Čachtice	1927	249
Čremoňiansky / Čremošné	1939	4697
Dolinský I. / Dolina I.	1939	120
Dolinský II. / Dolina II.	1939	576
Gelnický / Gelnica	1934	220
Grehelský I. / Grehelský I.	1938	1300
Grehelský II. / Grehelský II.	1938	280
Hajnický / Hájniky	1931	102
Hamrický / Hámre	1935	300
Handlovský / Handlová	1908	133
Harmanecký I. / Harmanec I.	1938	200
Harmanecký II. / Harmanec II.	1938	294
Hronský / Hron	1933	250
Jablonovský / Jablonov	1949	3162
Japenský I. / Japenský I.	1939	1134
Japenský II. / Japenský II.	1939	757
Jarabský I. / Jarabá I.	1934	373
Jarabský II. / Jarabá II.	1934	326
Koprášský / Kopráš	1947	245
Kosienský / Kosienský	1938	70
Kraľoviansky I. / Kraľovianky I.	1948	498
Milavský / Milavský	1966	703
Mlynecký / Mlyniec	1935	140

Názov tunela Tunnel Name	Rok dokončenia Year of Completion	Dĺžka v m Length in m
Nemcovský / Nemcovce	1941	450
Neresnický / Neresnica	1924	230
Ožďanský / Ožďany	1912	160
Pekelský / Peklisko	1931	304
Pod Dielikom / Pod Dielikom	1949	2003
Pod Poľanou / Pod Poľanou	1927	2422
Pod Vlčkom / Pod Vlčkom	1924	129
Podkanovský I. / Podkanovský I.	1939	900
Podkanovský II. / Podkanovský II.	1938	116
Poriadský / Poriadie	1928	486
Pstruhársky / Pstruhársky	1931	380
Robkynský / Robkynský	1938	197
Ružbašský / Ružbachy	1966	453
Ružínsky / Ružina	1955	130
Slavošovský / Slavošov	1947	2401
Strážský / Stráž	1943	315
Stratenský / Stratená	1935	105
Strečno I. / Strečno I.	1938	321
Strečno II. / Strečno II.	1938	593
Štiavnický / Štiavnica	1943	158
Štubníansky / Štubne	1931	642
Telgártsky / Telgárt	1933	1239
Tisovecký / Tisovec	1944	771
Tufenský / Tufenský	1939	50
Ťahanovský / Ťahanovce	1954	320
Ulmanský I. / Ulmanský I.	1939	525
Ulmanský II. / Ulmanský II.	1939	41
Ulmanský III. / Ulmanský III.	1940	69
Ulmanský IV. / Ulmanský IV.	1940	50
Ulmanský V. / Ulmanský V.	1940	64
Zlatno / Zlatno	1908	500

Tab. 2 Železničné tunely vybudované v 20. storočí
Table 2 Railway tunnels built in the 20th century

Telgártsky tunel vybudovaný na trati Margecany – Červená skala je známy unikátnym riešením. Trať vedie v úzkom údolí, ktoré neumožnilo rozvinúť trať a prekonať 40metrový výškový rozdiel. Preto tu bolo navrhnuté riešenie pomocou tunelovej špirály s polomerom 400 m a so sklonom 16 ‰. Pri razení tunela rakúskou tunelovou metódou sa vyskytli početné jaskyne, ktoré sa museli vyplniť betónom, vznikali značné tlaky a narazilo sa i na tekuté piesky. Odtok vody z tunela bol nepretržitý v množstve 35 l/s. Nadložie tunela je tvorené z verfenských bridlíc, porfýrov, pieskovecových vápencov a žulovou sutou. Výška nadložia je 96 metrov.

Medzi najkrajšie a technicky najnáročnejšie trate patrí trať Banská Bystrica – Diviaky. Tunely v počte 22 tvoria 12,2 kilometra, čo predstavuje cca 30 % dĺžky trate. Najdlhší železničný tunel na tejto trati a zároveň na Slovensku je jednokoľajový Čremošnian-ský tunel (4698 m). Smerová štôlna sa razila z oboch strán, pričom na styku bola zistená odchýlka v smere 28 mm a vo výške 5 mm. Maximálna výška nadložia je 318 metrov. Tunel je vrcholový a veľmi bohatý na vodu. Celkové množstvo vytekajúcej vody z tunela počas stavby bolo až 500 l/s a v súčasnosti je z časti tunela v dĺžke 3500 m trvale vytekajúce množstvo 200 l/s. Vetracia šachta má priemer 4,5 m a hĺbkue 86 m.

Bujanovský tunel (3410 m) je najdlhším dvojkolajovým tunelom. Vedie pod kopcom Suchý Vrch a Bujanov. Razenie tunela sa vykonávalo belgickou tunelovou metódou a modifikovanou rakúskou tunelovou metódou v hornine tvorenej zo svorových žúl, ktoré vykazovali viaceré tektonické poruchy. Výška nadložia tunela je 330 metrov. Smerová štôlna bola razená z oboch portálov a aj od budúcej vetracej šachty s hĺbkou 110 m. Svetlý tunelový prierez 9,0 / 7,2 m je vhodný pre elektrifikovanú trať.

Súčasnosť a výhľad do budúcnosti

V súčasnosti je v sieti slovenských železníc prevádzkovaných 76 tunelov v celkovej dĺžke 43,4 km, z toho 7 tunelov dvojkolajných.

V období od roku 1993 boli niektoré trate ŽSR zaradené do medzinárodných tranzitných koridorov na prepravu kombinovanej dopravy. Toto si vyžaduje uplatňovanie nových gabaritov na vytypovaných tratiach podľa medzinárodnej „Dohody AGTC“. Tunely na týchto tratiach nevyhovujú priestorovým usporiadaním a bude nutné pristúpiť k ich rozširovaniu.

Dopad na výstavbu nových tunelov má „Program Modernizácie železničných tratí ŽSR na rýchlosť do 160 km/h a možnosť zvýšenia rýchlosti do 200 km/h pre súpravy s naklápacou skriňou“. Pri návrhu dochádza k vyrovnávaniu oblúkov a novému trasovaniu trate. Zatiaľ boli spracované porovnávacie štúdie vedenia trate pre rýchlosť 120, 140 a 160 km/h. Pri maximálnom variante sa uvažuje s 13 novými dvojkolajnými tunelmi v celkovej dĺžke cca 10 km. Pre tunel Pod Tureckým vrchom (1765 m) je už spracovaná projektová dokumentácia a v r. 2006 sa pripravuje verejná súťaž. Realizácia stavby by mala začať v roku 2007.



Obr. 5 Bujanovský tunel
Fig. 5 The Bujanov Tunnel



Obr. 4 Telgártsky tunel
Fig. 4 The Telgárt Tunnel

excavation, were backfilled with stone masonry. The excavation had to face high pressures due to swelling of shale, as well as significant quantities of water flowing under high pressure from fissures. The highest rate of water flowing from the construction site amounted to 350 l/sec.

The Telgárt tunnel, which was built on the Margecany – Červená Skala rail line, is famous for its unique solution. The line runs along a narrow valley, which did not allow the alignment to develop and overcome a 40m difference in elevation. For that reason the design incorporated a spiral tunnel with the spiral radius of 400m and gradient of 16 ‰. Numerous caverns were encountered during the excavation, which was carried out using the Austrian Tunnelling Method. They had to be backfilled with concrete. Other problems were caused due to high pressures and occasional occurrence of running sands. A continuous water outflow from the tunnel amounted to 35l/sec. The up to 96m thick tunnel cover consisted of Verfén shales, porphyry, sandy limestone and granite debris.

The Banská Bystrica – Diviaky line is counted among the most beautiful and technically most demanding rail lines. There are 22 tunnels on this line. Total length of the tunnels amounting to 12.2km represents about 30% of the length of the line. The longest rail tunnel on this line, and at the same time in Slovakia, is the single-track Čremošné tunnel (4698m). A pilot gallery was driven from both sides. The deviation measured at the contact spot amounted to 28mm in line and 5mm in level. The maximum overburden thickness amounts to 318m. The tunnel is of the summit type, suffering from high rates of water inflows. Total rate of the flow of water from the tunnel during the construction amounted up to 500l/sec; today about 200l/sec flows from a 3500m long section of the tunnel. The ventilation shaft is 4.5m in diameter and 86m deep.

The Bujanov tunnel (3410m) is the longest double-track tunnel. It passes under Suchý Vrch and Bujanov hills. The excavation through gneiss exhibiting numerous faults was carried out using the Belgium Tunnelling Method and Modified Austrian Tunnelling Method. The tunnel cover was 330m thick. A pilot tunnel was driven from both portals, and also from the 110m deep future ventilation shaft. The net cross-section of 9.0 / 7.2m is suitable for an electrified rail track.

The presence and long-term expectations

Currently the network of Slovak railways comprises 76 operating tunnels at a total length of 43.4km, including 7 of the double-rail type.

Since 1993, some railway lines of the Slovak Republic's Railways have been incorporated into the system of international transit corridors for combined traffic. Because of this fact new gabarits are required for tracks selected according to the international "AGTC Agreement". The spatial configuration of the tunnels on those tracks does not comply with the requirements. The profiles will have to be enlarged.

The impact of the "Program of Upgrading railway tracks of the Slovak Republic to deal with speeds up to 160 km/h and possibility of its increase to 200 km/h for trains with tilting bodies" on the construction of new tunnels is already obvious. Alignment curves are being straightened and new routes are being designed. Till now, comparative studies on tracks for velocities of 120, 140 and 160km/h have been carried out. In the case of the maximal variant, 13 new double-rail tunnels



Obr. 6 Východný portál tunela Branisko

Fig. 6 The East Portal of the Branisko Tunnel

CESTNÉ A DIAĽNIČNÉ TUNELY

Výstavbe cestných tunelov sa Slovensko desaťročia akoby vyhýbalo. Jednou z príčin bolo aj to, že väčšina cestných ťahov využíva dlhé doliny medzi tiahlymi horskými pásmami východozápadného smeru. Transverzály severojužného smeru sa dali vybudovať v priečných dolinách a horskými priechodmi v relatívne prístupných priesmykoch a sedlách. V priebehu 20. storočia, až do začiatku výstavby diaľničných tunelov, sa vybudovali iba dva cestné tunely. Prvým bol Bratislavský, ktorý sa začal stavať v roku 1943 a do užívania sa odovzdal v roku 1947. Rozostavaný tunel počas vojny slúžil ako protiletectký úkryt. V rokoch 1981 – 1983 bol prebudovaný na električkový tunel. Druhý, 300 m dlhý cestný tunel – Stratenský na štátnej ceste I/67 z Popradu do Dobšinej, bol vybudovaný v rokoch 1969 – 1971.

Posledná dekáda 20. storočia priniesla Slovensku výrazné spoločensko-politické zmeny, ktorých prejavom sa stal prechod k demokratickému politickému systému a následne vznik Slovenskej republiky. Nakoľko sa povojnová výstavba diaľnic na Slovensku týkala nesúvislých úsekov budovaných prevažne v rovinnom území, vláda SR prijala v roku 1995 Program výstavby diaľnic. Cieľom programu bolo dobudovanie diaľničnej siete, prepojenie hlavného mesta Bratislavy s centrom východného Slovenska Košicami a tiež napojenie na diaľničné trasy susediacich štátov.

Celková dĺžka cestnej siete na Slovensku je dnes 17 300 km, z toho diaľnice tvoria 316 km. Podľa modifikovaného projektu vlády Slovenskej republiky prijatého v roku 2001 je plánovaná dĺžka diaľničnej siete 688 km a plánovaná dĺžka rýchlostných ciest 1182 km. Celková dĺžka tunelov by mala byť približne 34 km, pričom prevažná väčšina z nich by mala byť vybudovaná s dvomi tunelovými rúrami (pozri obr. 1).

Tunel Branisko

Stavba úseku diaľnice D1 Beharovce – Branisko na východnom Slovensku, ktorého súčasťou je takmer 5 km dlhý tunel Branisko, reprezentovala začiatok éry moderného tunelového staviteľstva na Slovensku a zároveň definovala v mnohých svojich atribútoch postupy a technické riešenia, ktoré môžu byť využité na ďalších pripravovaných tunelových stavbách. Stavbe tunela predchádzalo razenie prieskumnej štôlne, ktoré začalo v roku 1996 a následne sa v roku 1997 začala výstavba samotného tunela.

Tunel Branisko je koncepčne riešený pre diaľničnú dopravu s dvoma tunelovými rúrami. V súčasnosti je vybudovaná a uvedená do prevádzky južná tunelová rúra, ktorá bude slúžiť pre obojsmernú dopravu až do naplnenia jej dopravnej kapacity a vybudovania druhej, severnej tunelovej rúry. Celková dĺžka tunela je 4975 m, pričom tunel je vedený v stúpaní 1,20 % v smere od západu v dĺžke 4550 m a potom v klesaní 1,65 % klesanie v dĺžke 425 m. Dopravný priestor v tuneli je určený priechodným prierezom so šírkou

at a total length of about 10km are expected. The design has been completed for the tunnel under Turecký Vrch mountain (1765m); the call for tenders is planned for 2006. The works should start in 2007.

ROAD AND HIGHWAY TUNNELS

It might seem as if Slovakia has shunned road tunnel construction for decades. One of the reasons has also been the fact that most roads take advantage of long valleys between long mountain ranges oriented in the east-western direction. North-southern transversal roads could be built in transversal valleys and via mountain passes found in relatively easily accessible cols and saddles. During the 20th century, only two road tunnels had been built before the commencement of highway tunnelling projects. The first one was the Bratislava tunnel. The construction started in 1943 and the tunnel was opened to traffic in 1947. The incomplete tunnel served as an air-raid shelter during the war. In 1981 – 1983 it was reconstructed to a tramline tunnel. The other road tunnel, the 300m long Stratená tunnel on the trunk road I/67 from Poprad to Dobšiná, was built in 1969 – 1971.

The last decade of the 20th century carried significant socio-political changes to Slovakia. They were accompanied by the transition to a democratic political system and subsequent origination of the Slovak Republic. As the after-war development of highways produced discontinuous sections built mostly in flat areas, the government of the SR adopted the Development Program for Highways in 1995. The objective of the program was to complete the development of the highway network, interconnect the capital, Bratislava, with the centre of eastern Slovakia, Košice, and to provide links to highway routes of the neighbouring states.

The total length of the road network in Slovakia amounts today to 17,300km; highways account for 316km of that length. According to the Slovakian government's modified project adopted in 2001, the highway network is planned to have a length of 688km; a length of 1182km is planned for high-speed roads. The total length of tunnels should amount approximately to 34km; most of them should be of the twin-tube configuration (see Fig. 1).

The Branisko Tunnel

The construction of the D1 highway section from Beharovce to Branisko in eastern Slovakia, containing the nearly 5km long tunnel Branisko, represented the beginning of the era of modern tunnel engineering in Slovakia. At the same time this project defined, through many of its attributes, procedures and technical solutions that can be utilised in other tunnel projects being prepared.

The excavation of an exploration gallery, which started in 1996, preceded the tunnel construction. The construction of the tunnel proper commenced subsequently, in 1997.

The Branisko tunnel is solved conceptually for highway traffic with two tunnel tubes. By now, the southern tunnel tube has been completed and is in operation. This tube will carry bi-directional traffic until its traffic capacity is exhausted and the construction of the other tube, i.e. the northern tube, is completed. The tunnel is 4975m long. Out of this length, the 4550m long section inclines from the west at 1.20%, and the subsequent length of 425m is at a down gradient of 1.65%. The traffic space in the tunnel is determined by a clearance profile with the width of 7.5m (roadway width between kerbs), the height of 4.5m, and 1m wide service walkways on either side of the roadway.

The geological environment that the tunnel was driven through was characterised by significantly differing stability conditions, changing mainly in relation to the stratigraphic profile of the massif consisting of Palaeogene, Permian and crystalline-complex rock types. Regarding the selection of the method of the Branisko tunnel excavation, analyses carried out as early as the initial design phases dealt with the possibility to utilise a large-diameter TBM. A comparison of the TBM drive with conventional excavation using the New Austrian Tunnelling Method (NATM) was documented. The comparison concluded that the NATM was more suitable for the Branisko tunnel; the actually achieved results proved correctness of this choice. The design, the system of geotechnical control of the works, together with experience, endeavour and flexibility of tunnelling contractors made the project team capable of reaching advance rates that accelerated the excavation so much that the top heading breakthrough took place approximately after two years of the excavation work, in April 1999. Although,

vozovky 7,5 m medzi obrubníkmi, prejazdnu výškou 4,5 m a služobnými chodníkmi šírky 1 m po oboch stranách vozovky.

Horninové prostredie, v ktorom bol tunel razený, bolo charakteristické výrazne odlišnými stabilitnými podmienkami, meniacimi sa najmä v súvislosti so stratigrafickým členením masívu, tvoreným horninami paleogénu, permu a kryštalinika. Pri výbere technológie výstavby tunela Branisko bola už v prvých projektových stupňoch analyzovaná možnosť použitia veľkopofilového raziaceho stroja (TBM) a bolo doložené jej porovnanie s konvenčným razením podľa princípov Novej rakúskej tunelovacej metódy (NRTM). Porovnanie vyznelo v prípade tunela Branisko v prospech NRTM a skutočnosť dosiahnutými výsledkami potvrdila správnosť tejto voľby. Projektové riešenie, systém geotechnického riadenia stavby spolu so skúsenosťami, snahou a flexibilitou dodávateľských firiem umožnili dosahovať postupy, ktoré urýchlili dobu razenia, keď sa prerazenie kaloty uskutočnilo po približne dvoch rokoch razenia v apríli roku 1999. V nasledovnom období však došlo k viacerým časovým sklzom, takže tunel bol uvedený do prevádzky až v roku 2003.

Vetranie tunela je zabezpečené polopriečnym systémom s odsávaním ventiláčnou šachtou hĺbky 120 m umiestnenou približne v strede dĺžky tunela. Prevádzková bezpečnosť je daná nielen technologickým vybavením plniacim aktuálne európske bezpečnostné požiadavky, ale aj stavebnými úpravami, najmä paralelnou únikovou štôľňou, ktorá je vlastne stavebne upravenou prieskumnou štôľňou.

Tunel Horelica

V októbri 2004 bol ako druhý diaľničný tunel do prevádzky uvedený tunel Horelica dĺžky 605 m. Úsek cesty I/11 Obchvat mesta Čadca, na ktorej sa tunel nachádza, je tranzitnou komunikáciou diaľničného typu D3 v smere zo Žiliny k slovensko-poľskému hraničnému priechodu Skalité – Zwardoń. Tunel je vybudovaný ako dvojpruhový, obojsmerný, so šírkou 9,0 m medzi obrubníkmi a prejazdnu výškou 4,8 m. Tunel bol razený konvenčne, podľa princípov NRTM. Vzhľadom na obtiažnosť geologických pomerov (flyšové súvrstvia prestúpené tektonickými poruchami, nízke nadložie) bol v celej dĺžke vybudovaný so spodnou klenbou. Prevádzkové a bezpečnostné vybavenie tunela dopĺňa paralelná úniková chodba dĺžky cca 350 m.

Tunel Sitina

Od polovice 2003 sa na území hlavného mesta Bratislavy buduje 3,5 km úsek diaľnice D2 Lamačská cesta – Staré grunty s diaľničným tunelom Sitina dĺžky takmer 1,5 km. Tunel Sitina je tvorený dvomi tunelovými rúrami s jednosmernou premávkou. Tunel je charakterizovaný dopravným priestorom 7,5 x 4,8 m a dĺžkou 1415 m (západná tunelová rúra), resp. 1440 m (východná tunelová rúra). Obe tunelové rúry sú rozdelené na úseky budované razením a hĺbené úseky budované v otvorenej stavebnej jame pri oboch portáloch. Úsek by mal byť uvedený do prevádzky začiatkom roku 2007, čím sa skompletizuje diaľničný obchvat centra mesta.

Tunel Sitina bol razený v granitoidnom masíve pahorku Sitina nachádzajeho sa na území Malých Karpat v styku s Lamačským prielomom. Povrch pahorku Sitina pokrývajú antropogénne navážky, pod ktorými sa nachádza súvislá vrstva kvartérnych sedimentov. Povrch vlastného granitoidného masívu je intenzívne zvetraný. Granitoidný masív tvoria muskoviticko-biotitické granity a granodiority s častým výskytom pegmatitových žíl a s polohami kryštalických bridlic – biotitických pararúl. Z hľadiska fyzického stavu šlo o značne heterogénne horninové prostredie, od relatívne zdravých hornín až po výrazne tektonicky porušené a hlboko zvetrané polohy charakteru poloskálnych hornín až zemín. Najvýraznejšie sa tektonické porušenie masívu prejavovalo nepravidelnými zónami rôznej mocnosti, až do niekoľkých metrov. V blízkosti tektonických zón boli horniny silne alterované, miestami intenzívne mylonitizované.

Špecifikom výstavby tunela Sitina je jeho umiestnenie v intraviláne, v blízkosti obytných a rekreačných zón. Kontinuálny seizmický monitoring bol dôležitý vzhľadom na blízkosť viacerých vedecských pracovísk, kde bolo nevyhnutné eliminovať vplyv trhacích prác na meracie zariadenie inštalované v laboratóriách.

Rovnako ako v tuneloch Branisko a Horelica je aj v tuneli Sitina vybudovaná vozovka s cementobetónovým krytom, výhodnejšia z hľadiska požiarnej ochrany a trvanlivejšia z časového hľadiska.



Obr. 7 Tunel Horelica

Fig. 7 The Horelica Tunnel

several times lags occurred in the subsequent period. Thus the tunnel was opened to traffic as late as 2003.

The tunnel ventilation is ensured by a semi-transversal system with a 120m deep exhaust shaft situated roughly in the middle of the tunnel. Operational safety is given not only by technical services complying with current European safety requirements, but also by the structural design, above all the escape gallery, which is, as a matter of fact, the exploration gallery after some additional construction work.

The Horelica Tunnel

The 605m long Horelica tunnel was inaugurated as the second highway tunnel in October 2004. The I/11 road's section named the Čadca Town By-Pass, which the tunnel is found on, is a highway-style transit road D3 leading in the direction from Žilina to the Slovakia – Poland border crossing Skalité – Zwardoń. The tunnel is being built as a double-lane, bi-directional tube with a width of 9.0m between kerbs and the clearance height of 4.8m. The tunnel was driven conventionally, according to the NATM principles. Because of difficult geology (flysch series of measures penetrated with faults; shallow overburden) the invert was built throughout the tunnel. The operational equipment and safety equipment of the tunnel is supplemented by an approximately 350m long parallel escape gallery.

The Sitina Tunnel

The 3.5km long section of the D2 highway from Lamačská Cesta to Staré Grunty, which has been under construction since the mid 2003 in the territory of the Slovak capital, Bratislava, contains also the nearly 1.5km long tunnel Sitina. The Sitina tunnel comprises of two tunnel tubes with uni-directional traffic. The tunnel features a clearance profile of 7.5 x 4.8m and a length of 1415m and 1440m (the western tube and eastern tube respectively). Both tunnel tubes are divided into mined sections and cut and cover sections built at both portals. This highway section is scheduled for bringing into service at the beginning of 2007; thus the highway loop around the city centre will be complete.

The tunnel Sitina was driven through a granodiorite massif of Sitina hill. The hill is found at the end of the Low Carpathians, at the contact with the Lamač Pass. The surface of the Sitina hill is covered with anthropogenic fills; a continuous layer of Quaternary sediments is underneath. The surface of the granodiorite massif itself is intensely weathered. The granodiorite massif consists of muscovite-biotite granite and granodiorite with frequent occurrence of pegmatite veins and beds of crystalline schist – biotite paragneiss. Regarding the physical condition, the rock environment was significantly heterogeneous, ranging from relatively sound rock to considerably tectonically faulted and deep weathered layers with the character of semi-rock to soil. The most explicit manifestation of the tectonic faulting of the massif were irregular zones of various thickness, up to several meters. The rock found in the vicinity of the tectonic zones was heavily altered, locally intensely mylonitised.

