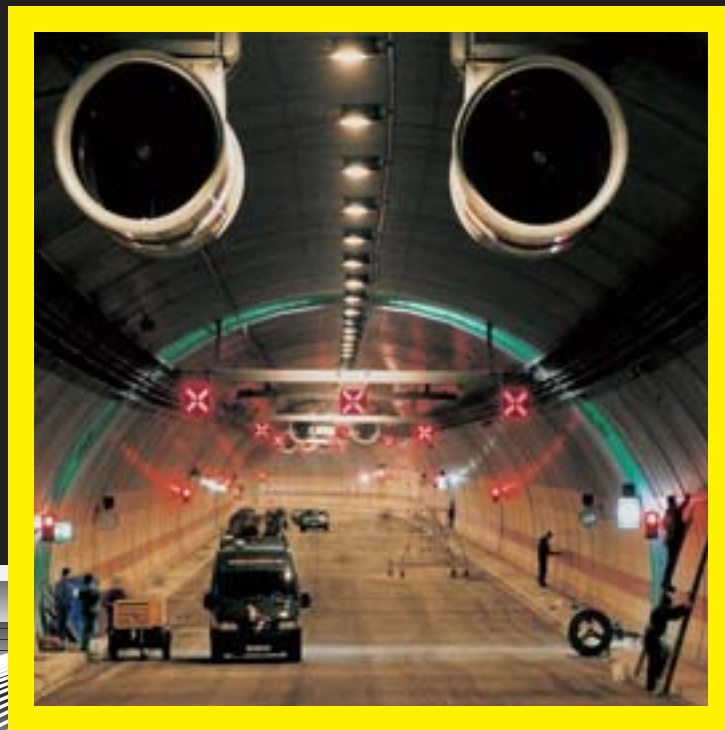


# Tunnel

ČASOPIS ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU  
A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA/AITES  
PODZEMNÍ STAVBY (VÝVOJ, VÝZKUM, NAVRHOVÁNÍ, REALIZACE)

*MAGAZINE OF THE CZECH TUNNELLING COMMITTEE  
AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA/AITES  
UNDERGROUND CONSTRUCTION (DEVELOPMENT, RESEARCH, DESIGN, REALIZATION)*



**VÁŽENÍ KOLEGOVÉ,  
VÁŽENÍ ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL,**

určitě se mnou budete souhlasit, že časopis Tunel je mimo jiné i "zrcadlem" podzemního stavitelství v České a Slovenské republice a jako každé zrcadlo odráží jeho současnou tvář. A protože časopis se této problematice věnuje již třináctým rokem, můžeme zde rozhodně porovnávat, jak vypadalo podzemní stavitelství v nedávné historii a jaký je jeho stav dnes.

Takové srovnávání patří neodmyslitelně k lidskému životu, a je tudíž i součástí každé profese a profesní činnosti. Obecně je porovnávána úroveň dosažená v minulosti s úrovní dosahovanou dnes. Poměřovat lze ale také podle geografických měřítek, když se srovnává úroveň konkrétního místa, regionu nebo státu s evropskými či světovými standardy.

Každá profesní činnost může být vykonávána dobře nebo špatně, profesionálně nebo amatérsky, primitivně nebo s vysoce sofistikovaným vybavením. Veškeré srovnávání a poměřování nám má odpovědět na otázku, zda nestojíme na místě z hlediska odbornosti, výkonnosti či efektivnosti, ale především má poskytnout důkazy o tom, že se nacházíme na vzestupné křivce znamenající pozitivní vývoj – pokrok, jakožto součást historie lidské civilizace.

Z tohoto pohledu chci vyjádřit přesvědčení, že české tunelářství udělalo od počátku 90. let ohromný pokrok a jsem hrdý, že akciová společnost Metrostav, její divize 5 a její odborníci k tomuto pokroku velmi výrazně přispěli. Souvisí to především se zavedením a zvládnutím moderních tunelářských postupů, jako je Nová rakouská tunelovací metoda. Pro její profesionální aplikaci bylo nutné vytvořit personální i materiální předpoklady – připravit techniky i dělníky a vybavit je stroji a zařízeními, které odpovídají dnešní evropské a světové úrovni.

To všechno se Metrostavu podařilo a s potěšením můžeme konstatovat, že s pomocí této technologie jsme schopni provádět stále náročnější tunely. Od začátků na jednokolejných tunelech a prvním dvojkolejném tunelu na trase IVB pražského metra jsme dospěli až k dosud nejnáročnějším podzemním dílům v České republice, jako jsou tunel Mrázovka na pražském městském automobilovém okruhu a jednokolejní stanice Kobylisy na trase IVC1 pražského metra. Jsem přesvědčen – a potvrzují to i názory zahraničních odborníků, že na těchto stavbách bylo dosaženo skutečně evropské úrovně.

Rovněž si dovoluji konstatovat, že vedle získaných zkušeností, které jsou součástí know-how našich zaměstnanců, umožňuje naše vybavenost moderními strojními sestavami nabízet investorům rychlou a efektivní realizaci všech druhů podzemních staveb. Pevně věřím, že tunel Panenská realizovaný na dálnici D8 v Krušných horách nebo tunel Valík na dálnici D5 u Plzně budou toho jasným příkladem.

Pokrok by samozřejmě nebyl možný bez dobré spolupráce s našimi zákazníky, inženýrskými a projekčními organizacemi, externími experty a dalšími dodavateli. Jim patří můj velký dík za tuto spolupráci i za jejich podíl na renesanci českého tunelářství.

Vážení kolegové, jsem skutečně potěšen, že s vámi mohu sdílet radost z trvalého pokroku a současné úrovně českého podzemního stavitelství, a přeji nám všem, abychom každodenním úsilím přispěli k tomu, že tento pozitivní trend bude pokračovat i v budoucnosti.



**DEAR COLLEAGUES,  
DEAR READERS OF THE TUNEL MAGAZINE,**

*I believe you will agree with me that the Tunel magazine in some way acts as a "mirror" of the underground engineering in the Czech Republic as well as Slovakia, and as such it reflects its current spirit. And because the magazine has been engaged in this field for already thirteen years, we are ultimately able to compare here how the underground engineering looked in recent past and how it looks today.*

*Such comparison inherently belongs to human life, and is therefore also a part of every profession and professional activity. Generally, a level achieved in the past is to be compared with the level prevailing today. But also geographical factors can be compared, such as levels of that particular location, region or state compared with European or global standards.*

*Every professional activity can be performed well or poorly, in a professional or amateur way, primitively or using highly sophisticated equipment. Every comparison should answer the question whether we remain motionless from the viewpoint of workmanship, efficiency or effectiveness, or submit evidence that we pursue an ascending curve that represents positive development - progress as part of history of the human civilization.*

*From this point of view I would like to express a strong belief that the Czech tunneling has made a formidable progress since the beginning of the nineties, and I am proud that the joint-stock company Metrostav, its Division 5 and its professionals have significantly contributed to this progress. It is mainly connected to implementation and mastering of modern tunneling techniques, such as the New Austrian Tunneling Method. It was necessary to lay personal as well as material foundations for its professional application - to train technicians and workers and to equip them with machines and devices that correspond to the existing European and global level.*

*Metrostav has succeeded in all of that, and we can state with satisfaction that, using these technologies, we are able to realize ever more challenging tunnels. Since the beginnings with single-track tunnels and the first double-track tunnel built on the IVB line of the Prague subway, we have come to the currently most challenging underground works in the Czech Republic, such as the Mrázovka tunnel on the Prague City Ring Road or the single-bay station Kobylisy on the IVC1 line section of the Prague subway. I am convinced - and opinions of foreign professionals confirm it, that a duly European level has been achieved at these structures.*

*I also venture to say that, beside the acquired experience which is part of our employees' know-how, our possession of modern equipment sets allows to us offer the investors fast and effective realization of all kind of underground structures. I strongly believe that the Panenská tunnel, realized on the D8 motorway in the Krušné Mountains, or the Valík tunnel on the D5 motorway near Pilsen clearly illustrate it.*

*Indeed, no progress could be achieved without a sound cooperation with our clients, engineering and designing organizations, external experts, as well as sub-contractors. To them I offer my sincere acknowledgment for this cooperation and for their role in renaissance of the Czech tunneling.*

*Dear colleagues, I am truly glad that I can share with you the delight of enduring progress and the existing level of the Czech underground engineering, and I wish us all that our daily efforts will contribute to continuation of this positive trend also in the future.*

**Ing. Václav Soukup**  
ředitel divize 5, Metrostav, a. s.  
Managing director of Division 5, Metrostav, a. s.

## VÝSTAVBA TUNELŮ PANENSKÁ NA DÁLNICI D8

## PANENSKA TUNNEL TUBES EXCAVATION ON D8 HIGHWAY

ING. JAN KVAŠ, ING. MILOSLAV NOVOTNÝ, METROSTAV, a. s., DIVIZE 5

## ÚVOD

V České republice pokračuje výstavba dálnice D8 z Prahy přes Ústí n. L. ke státní hranici ČR/SRN. Dálnice je součástí IV. Evropského multimodálního dopravního koridoru Berlín - Praha - Bratislava - Budapešť - Sofie - Istanbul. Dálnice D8 je dlouhá 92 km a v současné době jsou v provozu její dva úseky - úsek Řehlovice - Ústí nad Labem dlouhý asi 7 km a novější 45 km dlouhý úsek Praha - Lovosice.

Zatímco úsek dálnice D8 přes České středohoří, zahrnující tunely Radejčín (dl. 620 m) a Prackovice (dl. 270 m), je stále ještě ve stadiu přípravy a projednávání, na úseku Ústí nad Labem - st. hranice ČR/SRN se již intenzivně pracuje. Zde jsou také dva tunely - Libouchec (dl. LTT 535 m, PTT 454 m) a Panenská (dl. LTT 2058 m, PTT 2030 m). Stavba tunelu Panenská probíhá již od 21. 7. 2003, jeho ražba byla zahájena 1. 9. 2003.

Na hranici s Německem se D8 napojí na budovanou dálnici A17, která pomocí tunelů Coschütz (dl. 2332 m), Dölzschen (dl. 1070 m) a Altfranken (dl. 345 m) projde západním okrajem Drážďan.

## POPIS TRASY D8 PŘES KRUŠNÉ HORY

Trasa od Ústí nad Labem ke státní hranici se dělí na dvě části. Část 0807/I prochází nejprve územím poznamenaným intenzivní průmyslovou činností a posléze stoupá podél paty krušnohorského masivu až k obci Knínice. Zde začíná část 0807/II, ve které dálnice překonává vlastní Krušné hory.

Část 0807/II je rozdělena na 5 staveb. Jako první byla realizována stavba J, která obsahovala provedení průzkumných štol pro tunel Panenská.

Stavba E - Most Knínice navazuje na část 0807/I a dálnice zde po železobetonové mostní estakádě délky přes 1000 m stoupá přes tzv. Knínické terasy, aby v následující části F - Tunel Libouchec prošla pomocí úbočního tunelu délky cca 500 m svahem nad horní částí obce Libouchec. Vedení trasy v tunelu zde chrání obec před vlivy provozu dálnice a současně chrání krajinu před narušením mohutným zářezem. Za severním portálem tunelu Libouchec pokračuje stavba F již v pohledově méně exponovaném prostoru krátkým zářezem a následně přes most Panenská (dl. 266 m) překonává zalesněné údolí Jílovského potoka.

Následuje stavba G - Tunel Panenská, ve které dálnice vystoupá na náhorní plošinu Krušných hor. Stavba zahrnuje 2970 m dálnice. Navazuje na severní opěru mostu Panenská a po 140 m v zářezu začíná jižním portálem tunel Panenská (v nadmořské výšce 563 m n. m.). Po přibližně 2000 m vyjíždí dálnice ze severního portálu tunelu v nadmořské výšce 628 m n. m., pak následuje 300 m zářezu a dál pokračuje trasa přes zamokřené území k mimoúrovňové křižovatce Petrovice, za kterou stavba G končí. Rubanina z tunelů bude po eventuálním předrcení použita do násypů tělesa dálnice jak v části G, tak především v následující části H.