A specific feature of the construction of the tunnel Sitina is its location in a built-up area, in the vicinity of residential and recreational zones. Continual seismic monitoring was important with respect to the

Technologické a stavebno-bezpečnostné vybavenie tunela je navrhnuté v súlade s požiadavkami Smernice európskej komisie a parlamentu o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na cestné tunele, pričom bolo potrebné vziať do úvahy vysoké dopravné zaťaženie.

Tunel Višňové

V júni 2005 vláda Slovenskej republiky schválila uznesenie o implementácii pilotného projektu Public Private Partnership (PPP) pre úsek diaľnice D11 Lietavská Lúčka – Turany. Štát podľa neho uzavrie zmluvu s koncesionárom PPP, ktorý prevezme zodpovednosť za návrh, výstavbu, financovanie a prevádzkovanie projektu na obdobie 30 rokov. Diaľničný úsek Lietavská Lúčka – Turany prechádza južne od Žiliny smerom na východ cez pohorie Malá Fatra. Jeho dĺžka je približne 30 km vrátane 7,5 km dlhého dvojúrovňového tunela Višňové.

Tunel Višňové umožní prechod trasy diaľničného úseku Lučianskou Malou Fatrou. Tunel je dlhý 7460 m a po vybudovaní to bude najdlhší tunel slovenskej diaľničnej siete. V trase tunelovej rúry bola prerazená prieskumná štôlna (v súčasnosti prebudovaná na únikovú), takže pre celú navrhovanú trasu tunela sú k dispozícii podrobné geologické a hydrogeologické informácie. Razenie štôlne prinieslo množstvo komplikácií súvisiacich s neočakávaným počtom poruchových zón vyznačujúcich sa okrem iného vysokou zvodnosťou s maximálnymi prítokmi 400 l/s. Definitívny výber technológie výstavby bude v rukách záujemcov, projektové riešenia sú pripravené tak pre konvenčné razenie, ako i pre razenie pomocou plnoprofilového raziaceho stroja.

VODOHOSPODÁRSKÉ A ENERGETICKÉ PODZEMNÉ STAVBY

Dôležitú úlohu v slovenskom podzemnom stavebníctve hral energetický a vodárenský sektor. Morfológia krajiny spolu s vodnými tokmi umožnila vybudovanie množstva vodných diel, ktorých súčasťou boli často štôlna či iné podzemné priestory.

Prečerpávací vodná elektrárň Čierny Váh

Príkladom je Prečerpávací vodná elektrárň Čierny Váh, vybudovaná v rokoch 1976 – 1981 v chránenom území Nízkyh Tatier. Privádzače od portálov na dolnej hrádzi majú horizontálne úseky do vzdialenosti 500 m, potom sa lomí do 45° stúpania a v osovej dĺžke 598 m vyúsťujú pod hrádzou hornej nádrže. Na šikmých privádzačoch v hĺbke asi 40 m nadväzujú krátke horizontálne úseky, ktoré vyúsťujú do vtokovej časti hornej nádrže. Paralelne s privádzačmi je vybudovaný komunikačný tunel vybavený v šikmej časti výťahom.

Masív, v ktorom je situovaná podzemná časť elektrárne, je tvorený vápencami a dolomitmi. Pri razení horizontálnych úsekov privádzačov bola aplikovaná vrtno-trhavinová technológia s použitím bezkoflajovej mechanizácie nakladania a odtážby. Primárne ostenie



Obr. 8 Stavebné práce na južnom portáli tunela Sitina
Fig. 8 Construction work on the south portal of the Sitina tunnel

close proximity of several scientific work places where the impact of blasting on the measurement facilities installed in laboratories had to be eliminated.

Identically with the Branisko and Horelica tunnels, cement concrete pavement is used also for the roadway in the Sitina tunnel. It is better in terms of fire protection and more durable in terms of time. Technological and structural-safety equipment of the tunnel is designed in compliance with the requirements of the Directive of the European Parliament and of the Council on Minimum Safety Requirements for Tunnels in the Trans – European Road Network, with the fact of the high traffic load taken into consideration.

The Višňové Tunnel

In June 2005, the government of the Slovak Republic approved the resolution on implementation of the pilot PPP project for the section of the D11 highway from Lietavská Lúčka to Turany. According to this project, the government will conclude a contract with the PPP concessionaire who will assume responsibility for the design, construction, funding and operation of the project for a 30-year period. The highway section Lietavská Lúčka – Turany runs south of Žilina, in an eastward direction, across the Low Fatra mountain range. The section is about 30km long, including the 7.5km long twin-tube tunnel Višňové.

The Višňové tunnel will make the passage of the route of this highway section across the Lučiansky Low Fatra possible. The tunnel is 7460m long. Once completed it will become the longest tunnel in the Slovakian highway network. An exploration gallery was excavated on the route of the tunnel (currently transformed to an escape gallery), therefore detailed geological and hydrogeological information is available for the whole intended route of the tunnel. The excavation of the exploration gallery was attended by lots of complications associated with unexpected number of weakness zones marked out, among others, by a high degree of water saturation, with maximum inflows amounting to 400l/sec. The final selection of the construction technique will be decided by the tenderers; design options are prepared for both conventional excavation and full-face TBM driving.

WATER MANAGEMENT AND POWER GENERATING UNDERGROUND PROJECTS

The power generating and water management sectors have played a significant role in the Slovakian underground construction. The landscape morphology together with watercourses allowed the construction of many water schemes, with tunnels or other underground spaces often forming their parts.

The Pumped Storage Scheme Čierny Váh

The Pumped Storage Scheme built on the Čierny Váh River in 1976 – 1981 in the protected territory of the Low Tatra Mountains is a good example. Headrace tunnels with a total length of 598m start from the portals at the lower dam. The initial horizontal sections beyond a distance of 500m incline to an angle of 45°, and end at the intake part of the upper pond. Excavated in parallel to the headrace tunnels is a communication tunnel equipped with a lift in the inclined section.

The underground part of the powerhouse is excavated in rock mass consisting of limestone and dolomite. The horizontal sections of the headrace tunnels were excavated by the drill and blast technique, using trackless loading and mucking-away equipment. The primary lining was carried out as an alternative consisting of shotcrete, epoxy resin encapsulated rock bolts, or combined with steel arches, special steel sheet lagging and filling of the free space with shotcrete. The net cross-section diameter of the pressure headrace tunnels is of 3.8m; the steel armouring is 12 – 40mm thick.

The idea of a small-diameter pre-excavated gallery to be enlarged subsequently to the final profile was adopted as a basis for the solution of the excavation of the inclined sections of the headrace tunnels. There were two options under consideration, i.e. either the utilisation of a raise borer or an uphill excavation using climbing-type mining platforms. The technically more effective variant was refused because of a fear of a significant deviation from the designed centre line. The excavation technique using the climbing-type mining platforms was dangerous and very complicated in tectonic faults. The clayey and brecciated filling of the fault zones, even accompanied by occurrence of big boulders, required special procedures. In addition, the sticky ground posed an obstacle to the gravity spoil transport. Those conditions resulted, for

bolo realizované v alternatíve striekaný betón s lepenými svorníkmi epoxidovou živcou, alebo v kombinácii ocelevej oblúky s pažením špeciálnymi oceľovými plechmi a výplňou voľného priestoru striekaným betónom. Svetlý profil tlakových privádzačov je \varnothing 3,8 m, oceľový pancier má hrúbku 12 – 40 mm.

Ako základ riešenia razenia šikmých úsekov privádzačov sa presadila myšlienka predrážky malého profilu a jej následné rozšírenie na konečný profil. Do úvahy prichádzal buď veľkopriemerový predvrt systémom Raise boringu, alebo dovrchné razenie pomocou šplhavých raziacich plošín. Technicky efektnejší variant sa zamietol s obavou veľkej odchýlky od projektovanej osi. Razenie šplhavými plošinami bolo nebezpečné a zvlášť komplikované v tektonických poruchách. Íľová a brekciovitá výplň poruchových pásiem s výskytom aj veľkých balvanov si vyžiadala nielen špeciálne postupy, ale lepkavá zemina bola aj prekážkou gravitačnej dopravy samospádom. Výsledkom bola napr. aj ťažko odstrániteľná upchávka, ktorú nedokázali odstrániť ani vojaci s použitím rakiet zem – zem. Riešenie uspelo až prerazením prístupovej chodnice z vedľajšieho privádzača.

Nová odvodňovacia štôľňa Voznica

Posledná dedičná štôľňa pomenovaná ako Nová odvodňovacia štôľňa bola vybudovaná v rokoch 1980 – 1987. Na trase štôľne dĺžky takmer 14 km prevažovali skalné horniny – neovulkanity (andezity a pyroklastiká), mezozoické dolomity a granodiority. Pri razení štôľne bol prvýkrát na Slovensku použitý tunelovací stroj priemeru 3,25 m. Dosiahol sa s ním síce jednorázovo pozoruhodný výkon 812 m za 31 dní, ale jeho nasadenie sťažovali opakovane sa vyskytujúce poruchové pásma s tekutou výplňou, ktoré sa museli prekonávať často komplikovaným a zdĺhavým spôsobom.

Tunelové stavby na vodnej nádrži Turček

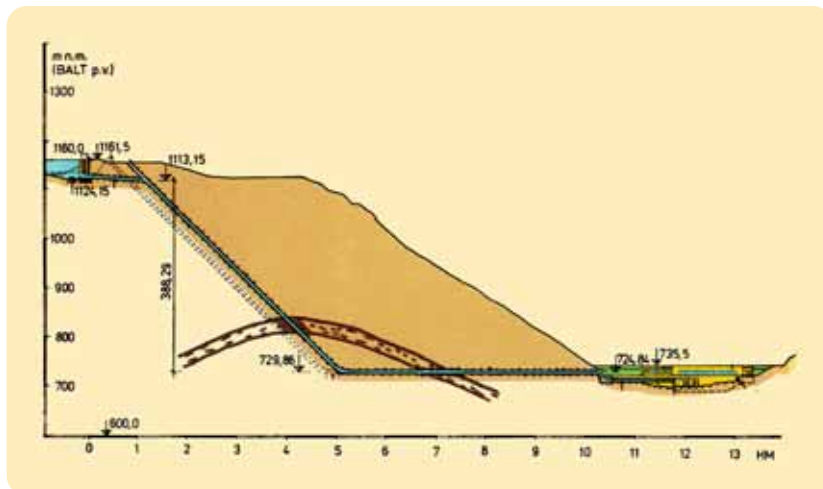
V rokoch 1992 – 1995 na stavbe Vodnej nádrže Turček boli vybudované 300 m dlhý komunikačný tunel s plochou hrubého výlomu 17,1 m² a obtokový tunel s prierezom 21,6 m² dlhý 276 m. Trasa tunelov je situovaná v neovulkanických horninách s výraznou tektonikou a pestrou výplňou poruchových pásiem. Obidva tunely sa razili vrtno-trhavinovou technológiou s použitím vrtacieho voza a bezkoľajovým systémom odtážby. V porušených horninách bola čelba zisťovaná nadstropným ochranným roštom z oceľových prútov do hĺbky 3,5 m.

ZÁVER

Budúcnosť tunelového staviteľstva na Slovensku je obsiahnutá vo viacerých oblastiach. Rozhodujúcou by v najbližšej dekáde mala byť výstavba diaľničnej siete, ktorá sa nezaobíde bez výstavby desiatok kilometrov tunelov. Ďalšou oblasťou by mohla byť modernizácia železničných sietí, prinášajúca nielen potrebu rekonštrukcie existujúcich, ale aj výstavby nových tunelov. Otvorenou témou je už niekoľko desaťročí nosný dopravný systém pre hlavné mesto Bratislavu, kde vývoj od rôznych variantov rýchlodráhy a metra priniesol myšlienku rýchlej segregovanej električky, vedenej minimálne v centrálnej mestskej zóne v podzemí.

Každopádne môžeme konštatovať, že slovenské dodávateľské i projekčné firmy získali v predošlom období doma i v zahraničí dostatok skúseností a sú pripravené maximálnou mierou sa na výstavbe tunelov podieľať.

ING. JOZEF FRANKOVSKÝ, SKANSKA – BS, a. s.,
e-mail: beata.voskarova@skanska.sk
ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, TERRAPROJEKT, a. s.,
e-mail: frankovsky@terraprojekt.sk
ING. ROMAN HLA VATÝ, ŽELEZNICE SR,
e-mail: hlavaty.roman@zsr.sk
ING. ŠTEFAN CHOMA, NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ
SPOLOČNOSŤ, a. s., e-mail: stefan.choma@ndsas.sk



Obr. 9 Schéma Prečerpávacej vodnej elektrárne Čierny Váh

Fig. 9 The Pumped Storage Scheme Čierny Váh diagram

instance, in a plug that was very difficult to remove. Even soldiers using surface-to-surface missiles failed to remove it. To succeed it was necessary to drive an access adit from the neighbouring headrace tunnel.

The New Drainage Tunnel Voznica

The New Drainage Tunnel, which is the last drainage tunnel in Slovakia, was built in 1980 – 1987. The 14km long tunnel passed through geology consisting mainly of hard rock, i.e. neovolcanic rocks (andesite and pyroclastic materials), Mesozoic dolomite and granodiorite. A TBM 3.25m in diameter was used for tunnelling in Slovakia for the first time. The performance of the TBM reaching 812m per 31 days was magnificent in terms of a one-shot operation. Although, the utilisation of the TBM was hampered by repeatedly occurring fault zones with liquid filling. They had to be overcome by often complicated and time-consuming methods.

Tunnelled structures at the Turček Dam

In 1992 – 1995, a 300m long communication tunnel with an excavated cross-section area of 17.1m² and a 276m long diversion tunnel with a 21.6m² profile were built at the Turček Dam. The route of the tunnels passes through neovolcanic rocks with marked tectonics and varied infill of fault zones. Both tunnels were driven by the drill and blast technique, using a drilling rig and trackless system of mucking away. In faulted rock the face excavation was supported by a protective canopy of spiling bars up to a depth of 3.5m.

CONCLUSION

The future of the tunnel engineering in Slovakia can be found in several areas. The development of the highway network, which cannot cope without construction of tens of kilometres of tunnels, should be the deciding element. Another area could be the upgrading of the railway network, which is associated with a need not only for reconstruction of existing tunnels but also for new tunnel construction. For several decades has an open topic been the principal traffic system for the Slovak capital, Bratislava, where the development starting from various variants of a metropolitan railway or metro resulted in an idea of a light rail transit system with its route placed underground at least in the central zone of the city.

In any case, we can state that Slovak contractors and designing offices have gathered sufficient experience both at home and abroad, and they are prepared to contribute to the construction of tunnels in a maximum extent.

ING. JOZEF FRANKOVSKÝ, SKANSKA – BS, a. s.,
e-mail: beata.voskarova@skanska.sk
ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, TERRAPROJEKT, a. s.,
e-mail: frankovsky@terraprojekt.sk
ING. ROMAN HLA VATÝ, ŽELEZNICE SR,
e-mail: hlavaty.roman@zsr.sk
ING. ŠTEFAN CHOMA, NÁRODNÁ DIAĽNIČNÁ
SPOLOČNOSŤ, a. s., e-mail: stefan.choma@ndsas.sk

TECHNOLOGICKÁ VYBAVENOST A BEZPEČNOST PROVOZU V SILNIČNÍCH TUNELECH ČESKÉ REPUBLIKY

TECHNOLOGICAL EQUIPMENT AND SAFETY IN ROAD TUNNELS IN THE CZECH REPUBLIC

PAVEL PŘIBYL, LUDVÍK ŠAJTAR

Článek komentuje systematický přístup k řešení dopravního, technologického a bezpečnostního vybavování silničních tunelů v České republice. Základním principem je pohled na tunel, jako na součást Inteligentních dopravních systémů, založený na jednotné architektuře a jednotných komunikačních možnostech. To umožňuje snazší integraci s dopravními a dopravně-informačními systémy na daném území. Od poloviny 90. let jsou zpracovávány národní standardy, podle kterých jsou tunely nejenom vybavovány, ale podle kterých jsou tunely i provozovány. Článek ukazuje jejich přehled včetně pohledu na aktuální řešení analýzy rizik silničních tunelů. Na příkladu městského tunelu Mrázovka je demonstrováno několik ukázek bezpečnostního řešení tunelu.

ŘEŠENÍ VYBAVENOSTI TUNELŮ ZALOŽENÉ NA ITS

Tunel pozemní komunikace ve městě či v extravilánu je součástí komunikační sítě a dopravní poměry v tunelu odpovídají v zásadě dopravním poměrům na komunikaci. Tunel je ovšem zvláštní dopravní stavbou nejenom z hlediska vyšších investičních a provozních nákladů, ale hlavně z hlediska množství a různorodosti technologií, které mají za cíl zajistit bezpečný a plynulý provoz a umožnit účinné řešení mimořádných událostí, zejména v případě požáru.

Takovéto technické systémy pracují s velkým množstvím dat, která jsou často velmi různorodá. Měří se povětrnostní a ekologické podmínky a dopravní data, kromě toho je nutné spolehlivě přenášet verbální informace, například z SOS skříní nebo telefonů účastníků provozu a velký význam má i vizuální informace televizního dohledu. Velký soubor dat a informací souvisí s použitými bezpečnostními systémy (nouzová tlačítka, požární hlásiče) a k tomu ještě přistupují data z vlastní technologie zajišťující větrání, osvětlení, napájení elektrickou energií atd.

Na tunel je nutné pohlížet jako na součást dopravního systému v daném území, a proto je nutné nejenom obousměrně komunikovat s dopravními centry, dispečinky policie, záchranné služby a hasičů, ale také je nutné zajistit i vazby z hlediska řízení, kdy musí například světelné signalizace v okolí tunelu reagovat na kolony vznikající v tunelu.

Tunel pozemní komunikace vybavený příslušnými technologiemi musí být integrován do širšího dopravního systému města, regionu či kraje. Proto byly již koncem 90. let vypracovány zásady pro řešení tunelu jako jednoho ze subsystémů Inteligentních dopravních systémů (ITS). Zásady říkají, že tunel je hierarchický systém s přesně definovanými vertikálními i horizontálními informačními vazbami, které je nutné popsat ve smyslu ITS architektury. Zároveň musí být jednoznačně definovány vazby na vnější prostředí, například na řídicí dopravní centra.

V rámci projektu ministerstva dopravy OPTUN byla vytvořena ITS architektura tunelů a je zpracováno internetové rozhraní pro funkční, informační, fyzickou a telekomunikační architekturu, lit. [1]. Budoucí investor si definuje své požadavky ze seznamu tzv. „uživatelských potřeb“. Ty charakterizují volitelné možnosti řešení tunelu, tedy jakousi nadstavbu nad striktními požadavky standardů. Jako příklad lze uvést uživatelskou potřebu „Měření úsekové rychlosti v tunelu“. Při její volbě jsou automaticky generovány všechny funkce, které musí být do systému doplněny a zároveň veškeré informační toky v rámci systému i mimo něj. Tato koncepce vycházející z návrhu evropské architektury ITS systémů

This paper comments on the systematic attitude toward the solution of traffic-related, technological and safety equipment installed in tunnels in the Czech Republic. The basic principle is an approach to a tunnel based on unified architecture and unified communication capabilities, considering a tunnel as part of Intelligent Traffic Systems. This allows easier integration with traffic and traffic-information systems within the particular region. National standards according which the tunnels are not only equipped but also operated have been developed since the mid nineties. This paper provides an overview of those standards, including an outline of the topical solution of a road tunnel risk analysis. The Mrázovka urban tunnel is used for the demonstration of several examples of tunnel safety solutions.

ITS-BASED TUNNEL EQUIPMENT SOLUTION

A road tunnel in a city or in a rural area is part of a road network, and traffic conditions in the tunnel basically correspond to the traffic conditions existing on the road. A tunnel is, however, a special traffic structure not only from the aspect of higher investment and operational costs but, primarily, from the aspect of the amount and heterogeneity of technical services designed to secure safe and fluent operation and make effective solution of emergencies possible, mainly in the case of a fire.

Such technical systems process large volumes of data, which is frequently very heterogeneous. Subjects of measurements are weather conditions, environmental conditions and traffic data. Apart from this, the verbal information must be reliably transmitted, for instance from SOS boxes or traffic participants' telephones. Also the significance of visual information provided by the television surveillance system is great. The large extent of the set of data and information is associated with the safety systems applied (alarm push-buttons, smoke detectors), complemented by the data produced by the tunnel equipment, i.e. ventilation, lighting, power supply etc.

The tunnel must be considered as part of the traffic system existing in the particular area. It is therefore necessary not only to communicate bidirectionally with traffic management centres, police and ambulance management centres and fire brigades, but also to secure links making the control possible, for instance traffic lights in the vicinity to the tunnel must respond to columns of vehicles developing in the tunnel.

The road tunnel with relevant equipment installed must be integrated into a wider traffic system of the city, area or region. For that reason experts developed guidelines for designing a tunnel as one of the subsystems of the Intelligent Traffic Systems (ITS). The guidelines state that the tunnel is a hierarchical system with exactly defined vertical and horizontal information linkages, which must be described in terms of the ITS architecture. At the same time the links with the external environment must be defined unambiguously, for instance the links with traffic management centres.

The ITS tunnel architecture based on the Internet interface for functional, physical, information and telecommunications architecture was developed in the framework of the Ministry of Transport's OPTUN project, ref. [1]. A future owner defines his requirements using a list of so-called "user needs". These characterise optional possibilities of the tunnel design, which are a kind of a superstructure over strict requirements determined by standards. As an example, we can mention the user need "Measurement of section speed in a tunnel". If this need is selected, all functions that must be added to the system as well as all information flows, both in the framework of the system and outside the system, are generated automatically. This concept is based on the draft of the European ITS systems KAREN,

KAREN, lit. [2], má jednoznačnou výhodu v tom, že jsou tunelové systémy do značné míry unifikovány, což ulehčuje práci nejenom investora, ale i dodavatele tunelů.

Kromě zmíněné architektury tunelových systémů ITS přístup definuje i požadavky na datové struktury a přenosové protokoly. Při návrhu tunelových systémů se vyžaduje používání UML (Universal Modeling Language) jazyka pro popis datových struktur a XML (eXtensible Markup Language) pro ukládání a přenosy dat mezi subsystémy. Tento přístup na maximální míru zjednodušuje komunikaci s ostatními ITS systémy, jako jsou řídicí dopravní centra nebo dopravní informační centra. Na základě prací v technické standardizační komisi ISO/TC204, pracovní skupině WG1 „Architecture“, je zpracován národní standard pro výměnu dat a informací mezi ITS systémy, lit. [3].

ÚLOHA STÁTU A NESTÁTNÍCH ORGANIZACÍ V JEDNOTNÉM PŘÍSTUPU K ŘEŠENÍ TUNELŮ

Základem pro zajištění kvalitního vybavování tunelů a pro jejich bezpečné a efektivní provozování jsou normy a technické podmínky, které vznikají ve spolupráci veřejného a privátního sektoru, kde roli veřejného sektoru přebírá většinou ministerstvo dopravy. V následujícím odstavci je přehled základních norem a standardů:

Norma ČSN 73 7507 „Projektování tunelů na pozemních komunikacích“: Je základní normou pro projektování tunelů, přičemž detailní a dopravní a technologické vybavení ponechává na technických podmínkách TP98. Norma, lit. [4], byla zpracována v letech 1997–1998 a v roce 2005 byla revidována i v souvislosti s evropskou směrnicí 2004/54/EC, viz [10].

Technické podmínky TP98 „Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací“: Technické podmínky v jedenácti kapitolách detailně definují požadavky na vybavení tunelů a jejich bezpečnost podle třídění do bezpečnostních kategorií TA, TB a TC, lit. [5].

„Technické a kvalitativní podmínky pro dokumentaci staveb pozemních komunikací“: Podmínky se zabývají obecně pozemními komunikacemi, lit. [6], ale ve specializované kapitole stanovují požadavky na návrh tunelových staveb, požadavky na obsah a rozsah všech stadií dokumentace.

Technické podmínky TP154 „Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací“: TP jsou poměrně unikátním dokumentem i v celoevropském konceptu. Zabývají se provozováním tunelů z hlediska minimalizace nákladů na provoz, stanovují požadavky na servis a dále na zpracování a ukládání dat získávaných z dopravních a technologických zařízení, lit [7]. Samostatná a rozsáhlá kapitola se věnuje bezpečnostní politice, kterou bude nutno v rámci implementace Směrnice EU upravit.

Na profesionální úrovni se na rozvoji komunikační platformy mezi privátními a veřejnými institucemi podílí Tunelová sekce České silniční společnosti a Výbor pro bezpečnost v podzemních stavbách ITA/AITES. Tunelová sekce soustřeďuje odborníky ze státní a municipální správy (ministerstvo, Ředitelství silnic a dálnic, města), tvůrce legislativy, záchranné složky a odborníky z různých organizací, a tím vytváří jednotnou názorovou platformu na výstavbu nových tunelů, jejich bezpečnost, realizaci a provozování. Výbor pro bezpečnost ITA/AITES má hlavní cíl ve vytvoření základny pro diskusi odborníků, která přispívá nejenom ke zlepšení vzájemné informovanosti, ale hlavně ke kontrolovanému řešení problematiky bezpečnosti v silničních tunelech.

ANALÝZA A ŘÍZENÍ RIZIK

V roce 2003 byl ukončen významný projekt vědy a výzkumu Ministerstva dopravy České republiky s názvem „Analýza a řízení rizik v tunelech pozemních komunikací“. Kolektiv řešitelů se po tři roky zabýval vytvořením metodiky pro objektivizaci stavebního uspořádání a vybavování tunelů. Výsledkem je zpracovaný návrh technických podmínek, které by se měly stát základem pro oceňování rizik, lit. [8].

V rámci projektu byly hledány metody, které umožní kvantifikovat míru ohrožení osob, aby bylo možné posuzovat relativně objektivně požadavky a názory na vybavování tunelů tak, aby tunel na jedné straně nebyl převybačen technologií, ale aby

ref. [2]. Its explicit advantage is that the tunnel systems are unified to a considerable extent, which renders the work easier not only for the owner/employer but also for the tunneling contractor.

In addition to the above-mentioned architecture of ITS tunnel systems, this approach also defines requirements for data structures and transport protocols. The application of the UML (Universal Modelling Language) and XML (eXtensible Markup Language) is required when the tunnel systems are being designed, for the description of data structures and for storage and transmission of data between sub-systems. This approach simplifies to a maximum extent the communication with the other ITS systems, e.g. traffic management centres or traffic information centres. The national standard for data and information exchange among the ITS systems is developed on the basis of activities within the technical standardisation committee ISO/TC204 and the working group WG1 “Architecture”, ref. [3].

THE ROLE OF THE STATE AND NON-GOVERNMENTAL ORGANIZATIONS WITHIN THE UNIFIED APPROACH TO TUNNEL MANAGEMENT

The basis for securing high quality equipment and safe and effective operation of tunnels are standards and technical specifications. These originate in co-operation between the public and private sectors, where the role of the public sector is mostly assumed by the Ministry of Transport. This is a survey of the basic norms and standards:

ČSN 73 7507 norm “Road Tunnel Design”: This is the basic norm for the tunnel design, while the detailed and traffic and technological equipment is solved in the TP98 technical specifications. The norm, ref. [4], was developed in 1997-8, and reviewed in 2005 in the context of the European Directive 2004/54/EC, ref. [10].

TP98 Technical Specifications “Road Tunnel Equipment”:

These specifications contain 11 chapters defining in detail requirements for tunnel equipment and safety, according to safety categories defined as TA, TB and TC, ref. [5].

“Technical and Quality Specifications for Documentation of Road Construction”: These specifications deal with roads in general, ref. [6], a specialized chapter of the specifications contains the determination of requirements for a road tunnel design and requirements for the content and extent of all documentation phases.

TP154 Technical Specifications “Operation, Administration and Maintenance of Road Tunnels”: These specifications are rather a unique document within the all-European concept. They deal with the operation of tunnels from the point of view of minimization of operational costs; they determine requirements for the service and for processing and storage of data obtained from traffic equipment and technological equipment, ref. [7]. A separate and extensive chapter is dedicated to the safety policy that which will have to be modified in the framework of implementation of the EU Directive.

The Tunnelling Section of the Czech Road Association and the Committee on Safety in Underground Structures ITA/AITES contribute to the development of the platform for communication between private and public institutions on a professional level. The Tunnelling Section gathers professionals from state and municipal administrative bodies (the Ministry, the Directorate of roads and highways, municipalities), law-makers, rescue services and experts from various organisations. Thus it forms a unified approach toward construction of new tunnels, their safety, implementation and operation. The main target of the ITA/AITES Committee on Safety is to establish a basis for discussion among professionals, which contributes not only to an improvement in the process of sharing information but primarily to a controlled solution of the issue of safety in road tunnels.

RISK ANALYSIS AND RISK MANAGEMENT

The Ministry of Transport finished a significant scientific and research project in 2003, entitled “The Analysis and Management of Risks in Road Tunnels. The task to develop a methodology for objectivisation of tunnel structure configuration and equipment took the project team three years. The result is a draft of specifications that should become the basis of the process of risk assessment, ref. [8].

Among others, the project team searched for methods that would make quantification of the degree of threat to persons possible, that would allow a relatively objective assessment of requirements and opinions on tunnel equipment preventing excessive equipment to be designed on one hand, but, on the other hand, providing a degree of safety

poskytoval potřebnou míru bezpečnosti na straně druhé. Po katastrofách v alpských tunelech totiž velmi zesílil tlak na vybavování tunelů veškerou možnou technologií, byť je tunel dlouhý například jen 350 m.

Řešitelé nakonec zvolili dvě metody. První metoda umožní projektantovi, investorovi nebo komukoli, kdo není specialista na analýzu rizik, posoudit, zda tunel *kvalitativně* vyhovuje standardům a technickým podmínkám. Byl zpracován softwarový produkt nazvaný **Identifikátor bezpečnostního řešení**, který po vyplnění políček v elektronickém formuláři zařadí tunel mezi vyhovující nebo problematické.

Se dvěma dalšími metodami již musí pracovat specialista, například bezpečnostní auditor. První metoda, umožňující *kvantitativně* posoudit počty ohrožených osob v závislosti na intenzitě dopravy, stavebním a technologickém vybavení, je založena na pravděpodobnostním přístupu. Metoda využívá známé **stromkové diagramy**, ale jejich dimenzionalita a tím i značná neurčitost je redukována expertním systémem využívajícím fuzzy logiku. Deterministický přístup umožňuje druhá metoda založená na analýze scénářů. Oba přístupy jsou nyní detailněji propracovávány v rámci projektu [9]. Výsledkem bude návrh národní metodiky pro hodnocení rizik.

PŘEHLED HOTOVÝCH A PLÁNOVANÝCH TUNELŮ

Veškeré teoretické poznatky jsou uváděny do praxe nejenom v nově připravovaných, ale i v realizovaných tunelech. Následující tabulka uvádí název tunelu, jeho délku a umístění, přičemž u tunelů na transevropské dálniční síti je uvedena zkratka TERN (*Tabulka 1*).

necessary. This is because the insistence on installation of all existing technical services in tunnels increased after the catastrophic events in Alpine tunnels, even if the tunnel is, for instance, only 350 m long.

Members of the project team eventually chose two methods. The first method allows the designer, employer or anybody who is not a specialist in performing a risk analysis, to assess whether the tunnel complies with norms and specifications in terms of **quality**. A software product named the **Safety Solution Identifier** was developed, capable of categorising the tunnel as satisfactory or problematic once an electronic form has been filled.

Other two methods must be performed by a specialist, for instance a safety auditor. The first method, which allows **quantitative** assessment of numbers of endangered persons with regard to the dependence on traffic intensity and structural and technological equipment, is based on a probability attitude. The method utilises well-known **tree charts**, but their dimensionality and thus also significant indeterminacy is minimised by an expert system utilising fuzzy logics. Application of a deterministic attitude is possible in the case of the other method, which is based on the scenario analysis. Both attitudes are now developed in a more detailed manner in the framework of the project [9]. The result will be a proposal on a national risk assessment methodology.

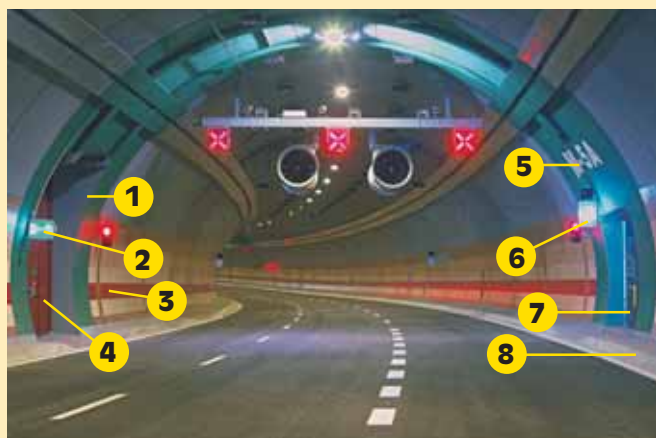
SUMMARY OF COMPLETED AND PLANNED TUNNELS

All theoretical know-how is introduced into the practical use not only at newly planned tunnel projects but also at tunnels that have been completed. The table below contains information on the tunnel name, length and location. Tunnels on the Trans-European road network are marked by an abbreviation TERN (*Tab. 1*).

The above summary shows that tunnel construction is developing progressively in the Czech Republic.

Název Name	Umístění Location	Délka [m] Length [m]	Charakter Character
TUNELY V PROVOZU / OPERATING TUNNELS			
Vyšehradský / Vyšehrad	Praha / Prague	34	městský / urban
Letenský / Letná	Praha / Prague	426	městský / urban
Těšnovský / Těšnov	Praha / Prague	345	městský / urban
Strahovský / Strahov	Praha / Prague	2004	městský / urban
Zlíchovský / Zlíchov	Praha / Prague	196	městský / urban
Mrázovka / Mrázovka	Praha / Prague	1300	městský / urban
Kokořínský / Kokořín	Středočeský kraj / Central Bohemian Region	20	silniční / road
Hřebeč / Hřebeč	Pardubický kraj / Pardubice Region	355	TERN / TERN
Sečský / Seč	Pardubický kraj / Pardubice Region		silniční / road
Liberecký I / Liberec I	Liberecký kraj / Liberec Region	450	městský / urban
Liberecký II / Liberec II	Liberecký kraj / Liberec Region	280	městský / urban
Lipník nad Bečvou / Lipník nad Bečvou	Olomoucký kraj / Olomouc Region	98	silniční / road
Jihlavský / Jihlava	Vysočina / Vysočina Region	325	silniční / road
Pisárecký / Pisárky	Jihomoravský kraj / South Bohemian Region	513	městský / urban
Husovický / Husovice	Jihomoravský kraj / South Bohemian Region	574	městský / urban
TUNELY VE VÝSTAVBĚ / TUNNELS UNDER CONSTRUCTION			
R1 / 514 (Lochkov) / R1 / 514 (Lochkov)	Praha / Středočeský kraj / Prague / Central Bohemian Region	1610	silniční / road
R1 / 513 (Komořany – celkem 2) / R1 / 513 (Komořany – 2 in total)	Praha / Středočeský kraj / Prague / Central Bohemian Region	2000	silniční / road
D5 / Valík / D5 / Valík	Plzeňský kraj / Plzeň Region	380	TERN / TERN
D8 / Panenská / D8 / Panenská	Ústecký kraj / Ústí nad Labem Region	2021	TERN / TERN
D8 / Libouchec / D8 / Libouchec	Ústecký kraj / Ústí nad Labem Region	535	TERN / TERN
D48 / Klimkovice / D48 / Klimkovice	Moravskoslezský kraj / Moravia-Silesian Region	1080	TERN / TERN
Dobrovského / Dobrovského	Jihomoravský kraj / South Moravian Region	1258	městský / urban
TUNELY V PŘÍPRAVĚ / TUNNELS IN THE PLANNING PHASE			
Blanka / Blanka	Praha / Prague	5500	městský / urban
R1 / 518 (Suchdolský) / R1 / 518 (Suchdol)	Praha / Středočeský kraj / Prague / Central Bohemian	1979	silniční / road
Rybářka / Rybářka	Praha / Prague	855	silniční / road
Radlická radiála / celkem 3 tunely Radlice Radial Road / 3 tunnels in total	Praha / Prague	2881	městský / urban
D8 / Prackovice / D8 / Prackovice	Ústecký kraj / Ústí nad Labem Region	270	TERN / TERN
D8 / Radejčín / D8 / Radejčín	Ústecký kraj / Ústí nad Labem Region	620	TERN / TERN

Tabulka 1
Table 1



- 1 – Nátěr dilatačního celku s propojkou a SOS výklenkem v signální zelené barvě / The coat of signal green paint on an expansion block with a cross passage and an SOS niche
- 2 – Značení únikových cest / Escape route sign
- 3 – Barevný vodičí pruh v charakteristické barvě tunelového úseku / Coloured edge line – the colour characterising the tunnel section
- 4 – Tunelová propojka / Cross passage
- 5 – Označení SOS výklenku písmem výšky 1000 mm v luminiscenčním nátěru / Marking of an SOS niche with 1000 mm high letters; luminescent paint
- 6 – Označení SOS skříní / SOS box sign
- 7 – Nouzový chodník / Emergency walkway

Obr. 1 Bezpečnostní prvky tunelu Mrázovka
Fig. 1 Safety elements of the Mrázovka tunnel

Z uvedeného přehledu vyplývá, že se výstavba tunelů v České republice progresivně rozvíjí.

PŘÍKLAD REALIZACE MĚSTSKÉHO TUNELU – TUNEL MRÁZOVKA

Tunel Mrázovka je v době přípravy tohoto článku posledním tunelem, který byl otevírán pro provoz v létě roku 2004. Projektová příprava tunelu Mrázovka byla ale zahájena již v roce 1992. Tunel Mrázovka je součástí pražského městského okruhu a jeho výstavbou došlo ke zprovoznění západní části okruhu v délce cca 6 km. Dopravní situace v jednom úseku okruhu významně ovlivňuje provoz v sousedních úsecích i na navazujících městských komunikacích, a proto bylo technologické vybavení tunelu Mrázovka řešeno jako ITS systém zahrnující i nezbytné technické prostředky pro přenos informací mezi úseky i propojení se systémy řízení dopravy v přílehlé oblasti Prahy.

Navržené technologické vybavení tunelu Mrázovka slouží k zajištění bezpečného provozu vozidel a osob v tunelu při zachování ekonomických a ekologických požadavků. Po dobu životnosti musí tunely vyhovovat požadavkům plynulé a bezpečné jízdy vozidel, bezpečnosti práce obsluhy, podmínkám hospodárnosti s co nejmenší náročností a pracností údržby tunelů při provozu. Při tvorbě funkční architektury tunelu byly rozlišeny tři hlavní oblasti:

Dopravní systém: zajišťuje kompletní dopravní funkce a je úzce vázán na další systémy řízení města; poskytuje data pro další subsystémy řízení;

Bezpečnostní vybavení: zahrnuje několik subsystémů zajišťujících bezpečnost pro uživatele tunelu a obsluhující personál;

Technická zařízení: zabezpečující funkčnost tunelu; systémy ventilace, napájení, osvětlení atd.; zabezpečují přijatelné podmínky nejenom pro uživatele tunelu, ale i pro širší okolí tunelu.

Na obr. 1 jsou patrné některé bezpečnostní prvky při pohledu do tunelové trouby tunelu Mrázovka v místě únikových východů. Návrh informačního systému tunelu Mrázovka vycházel ze závěrů a doporučení studie bezpečnosti městského okruhu v úseku Barrandovský most – Pelc Tyrolka. Při návrhu tunelu

AN EXAMPLE OF IMPLEMENTATION OF AN URBAN TUNNEL - THE MRÁZOVKA TUNNEL

The Mrázovka Tunnel was opened to traffic in the summer of 2004. (No other tunnel has been inaugurated since.) The Mrázovka tunnel design stage commenced in 1992. The tunnel is part of the Prague City Circle Road. The construction made it possible to operate a 6 km length of the western part of the Circle Road. Traffic situations within one section of the Circle Road significantly affect the traffic in the neighbouring sections and connected streets. For that reason the technical services in the Mrázovka tunnel were solved as an ITS system incorporating also technical means necessary for transmission of information between the sections, and interconnection with the traffic management systems used in the adjacent Prague districts.

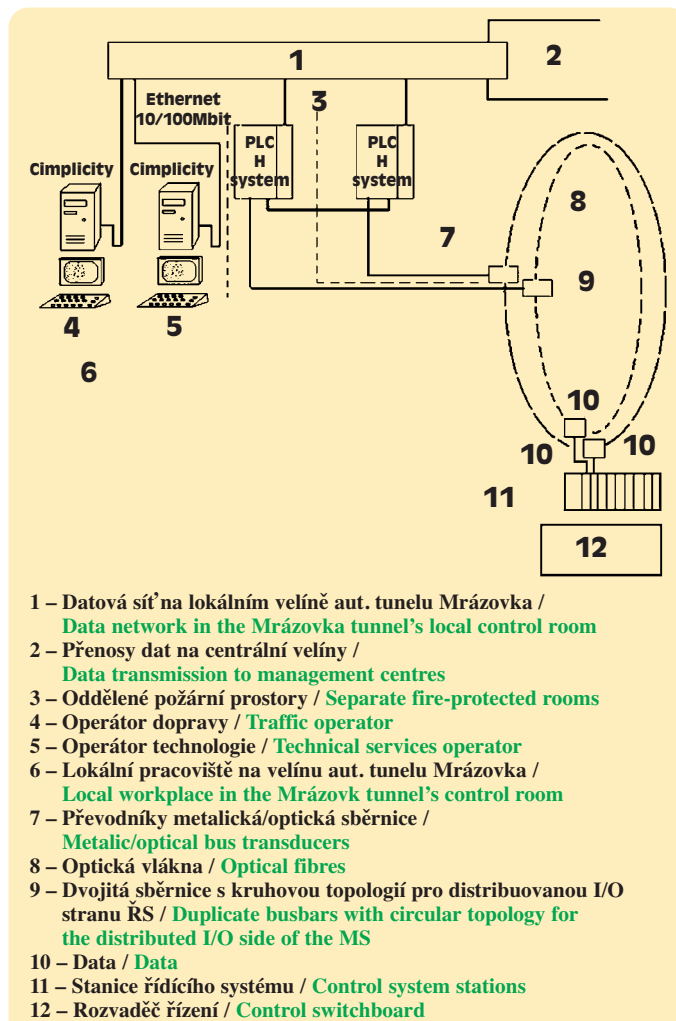
The designed equipment of the Mrázovka tunnel ensures safe vehicular traffic and movement of persons in the tunnel, whilst meeting the economic and environmental requirements. The tunnel tubes must comply with the requirements for fluent and safe movement of vehicles, safety at work of maintenance crews, conditions of economy with the lowest possible demands on the tunnel maintenance carried out under traffic. The following three main areas were distinguished when the functional tunnel architecture was being developed:

Traffic System: it ensures complete traffic functions and is closely connected to other city management systems; it provides data for other management sub-systems;

Safety Equipment: it comprises several sub-systems that provide safety for tunnel users and operating staff;

Technical Services: they ensure functionality of the tunnel: ventilation, power supply, lighting and other systems; they ensure acceptable conditions not only for tunnel users but also for a wider area around the tunnel.

Some safety elements seen in the Mrázovka tunnel tube at emergency exits are shown in Fig. 1. The design of the Mrázovka tunnel's information system was based on conclusions and recommendations contained in



Obr. 2 Principiální schéma řídicího systému a komunikačních tras
Fig. 2 Block diagram of the control system and communication routes



Obr. 3 Hlavní dopravní řídicí ústředna v Praze
Fig. 3 Main traffic management centre in Prague

byl kladen důraz na dobrou informovanost uživatelů tunelu o jejich poloze v rámci celého úseku. Ten bude po dokončení představovat cca 10 km podzemních komunikací. V první fázi řešení události se předpokládá samozáchrana osob (self-rescue), které jsou v místě události. Proto je místo únikových východů do druhé tunelové trouby označeno v celém profilu zelenou signální barvou a každý SOS výklenek je označen nápisem vysokým 1 m v luminescenčním provedení. Únikové cesty a SOS skříně jsou vyznačeny světelnými nápisy a každý tunelový úsek bude mít vodící pruh jiné barvy. Tunel Mrázovka má vodící pruh červený. Před otevřením tunelu byly provedeny požární testy, které ověřily navrženou funkčnost a účinnost systému požárního větrání a celého řídicího systému. Kromě toho prokázaly opodstatněnost výše uvedených úprav v designu tunelu.

Ústředním článkem vybavení tunelu je řídicí systém technologického a dopravního vybavení. Takovýto řídicí systém využívá speciálního softwarového vybavení k dosažení koordinovaného chodu jednotlivých provozních celků tunelu, jako jsou energetický systém, ventilace, osvětlení, elektronická požární signalizace (EPS), elektronický zabezpečovací systém, čerpací stanice a proměnné dopravní značení. Řídicí systém tunelu Mrázovka splňuje ve shodě s TP98 následující základní kritéria:

- horká záloha centrálních řídicích automatů (hot-standby redundancy),
- redundance přenosového vedení,
- každá větev přenosového vedení umístěna v jiném tubusu tunelu,
- redundantní komunikační vazba na městské řídicí systémy,
- redundantní spojení s ústřednou požární signalizací (paralelní, sériové),
- integrace kamerového dohledu do řídicího systému,
- reakce stanic řídicího systému v případě mimořádné situace (požár, koncentrace plynů, opacita, vznik náledí) je automatická a musí nastat i v případě výpadku komunikace řídicích stanic s nadřazenými vizualizačními úrovněmi.

Základním prvkem, tvořícím systém řízení tunelu Mrázovka, jsou dvě hlavní řídicí stanice tvořené programovatelnými automaty průmyslového typu, doplněné programovatelnými automaty a jednotkami vzdálených vstupů a výstupů na nižší hierarchické úrovni, které jsou umístěny u ovládané nebo monitorované technologie. Stanice obsahují naprogramované postupy pro řešení standardních i mimořádných situací. Velín automobilového tunelu Mrázovka je při běžném provozu bez dispečerské obsluhy. Je vybaven dvěma plnohodnotnými dispečerskými pracovišti pro řízení dopravy i technologie tak, aby v případě výpadku datové komunikace s nadřazenou úrovní bylo možno operativně převzít řízení z tohoto místa.

V souladu se zařazením tunelu do nejvyšší bezpečnostní kategorie TA je hlavní stanice řídicího systému redundantní

the Study on safety of the City Circle Road within the Barrandov Bridge – Pelc Tyrolka section. The design was developed with due consideration paid to ensuring tunnel users' awareness of their position along the entire section. Once completed, this section will comprise 10 km of an underground road. Self-rescue of persons present at an emergency location is anticipated for the initial phase of any emergency. For that reason the locations of escape exits leading to the other tunnel tube are marked by green signal painting carried out around the tunnel circumference, and each SOS niche is marked by a 1m high luminescent sign. Escape routes and SOS boxes are marked by illuminated signs; the colour of the edge line will differ in each tunnel section. The Mrázovka tunnel has a red edge line. Fire tests were conducted before the tunnel opening to traffic. The testing verified the functionality and efficiency of the fire ventilation system and overall management system. In addition, it proved that the above-mentioned modifications of the tunnel design were well-founded.

The central element of the tunnel equipment is the technological and traffic equipment control system. This control system utilises special software designed to achieve co-ordinated running of individual tunnel equipment systems, e.g. the power supply system, ventilation, lighting, electronic fire alarm and detection system, electronic signalling system, pumping stations and variable traffic signs. The Mrázovka tunnel's control system complies with the Technical Specifications TP98, namely the following criteria:

- Hot-standby central control stations PLC,
- redundancy of transmission lines,
- each branch of the transition lines placed in another tunnel tube,
- redundant communication link to city management systems,
- redundant connection with the fire alarm and detection exchange (parallel, in series),
- integration of the camera surveillance system into the control system,
- response of the control system stations in the case of an emergency (fire, concentration of gases, opacity, black ice formation) is automatic and it must take place even in the case of a breakdown of communication of the control stations with superior visualisation levels.