Stavba H - Trasa Petrovice - Hraniční most je posledním úsekem dálnice D8 na českém území. Zde dálnice dosahuje maximální nadmořské výšky 652 m n. m. Údolí potoků a terénní deprese (společně s ekologickými a krajinnými aspekty) učinily z této stavby hlavně mostařskou stavbu zahrnující, mimo další, tři velké mosty - 526 m dlouhý most přes Mordovou roklí, most pod Špičákem dlouhý 360 m a délka nejvyššího mostu přes Rybný potok je 355 m.

## TUNEL PANENSKÁ - ZÁKLADNÍ ÚDAJE A GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY

Pokud se týká geologie, je tunel Panenská ražen v prostředí tektonicky porušeného rulového krystalinika prostoupeného žilnými tělesy žulových porfyrů. Vlastní výstavbě tunelů Panenská předcházela podrobný hydrogeologický průzkum včetně ražby dvou průzkumných štol ze severního a jižního portálu budoucího tunelu.

Průzkumné štoly se razily v profilu 24,5 m<sup>2</sup> na délku 150 m, po jejich doražení bylo rozhodnuto na základě doporučení geotechnického monitoringu, ve kterém úseku bude profil díla rozšířen na velikost kaloty budoucího tunelu v délce 40 m.

## INTRODUCTION

The construction of the D8 highway from Prague via Ústí n. L. to the CR/FRG state border is in progress in the Czech Republic. The highway is part of the 4th European multi-modal traffic corridor connecting Berlin - Prague - Bratislava - Budapest - Sofia - Istanbul. Out of the total D8 highway length of 98 km, two sections are currently operating, i.e. the Řehlovice - Ústí nad Labem section (about 7 km long) and the newer section from Prague to Lovosice (45 km).

While the highway section leading through the České Středohoří (Czech Highland), comprising the Radejčín tunnel (620 m) and Prackovice tunnel (270 m), is still found in the planning and negotiation phase, the work on the section from Ústí nad Labem to the CR/FRG state border is progressing at a fast pace. There are also tunnels within this section, namely the Libouchec tunnel (LTT 535 m, RTT 454 m long) and Panenská tunnel (LTT 2058 m, RTT 2030 m long). The construction work on the Panenská tunnel has been in progress since 21/7/2003, and the excavation started on 01/9/2003.

The D8 highway will join the A17 highway, being also under construction. The A17 highway will pass through the western outskirts of the city of Dresden, utilising three tunnels, i.e. Coschütz tunnel (2332 m), Dölzschen (1070 m) and Altfranken (345 m long).

## D8 ROUTE OVER THE KRUŠNÉ MOUNTAINS

The route from Ústí nad Labem to the state border is divided into two sections. The section 0807/I leads via an area affected by massive industrialism, and then it rises along the foot of the Krušné Mountains massif until Knínice village. The 0807/II section starts in this location, to continue across the Krušné Mountains proper.

The section 0807/II is divided into 5 construction lots. The construction lot J comprising the excavation of an exploration gallery for the Panenská tunnel will be built first.

The construction lot E, the Knínice Bridge, joins the section 0807/I. The highway in this location climbs up to get over Knínice terraces, using a reinforced concrete viaduct over 1000 m long. In the following section F (the Libouchec Tunnel) the alignment continues through a roughly 500 m long offspur tunnel along a slope rising above the upper part of Libouchec village. Placement of the alignment into the tunnel protects the village from the highway traffic impact and, in the same time, protects the landscape from damage caused by excavation of a large open cut. The construction lot F starts behind the northern portal of the Libouchec tunnel by a short open cut, passing through an area exposed less in terms of the visual effect. The Panenská Bridge (266 m long) follows to overcome a wooded valley of the Jílové brook.

The construction lot G - Tunnel Panenská is the next structure. The road climbs through this tunnel to reach the Krušné Mountains' plateau. The construction lot comprises 2970 m of the highway. It joins the northern abutment of the Panenská Bridge (at an altitude of 563 m a. s. l.). After approximately 2000 m, the highway leaves the portal North at an altitude of 628 m a. s. l., then an open cut 300 m long follows, and the route continues further over a waterlogged area toward the grade separated intersection Petrovice, behind which the construction lot end is found. The muck from the tunnels will be used to the highway embankments (after improvement by crushing if needed), both in the section G and, above all, the following section H.

The construction lot H, i. e. the route Petrovice - Border Bridge, is the last section of the D8 highway in the Czech territory. The highway reaches a maximum altitude in this section, 652 m a. s. l. Existence of valleys along streams and surface depressions (together with environmental and landscaping aspects) caused that this construction lot became mainly a bridge-building matter. Apart from other structures, the lot contains three major bridges, i. e. the 526 m long bridge over Mordová Ravine, the 360 m long bridge under Špičák Mountain, and the highest bridge spanning the Rybný brook is 355 m long.