The basic element forming the management system of the Mrázovka tunnel is a pair of control stations consisting of programmable industrial-type automatons supplemented by programmable automatons and remote input and output units at a lower hierarchic level. The stations are installed at the equipment set that is to be controlled or monitored. They contain pre-programmed procedures for the solution of both standard and extraordinary situations. No operator is present in the Mrázovka road tunnel's control room during routine tunnel operation. The facility is equipped with two full-extent traffic and tunnel services control workplaces so that the control can be taken over and carried out from this place in the case of a data communication breakdown.

As consistent with the categorisation of the tunnel as TA, i.e. the highest safety category, the main station of the control system is redundant, in the hot-standby regime. This means that this is a pair of stations, each



Obr. 4 Centrální velín řízení tunelů v Praze
Fig. 4 Tunnel technical services management centre in Prague

v režimu „hot-stand-by“, tzv. „horké zálohy“. Znamená to, že tyto stanice jsou dvě, umístěné v oddělených požárních prostorech. Obě stanice soustavně synchronizují svoje data i běh programů, takže při výpadku jedné z nich systém mžikově přejde na aktuální zálohu. Dále je rovněž provedeno redundantní komunikační vedení k podřízeným jednotkám. Topologie a konstrukční provedení tohoto komunikačního vedení je taková, že společně zajišťují plně redundantní tok dat v obou tubusech. Na obr. 2 je naznačeno, jak je dosaženo maximální možné spolehlivosti řídicího systému. Při výpadku jedné z řídicích stanic tedy systém „nepozná“, že došlo k problému a stále pracuje normálně. Každá z hlavních stanic komunikuje prostřednictvím své vyhrazené sběrnice se všemi podřízenými stanicemi. Takže i zde je dvojitá záloha. Podřízené stanice, kterých je v tunelu celkem 25, jsou propojeny kruhovou sběrnicí. Dojde-li k přerušení kabelu mezi stanicemi, je stanice zásobována daty z druhé strany. Znamená to, že každá stanice v tunelu může dostávat a předávat informace čtyřmi směry. Při takto konfigurované síti je **bezpečnost téměř absolutní**. Docílení tohoto stavu není elementární záležitostí, ale softwarový produkt Kerberos® tyto požadavky splňuje.

Vlastní dispečerský dohled a řízení tohoto automobilového tunelu jsou rozděleny na dvě části – řízení dopravy a řízení technologie. Dopravní systém tunelu je propojen dvěma nezávislými trasami o délce cca 5 km na hlavní dopravní řídicí ústřednu v Praze, kde je ve smyslu ITS zásad integrován s městským řídicím systémem, viz obr. 3. Technologické soubory tunelu jsou řízeny a monitorovány z centrálního dispečinku všech pražských tunelů, který je vzdálen cca 2 km, viz obr. 4.

Při ztrátě komunikace mezi tímto lokálním řídicím systémem a nadřazenými velnými řízení dopravy nebo technologie přechází tento systém do plně autonomního provozu, i když je ztráta komunikace velmi nepravděpodobná díky tomu, že trasy jdou odděleně různými tunelovými tubusy. Reakce řídicího systému v případě mimořádné situace (požár, koncentrace plynů, opacita, vznik náledí a podobné situace) je automatická a její algoritmy počítají i s možným výpadkem komunikace s nadřazenými velnými i operátorskou stanicí na lokálním velnu.

ZÁVĚR

Článek ukazuje přehled koncepčního řešení vybavování silničních tunelů v České republice, na kterém se podílejí veřejné i privátní instituce. Díky tomuto propojení a společné tvorbě standardů a technických podmínek lze mluvit o „české škole“ ve vybavování a bezpečnosti tunelů, což je potvrzeno i výukou tunelových systémů v rámci předmětu Inteligentní dopravní systémy na Fakultě dopravní ČVUT.

*PROF. ING. PAVEL PŘIBYL, CSc.,
ELTODO EG, a. s., e-mail: pribylp@eltodo.cz
ING. LUDVÍK ŠAJTAR, SATRA, s. r. o.,
e-mail: ludvik.sajtar@satra.cz*

of them installed in separate fire-protected rooms. Both stations continually synchronise their data and the running of programs. Therefore the system switches instantaneously to the current standby facility in the case of a breakdown of one of them. In addition, redundant communication routes to secondary units are also installed. The topology and construction of the communication routes guarantees a fully redundant flow of data in both tunnel tubes. A chart showing how the maximum possible reliability of the control system is achieved is in Fig. 2. The system does not “recognise” that a problem arose due to a failure of one of the control stations, and it keeps running in a normal way. Each of the main stations communicates with all secondary stations via its own dedicated bus bar. This means that there is a double reserve also there. The 25 secondary stations installed in the tunnel are interconnected via a circular bus. When the cable is interrupted the station is supplied with data from the other side. This means that each station in the tunnel can receive/transfer information in four directions. The network configured in this way provides **nearly absolute safety**. It is not an elementary issue to achieve this condition. However, the Kerberos® software product meets these requirements.

The control surveillance and management of this road tunnel is divided into two parts – traffic management and tunnel technical services management. The tunnel traffic system is connected to the Main traffic management centre in Prague via two independent routes about 5 km long. At this centre, this system is integrated with the city traffic management system according to the ITS principles, see Fig. 3. The tunnel technical services are controlled and monitored from a management centre controlling all Prague tunnels, see Fig. 4. The distance of this centre from the tunnel is about 2 km.

When the communication between this local management centre and the superior traffic and technical services management centres is interrupted, this system switches to fully automatic operation. Although, the interruption of communication is very improbable owing to the fact that the routes are separate, running through different tunnel tubes. The response of the management system in the case of emergency (a fire, concentration of gases, opacity, black ice and similar situations) is automatic, and its algorithms allow for the possibility of interrupted communication with superior control centres or the control station in the local control room.

CONCLUSION

This paper provides an overview of the conceptual solution of equipment in road tunnels in the Czech Republic provided jointly by public and private institutions. Thanks to this connection and joint work on the development of standards and technical specifications, we can speak about a “Czech school” of equipment and safety in tunnels. This statement is proven by the fact that tunnel systems are a topic of Intelligent Traffic Systems lectures read at the Faculty of Traffic Engineering of the Czech Technical University.

*PROF. ING. PAVEL PŘIBYL, CSc.,
ELTODO EG, a. s., e-mail: pribylp@eltodo.cz
ING. LUDVÍK ŠAJTAR, SATRA, s. r. o.,
e-mail: ludvik.sajtar@satra.cz*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] OPTUN „Optimalizace provozu tunelů“, Výroční zpráva za rok 2005 výzkumného projektu ministerstva dopravy ČR, Eltodo EG, Praha, prosinec 2005 (v češtině)
- [2] European ITS Framework Architecture, KAREN, project TR 4108, D3.7, MIZAR, August, 2000
- [3] Technické podmínky TP172 „Dopravně-informační centra-požadavky na výměnu dat a informatiku“, Sdružení pro dopravní telematiku ČR, Praha, 2005, ISBN
- [4] Norma ČSN 73 7507 „Projektování tunelů na pozemních komunikacích“, ČNI, Praha, 2006 (připraveno pro tisk)
- [5] Technické podmínky TP98 „Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací“, Eltodo EG, Praha, 2004, ISBN 80-239-0110-9, (v češtině a angličtině)
- [6] TKP staveb pozemních komunikací, Kapitola 24 Tunely, kap. 7 – Tunely, podzemní objekty, galerie, Pragoprojekt, Praha 1999
- [7] Technické podmínky TP154 „Provoz, správa a údržba tunelů pozemních komunikací“, Eltodo EG, Praha, 2002, ISBN 80-238-8361-5, (v češtině)
- [8] „Analýza a řízení rizik v tunelech pozemních komunikací“, Výroční zpráva za rok 2003 výzkumného projektu ministerstva dopravy ČR, Eltodo EG, Praha, leden 2004 (v češtině)
- [9] Rizika silničních tunelů podle směrnice EU, ISPROFOND 5006210025, I. etapa projektu-zpráva, Satra, Praha, prosinec 2005
- [10] “Directive Of The European Parliament And Of The Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans – European Road Network”, Brussels, 2004/54/EC.

REALIZAČNÍ DOKUMENTACE DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ TUNELU LIBOUCHEC

DETAILED DESIGN FOR THE FINAL LINING OF THE LIBOUCHEC TUNNEL

LIBOR MAŘÍK, JIŘÍ HOŘEJŠÍ

ÚVOD

Dálnice D8 spojuje hlavní město Prahu se severočeským Ústím nad Labem a pokračuje dále přes státní hranici se Spolkovou republikou Německo směrem na Drážďany. Po dokončení všech úseků bude dálnice tvořit významnou severo-jihní komunikační tepnu evropského formátu. Dálniční tunel Libouchec leží na úseku dálnice D8, stavby 0807/II Knínice – státní hranice SRN. Převádí trasu dálnice plochým hřbetem v podhůří Krušných hor jihozápadně od obce Libouchec, která mu dala jméno. Z kapacitních i bezpečnostních důvodů je tunel směrově rozdělen do dvou tunelových trub o dvou jízdních pásech šířky 3,5 m. Tunely propojují dvě průchozí tunelové propojky. Jedná se o úboční tunely, jejichž orientace vzhledem k reliéfu terénu není z hlediska výstavby a návrhu hloubených úseků tunelu ideální. Vyvolává nutnost odtěžení velkého objemu horniny z asymetrických stavebních jam. Nerovnoměrnost zatížení hloubených úseků tunelu zpětným zásypem nepříznivě ovlivňuje dimenze ostění i množství výztuže. Celková délka západního tunelu dosahuje 504 m, délka východního tunelu činí 520 m. Příportálové úseky obou tunelových trub jsou prováděny v otevřené stavební jámě a zpětně zasypány, zbývající úseky jsou raženy Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM). Během zpracování realizační dokumentace stavby (RDS) tunelu došlo k řadě změn v technickém řešení, které zohledňovaly skutečně zastížené geotechnické podmínky. K nejzákladnějším patřil návrh definitivního ostění z prostého betonu. I když se jedná o postup, který je v zahraničí v obdobných geotechnických podmínkách běžně aplikován, v České republice při ražbě tunelů pomocí NRTM dosud použit nebyl.

GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Tunely procházejí severovýchodním okrajem krušnohorského krystalinika zastoupeného silně metamorfovanými horninami. Pod vrstvou pokrývných útvarů tvořených středně ulehlými sutěmi, silně písčitými hlínami a šterky o celkové mocnosti do 3 m se nachází vrstva zcela až silně zvětralých ortorul předkvartérního skalního podkladu dosahující



Obr. 1 Jižní portál východního tunelu – zóna zvětrání zasahuje až do úrovně kaloty
Fig. 1 The South Portal of the Eastern Tunnel Tube – the zone of weathering extending to the top heading level

INTRODUCTION

The D8 motorway links the city of Prague with Ústí nad Labem in North Bohemia and continues further across the state border with the Federal Republic of Germany towards Dresden. This motorway will constitute a north-south communication artery of European significance. The Libouchec motorway tunnel lies in a section of the D8 motorway between Knínice and the state border (construction lot 0807/II). It allows the motorway to pass across a flat ridge of the Erz Gebirge (Krušné Hory) Mountains' foothills, near the Libouchec village. For capacity and safety reasons, the tunnel is divided into two tubes with the carriageways containing two 3.5m wide traffic lanes each. The tunnel tubes are interconnected by two cross passages for pedestrians. The tunnel tubes are of the offspur configuration. The orientation of the cut and cover sections of the tunnel tubes to the terrain relief is not ideal, both from the construction point of view and because of the asymmetric layout of the tunnels. The asymmetric arrangement of the construction trenches requires large volumes of ground to be excavated. The uneven character of the load exerted on the cut-and-cover tunnels by the backfill unfavourably affects both the dimensions and amount of reinforcement of the concrete lining. The total length of the western and eastern tunnel tube amounts to 540m and 520m respectively. The portal sections of both tubes are built in an open pit and backfilled, the remaining sections are mined using the New Austrian Tunnelling Method (NATM). A number of changes were adopted in the course of the development of detailed design to take account of the actually encountered geotechnical conditions. The design of the unreinforced concrete final lining was among the most important. Even though this solution is commonplace in similar geotechnical conditions abroad, it has not been applied in the Czech Republic to the NATM excavation yet.

GEOTECHNICAL CONDITIONS

The Libouchec tunnels run across a north-eastern edge of the Krušné Hory crystalline complex formation, which comprises heavily metamorphosed rock types. The up to 3m thick cover consisting of medium compact debris, extremely sandy loams and gravels lies on an up to 4m thick layer of heavily weathered orthogneiss forming the top of the Pre-Quaternary bedrock. Slightly weathered to fresh orthogneiss, mostly heavily faulted, is predicted to be found under this layer. Based on the assessment of the geotechnical exploration, the rock mass was divided into quasi-homogeneous units of ground types featuring similar properties, which were used in the design of the construction trenches' slopes and, in the case of the cut-and-cover tunnel sections, in the design of the NATM excavation classes. The excavation of the construction trench for the south portal showed that the weathering zone above the western tube reaches approximately the anticipated depth and it does not extend into the tunnel cross section; regarding the eastern tunnel tube and, primarily, the rock pillar between the western tube and the construction pit for the eastern tube, the depth of the rock affected by weathering reached the level of the top heading bottom (see Fig. 1). This situation affected the technological procedure designed for the excavation of the construction trenches, the position of the mined portal of the eastern tunnel tube, as well as the lengths of the reinforced sections of the final tunnel lining.

BASIC TUNNEL PARAMETERS

Both tunnel tubes are on a horizontal curves. The centreline of the western tunnel tube (WTT) and eastern tunnel tube (ETT) are created by a 1060.10m-radius and 1004.85m-radius curve respectively. The transversal incline of the roadway is of 4.5%. The optimum utilisation of the

mocnosti 4 m. Pod touto vrstvou se již podle prognózy měly vyskytovat mírně navětralé až zdravé ortoruly, převážně silně tektonicky porušené. Po vyhodnocení výsledků IG průřezu byl horninový masív rozdělen na kvaziisotropní celky obdenných geotechnických vlastností, které sloužily pro návrh sklonů stavebních jam a v případě ražených úseků tunelu pro návrh technologických tříd výrubu. Při hloubení stavební jámy jižního portálu se ukázalo, že nad západním tunelem dosahuje zóna zvětrání přibližně očekávané hloubky a nezasahuje do prostoru tunelu, v případě východního tunelu a zejména horninového pilíře mezi západním tunelem a jámou východního tunelu však zvětralé horniny zasahovaly až do úrovně dna kaloty (viz obr. 1). Tato skutečnost ovlivnila technologický postup odtěžování stavebních jam, polohu ražených portálů východního tunelu i rozsah vyztužených úseků definitivního ostění tunelu.

ZÁKLADNÍ PARAMETRY TUNELŮ

Obě tunelové trouby leží ve směrovém oblouku. Osa západní tunelové trouby (ZTT) leží v oblouku o poloměru 1060,10 m, východní tunelové trouby (VTT) o poloměru 1004,85 m. Příčný sklon vozovky je 4,5 %. Odsazení osy tunelu od osy jízdního pásu 100 mm umožňuje optimálně využít plochu výrubu. Reliéf terénu a poloha tunelů na úpatí svahu zapříčiňují vzájemný posun polohy portálů ZTT a VTT a ražba ZTT proto probíhá souběžně s hloubením stavební jámy VTT. Mezi tunelem a stavební jámou vzniká horninový pilíř o mocnosti min. 7 m. Trasa stoupá od jihu k severu ve sklonu 4,5 %, což je jednou z příčin dovrchního ražení obou tunelů.

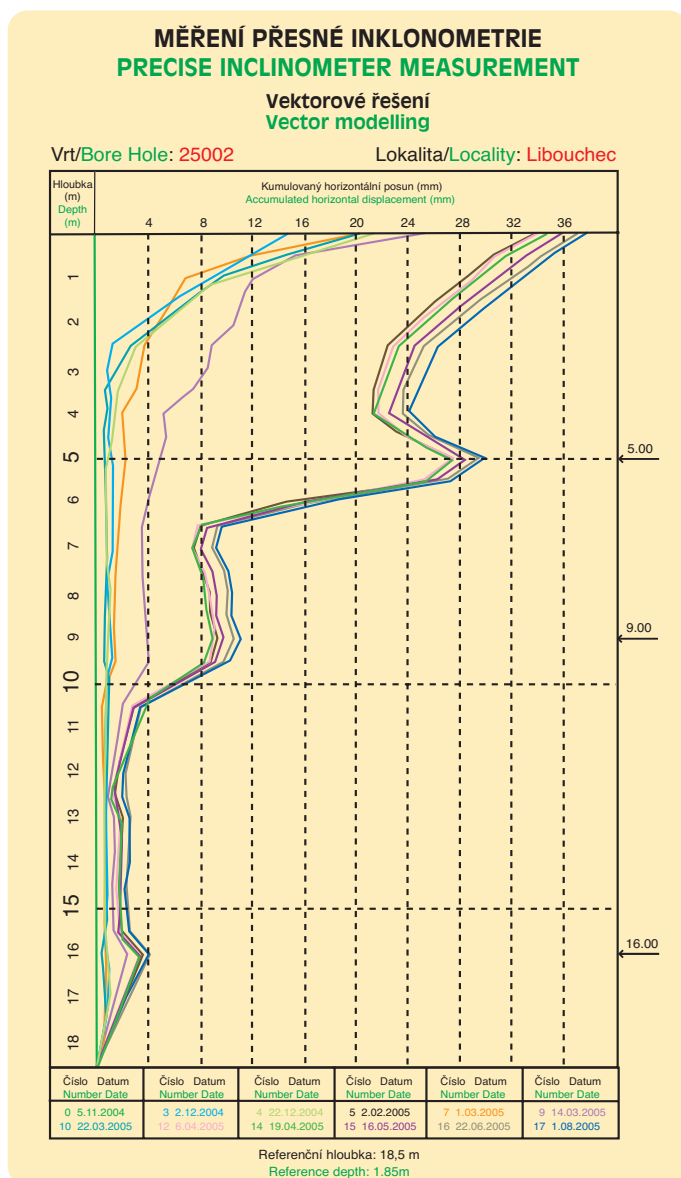
excavated cross section is possible owing to a 100mm offset of the tunnel centre line from the roadway axis. The terrain configuration and the tunnel position at the base of the slope are the reason why the WTT and ETT portals are staggered, i.e. the WTT is driven side by side with the excavation of the construction trench for the ETT. A minimally 7m thick rock pillar remains between the tunnel and the construction trench. The alignment rises from the south to the north at a gradient of 4.5%. This is one of the reasons for the uphill excavation direction of both tunnel tubes. Larger portions of the tunnel tubes lengths are on a vertical curve. The width configuration of the roadway corresponds to the T7.5 category with the clearance height of 4.5m. There are walkways minimally 1.0m wide with cable ducts underneath on both sides of the roadway. The theoretical excavated cross-section area depends on the thickness of the primary lining for the respective excavation class; it varies from 85m² to 89m². The double-shell lining with waterproofing between the shells has been used for the mined portions of the tunnel; the cut-and-cover tunnel sections are provided with a membrane applied to the external surface of the lining.

GEOTECHNICAL MONITORING

The geotechnical monitoring was carried out throughout the construction of both the mined and cut-and-cover tunnel sections. The displacement of the points fixed on the slopes of the construction trench was observed by surveying methods. Inclinometers installed on the side of the construction trench, above the tunnel profile and in the rock pillar were used to monitor the condition of the construction pit excavation together with the influence of the commencement of the tunnel excavation (see Fig. 2). The excavation deformations were measured at convergence stations having their convergence bolts attached to the surface of the primary lining. The frequency of the measurements and the distance between the monitoring stations corresponded to the construction needs and actually encountered conditions. The measurements were carried out in compliance with the rules set by the design, unless extraordinary situations occurred. Owing to the Barab information system (an Internet-based information system), the results of the measurements could be made available on the Internet immediately after the completion of their assessment to authorised representatives of the parties involved in the construction using their respective access passwords. The excavation operations followed the respective technological procedures defined by the particular excavation classes. The measured values of the excavation deformations lied under the limiting levels determined by the detailed design. The maximum measured value of the vector of deformation in the vicinity of the portal and in the section with the thicker cover not exceeding 30mm and 70mm respectively prove that the rock environment was extraordinarily stable. The advance per round, thus also the excavation advance rate were limited only by the threat of local overbreak which existed due to the extremely narrow spacing of discontinuities. The geomonitoring also consisted of the monitoring of the water table level, the degree of the groundwater aggressive action and the mapping of the excavation face. The geomonitoring results were used during the construction for verification and contingent modification of the technological procedure, both for the mining operations and the excavation of the construction trenches. The assessed results of the excavation deformation measurements contributed to the decision to build unreinforced concrete final lining. Also the FEM mathematical model was de-bugged and the load acting on the final lining was determined according to the actually measured values of the excavation deformation.

FINAL LINING IN THE MINED TUNNEL SECTIONS

The contractor used the same movable shutter set for the casting of the final lining in the mined tunnel sections that was used on the nearby Panenská tunnel. The works schedules for both tunnels allowed the shutter from the Panenská tunnel to be fluently moved to the Libouchec tunnel. The final lining of the Libouchec tunnel is, according to the tender documents, minimally 400mm thick at the crown of the arch. Compared with the thickness of the liners of Czech tunnels driven using the NATM, which usually does not exceed 350mm, this thickness is atypical. The thickness of the final lining affects the geometrical position of the primary lining, thus also the geometry and fabrication of lattice girders. The contractor and the author of the detailed design had to decide whether the risk associated with the reduction of the final lining thickness was to be taken by themselves or the original design was to be used. The concept of the unreinforced concrete final lining was not counted with



Obr. 2 Deformace horninového pilíře – inklinometrické měření
Fig. 2 Deformation of the rock pillar – the inclinometer measurement



Obr. 3 Šachovnicová betonáž definitivního ostění
Fig. 3 Staggered pattern of the final liner casting

Větší část tunelových trub se nachází ve výškovém zakružovacím oblouku. Šířkové uspořádání vozovky odpovídá kategorii T7,5 při výšce průjezdného průřezu 4,5 m. Po obou stranách vozovky se nad kabelovody nacházejí chodníky minimální šířky 1 m. Teoretická plocha výrubu závisí na tloušťce primárního ostění pro příslušnou technologickou třídu výrubu a pohybuje se od 85 m² do 89 m². V ražené části tunelu je navrženo dvouplášťové ostění s mezilehlou izolací, hloubené úseky tunelu jsou izolovány pláštovou izolací položenou na vnější líc ostění.

GEOTECHNICKÝ MONITORING

Geotechnický monitoring probíhal po celou dobu výstavby hloubených i ražených úseků tunelu. Při hloubení stavebních jam bylo prováděno geodetické sledování posunu bodů osazených na svazích stavební jámy. Inklinometry umístěné na boku jámy, nad profilem tunelu a v horninovém pilíři monitorovaly stav odtěžování jámy i vliv zahájení ražby tunelu (viz obr. 2). V měřických profilech umístěných na lici primárního ostění probíhalo měření deformací výrubu. Četnost měření a vzájemná vzdálenost měřických profilů odpovídala potřebám stavby a skutečně zastiženým podmínkám. Pokud nedocházelo k výjimečným situacím, probíhala měření podle zásad uvedených v projektu monitoringu. Informační systém Barab umožňoval okamžitě po vyhodnocení umístit výsledky měření na internetu a po zadání přístupového hesla jejich zobrazení odpovědným zástupcům stran zúčastněných při výstavbě. Ražba probíhala podle technologického postupu definovaného příslušnou technologickou třídou výrubu a naměřené deformace výrubu ležely pod mezními hodnotami, stanovenými v realizační dokumentaci. Maximální naměřená hodnota vektoru deformace do 30 mm v blízkosti portálu, resp. do 7 mm v úseku s vyšším nadložím svědčí o mimořádně stabilním horninovém prostředí. Délku záběru a tím i rychlost ražby limitovalo pouze nebezpečí lokálních nadvýrubů, ke kterým docházelo kvůli vysoké hustotě diskontinuit. Součástí geomonitoringu bylo i sledování úrovně hladiny podzemní vody a její agresivity a dokumentace čeleb. Výsledky geomonitoringu sloužily během výstavby k ověření a eventuálním úpravám technologického postupu při ražbě i hloubení stavebních jam. Vyhodnocení výsledky měření deformací výrubu přispěly k rozhodnutí o provádění nevyztuženého definitivního ostění. Na skutečně naměřené hodnoty deformací výrubu byl naladěn matematický model MKP a stanoven zatížení definitivního ostění.

DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ RAŽENÝCH ÚSEKŮ TUNELU

Pro betonáž definitivního ostění ražených úseků tunelu použil dodavatel bednici vůz z nedalekého tunelu Panenská. Harmonogram prací na obou tunelech umožnil plynulý přesun formy z tunelu Panenská na tunel Libouchec. Definitivní ostění tunelu Libouchec má podle zadávací dokumentace minimální tloušťku ve vrcholu klenby 400 mm. V porovnání s tloušťkou ostění českých tunelů realizovaných pomocí NRTM, jejichž dimenze zpravidla nepřevyšují 350 mm, se jedná o tloušťku atypickou. Tloušťka definitivního

in the primary lining design phase, therefore a change in the thickness of the lining during the course of the excavation would have caused serious problems due to the short length of the tunnel. The prognosis on the engineering geological conditions was also rather unfavourable for the reduced lining thickness. This is why competent representatives of the contractor and employer agreed that the dimensions of the lining required by the original design remained unchanged. The contractor decided that contingent savings could be achieved by optimising the amount of reinforcement steel in the final lining calculated on the basis of the assessment of the geotechnical monitoring results. This is a typical example of the observational method and one of the basic NATM principles. This, however, means for the designers working on the detailed design that they must wait with the calculation and preparation of the working drawings of the final lining until the geotechnical monitoring results are available. The principal role is played not only by the magnitude of deformation of the excavation, but primarily the rate at which the deformation reaches its final value and the moment when the final lining is cast.

Based on the results of structural analyses and assessment of local conditions, the tunnel was divided into sections with the reinforced concrete final lining and sections with the unreinforced concrete final lining. The initial concerns by the employer and by the Ministry of Transport's supervision were successfully chased away through structural analyses and tens of examples of similar structures completed abroad. The execution of the unreinforced concrete lining was also made possible owing to the positive attitude adopted by all parties involved. The change in the employer's opinion on the formation of cracks in the tunnel lining represented the fundamental step towards the unreinforced concrete lining design. The requirement for the prevention of cracks relates rather to the execution of waterproof concrete liners without a waterproofing membrane, where the waterproofing function is assumed by the concrete. Even in those cases, however, absolute prevention of cracks is not required, only crack width limits are specified. Regarding the Libouchec tunnel, the waterproofing system consists of a membrane and longitudinal drains. The requirement for the crack width limitation is therefore unsubstantiated and increases the construction cost. The effort to change the original requirement came off, owing to the active support by the representatives of the Ministry of Transport supervision and the author of the tender documents. This change allowed not only construction of complete sections of the concrete lining without reinforcement, but also significant reduction of the amount of rebar in the tunnel sections lined with reinforced concrete. The reinforced concrete lining was designed solely for the portal sections and for those casting blocks where the escape passages are connected to the tunnel. The reinforcement was also installed locally, at combined niches for SOS boxes and fire hydrants. The final lining concrete in the other sections of the mined part of the tunnel remained unreinforced.

To provide protection of the structure against aggressive environment, the contractor used C25/30 XF4 XD3 concrete for the casting of individual 12m long blocks. In contrast with Austrian guidelines where the protection against the aggressive action is provided by protective coating and where the directive [1] warns against the application of the XF4 concrete because of its propensity for cracking, the protection of the Libouchec tunnel structure against aggressive environment is ensured by the concrete structure itself. The cracking and allowable depth and width of cracks were the frequent topic of many discussions. The fears concerning the randomly spreading shrinkage cracks did not materialize in the course of the casting. The structure did not exhibit any cracks, either when the shutter had been struck or in the period ending by the preparation of this paper. The first of the completed blocks were an exception. Cracks up to 1mm wide originated in the vicinity of the joints between the casting blocks. Even local reinforcement of the given area with steel mesh failed to prevent this phenomenon. A similar phenomenon had been experienced during the casting of the final lining of the Březno u Chomutova tunnel. The author of the detailed design consulted this problem with the contractor and decided to change the concrete casting system from a continuous sequence to a staggered pattern (see Fig. 3). The cracks did not appear again. They had probably been caused by the vibration of the travelling shutter, which was transferred via its jacket into the lining of the block which had not long since been stripped.

STRUCTURAL ANALYSES OF THE FINAL LINING OF THE MINED TUNNEL SECTION

Structural analyses of the final lining of mined tunnel sections carried out whilst the detailed design are being prepared usually have the aim of optimising the original design contained in the tender documents, conforming it to the actually encountered geotechnical conditions or the

ostění ovlivňuje geometrickou polohu primárního ostění a s tím související výrobu výztužných rámců. Dodavatel i zpracovatel RDS byl postaven před rozhodnutí vzít na sebe riziko snížení dimenzí definitivního ostění, nebo ponechat původně navržené řešení. V době zpracování dokumentace primárního ostění ještě nikdo s návrhem nevyztuženého definitivního ostění nepočítal a úprava tloušťky ostění při ražbě by působila vzhledem k malé délce tunelu značné komplikace. Rovněž prognóza inženýrskogeologických poměrů nebyla pro snižování tloušťky ostění příznivá. Po vzájemné dohodě kompetentních zástupců dodavatele a investora proto zůstaly dimenze ostění podle původního návrhu. Dodavatel se rozhodl dosáhnout případných úspor optimalizací množství výztuže definitivního ostění dimenzovaného na základě vyhodnocení výsledků geotechnického monitoringu. Jedná se o typický příklad observační metody a jeden ze základních principů NRTM. Pro zpracovatele RDS to však znamená vyčkávat s dimenzováním a zpracováním výztuže definitivního ostění až na výsledky geotechnického monitoringu. Zásadní roli hraje nejen velikost deformace výrubu, ale především rychlost, s jakou dojde k jejímu ustálení, a okamžik, kdy je betonováno definitivní ostění.

Na základě výsledků statických výpočtů a zhodnocení místních podmínek byl tunel rozdělen na úseky s definitivním ostěním vyztuženým a úseky prováděné z nevyztuženého betonu. Počáteční obavy investora i supervize ministerstva dopravy se podařilo rozptýlit provedenými statickými výpočty i desítkami příkladů obdobných staveb realizovaných v zahraničí. K provádění nevyztuženého ostění významnou měrou přispěl i pozitivní přístup všech zúčastněných stran. Zásadní krok k návrhu nevyztuženého ostění představovala změna názoru investora na dimenzování ostění se zamezením vzniku trhlin. Jedná se o požadavek spojený spíše s prováděním vodonepropustných betonových ostění bez izolační fólie, kdy izolační funkci přebírá beton. I v tomto případě se však jedná pouze o požadavek omezení šířky trhlin, nikoli o jejich úplné zamezení. V případě tunelu Libouchec zajišťuje vodonepropustnost izolační fólie a podélná tunelová drenáž. Požadavek omezení vzniku trhlin proto nemá opodstatnění a stavbu prodražuje. Za aktivní podpory zástupců supervize ministerstva dopravy i zpracovatele zadávací dokumentace se podařilo původní požadavek změnit. To umožnilo nejen provádět celé úseky ostění zcela bez výztuže, ale i podstatně zredukovat množství výztuže ve vyztužených úsecích tunelu. Vyztužené ostění bylo navrženo jen v přípořtálových úsecích a v blocích se zaústěním únikových chodů. Lokální vyztužení se provádělo i v místě sdužených výklenků skříňe SOS a požárního hydrantu. Ostatní úseky ražené části tunelu vyztuženy nebyly.

Pro betonáž jednotlivých sekcí délky 12 m použil dodavatel beton C25/30 XF4 XD3. Důvodem je ochrana konstrukce proti agresivitě prostředí. Na rozdíl od rakouských doporučení, kde ochranu proti agresivitě zajišťuje ochranný nátěr a kde směrnice [1] varuje před použitím betonu XF4 z důvodu větší náchylnosti ke vzniku trhlin, zajišťuje v případě tunelu Libouchec ochranu proti agresivitě prostředím přímo betonová konstrukce. Vznik trhlin, jejich přípustná hloubka i šířka byly častými tématy mnoha jednání. Při vlastní betonáži se však obavy z šíření divokých smršťovacích trhlin nepotvrdily. Konstrukce nevykazovala po odbednění ani v období do zpracování textu článku žádné trhliny. Výjimku tvořil případ prvních betonovaných bloků, kde ve vrcholu klenby docházelo ke vzniku trhlin šířky do 1 mm v blízkosti spáry mezi bloky betonáže a nepomáhalo ani lokální vyztužení dané oblasti vložením betonářské sítě. Obdobné zkušenosti jsou známy z betonáže definitivního ostění železničního tunelu Březno u Chomutova. Po poradě s dodavatelem navrhl zpracovatel RDS změnit postup betonáže z plynulého na šachovnicový (viz obr. 3). Trhliny se na takto betonovaných blocích již neobjevily. Ke vzniku trhlin docházelo pravděpodobně negativními účinky vibrační bednicího vozu, které se přenášely jeho pláštěm do čerstvě odbedněného bloku ostění.

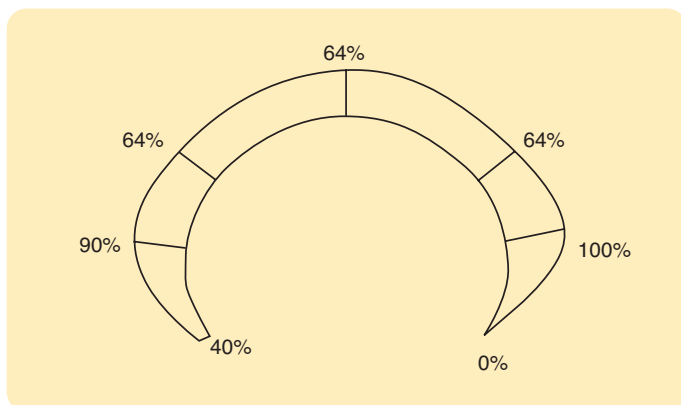
STATICKÉ VÝPOČTY DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ RAŽENÝCH ÚSEKŮ

Úkolem statických výpočtů definitivního ostění ražených úseků tunelu prováděných v rámci RDS bývá zpravidla optimalizace původního návrhu zadávací dokumentace na skutečně zastížené geotechnické podmínky, resp. horninový tlak. Protože s návrhem nevyztuženého definitivního ostění původní zadávací dokumentace

actual confining pressure. Because the original tender documents had not allowed for the unreinforced concrete final lining option, the structural analyses had to prove that the unreinforced concrete structure was viable and the bearing capacity of the structure was sufficient. The structural assessment of the unreinforced lining, but also other documents (an economic assessment, technological procedure of the work proposal, requirements for the lining surface finish, a certificate of fire resistance of the structure, etc.) served as a basis for the employer's decision to approve this solution. The structural analysis proving the bearing capacity of the unreinforced lining was carried out by ILF Consulting Engineers Innsbruck [3], the reinforced concrete sections were calculated by the Prague office of IKP Consulting Engineers [4]. Both calculations were identical in many boundary conditions. The author of the detailed design utilized the RIB Tunnel program for the calculation of internal forces and deformations of the primary lining and for modelling of individual tunnel excavation phases. The geotechnical input parameters of the mathematical model utilized for the calculation of the primary lining yielded the same results as those obtained in the framework of the geotechnical monitoring.

Therefore, the structural engineer did not have to adjust the mathematical model using the actually measured values of deformations and used directly the model for the determination of the load acting on the final lining. The confining pressure load acting on the final lining of the tunnel was modelled as the contact pressure between the primary lining and the rock. The model for the load was based on an assumption of total degradation of all elements of the primary lining, where the final lining takes full load exerted by the rock mass. This is a conservative attitude because it can be expected that the primary lining will carry certain portion of the load throughout the tunnel service life. The tunnel lining was modelled as a beam structure embedded in an elastic layer with tension cut-off condition. The fact that the non-linear behaviour of concrete, also with the tension cut off, was taken into account presents another of the common approaches of both calculations. The concrete lining was cast when the primary lining deformations had reached their final values. We can therefore assume that immediately after the casting the final lining is loaded mainly by its dead weight, temperature effects and equipment fixed to the lining. The confining pressure is carried by the primary lining in this phase. The primary lining continuously deteriorates with time as a result of the action of the environment that the lining is built in, thus the load is gradually transferred from the primary lining to the final lining. The intermediate waterproofing layer between the primary and secondary lining prevents the transfer of tangential forces, therefore the final lining is loaded only by the radial component of the contact pressure. The following loads or their combinations were introduced into the calculation: the dead weight of the structure, temperature of the lining in winter and summer seasons, shrinkage and creep, the confining pressure and forces induced by technical equipment. Regarding the verification of the dimensions of the unreinforced lining, a load cases matrix combining individual loads with respective load confidence coefficients was developed in the calculation process. With the exception of the confining pressure, all of the loads complied with the values required by regulations. Variations of the magnitude of the confining pressure were applied to the respective calculation combinations until the particular combination of the loads was found that brought the structure into the ultimate limit state. The proportions of the confining pressure loads schematically corresponded with the distribution of the radial contact pressure between the primary lining and the ground (see Fig. 4).

The ultimate limit state does not represent the only criterion used in the analysis of the unreinforced lining. For that reason the calculation carried out according the Eurocode deals also with the depth and width of the cracks. Unless special properties are required (e.g. the waterproofing), the maximum depth of cracks in an unreinforced concrete structure is not explicitly set. The NAD recommendations 4.1 and 4.2 for the CSN EN 1992-1-6 are well-founded in structures of buildings, where the cross section responds to the exceeded eccentricity $e > 0.3 h_w$ by a rapid increase in the stress. A final tunnel liner is a structure embedded in the rock mass all around its periphery. The system formed by the rock mass and the final lining does not respond to the increased eccentricity so sensitively. This is why there is no reason for the NAD recommendations to be applied in the assessment of the final tunnel liner. As a criterion applicable to this case, we consider to be the reduction of stress in concrete to an acceptable limit in accordance with the CSN 73 1201 stipulation $e_d \leq 0.9 a_{gc}$, where a_{gc} is the distance of the compression rim of the cross section from the centre of gravity of the cross section. When this condition determining the



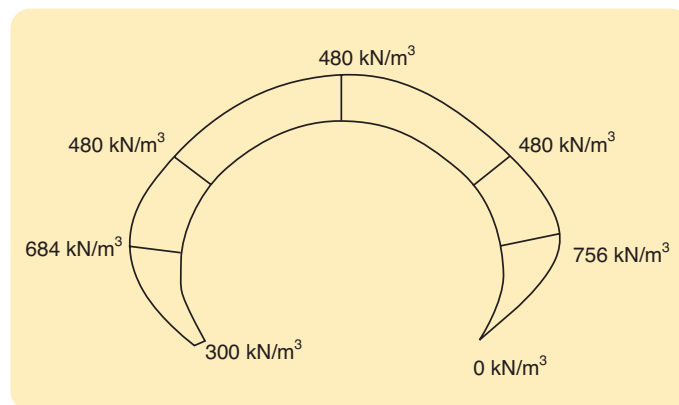
Obr. 4 Proportionální rozdělení zatížení horninovým tlakem na rubu ostění
Fig. 4 Proportional distribution of the confining pressure along the reverse side of the liner

nepočítala, musely statické výpočty nejprve prokázat, že je provádění nevyztuženého ostění reálné a konstrukce má dostatečnou únosnost. Na základě statického posouzení nevyztuženého ostění, ale i na základě dalších podkladů (ekonomické posouzení, návrh technologického postupu výstavby, požadavky na povrch ostění, průkaz požární odolnosti konstrukce apod.) rozhodl investor o jeho provádění. Statický průkaz únosnosti nevyztuženého ostění provedla v subdodávce firma ILF Consulting Engineers Innsbruck [3], výpočet vyztužených úseků ostění zpracovala pražská kancelář IKP Consulting Engineers [4]. Oba výpočty se shodovaly v mnoha okrajových podmínkách.

Pro výpočet vnitřních sil a deformací primárního ostění použil zpracovatel RDS program RIB Tunnel, ve kterém namodeloval jednotlivé fáze ražby tunelu. Geotechnické vstupní parametry matematického modelu použitého pro výpočet primárního ostění poskytovaly stejné výsledky, jaké byly naměřeny v rámci geotechnického monitoringu. Proto nemusel statik provádět ladění matematického modelu na skutečně naměřené hodnoty deformací a model přímo použil pro stanovení zatížení definitivního ostění. Kontaktní napětí mezi primárním ostěním a horninou pak sloužilo jako zatížení horninovým tlakem, kterým působí horninový masiv na definitivní ostění tunelu. Model zatížení vycházel z předpokladu úplné degradace všech prvků primárního ostění, kdy definitivní ostění plně přebírá zatížení horninou. Jedná se o konzervativní přístup, neboť lze předpokládat, že určitou část zatížení po dobu životnosti tunelu primární ostění přenese.

Ostění tunelu ve výpočetním programu nahrazovala prutová konstrukce osazená do horninového prostředí pružným uložením s vyloučením tahu. Další společný znak obou výpočtů představovalo zohlednění nelineárního chování betonu rovněž s vyloučením tahu. Betonáž ostění probíhala po odeznění deformací primárního ostění. Proto lze předpokládat, že definitivní ostění bezprostředně po betonáži zatěžuje převážně vlastní tíha, teplotní vlivy a zařízení na něm umístěná. Zatížení horninovým tlakem v tuto dobu přenáší primární ostění. V průběhu času dochází vlivem působení prostředí, v němž je primární ostění zabudováno, k jeho postupné degradaci, a tím k postupnému přenosu zatížení z primárního ostění na ostění definitivní. Vrstva mezilehlé izolace mezi primárním a sekundárním ostěním zamezuje přenosu tangenciálních napětí a definitivní ostění zatěžuje pouze radiální složka kontaktního napětí. Do výpočtu vstupovala následující zatížení, resp. jejich kombinace: vlastní váha konstrukce, teplota ostění v zimě a v létě, smršťování a dotvarování, účinky od technologického zařízení a horninový tlak. V případě průkazu dimenzí nevyztuženého ostění probíhal výpočet tak, že byla sestavena matice zatěžovacích stavů kombinující jednotlivá zatížení s příslušným součinitelem spolehlivosti zatížení. Kromě zatížení horninovým tlakem všechna zatížení odpovídala předpisy požadovaným hodnotám. Velikost horninového tlaku variovala v příslušných kombinacích v prováděných výpočtech tak dlouho, až byla nalezena taková kombinace zatížení, která přivedla konstrukci do mezního stavu únosnosti. Proporce zatížení horninovým tlakem schematičtě odpovídaly rozložení radiálního kontaktního napětí mezi primárním ostěním a horninou (viz obr. 4).

Mezní stav únosnosti nepředstavuje při posuzování nevyztuženého ostění jediné kritérium. Výpočet podle Eurokódu proto posuzuje i hloubku a rozevření trhlin. Maximální hloubka trhlin v konstrukcích



Obr. 5 Mezní hodnota zatížení horninovým tlakem
Fig. 5 The limit value of the confining pressure

minimum width of the compression area is met, the depth of cracks must not exceed a value of 360mm for a cross section 400mm thick. While the calculation according to the Eurocode does not set any restriction on the width of cracks, foreign experience [2] suggests that the maximum width of cracks must be restricted to 1mm.

Another of the criteria is the angular rotation of the cross section. A crack develops when the allowable tensile strength in concrete is exceeded. This process can be compared to the origination of a false joint. Additional load on the structure causes angular rotation of the cross section at the location weakened by the crack. So-called secondary cracks originate when the angular rotation exceeds $4 \cdot 10^{-3}$ rad. The cracks can cause spalling of the concrete, thus they can affect the ability of the structure to serve its purpose. The secondary cracks start from the roots of primary cracks, approximately perpendicularly to those cracks. The development of secondary cracks is reduced when the angular rotation of the cross section $\theta \leq 4 \cdot 10^{-3}$ rad.

The results of the analysis of the unreinforced liner showed that in terms of cracking, the critical combinations do not include the confining pressure as a load. In practice, this is the state existing in the stage early after the casting of the concrete final liner where all of the loads are carried by the primary liner. From the aspect of the origination and opening of cracks, the confining pressure acts positively, i.e. the depth and width of cracks diminishes under the confining pressure. The ultimate limit state was reached when the confining pressure at the crown of the arch assumed a value of 480kPa (see Fig. 5). The critical load case further comprised the dead weight of the structure, heating of the structure in the summer season, shrinkage, creep and forces induced by the tunnel equipment. The anticipated value of the contact pressure between the primary liner and the ground that was calculated by means of the FEM analysis did not exceed 80kPa at the crown of the arch. It follows from the above discussion that the confining pressure would have to rise 6x in comparison with its anticipated realistic value to achieve the ultimate limit state.

The structural analysis of the reinforced concrete tunnel sections assumes non-linear behaviour of the liner, allowing for the fact that the cracking has been permitted. The reduced stiffness of the cross sections deduced by means of the ideal moment of inertia J_{ix} and the concrete tension cut-off conditions are assumed for the areas of critical cross sections. It is, however, necessary to make a calculation (including determination of the amount of reinforcement) where the linear behaviour is assumed, prior to the determination of the critical cross sections and the subsequent calculation of the reduced stiffness values. The conditions at the foundation base must also be followed when the calculations are being made so that the friction forces do not exceed the allowable levels. A shearing failure would take place at the foundation base should those levels be exceeded.

The non-linear model that accepts the cracking allowed us to minimize the amount of reinforcement for the final liner. Instead of the amount of 700t which had been originally planned for the entire length of the mined tunnel section, only 150t was necessary. The reinforcement content varied from 26kg/m^3 in the standard casting blocks to 47kg/m^3 in the blocks which receive the cross passages. The reduction in the reinforcement content compared with the originally anticipated 88kg/m^3 is considerable. The footings are reinforced throughout the tunnel no matter whether the vault is reinforced or not. The amount of reinforcement is less than 57kg/m^3 . This amount is higher than the originally assumed amount of 34kg/m^3 . However, the increase, compared with the overall savings, did not affect the total cost of the works. Reinforcement bars of

z prostého betonu, nejsou-li na ně kladeny speciální požadavky (např. vodonepropustnost), není explicitně stanovena. Doporučení 4.1 a 4.2 NAD pro ČSN EN 1992-1-6 mají svá opodstatnění v konstrukcích pozemních staveb, kde při překročení excentricity $e > 0,3 h_w$ reaguje průřez prudkým nárůstem napětí. Definitivní tunelové ostění je konstrukce po celém svém obvodu uložená do horninového masivu. Systém horninový masiv – definitivní ostění nereaguje proto na nárůst excentricity tak citlivě. Z tohoto důvodu nemají doporučení NAD v posouzení definitivního tunelového ostění opodstatnění. Za kritérium v tomto případě považujeme omezení napětí v betonu na přijatelnou mez dle ustanovení ČSN 73 1201 $e_d \leq 0,9 a_{gc}$, kde a_{gc} je vzdálenost tlačeného okraje průřezu od těžiště průřezu. Při splnění této podmínky, která určuje minimální šířku tlačené oblasti, nesmí při tloušťce průřezu 400 mm hloubka trhlin překročit hodnotu 360 mm. Zatímco výpočet podle Eurokódu nestanovuje žádné omezení šířky trhlin, je podle zahraničních zkušeností [2] nutno maximální šířku trhlin omezit na max. 1 mm.

Dalším z kritérií je pootočení průřezu. Při překročení pevnosti betonu v tahu dojde ke vzniku trhliny, což lze ze statického hlediska srovnat se vznikem nepravého kloubu. Dalším přitížením konstrukce dochází v místě oslabeném trhlinou k pootočení průřezu. Jestliže je pootočení průřezu větší než $4 \cdot 10^{-3}$ rad, dochází ke vzniku takzvaných druhotných trhlin, které mohou způsobit odprýskávání betonu a ovlivnit tak schopnost konstrukce sloužit svému účelu. Druhotné trhliny vycházejí z kořene primárních trhlin a jsou na ně přibližně kolmé. Jestliže pootočení průřezu je $\theta \leq 4 \cdot 10^{-3}$ rad, je vznik druhotných trhlin omezen.