## THE PANENSKÁ TUNNEL - BASIC DATA AND GEOTECHNICAL CONDITIONS

Regarding geology, the Panenská tunnel is driven through a tectonically disturbed environment of a gneiss crystalline complex interpenetrated by granitic porphyry vein bodies. A detailed hydrogeological investigation including exca-



Základní údaje Basic Data	Levý (západní) tubus West Tunnel Tube (Left)	Pravý (východní) tubus East Tunnel Tube (Right)
Délka tubusu / Tube length	2 058 m	2 030 m
Délka ražené části Mined part length	1 993,7 m	1 975,1 m
Délka hloubených částí Cut-and-cover part length	64,3 m	54,9 m
Počet únikových chodeb Escape adits number	9	9
Počet nouzových zálivů Emergency laybys number	3	3
Podélný sklon Longitudinal gradient	3,171 %	3,209 %
Příčný sklon Cross gradient	2,5 % / - 4,0 % / 3,5 %	2,5 % / - 4,0 % / 3,5 %
Teoretická plocha výrubu Theoretical excavated area	75,55 m <sup>2</sup> / 121,0 m <sup>2</sup>	75,55 m <sup>2</sup> / 121,0 m <sup>2</sup>
Světlná plocha Net area	57,0 m <sup>2</sup>	57,0 m <sup>2</sup>

Tabulka 1 Základní parametry tunelu Panenská  
Table 1 Basic parameters of the Panenská tunnel

Geologický průzkum upřesnil předpoklady inženýrskogeologického průzkumu v předchozích stupních. Nepotvrdily se obavy hydrogeologů o výskytu rezervoáru podzemní vody v příportálových úsecích ražeb. Výsledky byly použity ve fázi zpracování realizační dokumentace tunelů, kterou zpracovává jako generální projektant Valbek, spol. s r. o.

Při ražbě vlastních tunelů byly zastíženy pararuly a ortoruly. Biotitické pararuly jsou alterované, přičemž alterace vytvářejí několik metrů mocná, tvarově složitá a komplikovaná pásma podél poruch a významnějších puklin. Masiv je prostoupen systémem tektonických poruch, častý je výskyt ohlazů na puklinových plochách. Muskovit-biotitické ortoruly jsou kompaktní, pevné, středně rozpukavé. Tato skladba geologie s sebou přináší nemalé obtíže zejména při dočišťování výrubu po provedení trhacích prací, kdy po již zmiňovaných ohlazech a puklinových plochách dochází k "vyjždění" relativně velkých bloků horniny. Při ražbě se také prochází žilnými tělesy žulových porfyrů často omezených vůči okolnímu rulovému prostředí poruchovými zónami, na něž jsou vázány zvýšené přítoky podzemní vody do tunelu. V těchto místech je nutno důsledně odvádět průsakovou vodu, aby se zamezilo rozbrzdění počvy tunelu, a tím k vyplavování částic železa obsaženého v hojné míře v těchto horninách. Sloučeniny železa způsobují svou charakteristickou červeno-hnědou barvou komplikace při následném vypouštění čerpaných důlních vod do vodoteče. Žulové porfyry jsou rovněž alterovány, hornina je sice pevná, ale "křehká", což spolu s vysokým stupněm rozpukání podmiňuje její drobně blokovitý až kostkovitý rozpad, který znesnadňuje zejména práce související s vrtním, což jsou trhací práce a systémové kotvení.

V průběhu ražby byly rovněž zastíženy vložky dalších horninových typů - pegmatitických rul, amfibolitů, lamprofytrů, dioritových porfyrů apod. Průběžná dokumentace čeleb prováděná v rámci geotechnického monitoringu ukazuje, že geologická stavba území a kvalita horninového masivu z hlediska tunelování jsou dány zejména tektonickou stavbou rulového masivu porušeného strmými tektonickými poruchami často vyplněnými žulovým porfyrem. Tyto struktury jsou doprovázeny zonální alterací a zvýšenými přítoky podzemní vody do tunelu.

Výrubu jsou vystrojovány ve třídách NRTM 4.2 až 2.1. Těžší třídy vystrojení jsou vázány na tektonicky porušené úseky a na úseky procházející žilnými tělesy granitových porfyrů.

V příportálové části byly skutečně zastíženy geologické podmínky mírně příznivější než předpoklady projektanta. Naopak v dalším průběhu ražby se jeví předpoklady projektanta optimističtější než geologické poměry skutečně zastížené na čelbě.

Výrubu jsou vystrojovány ve třídách NRTM 4.2 až 2.1. Těžší třídy vystrojení jsou vázány na tektonicky porušené úseky a na úseky procházející žilnými tělesy granitových porfyrů.

V příportálové části byly skutečně zastíženy geologické podmínky mírně příznivější než předpoklady projektanta. Naopak v dalším průběhu ražby se jeví předpoklady projektanta optimističtější než geologické poměry skutečně zastížené na čelbě.

## ORGANIZACE VÝSTAVBY

Ražba tunelů je, z důvodu špatného přístupu na jižní portál a s ohledem na skutečnost, že je s vyraženou rubaninou po předrcení uvažováno do násypů na úsek dálnice směrem ke státní hranici, vedena úpadně ze severního portálu. S ohledem na smluvní termín realizace zakázky je při výstavbě tunelu pouze z jednoho portálu nutné dosahovat vysoké postupy (cca 150 m/měsíc) při plném souběhu prací (ražba kaloty, jádra, definitivní ostění). To přináší mimořádně vysoké nároky na organizaci výstavby, její technické, servisní a materiálové zabezpečení, ale i na lidské zdroje (v době největšího nasazení bude na stavbě pracovat ve čtyřsměnném provozu asi 270 dělníků a zhruba 30 techniků).

variation of two exploration galleries from both the northern and southern portal of the planned tunnel preceded the Panenská tunnel construction proper.

The cross section of the 150 m long exploration galleries was of 24.5 m<sup>2</sup>. When the excavation had been completed, a decision was made on the basis of the geotechnical monitoring recommendation regarding the placement of a 40 m long gallery section to be enlarged in the cross section to the size of the tunnel (to be built later) top heading.

Geological investigation refined assumptions adopted by the engineering geological investigation carried out in the previous stages. The concerns of hydrogeologists about occurrence of a groundwater reservoir in the portal sections of the excavation were not confirmed. The results were utilised in the phase of elaboration of the detailed design by Valbek spol. s r. o., the general designer.

Paragneiss and orthogneiss has been encountered in the course of the excavation of the tunnels proper. Biotite paragneiss is altered, while the alterations form several meters thick, complicated in shape and complex zones along faults and more significant cracks. The massif is interpenetrated by a system of tectonic faults, with frequent occurrence of slickensides on surfaces of discontinuities. Muscovite-biotitic orthogneiss is compact, competent, and medium fractured. This geological composition is associated with significant problems, above all during the excavation scaling after blasting. Relatively large blocks of rock slide along the above-mentioned slickensides and discontinuity surfaces.