Výsledky výpočtu nevyztuženého ostění ukázaly, že kombinace zatížení rozhodující pro vznik trhlin neobsahují zatížení horninovým tlakem. V praxi se jedná o stav v raném stádiu po betonáži definitivního ostění, kdy veškeré zatížení přenáší primární ostění. Horninový tlak působí z hlediska vzniku a rozvětvení trhlin pozitivně, tj. při zatížení horninovým tlakem se snižuje jak hloubka, tak i šířka trhlin. Mezního stavu únosnosti bylo dosaženo pro hodnotu horninového tlaku ve vrcholu kaloty 480 kPa (viz obr. 5). Dále v rozhodujícím zatěžovacím stavu figurovala vlastní váha konstrukce, oteplení konstrukce v létě, smršťování, dotvarování a zatížení od technologického vybavení tunelu. Očekávaná hodnota kontaktního napětí mezi primárním ostěním a horninou, vypočtená pomocí MKP, nepřesahovala ve vrcholu kaloty 80 kPa. Z uvedeného vyplývá, že pro dosažení mezního stavu únosnosti by musel horninový tlak v porovnání s jeho předpokládanou reálnou hodnotou vzrůst 6krát.

Ve statickém výpočtu vyztužených úseků tunelu se předpokládá nelineární chování ostění se zohledněním vzniku trhlin. V oblastech kritických průřezů se uvažuje snížená tuhost průřezů, odvozená pomocí ideálního momentu setrvačnosti J_{ix} za vyloučeného tahu v betonu. Pro stanovení kritických průřezů a následný výpočet snížených tuhostí je však nutno provést nejprve výpočet s lineárními chováními ostění včetně návrhu vyztužení. Při provádění výpočtů je třeba zároveň sledovat poměry v základové spáře tak, aby síly tření nepřekročily přípustné hodnoty. V takovém případě by došlo k usmyknutí v základové spáře patky.

Nelineárním výpočtem se zohledněním vzniku trhlin se podařilo minimalizovat množství výztuže definitivního ostění. Na celý úsek raženého tunelu bylo místo původně plánovaných 700 t použito jen 150 t výztuže. Vyztužení klenby se pohybovalo od 26 kg/m³ ve standardních blocích betonáže až po 47 kg/m³ v blocích se zaústěním pojpyky. I v tomto směru došlo v porovnání s původně předpokládanými 88 kg/m³ k výrazné redukci. Patky jsou vyztuženy v celé délce tunelu bez ohledu na to, zda je klenba vyztužena, či nikoli. Množství oceli nepřesahuje 57 kg/m³. Oproti původnímu předpokladu 34 kg/m³ zde došlo k nárůstu, vzhledem k celkové úspoře však neměl vliv na cenu díla.

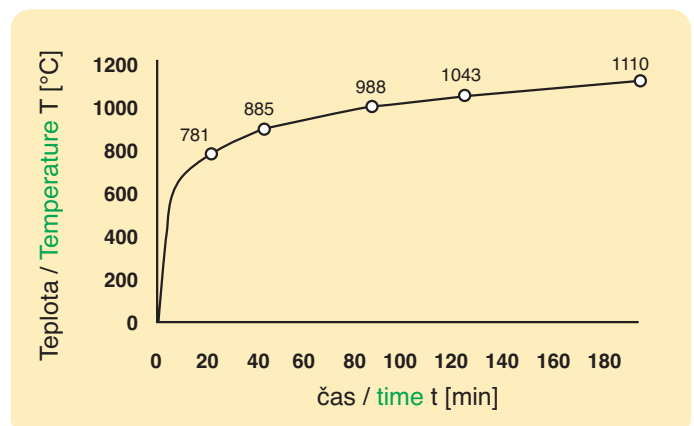
Výztuž patky a klenby není propojena, což při instalaci izolace snižuje nebezpečí jejího poškození trčící výztuží. Ve statickém výpočtu napojení patky a klenby modeluje kloubový styk.

Velmi diskutovaným detailem bylo uložení patky ostění na podkladní vrstvy a její případné rozepření o neporušenou horninu mezi patkami. Statický výpočet proto analyzuje i tento problém. Vodornou reakci, simulující tření v základové spáře, nahrazuje ve výpočetním programu pružná podpora. Tuhost podpory nezávisí na geotechnických parametrech horninového prostředí a geometrii výrubu, ale je nastavena tak, aby byl ve všech kombinacích zatížení zaručen minimální stupeň bezpečnosti proti posunutí patky v základové

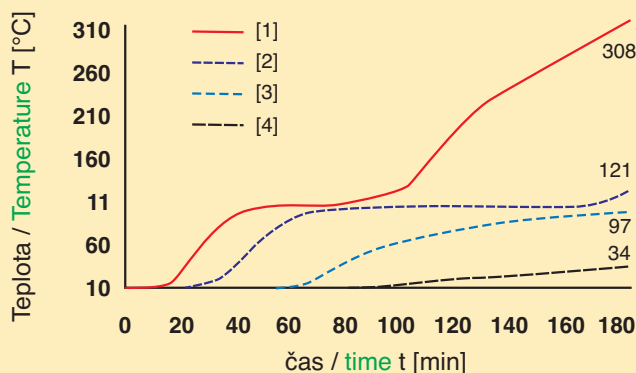
the footings are not connected with the vault reinforcement bars. This design reduces the potential for protruding bars to damage the waterproofing membrane during the application. The connection of the vault to the footing is modelled as an articulated joint. The design of the footing bearing on the bedding layers and the contingent bracing against the undisturbed ground between the footings was discussed in great detail. This is why the structural analysis solves also this problem. The horizontal reaction simulating the friction at the foundation base is modelled as an elastic support. The support toughness does not depend on geo-technical parameters of the rock mass or geometry of the excavation. The toughness is set in a manner guaranteeing that the minimum value of the factor of safety against displacement of the footing at the foundation base of 1.5 is reached for all combinations of the loads. The introduction of the horizontal reaction in the structural model applied to the design of the liner is crucially important for the structural design of the liner. If it had been neglected, the reinforcement would have been over-designed and, in some cases, the design would have been even impossible. Owing to the fact that the friction between the footing and the sub-base is taken into consideration, the required reinforcement is optimised not only in terms of the required safety but also with regard to the economy of the reinforcement design. The distribution of forces at the foundation base shows that the fear of displacement of the footing is unsubstantiated; the friction magnitude exceeds the horizontal component of the upper vault reaction with a sufficient margin. The lateral bracing of the footings is therefore structurally unnecessary and, from the constructional point of view, hard to execute. The tunnel invert in the vicinity of the footings is disturbed by sewerage and drainage trenches. Should the bracing of the footings be necessary, the cross section variant containing a foundation slab would have to be utilised. Although, the engineering geological conditions do not require such the solution.

THE FIRE RESISTANCE RATING OF THE FINAL LINER

The final design of the final lining of the Libouchec tunnel proposed a cast in situ reinforced concrete structure. According to the calculation, the 180-minute fire resistance rating required by the design was to be secured by concrete cover over the reinforcement thicker than 30mm. Regarding the reinforced concrete tunnel section, the structure is designed in a manner ensuring that the tensile stresses are carried by the reinforcement while the compression stresses can be carried by the concrete. If a fire causes damage to the cover or changes the properties of the reinforcement steel causing a loss of its capacity to carry tensile stresses, the concrete cross section will locally fail. Because concrete is not able to carry a tensile stress, a crack will originate in the given profile. The stresses in the lining will be redistributed, but the structure will remain stable. A similar process of cracking may take place in other cross sections of the structure. The structure will collapse only when it becomes an unstable mechanism due to a large number of joints. In contrast with the reinforced concrete profile, the unreinforced structure is designed in a manner guaranteeing that the unreinforced concrete itself will be able to carry all of the loads. Consultations with an expert in fire resistance of structures revealed that the Czech Republic has no methodology required for the assessment of an unreinforced concrete tunnel liner. For that reason the author of the fire safety documentation package required a fire test to be carried out on a 2m x 2m lining sample with a thickness corresponding to the dimensions of the liner, i.e.



Obr. 6 Normový průběh teploty při zkoušce – celulózová teplotní křivka
Fig. 6 Standard temperature/time cellulosic curve



Obr. 7 Nárůst teploty ve vzdálenosti 100 [1], 200 [2], 300 [3] a 350 [4] mm od ohřívaného povrchu vzorku

Fig. 7 Temperature rise at 100mm [1], 200mm [2], 300mm [3] and 350mm [4] from the heated surface

spáře 1.5. Zavedení vodorovné reakce má ve statickém modelu pro dimenzování ostění rozhodující význam. Její zanedbání by vedlo k předimenzování výztuže, v některých případech by nebylo možné výztuž nadimenzovat vůbec. Zohledněním tření mezi patkou a podložím dochází k optimalizaci potřebného množství výztuže nejen po stránce zajištění požadované bezpečnosti, ale i z hlediska hospodárnosti návrhu výztuže. Rozdělení sil v základové spáře ukazuje, že obavy z posunutí patky nemají opodstatnění, neboť velikost tření s dostatečnou rezervou převyšuje horizontální složku reakce horní klenby. Boční rozeprání patek proto není staticky nutné a z hlediska výstavby je obtížně proveditelné. Počva tunelu je v sousedství patek porušena rýhami pro osazení kanalizace a podélné drenáže. V případě nutnosti rozeprání patek by musela být použita varianta příčného řezu se základovou deskou. Inženýrskogeologické poměry však takovéto řešení nevyžadují.

POŽÁRNÍ ODOLNOST DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ

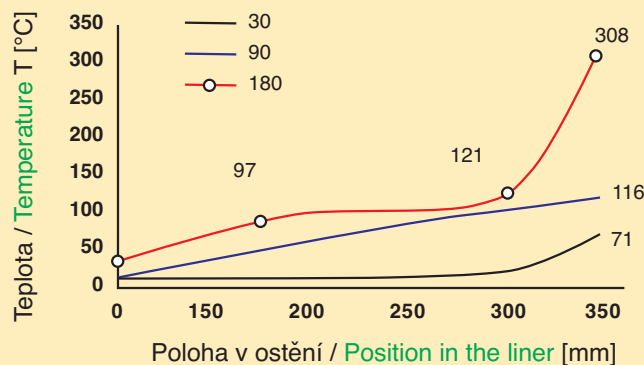
V rámci zpracování dokumentace ke stavebnímu povolení bylo definitivní ostění tunelu Libouchec navrženo jako monolitická železobetonová konstrukce. Požadovanou požární odolnost 180 minut zaručovalo podle výpočtu krytí výztuže větší než 30 mm. V případě železobetonového průřezu definitivního ostění je konstrukce dimenzována tak, že tahová napětí přenáší výztuž, zatímco tlaková napětí je schopen přenést beton. Pokud požár způsobí porušení krytí nebo změnu vlastností výztuže a ta již není schopna přenášet tahová napětí, dojde k lokálnímu selhání betonového průřezu. Protože beton není schopen přenést tahové napětí, vznikne v daném profilu trhlinka. V ostění dojde k přerozdělení napětí, ale konstrukce je i nadále únosná. Obdobně může dojít k vytvoření trhlin i v dalších průřezech konstrukce. Ke kolapsu dojde až v případě, kdy se vytvořením velkého množství kloubů stane z konstrukce pohyblivý mechanismus. Na rozdíl od železobetonového průřezu je v případě nevyztuženého ostění konstrukce dimenzována tak, aby veškerá zatížení přenesl pouze beton. Po konzultacích s odborníkem na požární odolnost konstrukcí vyplynulo, že na posouzení tunelového ostění z prostého betonu neexistuje v České republice potřebná metodika. Proto požadoval zpracovatel požárně bezpečnostní dokumentace stavby provedení požární zkoušky na vzorku ostění o rozměrech 2 m x 2 m a tloušťky odpovídající dimenzím ostění, tj. 400 mm. Tímto požadavkem podmiňoval možnost použití nevyztuženého ostění na tunelu Libouchec. Na základě této podmínky dodavatel rozhodl o okamžité betonáži vzorku ostění v podmínkách tunelu Panenská. Vzorek připravený a ošetřovaný podle schváleného technologického postupu byl po 90 dní vystaven klimatickým vlivům obdobným prostředí v tunelu. Po převozu do zkušebny bylo do každého z 5 vývrtů vsazeno 7 teplotních snímačů ve vzdálenosti 50 mm po tloušťce vzorku. Další čidla byla umístěna na neohřívaném povrchu. Cílem experimentu bylo zjistit tloušťku vrstvy betonu, která odpadne při vystavení vzorku účinkům požáru, dále průběh teploty po tloušťce ostění a hloubku odprysku betonu z plochy vystavené požáru. Do akreditované zkušebny byl vzorek přemístěn 26. 10. 2005 a až do provedení zkoušky 8. 12. 2005 byl uložen v prostředí o relativní vlhkosti min. 53 % a teplotě nepřesahující 13 °C. Teplotní namáhání

400mm. This requirement was presented as a condition for the application of unreinforced concrete lining in the Libouchec tunnel. To cope with this condition, the contractor decided immediately to cast a sample of the lining under the conditions existing in the Panenská tunnel. The specimen, which was prepared and cured according to an approved technological procedure, was exposed to climatic effects simulating the tunnel environment. Each of the 5 boreholes drilled into the specimen was provided with 7 temperature sensors fixed at 50mm intervals throughout the thickness of the slab. Other sensors were applied to the unheated surface. The aim of the experiment was to determine the thickness of the concrete layer that are expelled when the specimen is exposed to fire, the depth-temperature curve and the depth of the spalling of the concrete surface exposed to a fire. The specimen was supplied to a credited testing laboratory on 26.10.2005. It was tested on 8.12.2005 and subsequently stored in an environment featuring a minimum relative humidity of 53% and temperature lower than 13°C. The temperature stressing of the specimen proceeded according to the standard cellulosic curve for 180 minutes. The testing according to the standard CSN EN 1363-1 was performed in a vertical wall-type testing furnace heated by a system of petroleum burners. The temperature inside the furnace was measured in one-minute intervals by 7 sensors installed at a distance of 100mm from the surface of the specimen being tested. The standard curve function is described by the equation: $T_n = T_0 + 345 \log(8t + 1)$ which is graphically presented in Fig. 6.

The results of the experiment were surprising for many of us. On one hand, we could expect that the structure would withstand the fire load and the specimen would not be damaged, on the other hand we expected surface spalling caused by vaporisation of water. Neither a single piece of concrete spalled nor a larger crack developed during the course of the test and the subsequent process of cooling of the specimen. Microscopic cracks originated irregularly on the surface of the liner. The tested specimen satisfied the criteria of the limit states of integrity, insulation and radiation specified by the above-mentioned standard. The author of the detailed design plotted the measured values contained in the fire resistance testing report [5] to assess the results graphically. The results of the test show that the temperature achieved at a depth of 50mm under the surface being heated reaches 308°C on average (max. 363°C) at the moment of the end of the testing. The temperature rapidly drops with the growing distance from the heated surface of the specimen; at a depth of 100mm under the surface the average temperature does not exceed 121°C or max. 131°C. The temperature of the reverse surface of the liner, i.e. of the surface which is in contact with the waterproofing membrane in the tunnel, does not exceed a maximum value of 23°C. The chart in Fig. 7 expresses the time dependence of the temperature rise measured by sensors installed at a distance of 100mm, 200mm, 300mm and 350mm from the specimen surface which is not exposed to the heating. The other chart (see Fig. 8) shows the course of temperature along the thickness of the liner, after 30, 90 and 180 minutes.

CONCLUSION

The structural analyses of the final liner of the Libouchec tunnel proved and the fire resistance testing confirmed that the utilisation of unreinforced concrete in the conditions existing in the Czech Republic is possible. Many significant steps were successfully made during the course of the work on the detailed design regarding the final lining design. The incorporation of their results into tendering documents for



Obr. 8 Teplotní gradient v čase 30, 90 a 180 minut

Fig. 8 Temperature gradient at 30, 90 and 180 minute times

vzorku probíhalo podle normové celulózy křivky po dobu 180 minut. Zkouška podle ČSN EN 1363-1 proběhla ve svislé stěnové zkušební peci vytápěné soustavou naftových hořáků. Teplotu v peci měřilo v minutových intervalech 7 čidel ve vzdálenosti 100 mm od ohřívajícího líce vzorku. Funkci normové křivky popisuje rovnice: $T_n = T_0 + 345 \log(8t + 1)$, kterou graficky znázorňuje obr. 6.

Výsledky experimentu byly pro mnohé velkým překvapením. I když se dalo očekávat, že konstrukce účinkům požáru odolá a nedojde k destrukci vzorku, byly očekávány povrchové odprsky způsobené uvolňováním páry. Během provádění zkoušky a při následném chladnutí vzorku nedošlo v hloubce 50 mm pod ohříváním povrchem v průměru 308 °C (max. 363 °C). S narůstající vzdáleností od ohřívajícího líce vzorku dochází k prudkému snížení teploty a 100 mm pod povrchem již průměrná teplota nepřesahuje 121 °C, resp. max. 131 °C. Teplota na rubu ostění, který v tunelu představuje kontakt s izolační fólií, nepřesáhne hodnotu max. 23 °C. Graf na obr. 7 vyjadřuje časovou závislost nárůstu teploty na snímačích umístěných 100 mm, 200 mm, 300 mm a 350 mm od ohřívajícího líce vzorku. Na druhém grafu (viz obr. 8) je znázorněn průběh teploty po tloušťce ostění v čase 30, 90 a 180 minut.

ZÁVĚR

Statické výpočty definitivního ostění tunelu Libouchec prokázaly a zkouška požární odolnosti potvrdila možnost použití nevyztuženého betonu v podmínkách České republiky. Během zpracování realizačního projektu došlo k dosažení mnoha významných kroků v návrhu definitivního ostění, jejichž zohlednění při zpracování zadávací dokumentace nových tunelů povede k úspoře investičních nákladů. K nejvýznamnějším patří připuštění vzniku trhlin v ostění, možnost provádět ostění z nevyztuženého betonu a stanovení pravidel pro případné poruchy na líci definitivního ostění. Došlo k vyjasnění názorů na chování nevyztuženého definitivního ostění, na vznik trhlin a jejich význam z hlediska únosnosti nebo údržby ostění.

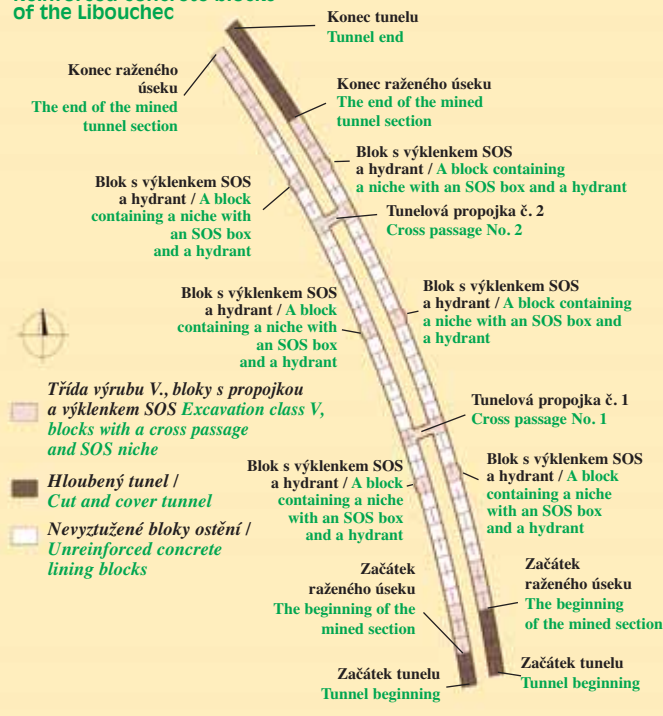
Ke změnám mohlo dojít jen za pozitivního přístupu všech zúčastněných stran. V první řadě investora, kterému změny navržené až během výstavby přinášely řadu komplikací a mnohdy osud nově navrhovaných řešení závisel na osobních invencích jednotlivých osob. Stejnou měrou se na případném riziku podílel dodavatel, který musel navržené změny zdůvodňovat po stránce technické i ekonomické. Nezanedbatelnou úlohu v prosazení změn sehrála i supervize ministerstva dopravy, a to zejména v souvislosti s prosazením možnosti výpočtu ostění připouštějícím vznik trhlin, který je nutnou podmínkou pro návrh nevyztuženého ostění.

Zpracování realizační dokumentace stálo projektanta nemalé úsilí kvůli rozsahu navrhovaných změn, nutnosti provedení mnoha posudků a průkazů použitelnosti i složitých jednání prováděných za běhu stavby. I v případě poměrně krátkého tunelu Libouchec přinesla úspora výztuže výrazné snížení investičních nákladů. Rozsah vyztužených a nevyztužených úseků tunelu znázorňuje obr. 9. Ke skutečnému zúročení vynaložené práce však dojde pouze v případě, kdy se použití nevyztuženého ostění stane běžným standardem českého tunelářství.

ING. LIBOR MAŘÍK, e-mail: libor.marik@ikpce.com
 ING. JIŘÍ HOŘEJŠÍ, e-mail: jiri.horejsi@ikpce.com
 IKP Consulting Engineers, s. r. o.

Vyztužené bloky tunelu Libouchec

Reinforced concrete blocks of the Libouchec



Obr. 9 Schéma vyztužených a nevyztužených úseků tunelu

Fig. 9 The layout of the reinforced and unreinforced concrete tunnel sections

new tunnelling projects will yield savings in capital costs. As the most important are considered the approval on cracks in the lining, the possibility to build unreinforced concrete liners and determination of rules for contingent defects occurring on the internal surface of the final lining. The opinions on the issues of the behaviour of the unreinforced concrete final lining, development of cracks and the influence of cracks on the bearing capacity or maintenance of the lining were clarified.

The changes were possible only under the condition of a positive attitude adopted by all the parties involved. First and foremost by the employer, who had to face many complications due to the changes proposed as late as the works execution phase. The fate of the newly proposed solutions often depended on personal invention of individuals. The same proportion of the possible risk was shared by the contractor, who had to vindicate the proposed changes from the technological and economic aspects. A not negligible role in the pushing ahead with the changes was played even by the Ministry of Transport's supervision, namely in the context of the efforts to make the calculation of the lining which allows the cracking possible. This was a prerequisite for the unreinforced concrete lining design.

The development of the detailed design was very demanding for the designer because of the extent of the changes being proposed, the necessity for obtaining many expert opinions and usability certificates, even because of complicated negotiations held during the works. Despite the relatively short length of the Libouchec tunnel, the savings in the reinforcement yielded a significant reduction in the capital cost. The extent of the reinforced and unreinforced tunnel sections is shown in Fig. 9. The benefit of the effort expended on this change, however, may be fully exploited only when the unreinforced concrete lining design becomes a common standard in the Czech tunnelling industry.

ING. LIBOR MAŘÍK, e-mail: libor.marik@ikpce.com
 ING. JIŘÍ HOŘEJŠÍ, e-mail: jiri.horejsi@ikpce.com
 IKP Consulting Engineers, s. r. o.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Richtlinie Innenschalenbeton, Ausgabe Oktober 2003, Österreichische Betonvereinigung für Beton- und Bautechnik, A-1040 Wien, Austria
- [2] R. Pöttler: Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau - Standsicherheit und Verformung im Rissbereich. Beton und Stahlbetonbau 1993
- [3] Statický výpočet nevyztužených úseků tunelu Libouchec, Ing. Filip Jiříčný, ILF Consulting Engineers, 2005.
- [4] Statický výpočet vyztužených úseků tunelu Libouchec, Ing. Jiří Hořejší, IKP Consulting Engineers, s. r. o., 2005
- [5] Protokol o zkoušce požární odolnosti č. Pr-05-1.02.2002 vydaný dne 21.12.2005 pro výrobek Výsek tunelového ostění tunelu Libouchec,
- [6] PAVUS, a. s. pobočka Veselý nad Lužnicí

ZKUŠENOSTI Z RAŽBY DVOUKOLEJNÉHO TUNELU METRA POD OBYTNOU ZÁSTAVBOU NA TRASE IVC2

EXPERIENCE FROM THE EXCAVATION OF THE DOUBLE-TRACK METRO TUNNEL UNDER A RESIDENTIAL AREA ON THE LINE IVC2

MIROSLAV KOCHÁNEK, JIŘÍ RŮŽIČKA, PETR ŽIVNŮSTKA

ÚVOD

V říjnu roku 2005 byly ukončeny ražby traťových tunelů na stavbě 2. etapy IV. provozního úseku trasy C pražského metra. Slavnostní prorážkou 2. 11. 2005 byla ukončena ražba poslední části dvoukolejného traťového tunelu ve stavebním oddílu 13, tj. v traťovém úseku mezi stanicemi Prosek a Letňany. Byla to zároveň nejnáročnější část tohoto traťového úseku, kde probíhala ražba tunelu mělce pod obytnou zástavbou v obtížných geologických podmínkách. Technický popis celé stavby 2. etapy IV. provozního úseku trasy C byl uveden v časopisu Tunel č. 1/2005 v článku autorů Vladimíra Bartoně a Josefa Kutíla. Podrobnější popis postupu ražeb traťových tunelů metra na této stavbě je uveden v článku Jiřího Junka, rovněž v časopisu Tunel č. 3/2005. V tomto článku se chceme soustředit na zkušenosti z ražby dvoukolejného tunelu metra pod obytnou zástavbou v úseku délky zhruba 300 m, který je vymezen ulicemi Nad Krocínkou a Stoupající v Praze 9, ale zejména z podcházení dvojice obytných budov označených v situaci (obr. 1) čísly 16 a 17 v ulici Stoupající.

GEOLOGICKÉ POMĚRY ZASTIŽENÉ PŘI RAŽBĚ

Inženýrskogeologickým průzkumem předpokládané geologické poměry se ražbou potvrdily. Jak je patrné na obrázcích 2 a 3 je spodní část tunelu situována do prostředí cenomanských pískovců (P), nad nimi je 1 až 1,5 m mocná vrstva měkkých glaukonitických pískovců (GL), která je překryta jílovcem (J) mocnosti 6 až 8 m. Ty jsou prakticky nepropustné a oddělují horní horizont podzemní vody (h. p. v. TURON) od spodního horizontu podzemní vody (h. p. v. CENOMAN).

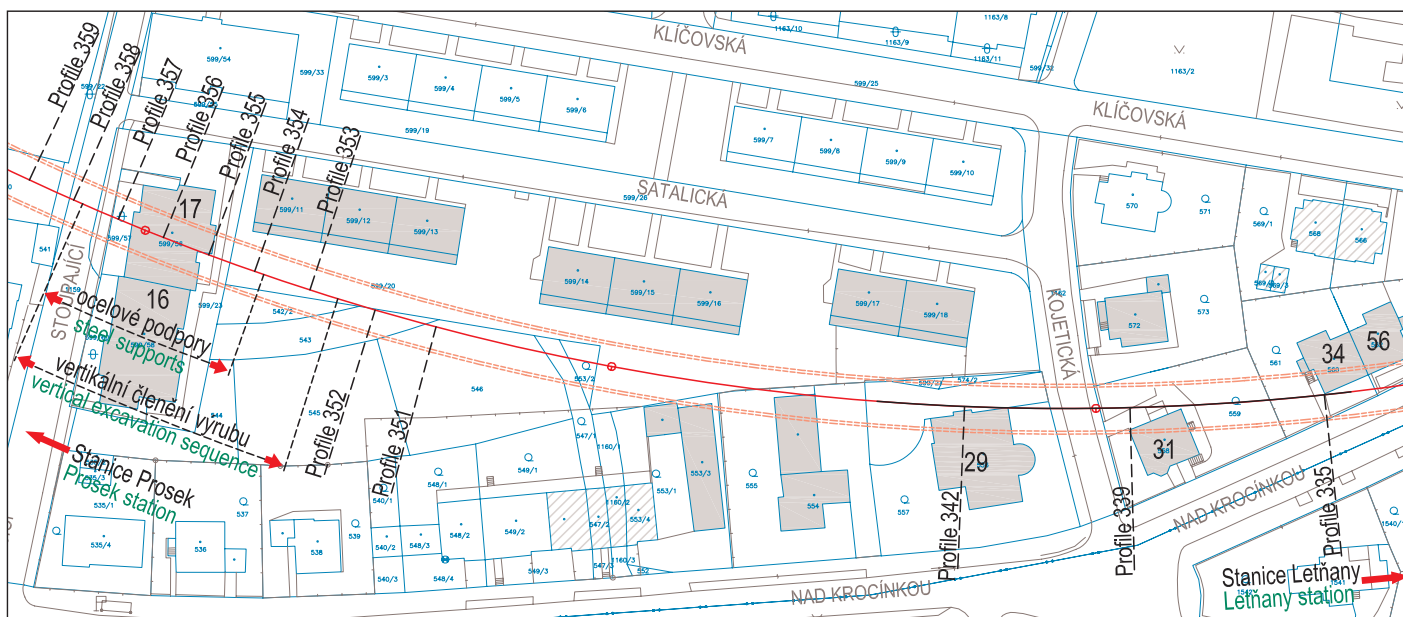
Nadloží jílovců, které mají bohužel charakter až plastických jílů, tvoří vrstva slínovců (SL) překrytá kvarterními útvary deluvioeluvialních hlín (D+E), spraši a sprašových hlín (S) a místy se vyskytujícími navážkami (N).

INTRODUCTION

In October 2005, the excavation of running tunnels built in the phase 2 of the construction of the 4th operational section of Prague metro's line C was completed. The breakthrough ceremony held on 2.11.2005 concluded the excavation operations on the last section of the double-rail running tunnel in the section between the Prosek and Letňany stations (construction lot 13). It was the most difficult part of this section due to the fact that the excavation passed at a shallow depth under existing residential buildings, in difficult geological conditions. A technical description of the entire phase 2 of the 4th operational section of the line C (IV C2) was published in the issue No. 1/2005 of Tunel magazine, in a paper by the authors Vladimír Bartoň and Josef Kutil. A more detailed description of the progress of the excavation of metro running tunnels forming the major part of this construction lot is contained in the article by Jiří Junek published in the issue No. 3/2005 of Tunel magazine. In this paper, we would like to focus ourselves on the experience gained from the excavation of the double-rail metro tunnel within its roughly 300m long section passing under residential buildings (delimited by Nad Krocínkou and Stoupající Streets in Prague 9), but most of all on the pair of residential buildings in Stoupající Street marked in the layout plan (Fig. 1) by numbers 16 and 17.

GEOLOGY ENCOUNTERED DURING THE EXCAVATION

Geological conditions anticipated by the engineering geological investigation were confirmed by the excavation operations. As obvious from Fig. 2 and 3, the lower part of the tunnel is situated in Cenomanian sandstones (P) covered with a 1 to 1.5m thick layer of soft glauconitic sandstone (GL), which is overlain by a layer of mudstone (J) 6 to 8m thick. This layer is virtually impermeable. It separates the upper groundwater horizon (TURONIAN water table) from the lower aquifer (CENOMANIAN water table).



Obr. 1 Situace tunelu metra pod zástavbou

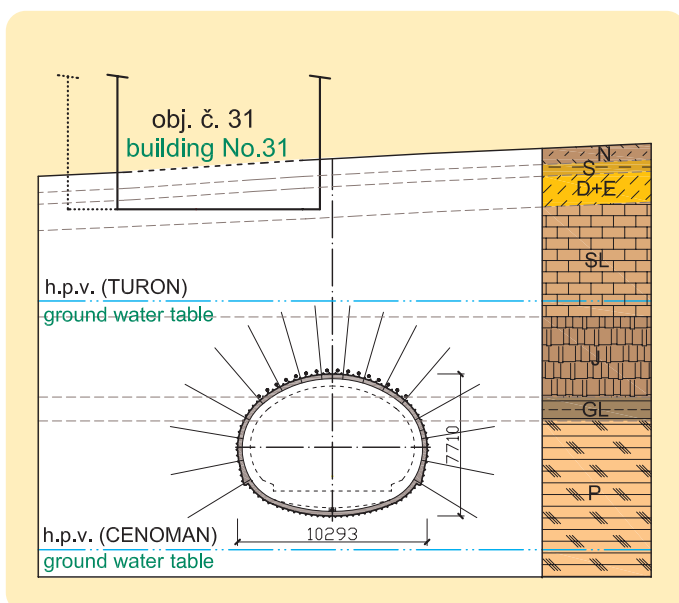
Fig. 1 The layout of the tunnel under existing buildings

Obecně lze konstatovat, že při ražbě traťových tunelů metra na stavbě IVC2 byly nejlepším geologickým prostředím cenomanské pískovce (P). Výrubu vykazovaly minimální deformace a i poklesy terénu byly malé. Zvětšené deformace výrubů a poklesy terénu vznikaly až v okamžiku, kdy se profil tunelu začal „vynořovat“ z pískovců do vrstvy měkkých jílovců, které mají tendenci se vytlačovat do profilu výrubu (bylo ověřeno měřením na inklinometru). Problémy byly umocněny, jakmile došlo k porušení vodotěsnosti jílovců a do výrubu se dostávala podzemní voda ze spodních partií zvodnělých slínovců. Vrstvy slínovců, které se vyskytují v nadloží tunelu, mají ještě jednu nepříjemnou vlastnost, že vytvářejí relativně velmi úzkou pokleslou kotlinu. V porovnání s ražbou stejného profilu tunelu například v prostředí méně pevných ordovických břidlic je velikost poklesu terénu v ose tunelu výrubu srovnatelná, ale na okrajích výrubu deformace ve slínovcích rychle vymizí. To způsobuje zvětšené poruchy na objektech povrchové zástavby, zejména když objekt zasahuje jen částečně nad výrub tunelu. Výrazně se to projevilo například při podcházení objektů označených v situaci čísly 31 a 29 (obr. 1).

KONCEPCE RAŽBY TUNELU POD OBJEKTY V ULICI STOUPAJÍCÍ

Již v průběhu zpracování dokumentace pro stavební povolení (DSP), a zejména dokumentace pro výběr zhotovitele stavby (DZS) bylo zpracovatelem stavebně technického průzkumu upozornováno na jejich špatný technický stav. Objekty označené v situaci č. 16 a 17 (obr. 1) vykazují mnoho nedostatků. Přesto, že jsou to dispozičně dva samostatné obytné domy, není jejich konstrukce oddílována a mají nevhodně řešené základy. Na objektu č. 16 vznikly již dříve značné poruchy vlivem nerovnoměrného sedání a základové pasy byly sanovány po celém obvodu pilíři z tryskové injektáže. Z těchto důvodů byl na začátku roku 2003 vytvořen metodou konečných prvků matematický 2D model (program MISES 3), kde byly v daném geologickém prostředí simulovány 2 způsoby ražby tunelů. Jednak běžně předpokládaná ražba s horizontálním členěním výrubu (obr. 2) a ražba s vertikálním členěním výrubu (obr. 3). Smyslem tohoto modelu bylo porovnat velikost maximálních deformací terénu nad tunelem, šířku poklesové kotliny a maximální příčný sklon v inflexním bodu kotliny. V tabulce na další straně uvádíme přehled vypočtených hodnot a porovnání se skutečnými hodnotami naměřenými při ražbě tunelu.

Z porovnání uvedených hodnot je patrná velmi dobrá shoda mezi vypočtenými a naměřenými hodnotami poklesu terénu v ose tunelu. Méně příznivé je porovnání maximálních sklonů v poklesové kotlině, vypočtené hodnoty bohužel nejsou na straně bezpečnosti.



Obr. 2 Příčný profil pod objektem č. 31
Fig. 2 Cross section under the building No. 31

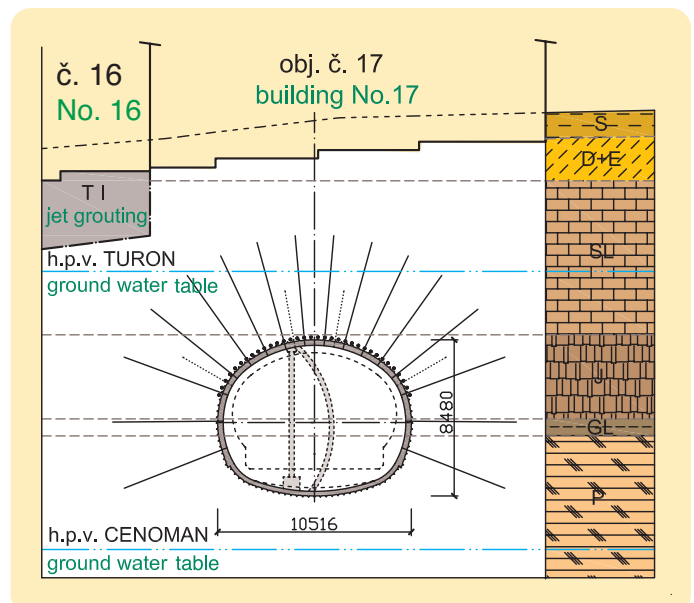
The mudstone layer, which unfortunately has even the character of plastic clay, is covered by a layer of marlstone (SL) overlain by Quaternary diluvial-eluvial loams (D+E), loess and secondary loess (S), locally with occurrence of made ground (N).

In general, we can state that the best geological environment for the excavation operations on the running tunnels of the metro line IV C2, where the deformations were minimal and surface settlement values low, was the Cenomanian sandstone (P). Increased excavation deformations and surface settlement started to develop from the moment when the tunnel profile began to “emerge” from the sandstone bedrock and enter the layer of soft mudstone, which tended to pressing itself into the excavated opening (as proven by inclinometer measurements). The problems grew whenever the impermeability of the mudstone layer was corrupted and the water from the lower part of the water-bearing marlstone layer got to the excavation. The marlstone layers occurring in the tunnel overburden featured another unpleasant property. They develop a relatively narrow settlement trough. Compared to the excavation of an identical tunnel profile, for instance in an environment of less hard Ordovician shales, the magnitude of surface settlement above the tunnel axis is comparable. However, above the edges of the excavated opening the deformation rapidly disappears. This phenomenon causes more serious damage to surface buildings, above all when the building footprint extends above the tunnel excavation only partially. This effect manifested itself explicitly when the buildings marked in the layout plan by numbers 31 and 29 (see Fig. 1) were being passed under.

THE CONCEPT OF THE TUNNEL EXCAVATION UNDER THE BUILDINGS IN STOUPAJÍCÍ STREET

As long ago as during the work on the final design and, above all, on the design for tendering, the report of the condition survey of properties cautioned about their poor condition. The buildings marked in the layout plan as No. 16 and 17 (see Fig. 1) exhibit many defects. Despite the fact that the layout of those buildings is that of two detached residential buildings, their structures are not separated by an expansion joint and the design of their foundations is inadequate. The building No. 16 has suffered significant damage due to differential settlement, and the strip foundation was underpinned along the whole circumference by jet-grouted pillars. For the above-mentioned reasons a FEM 2D mathematical model was developed at the beginning of 2003 (MISES 3 software), simulating two tunnel excavation procedures applied in the given geological environment, i.e. either a commonly assumed horizontal excavation sequence (see Fig. 2) or a vertical excavation sequence (see Fig. 3). This model was designed to allow us to compare the magnitude of maximum surface deformations above the tunnel, the settlement trough width, and the maximum value of differential settlement at the inflexion point of the trough. A survey of the calculated values and comparison with actual values measured during the course of the excavation is presented in the table (on the left side).

A very good agreement between the calculated and measured values of the surface settlement on the tunnel axis is obvious when we compare the values. A comparison of the maximum differential settlement values in



Obr. 3 Příčný profil pod objekty č. 16 a č. 17
Fig. 3 Cross section under the buildings No. 16 and No. 17

Popis veličin Description of quantities	Matematický model Mathematical model		Skutečnost Reality	
	horizontální členění výrubu horizontal excavation sequence	vertikální členění výrubu vertical excavation sequence	horizontální členění výrubu horizontal excavation sequence	vertikální členění výrubu vertical excavation sequence
pokles terénu v ose tunelu [mm] surface settlement on the tunnel axis [mm]	41,8	16,9	37	18
max. příčný sklon v poklesové kotlíně max. cross slope of the settlement trough	1:500	1:1000	~1:300	~1:600
pokles vrcholu klenby ve výrubu [mm] settlement of the crown of the excavation arch [mm]	43,3*	18,7*	12 – 14	6 – 8

*Celkový pokles včetně poklesu před osazením měřicího bodu / Total settlement, inclusive of the values developed before the installation

POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Při návrhu primárního ostění tunelu raženého mělce pod zástavbou je prioritní podmínkou minimalizace deformací horninového masivu, a tím pádem i maximální zmenšení poklesů terénu včetně zástavby. V našem případě bylo navrženo ostění z vyztuženého stříkaného betonu SB 25 v tloušťce 300 mm. Provizorní střední stěna v případě vertikálního členění byla v tloušťce 250 mm. Ražba od přístupové štoly na zařízení staveniště Klíčov směrem ke stanici Prosek byla prováděna s horizontálním členěním. Celkem 30 m před objektem č. 17 (obr. 1) se přešlo na ražbu s vertikálním členěním, tzn. že dále pokračovala ražba levého dílčího výrubu. Po vyražení cca 20 m se v horní části čelby, kde byly zastíženy jílovce, provedlo 11 ks laminátových kotev s cementovou zálivkou v délce 35 m (cca 1 kotva/1,5 m² plochy čelby). Toto dodatečné opatření mělo zabránit vytlačování jílovců do čelby výrubu. Pak následovala ražba zbývajících zhruba 40 m levého dílčího výrubu s délkou záběru maximálně 1 m. Při následné ražbě pravého dílčího výrubu by nebylo možné s ohledem na rozměry razicích mechanismů zachovat střední provizorní dělící stěnu. Proto bylo realizováno pod objektem č. 17 v délce 40 m další doplňující opatření pro zmenšení poklesů budovy. V levém dílčím výrubu byl na dno primárního ostění vybetonován provizorní základový pas, na který byly v intervalu à 2 m osazovány ocelové stojky (roury Ø 279/8 mm). Jejich aktivace byla provedena vyplněním styku hlavy stojky a primárního ostění stříkaným betonem. Při ražbě pravého dílčího výrubu byla provizorní střední stěna postupně odbourávána a svislé zatížení přebíraly ocelové stojky. Ty byly odstraňovány až stříkaný beton primárního ostění pravé části dosáhl požadované pevnosti. Účinnost tohoto opatření byla ověřena měřením zatížení provizorních stojek. Pohybovalo se v rozpětí 800 až 1000 kN, což velmi dobře korespondovalo se statickým výpočtem. Deformace primárního

the settlement trough is less favourable; the values obtained by the calculation are not, unfortunately, on the safe side.

ENGINEERING SOLUTION

Minimisation of rock mass deformations, therefore also the maximum reduction of settlement of the surface and existing buildings, is the priority condition for the design of primary lining of a tunnel driven under a shallow cover. In our specific case, the lining was designed to consist of a 300mm thick SB25 reinforced shotcrete layer. A temporary central wall provided in the case of the vertical excavation sequence was 250mm thick. The excavation was carried out through an access adit, from the site facility Klíčov toward the Prosek station, using a horizontal excavation sequence. This sequence was switched to a vertical configuration 30m before the building No. 17 (see Fig. 1). This means that the left drift excavation went on. When about 20m of this drive had been completed, a decision was made to install 11 pieces of cement grouted GRP anchors 35m long (approximately 1 anchor per 1.5m² of the excavation face) so that the mudstone encountered in the upper part of the excavation face was prevented from being extruded into the opening. Then the excavation of the remaining 40m of the left drift followed, with the maximum round length of 1m. Because of the dimensions of the mining equipment it was not possible to maintain the central temporary dividing wall during the subsequent excavation of the right drift. For that reason another additional measure was implemented within a length of 40m under the building No. 17, intended to reduce the subsidence of the building. A temporary foundation strip was cast on the bottom of the primary lining of the left drift as a support for steel props (tubes Ø 279/8 mm) installed at 2m spacing. The props were activated by filling the interface area between the prop and primary lining with shotcrete. The temporary wall was removed with the right drift excavation proceeding, while the props took the vertical load. The props were dismantled when the shotcrete forming the primary lining of the right drift had reached the strength required. The effectiveness of this measure was checked by measurement of the load acting on the props. It varied from 800 to 1000kN, which values very well corresponded with the structural



Obr. 4 Tunel s vertikálním členěním výrubu
Fig. 4 The tunnel with the vertical excavation sequence



Obr. 5 Vertikální členění výrubu s dočasnými stojkami
Fig. 5 The vertical excavation sequence with temporary props

ostění po odstranění stojek se pohybovaly na hranici měřitelnosti v rozpětí 1 až 2 mm. To rovněž svědčí o účinnosti tohoto doplňujícího opatření.

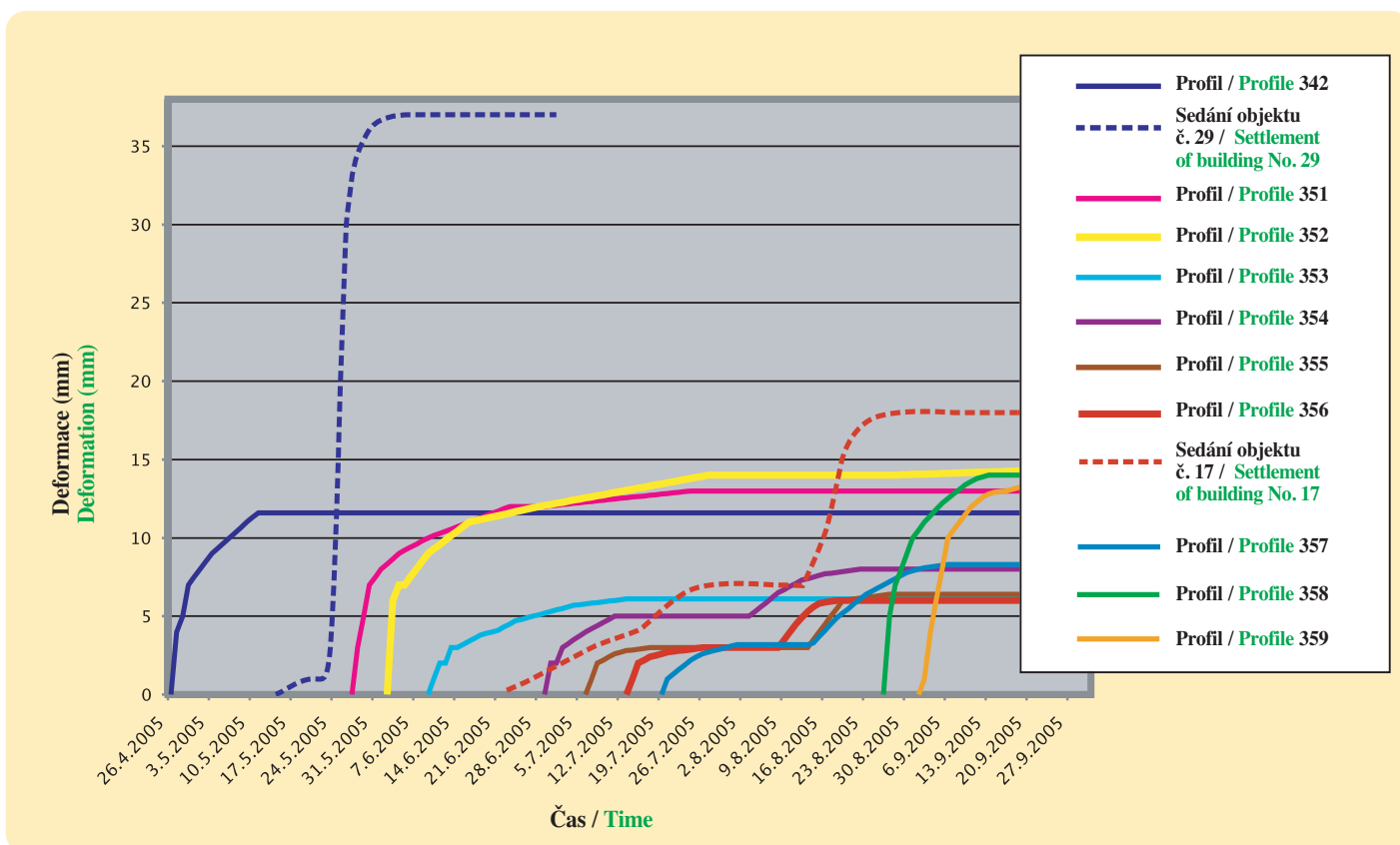
VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ KONVERGENČNÍCH MĚŘENÍ A SEDÁNÍ OBJEKTŮ OBYTNÉ ZÁSTAVBY

V situaci (obr. 1) jsou vyznačeny vybrané konvergenční profily, kde byly měřeny deformace výrubu. Do grafu na obrázku č. 6 byly vyneseny svislé posuny vrcholu klenby tunelu v závislosti na čase. Pro názornost jsou zde rovněž uvedeny naměřené hodnoty maximálního sedání 2 objektů, které korespondují vždy s příslušným konvergenčním profilem instalovaným ve stejném místě. K sedání objektu č. 29 je přiřazen profil 342, a k sedání objektu č. 17 profil 356. Z toho je patrné, že naměřený svislý posun vrcholu klenby v tunelu dosahuje cca 30 až 40 % celkového sedání terénu. Profily 342, 351, 352 a profily 358a 359 jsou v úsecích, kde byla ražba s horizontálním členěním, profily 353, 354, 355, 356 a 357 jsou v úseku s vertikálním členěním výrubu.

analysis. Deformations of the primary lining identified after the props had been removed fluctuated about a limit of measurability, ranging from 1 to 2mm. This is also a proof how effective this additional measure was.