The excavation also passes through areas with granitic porphyry vein bodies, often separated from the neighbouring gneiss environment by fractured zones with increased inflows of ground water bound up with them. Percolation water had to be evacuated from these locations to prevent slaking of the tunnel bottom, thus to prevent outwashing of particles of iron contained in this types of rock. Iron compounds cause complications in subsequent discharging of pumped mine water to a watercourse due to their characteristic red-brown colour. Granitic porphyrys are also altered. Although the rock is strong, it is "fragile". This property, together with a high degree of fracturing, causes its finely blocky to dice-like disintegration, which makes work difficult, above all the drilling for blasting and systematic anchoring.

Interbeds of other rock types were also encountered during the excavation, i.e. pegmatite gneiss, amphibole, lamprophyre, diorite porphyrites etc.

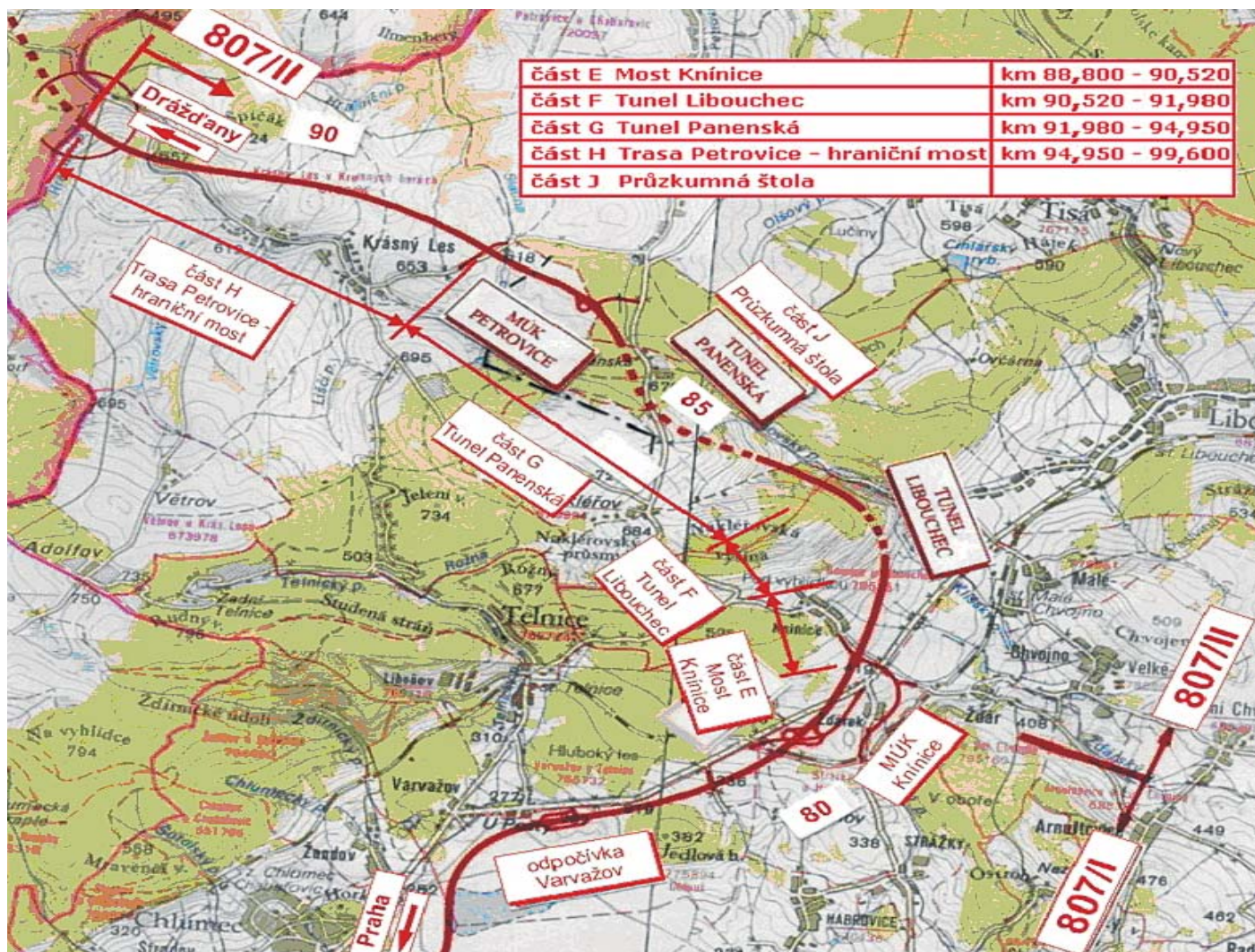
Continuous documentation of the headings maintained as a part of the geotechnical monitoring shows that the geological structure of the area, and the rock mass quality viewed in terms of tunnelling, are given mainly by the tectonic pattern of the gneiss massif weakened by steep tectonic faults, often filled with granitic porphyry. These structures are accompanied by zone alteration and increased inflows of ground water to the tunnel.

Excavation support is carried out in rock mass of the NATM classes 4.2 to 2.1. More difficult support classes are connected with tectonically disturbed sections and sections passing through granitic porphyry vein bodies. Geological conditions encountered in the area close to the portal were slightly more favourable than expected by the designer. On the contrary, designer's assumptions regarding the further excavation seem to be more optimistic compared to the geological conditions actually encountered at the face.

## CONSTRUCTION ORGANISATION

The tunnel excavation is carried out downhill from the northern portal due to a difficult access to the southern portal, and with respect to the fact that the muck is to be crushed and placed into embankments in the highway section toward





Obr. 1 Přehledná situace dálnice D8, stavba 0807/II  
Fig. 1 General layout of the highway D8, construction lot 0807/II

Realizaci tunelů dále komplikuje skutečnost, že se provádí v podmínkách horského klimatu (severní portál se nachází v nadmořské výšce 630 m n. m.) a v bezprostřední blízkosti ochranného pásma vodního zdroje, což vyžaduje dokonalé předčištění důlních vod čerpaných z tunelu před vypuštěním do místní vodoteče.