ASSESSMENT OF THE RESULTS OF MEASUREMENTS OF CONVERGENCES AND SUBSIDENCE OF RESIDENTIAL BUILDINGS

The selected convergence stations (profiles) where the excavation deformations were measured are marked in the layout plan (see Fig. 1). The curve representing the relationship between vertical displacements measured at the crown of the tunnel arch and time was plotted in the chart 1. For illustration, the maximum subsidence values measured at 2 buildings that are presented in the chart correspond with the displacement values measured at the respective convergence station installed at the same place. The settlement of the building No. 29 and 17 is compared with the values measured at the convergence station 342 and 356 respectively. The chart proves that the measured vertical displacement of the crown of the tunnel arch reaches roughly 30% to 40% of the total surface settlement. The stations 342, 351, 352 and stations 358 and 359 are installed in the sections excavated using the horizontal sequence, the stations 353, 354, 355, 356 and 357 in sections where the vertical excavation sequence was applied.



Obr. 6 Průběh deformace klenby výrubu tunelu a sedání objektů
Fig. 6 Tunnel vault time-displacement curve and buildings time-settlement curves

ZÁVĚR

Realizovaná opatření pro omezení poklesů kritického objektu č. 17 v ulici Stoupající byla velmi účinná. Byla však časově i finančně náročná. Odstraňování staticky nevýznamných poruch na obytné zástavbě v úsecích s horizontálním členěním výrubu tunelu je pochopitelně podstatně jednodušší. Je proto nutno vždy zvažovat použití těchto postupů a volit je pouze v nutných případech, především je-li ohrožena statická funkce podcházeného objektu, nebo by oprava případných poruch předmětného objektu byla z finančních nebo jiných důvodů nepřijatelná.

ING. MIROSLAV KOCHÁNEK,
e-mail: kochanek@metroprojekt.cz,
ING. JIŘÍ RŮŽIČKA, e-mail: ruzicka@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT Praha, a. s.,
ING. PETR ŽIVNŮSTKA,
e-mail: zivnustka@metrostav.cz, METROSTAV a. s.

CONCLUSION

The measures implemented to reduce subsidence of the critical building No. 17 in Stoupající Street were highly effective. They were, however, demanding both in terms of time and costs. It is certainly much simpler to remove structurally insignificant defects in residential buildings in the sections where the horizontal excavation sequence was applied. It is therefore always necessary to well consider the application of those procedures, and to adopt them only in case of necessity, above all where the structural integrity of the building being passed under is threatened, or where a repair to contingent defects would be unacceptable for financial or other reasons.

ING. MIROSLAV KOCHÁNEK, e-mail: kochanek@metroprojekt.cz,
ING. JIŘÍ RŮŽIČKA, e-mail: ruzicka@metroprojekt.cz,
METROPROJEKT Praha, a. s.,
ING. PETR ŽIVNŮSTKA, e-mail: zivnustka@metrostav.cz
METROSTAV a. s.

AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICĚ (stav k 25. lednu 2006) CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION (as of 25 January 2006)

ČESKÁ REPUBLIKA

Tunel Panenská

K 20. prosinci byly ukončeny betonáže definitivního ostění hloubených úseků tunelu Panenská. K datu zpracování aktualit probíhá v ražených tunelech pokládka kanalizace středové drenáže, sypaní vozovkových vrstev a pokládka šterbinových žlabů. Pokračuje výstavba provozně-technologických objektů a přilehlých požárních nádrží.

Tunel Libouchec

V levém (západním) dvoupruhovém raženém tubusu byly kompletně dokončeny betonáže definitivního monolitického ostění. V sousedním pravém tunelu byla ukončena betonáž základových pasů a dokončuje se provádění mezilehlé izolace. V rámci pracovního proudu je vybetonováno celkem 10 dvanáctimetrových sekcí. Na severním portálu pravého tunelu bylo vybetonováno 5 ze 7 sekcí hloubeného úseku, respektive 1 ze 4 sekcí na portále jižním.

Tunel Klimkovic

Na dálničním tunelu Klimkovic byl proražen tunel B na úrovni kaloty. K datu aktuality chybí vyrazit posledních 10 metrů jádra. Z ostravské strany tunelu B bylo zahájeno provádění izolace a armatury protiklenby. Dvě sekce protiklenby již byly zabetonovány. Na hloubeném úseku jsou vybetonovány 2 klenby včetně portálového zkoseného dílu. Na brněnském portále byly v hloubeném úseku vybetonovány 3 klenby.

Na tunelu A je z brněnského portálu vyraženo 623 m kaloty a do proražky zbývá 80 m. Jádro za čelbou je odtěžováno v odstupu cca 50 m.

Nové spojení – Vítkovské tunely

Na železničních tunelech pro Nové spojení probíhají ražby jižního i severního tunelu z východního portálu. Jižní dvoukolejný tunel je v kalotě vyražen v délce 837 m a je odtěženo 777 m jádra. Ražba je prováděna v technologické třídě 4 s průměrnými postupy 4,5 m za 24 hodin. Čelo tunelu je v současné době již za křížením s tunelem pro pěší spojujícím Karlín se Žižkovem. Severní tunel je vystrojen primárním ostěním v délce 530 m a jádro je odtěženo a zabezpečeno ve vzdálenosti 330 m od portálu.

Tunel Hněvkov II

Tunel Hněvkov II je stavebně dokončen. Dodělávají se nátěry portálových částí a osazují se vybavovací prvky uvnitř tunelu. Tunel je připraven k osazování kolejí, které budou pokládány v proudu včetně povrchových úseků trati.

Tunel Valík

Jižní trouba tunelu je kompletně vybetonována. Provádí se osazování kabelových chrániček v tunelu. V severním tunelu chybí vybetonovat 12 sekcí a 1 sekce v hloubené části před portálem tunelu. Požární nádrže před rozvadovským portálem jsou dokončeny. Na provozně-technologickém objektu se provádějí vnitřní omítky.

Tunel Březno

Pokračuje ražba jednokolejného železničního tunelu z výjezdového droužkovického portálu sekvenční metodou. K datu sepsání aktuality je vyraženo 263 m kaloty. Po odtěžení jádra a dna tunelu je profil uzavírán protiklenbou ve vzdálenosti 6 m od čelby. S ohledem na krátkodobě stabilní polohy jílu je vlastní ražení zajišťováno 16,5 m dlouhými „deštníky“ z 25 ks mikropilot, které se obnovují vždy po vyražení 12 m tunelu. Čelba je jištěna krátkým zatěžovacím klínem a v celém průřezu navíc systémem 32 ks laminátových kotev délky 16 m. Na výjezdovém portálu byly zahájeny práce na přezmáhání zavaleného úseku tunelu. Ze 7 příčných pilotových stěn bylo dokončeno 6. Byl odebrán horninový splaz a je rozšiřován stávající profil tunelu před první pilotovou stěnou. Byly zahájeny přípravné práce pro vyhloubení únikové šachty.

ING. PAVEL POLÁK, polak@metrostav.cz (ČTuK)

THE CZECH REPUBLIC

The Panenská Tunnel

The casting of the final concrete lining of the cut and cover tunnel sections of the Panenská tunnel was completed by 20 December. The mined tunnels are being provided with a central drain, roadway courses and slotted drainage ducts. The construction of service buildings and the adjacent fire protection reservoir continues.

The Libouchec Tunnel

The casting of the final concrete lining was completed in the left (western) double-lane mined tunnel tube. The parallel right tube saw the completion of casting of the continuous strip foundation; the installation of the intermediate waterproofing is being completed. The total of 10 twelve-meter long casting blocks has been completed in the framework of the workflow. On the north and south portal sides of the right tunnel tube, the casting of 5 of the 7 and 1 of the 4 blocks respectively of the cut and cover sections has been carried out.

The Klimkovic Tunnel

The top heading of the tube B of tunnel Klimkovic broke through. As of the date of this Current News preparation, the last 10-metre section of the core remained to be excavated. The work on the waterproofing and placement of reinforcement of the invert slabs started from the Ostrava side of the tunnel B. Two casting blocks of the invert have been completed. Two concrete vaults of the cut and cover section including the splayed portal block have been finished. The cut and cover section on the Brno portal side has 3 blocks of the vault complete.

About 80 metres of the tunnel B top heading remain to be excavated from the Brno portal, while 623m have been finished. The core has been taken out up to a distance of about 50m behind the face.

The New Connection – the Vítkov tunnels

The southern and northern railway tunnels of the New Connection project are being excavated from the east portal. The double-track south tunnel's top heading and core excavation is complete at a length of 837m and 777m respectively. The excavation is categorised as technological class 4; the average advance rate of 4.5m per 24 hours is achieved. The excavation face has already passed the crossing point with the pedestrian tunnel connecting Karlín with Žižkov. The northern tunnel excavation is supported by the primary lining along a length of 530m and the core is removed and supported up to a distance of 330m from the portal.

The Hněvkov II Tunnel

The structure of Hněvkov II tunnel is complete; the coating of portal sections is being finished and technical services are being installed in the tunnel. The tunnel is prepared for the installation of trackwork. The track will be laid in one pass, concurrently with the at-grade track sections of the railway line.

The Valík Tunnel

The casting of the southern tunnel tube is complete; cable ducts are being installed in the tunnel. There are 12 sections in the northern tunnel and 1 section in the cut and cover part before the tunnel portal which have not been cast yet. Fire protection reservoirs before the Rozvadov portal are complete. The service building is receiving internal plastering.

The Březno Tunnel

The excavation of the single-track railway tunnel continues from the Droužkovice exit portal using the sequential method. As of the date of preparation of this Current News, a length of 263m of the top heading excavation is complete. Once the bench and invert are taken away, the profile is closed by the invert structure up to a distance of 6m from the face. Because of the short-time stability of the clay layer, 16.5m long canopy tube pre-support is built over the excavation. The arrays of 25 pre-support tubes are installed every 12m. The face is supported by a short supporting rock wedge plus a system of 32 pieces of 16m long glassfibre reinforced plastic anchors covering the complete cross section. The work on the re-excavation of the collapsed tunnel section started at the entrance portal. Out of the 7 transversal pile walls, 6 walls are complete. The tongue formed by the debris was removed and the existing cross section of the tunnel is being enlarged before the first pile wall. The work enabling the escape shaft sinking has started.

ING. PAVEL POLÁK, polak@metrostav.cz (ČTuK)

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

Tunel Sítina

Stavebné práce na tunelových objektoch stavby Dialnica D2 Lamačská cesta – Staré grunty sa v priebehu druhého polroka roku 2005 blížili k svojmu záveru. Začiatkom novembra boli betonážou cementobetónového krytu ukončené práce na vozovke v tuneli. V decembri prebehlo odovzdanie stavebnej pripravenosti tunelových rúr, káblových kanálov a portálových objektov pre montáž technologického vybavenia medzi vyšším dodávateľom stavby, združením Taisei – Skanska a nominovaným subdodávateľom technologického vybavenia tunela, združením Taisei – Eltodo. Pre rok 2006 zostáva okrem kompletného technologického vybavenia vykonať montáž požiarneho vodovodu a ukončiť súvisiace stavebné konštrukcie v tuneli. Uvedenie diaľničného úseku včítane tunela do prevádzky sa očakáva v prvej polovici roku 2007.

Tunel Bôrik

Národná diaľničná spoločnosť, a. s., v decembri 2005 opätovne vyhlásila súťaž na zhotoviteľa prvého úseku diaľnice D1 Mengusovce – Jánovce dĺžky viac ako 8 km, ktorej súčasťou je tunel Bôrik s dvomi tunelovými rúrami dĺžky cca 1 km. Tunel by mal byť razený podľa princípov Novej rakúskej tunlovej metódy v dolomitickom masíve kopca Bôrik pri Svite. Technickým špecifikom stavby by mala byť výstavba priportálových úsekov s pilierovou štôľňou. Výber zhotoviteľa by mal podľa predpokladov obstarávateľa prebehnúť v priebehu prvých mesiacov roku 2006, takže v lete tohto roku by mohli začať stavebné práce na portáloch tunela.

ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,
frankovsky@terraprojekt.sk (STA)

THE SLOVAK REPUBLIC

The Sítina Tunnel

The civil work on the tunnel structures of the D2 Motorway construction lot from Lamačská Cesta to Staré Grunty was coming to a close in the second half of 2005. The roadway in the tunnel was completed at the beginning of November by the casting of the cement concrete pavement. Taisei – Skanska joint venture, the main contractor, handed the tunnel tubes, cable ducts and pre-portal structures over to Taisei – Eltodo, the nominated sub-contractor for technical tunnel services. Apart from the complete installation of all technical services, the year 2006 will see the completion of the hydrant line and associated structures in the tunnel. The tunnel opening to traffic is scheduled for the first half of 2007.

The Bôrik Tunnel

Národná diaľničná spoločnosť a.s. issued the repeated call for tenders for the first section of the D1 motorway from Mengusovce to Jánovce in December 2005. The Bôrik tunnel with its pair of approximately 1km long tubes is part of this 8km long section. The tunnel should be driven through a dolomite massif of Bôrik hill near Svit using the New Austrian Tunnelling Method. A specific feature of this tunnel should be a drift for a central pillar utilised for the construction of the portal sections. The employer expects that the contract should be awarded during the initial months of 2006. Therefore the construction work on the tunnel portals could start in the summer 2006.

ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,
frankovsky@terraprojekt.sk (STA)

ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU ITA/AITES CZECH TUNNELLING COMMITTEE ITA/AITES REPORTS

INFORMACE O STAVU PŘÍPRAVY WTC 2007

INFORMATION ON THE STATE OF THE WTC 2007 PREPARATION

Also this issue of Tunel magazine offers the newest information provided by the chairman of the Organising Committee of the WTC 2007, Mr Georgij Romancov. First of all, he would like to notify our readers that **the abstracts of the papers to be published in the proceedings can be sent even after 15 February 2006.** More information is available on the website at www.wtc2007.org, which is used for the submission of abstracts.

He also would like to point out that the one-day initial workshop on "Fundamentals of Urban Tunnelling" is held on 11 September 2006 in Prague, the Czech Republic. It will have a separate registration form on www.wtc2007.org from April 1, 2006.

Foreign visitors of the WTC 2007 congress, namely those who have not had the opportunity to visit the Czech Republic or Prague yet, will certainly be interested in the country, particularly what interesting things can be seen there from the technical and cultural point of view. In this context it must be noted that Prague is probably the best-preserved historic town in the Central European region and its centre with its area of nearly 10km² is a worldwide unique site which is entitled to be rated among the most important cultural and construction heritage sites of mankind. Places boasting architectural gems from the Romanesque period existing in so close symbiosis with the latest constructions built in the 20th and 21st centuries are quite rare on the globe. Visitors can stroll in streets with utility services founded many centuries ago underfoot and still be in a busy modern city. One of the reasons why this is possible is also the utilisation of underground space, the "fourth dimension of metropolises", as the title of our congress suggests. The underground space in the historic centre of Prague is interwoven with kilometres of underground lines. Most of them were built many centuries later than the buildings on the surface. Despite this fact, this was not a cause of destroying or causing serious damage even to a single landmark building. The procedures and methods of reaching this state have been continually improved. We believe that the meeting and exchange of know how among professionals in the

framework of the WTC 2007 will significantly push this branch of underground construction ahead.

Poslední zasedání organizačního výboru a Správy sdružení v roce 2005 se konalo 25. listopadu v Praze. Text zápisu ze zasedání je k dispozici na webu ČTuK www.ita-aites.cz.

K většině projednávaných bodů není třeba se v této informaci vracet, tím spíše, že v době, kdy ji budete číst, nebudou již většinou aktuální. Rád bych ale upozornil na několik hlavních úkolů, které nás čekají ve zbývajících měsících roku 2006:

- ihned po návratu našich delegátů ze Soulu bude třeba vyhodnotit průběh WTC 2006 a závěry promítnout do pokračující přípravy na WTC 2007;
- úspěch kongresu po odborné stránce stojí a padá s počtem a kvalitou referátů; každý odborník z ČR i SR by měl považovat za věc osobní cti v tomto směru přispět ať již vlastním příspěvkem, nebo získáním příspěvku ze zahraničí;
- v případě, že počet přihlášených příspěvků nebude dostačující, eventuálně jejich obsah a odborná úroveň by neodpovídaly našim představám, přijmout příslušná opatření k nápravě; ze zkušeností předchozích kongresů lze takovou situaci do jisté míry očekávat, proto také byly termíny pro zaslání abstraktů a přijetí příspěvků stanoveny tak, aby bylo možné ještě vyhlásit termíny náhradní;
- nedílnou součástí kongresu jsou přednášky v rámci vzdělávacího programu; „generální zkouška“ proběhne již na podzim 2006 – je třeba její úroveň nezanedbat a její význam nepodcenit;
- dalším důležitým odborným, ale současně i ekonomickým prvkem kongresu je výstava; nelze spoléhat pouze na skutečnost, že firmy z celého světa mají zájem se jí zúčastnit – tento zájem je třeba vyvolat a podchytit. České a slovenské firmy – přes to, že jejich výstavní aktivity na předchozích kongresech byly velmi skromné – by měly tentokrát využít domácího prostředí a ukázat odborníkům z celého světa, že ani v této oblasti nezaostáváme.

ING. GEORGIJ ROMANCOV,
předseda organizačního výboru WTC 2007,
e-mail: office-wtc2007@metroprojekt.cz

**INFORMACE O VYDÁNÍ PUBLIKACE
O PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICE
INFORMATION ABOUT THE ISSUANCE OF A PUBLICATION
ON UNDERGROUND CONSTRUCTION IN THE CZECH REPUBLIC**

As mentioned in the leading article of this issue of the Tunnel magazine, an extensive representation publication dealing with the Czech underground construction industry is being prepared for the World Tunnel Congress to be held in Prague in 2007 (WTC 2007). The book will discuss the history of tunnelling works, document the impressive development of the underground engineering in the present and will also outline the anticipated future underground projects. This anthology of the Czech underground engineering is being prepared by a team of authors overseen by the Scientific Board of the congress and the Czech Tunnelling Committee ITA/AITES.

The publication will be issued for the needs of the congress in English and each registered participant will receive it free of charge. The issue of a Czech version to be for over-the-counter sale is also planned.

Jak již je uvedeno v úvodním článku tohoto čísla časopisu, je pro světový tunelářský kongres Praha 2007 (WTC 2007) připravována rozsáhlá reprezentační publikace, zabývající se českým podzemním stavitelstvím. Kniha bude pojednávat o historii tunelování, zdokumentuje imponující rozvoj podzemního stavitelství v současnosti a nastíní i předpokládané výhledové realizace významných podzemních děl. Tuto antologii českého podzemního stavitelství zpracovává kolektiv autorů pod patronací vědecké rady kongresu a Českého tunelářského komitétu ITA/AITES. Vlastní přípravu a vydání zajišťuje firma SATRA, spol. s r. o. V případě zájmu o spolupráci kontaktujte Ing. Pavla Šourka, SATRA, spol. s r. o., který je pověřen celkovou koordinací a přípravou publikace. Kontaktní údaje: telefon 296 337 149, GSM 606 743 530 email: pavel.sourek@satra.cz

Vhodné jsou zejména historické podklady jako archivní fotografie, výkresy, texty atd.

Publikace bude vydána v anglickém jazyce pro potřeby kongresu a obdrží ji zdarma každý řádně zaregistrovaný účastník. Předpokládá se též vydání české verze, která bude určena pro volný prodej.

**ING. PAVEL ŠOUREK,
SATRA, spol. s r. o.,
e-mail: pavel.sourek@satra.cz**



**SPRAVODAJ SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA/AITES
SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA/AITES REPORTS**

Skanska BS celebrates the 55th anniversary of the foundation of its predecessor, Banské stavby a.s., Prievidza. The conference **Underground Construction 2006** is one of the events being prepared in the framework of this jubilee. The conference venue will be the spa town of Bojnice, similarly to the previous 2001 conference. The conference will be held from 2nd to 4th October 2006.

The conference topics will be focused on the following circuits:

- Engineering-geological and geological survey
- Construction design and pre-planning
- Execution of underground constructions and monitoring during the works
- Technical and safety measures
- Funding, risks and contractual conditions

Ms Beáta Voskárová, the conference secretary, has more information for you at the address:

Skanska BS, Košovská 16, 971 74 Prievidza, Slovak Republic
Phone: 00421 46 5190 407, facsimile: 00421 46 5424 494,
mobile telephone: 00421 902 986 313,
e-mail: beata.voskarova@skanska.sk

Spoločnosť Skanska BS si v roku 2006 pripomína 55. výročie založenia svojho predchodcovského podniku Banské stavby, a. s., Prievidza. Jednou z akcií pripravovanej v rámci tohto jubilea bude konferencia **Podzemné stavebníctvo 2006**. Miestom konferencie, podobne ako v prípade predošlej konferencie v roku 2001, bude kúpeľné mesto Bojnice. Dátum konferencie je 2. – 4. október 2006.

Tematika konferencie je zacielená do týchto okruhov:

- Inžiniersko-geologický a geologický prieskum
- Projektovanie a príprava stavieb

- Realizácia podzemných stavieb a monitoring počas výstavby
- Technické a bezpečnostné opatrenia
- Financovanie, riziká a zmluvné podmienky

Organizátori vyjadrujú presvedčenie, že konferencia bude vhodným stretnutím odborníkov v odbore podzemného stavebníctva zo všetkých sfér a dobrým fórom výmeny poznatkov vedy, techniky, najnovšej praxe a výhľadov do budúcnosti. Úspešnosť predchádzajúcich konferencií a pekné prostredie Bojníc je zárukou, že konferencia bude dobre obsadená a že organizátori sa postarajú o to, aby nielen odborný program, ale aj spoločenské akcie uspokojili všetkých účastníkov. Vzhľadom na to, že Svetový tunelársky kongres ITA/AITES 2007 bude nasledovať iba s niekoľkomesačným odstupom, konferencia v Bojniciach môže byť dobrou prípravou domácich odborníkov na vystúpenie na medzinárodnom fóre WTC 2007 v Prahe.

Patronát nad konferenciou prevzal slovenský minister dopravy, pôšt a telekomunikácií Pavol Prokopovič, spoluorganizátormi sú Slovenská tunelárska asociácia a Národná diaľničná spoločnosť, a. s., Bratislava. Pozvánku na konferenciu spolu s výzvou na spracovanie odborných príspevkov a predbežnou prihláškou organizátori rozoslali potenciálnym účastníkom vo februári t. r.

Bližšie informácie vám poskytne sekretárka konferencie Ing. Beáta Voskárová na adrese:

Skanska BS, Košovská 16, 971 74 Prievidza,
tel.: 00421 46 5190 407, fax: 00421 46 5424 494,
mobil: 00421 902 986 313, mail: beata.voskarova@skanska.sk

ING. JOZEF FRANKOVSKÝ, člen organizačného výboru