## RAŽBY

Práce na tunelu Panenská byly zahájeny v červenci 2003 rozšiřováním a zajišťováním severní portálové stěny a jámy, ražba levého tunelu byla zahájena v září a ražba pravého tunelu o dva měsíce později téhož roku. S odstupem dalších dvou měsíců byla zahájena ražba jádra LTT a v únoru 2004 i jádra PTT. Toto načasování představuje odstup asi 500 m mezi pracovišti na kalotách a jádrech v každém tunelu a odstup mezi LTT a PTT je asi 300 m. Souběžně s ražbou kaloty PTT probíhá ražba tunelových propojek, které jsou ve vzájemné vzdálenosti přibližně 200 m. Tyto jsou následně používány pro kolovou dopravu mezi jednotlivými tunely.

Standardní profil tunelu je navržen jako dálniční dvoupruhý, který je po úsecích délky asi 500 m rozšířen v délce 42 metrů na profil třípruhového odstavěného nouzového zálivu. Zálivy se v průběhu ražeb využívají zejména k odstavení strojů a pro provádění běžné údržby v tunelu.

Součástí zajištění portálové stěny bylo vybudování ochranného předstítka a mikropilotového deštníku BODEX - jednalo se o zavrtání 15 m dlouhých perforovaných ocelových pažnic o průměru 114 mm, které byly následně zainjektovány cementovou směsí.

Ražba je úpadní, členění výrubu horizontální na kalotu a jádro a je prováděna Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM). Dle zastíženého geologie a na základě soustavně prováděného geotechnického monitoringu firmou SG - Geotechnika jsou určovány jednotlivé technologické třídy NRTM 5 až NRTM 1.

Každé technologické třídě odpovídá délka záběru, v rozmezí od 1,0 m do 3,5 m, způsob rozpojování horniny a stupeň vyztužení a zajištění výrubu. K zajištění

the state border. Because of the contractual deadline for the works completion and the fact that the excavation will be carried out through one portal only, high advance rates are necessary (about 150 m per month), with all operations possible performed in parallel (top heading and bench excavation, erection of final lining). This poses extreme challenges in terms of the construction organisation, its technical, and servicing background, material and human resources (about 270 workers plus roughly 30 technicians will be in action in four shifts in the phase of the peak concentration of operations).

The work on the tunnels is further complicated by the fact that it is performed in conditions of high-altitude climate (the altitude of the northern portal is of 630 m a. s. l.), and in close proximity to a water source protection zone, which requires perfect pre-purification of mine water pumped from the tunnel, before discharging to a local watercourse.

## EXCAVATION

The work on the Panenská tunnel started in July 2003 by widening and supporting the northern portal wall and pit. Excavation of the left tube began in September, and the right tunnel tube heading commenced in the same year, two months later. With a delay of another two months the LTT bench excavation started, while the RTT bench excavation began in February 2004. This timing is possible with a distance of about 500 m maintained between the top heading and bench excavating crews in each tube, and the distance between the LTT and RTT about 300 m. Cross passages, designed approximately every 200 m, are excavated in parallel with the RTT top heading excavation. Subsequently the cross passages are used for rubber-tyre haulage between the two tubes.

The standard tunnel profile is designed as a highway tunnel profile with two lanes, enlarged every 500 m within a length of 42 metres to a three-lane profile containing an emergency layby. The laybys are used in the excavation phase mainly for equipment parking and routine maintenance carried out in the tunnel. Part of the portal wall support system was a construction of a short pre-tunnel canopy structure, and the BODEX canopy tube pre-support, consisting of 15 m





Obr. 2 Zajištění příportálového úseku - vrtání mikropilotového systému Bodex  
Fig. 2 Portal section support - drilling for the Bodex canopy tube pre-support

long steel pipes 114 mm in diameter, sealed in boreholes by injecting with cement grout.

The excavation is carried out downhill, with horizontal division into top heading and bench sequences, using the New Austrian Tunneling Method (NATM). Particular technological classes varying from NATM 1 to NATM 5 are determined on the basis of the geology encountered and continuous geotechnical monitoring performed by SG - Geotechnika.

Each technological class defines a corresponding round length (ranging from 1.0 to 3.5 m), rock breaking technique and the excavation support degree. The following support elements are used depending on the geology encountered:

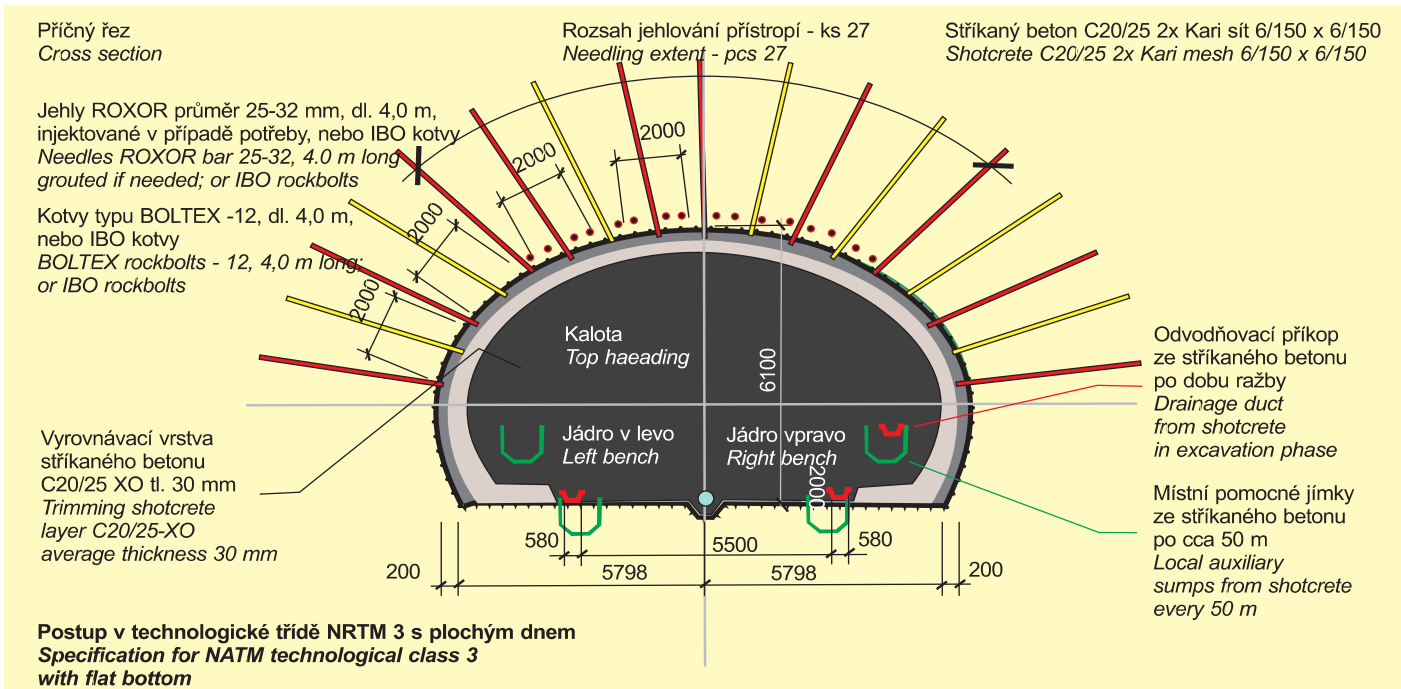
- steel mesh KARI 6/150 x 6/150 mm
- lattice arches
- shotcrete C20/25 X0 in layers 250 to 150 mm thick, applied using the wet process; expansion shell rockbolts 4.0 or 6.0 m long, SN-anchors 4.0 or 6.0 m long with a minimum pull-out strength of 12 tons (for the sidewalls); IBO-anchors of corresponding lengths are used in case of instability of boreholes
- pre-drilled steel needles 25 mm in diameter and 4.0 m long are used in case of the top heading instability



Obr. 3 Vrtání pro trhací práce - vrtný vůz Atlas Copco AC L2C  
Fig. 3 Drilling blast holes - Atlas Copco AC L2C drill rig



Obr. 4 Profilování výrubu pásovým tunelbagrem Liebherr LR 934  
Fig. 4 Excavation profiling by Liebherr LR 934 tunnel excavator



Obr. 5 Vzorový příčný řez ve vestrojovací třídě NRTM 3  
Fig. 5 Typical cross section for the NATM support class 3

výrubu se v závislosti na zastižené geologii používají následující prvky primárního ostění:

- výztuž z ocelových sítí KARI 6/150 x 6/150 mm
- ocelové příhradové rámy
- stříkaný beton C20/25 X0 v tloušťkách od 250 do 150 mm, nanášený mokrou cestou, hydraulicky upínané svorníky dl. 4,0 m nebo 6,0 m v kalotě, v opěři kotvy typu SN dl. 4,0 m nebo 6,0 m únosnosti v tahu min. 12 tun; v případě nestability vrtů se používají IBO kotvy odpovídajících délek
- v případě nestability přístropí se používají předvrtávané ocelové jehly prům. 25 mm dl. 4,0 m

Razící práce se provádějí trhacími pracemi za použití vysoce výkonných moderních kolových mechanismů, v současné době jsou na stavbě tunelu Panenská nasazeny čtyři kompletní strojní sestavy v následujícím složení:

- dvoulafetové vrtací vozy Atlas Copco Boomer L2C
- pásové tunelové skalní bagry Liebherr 934 a 932 sloužící ke strojnímu rozpojování horniny a k dočištění profilu tunelu po provedení trhacích prací
- kolové nakladače Volvo L120 a L180 o velikosti lžiče 3,1 a 4,1 m<sup>3</sup>
- dumpřpy Volvo A 25 c 4x4 a 6x6 o velikosti korby 13,5 a 15,0 m<sup>3</sup>
- manipulátory ALIVA AL 500 s kompresorem pro aplikaci stříkaného betonu mokrou cestou
- mobilní pracovní plošiny Atlas Copco DC16
- servisní a mazací vozidlo PAUS

Jedná se o špičkový strojní park na nejmodernější technické úrovni, která ovšem znamená i vyšší zranitelnost těchto strojů. Ukazuje se, jak důležité je dokonalé zvládnutí obsluhy, údržby a servisních činností. Výsledkem je narůstající tlak na vysokou kvalitu nejen techniků, ale i příslušných dělnických profesí.

## DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

Definitivní ostění tunelu je navrženo jako monolitická železobetonová konstrukce tloušťky 400 mm z betonu třídy C25/30 XF4, která se dělí na patky a klenbovou část; s ohledem na zastižené geologické poměry a příznivý vývoj konvergencí není uvažováno s protiklenbou.

Délka jednotlivých bloků v klenbě bude 12 m, což představuje betonáž zhruba 150 m<sup>3</sup> na jeden záběr, celkové množství betonu uloženého do definitivního ostění je cca 50 000 m<sup>3</sup>.

Součástí definitivního ostění je mezilehlá foliová PE izolace tl. 2,5 mm, která spolu s podélnou odvodňovací drenáží tvoří tzv. otevřený deštníkový hydroizolační systém, který bude sloužit k odvádění průsakové podzemní vody.

Realizace definitivního ostění byla zahájena s odstupem asi 1000 m od čelby kaloty koncem května 2004 (v době uzávěrky tohoto čísla časopisu Tunel). Pracovní proud sestává z úpravy povrchu pod izolaci, z instalace izolace, montáže armatury a vlastní betonáže do samohybného ocelového tunelového bednění.

## ZÁVĚR

Příspěvek zachycuje stav realizace tunelu Panenská ke konci května 2004, kdy bylo ve VTT vyraženo 800 m kaloty a 400 m jádra a v ZTT 1150 m kaloty, resp. 570 m jádra. Protože větší část ražeb bude teprve prováděna, není možné provést celkové hodnocení. Lze jen konstatovat, že prozatím práce probíhají bez mimořádných obtíží, samozřejmě s problémy, které způsobují úpadní ražba a značně tektonicky porušená hornina.

*The drill-and-blast method was used for the rock breaking, combined with modern high-performance wheeled equipment. There are four complete equipment sets working on the Panenská tunnel, consisting of:*

- Atlas Copco L2C twin-boom drill rigs
- crawler tracked tunnel excavators Liebherr 934 and 932 for mechanical rock breaking and clearing of the tunnel profile after blasting
- wheeled loaders Volvo L120 and L180 with 3.1 and 4.1 m<sup>3</sup> buckets
- Volvo A25 c 4x4 and 6x6 dump trucks with 13.5 and 15.0 m<sup>3</sup> load capacities
- ALIVA AL 500 wet mix robots with compressors for application of shotcrete
- mobile platforms Atlas Copco DC16
- service and lubrication vehicle PAUS

*Although, this state-of-the-art level of the fleet of tunnelling machines is also associated with a higher level of vulnerability of the machines. It can be seen how important perfect mastering of operation, maintenance and services are. This fact translates into growing requirements for high quality of not only technicians but also respective blue-collar professions.*

## FINAL LINING

*Final lining of the tunnel is designed as a monolithic reinforced concrete structure 400 mm thick, from concrete grade C25/30 XF4, divided into footing and vault parts; invert has not been considered with respect to the geological conditions encountered and favourable development of convergences.*

*Individual dilatation blocks of the vault will be 12 m long. This length represents placing of roughly 150 m<sup>3</sup> of concrete per one advance. Total volume of concrete to be used for the final lining amounts to 50,000 m<sup>3</sup>. Part of the final lining is intermediate waterproofing membrane (PE, 2.5 mm thick) forming, together with longitudinal drainage, an open umbrella waterproofing system evacuating percolation groundwater.*

*The work on the final lining started at a distance of approximately 1,000 m from the top heading face in the end of May 2004. The operation flow comprises adjustment of irregularities of the surface under the waterproofing, installation of the waterproofing, placement of reinforcement and pouring concrete behind a self-propelled steel shutter.*

## CONCLUSION

*This contribution describes the state of the Panenská tunnel construction as of the end of May 2004, when excavation of 800 m of top heading and 400 m of bench in the ETT, and 1,150 m of top heading and 570 m of bench in the ETT was completed. Since the larger part of the excavation work is still ahead, an overall assessment is impossible. The only thing that can be stated is that till now the operations have not met any extraordinary problems. Of course, problems existed due to the downhill excavation system and considerable tectonic faulting of the rock mass.*



Obr. 6 Provádění stříkaného betonu - manipulátor Aliva AL 500 a stříkací stroj AL 285  
Fig. 6 Application of shotcrete - Aliva AL 500 robot and AL 285 spraying machine



Obr. 7 Montáž výztuže primárního ostění  
Fig. 7 Installation of reinforcement of primary lining



## STŘÍKANÝ BETON PŘI VÝSTAVBĚ DOPRAVNÍCH TUNELŮ

## SPRAYED CONCRETE IN TRAFFIC TUNNEL CONSTRUCTION

ING. PAVEL POLÁK, METROSTAV, a. s. – DIVIZE 5, ING. VLADIMÍR MIKA, BETON BOHEMIA, s. r. o.

## ÚVOD

Stříkaný beton je používán v České republice ve velkých objemech jako dominantní konstrukční hmota primárního ostění dopravních tunelů. Díky snaze o rychlé dobudování dopravní infrastruktury do podoby, která by zaručila relativně rychlý a uživatelsky výhodný průjezd železniční i silniční dopravy Českou republikou v rámci nové konfigurace Evropské unie, došlo k výraznému rozmachu výstavby dopravních tunelových děl. Tím vznikla potřeba pokrytí nových projektů značného rozsahu s vyššími nároky na kapacitu všech partnerů vstupujících do výstavby. Zatímco vazba zhotovitele tunelů na předchozí stavby podobného významu je vyžadována a bez odbornosti klíčových pracovníků v oblasti podzemního stavitelství ani není možná, u investora a projektanta muselo dojít k posunu na nové organizace s pracovníky, kteří neměli do té doby s realizací tunelů žádné osobní zkušenosti. Tak zákonitě došlo k výskytu krajních extrémů - nedostatečné či nevhodné specifikaci vlastností stříkaného betonu v rámci dokumentace pro zadání stavby či neúměrným požadavkům na četnost nebo zaměření kontrolních zkoušek vzhledem k relativně krátké (dočasné) konstrukční funkci primárního ostění tunelů. Obě uvedené odchylky nejsou žádoucí a mohou způsobit při rozdílných výkladech nepochopení při jednáních, prodloužení realizace či zvýšení ceny za zajištění líce výrubu betonovým ostěním. V dalším textu jsou uvedeny údaje, které mohou poskytnout základní informace o pojetí problematiky stříkaného betonu jako součásti nosných podzemních případně portálových konstrukcí tunelů.

## ÚLOHA STŘÍKANÉHO BETONU U DVOUPLÁŠŤOVÉHO OSTĚNÍ

Stříkaný beton je u odborné technické veřejnosti již zažitým pojmem souvisejícím neoddělitelně s výstavbou tunelů moderními metodami využívajícími jeho rychlý náběh tuhnutí a tvrdnutí. Nastříkaná betonová vrstva spolu s dalšími podpůrnými prvky se jeví pro stabilizaci líce výrubu podzemní stavby jako ideální konstrukce, neboť ve velmi krátkém čase řádu několika minut vytváří reakční oporu na kontaktu s horninou a zabraňuje jejímu dalšímu rozvolňování. Přes rychlý náběh pevnosti stříkaného betonu a jí odpovídající nárůst modulu přetvárnosti proběhnou v raném stadiu zatěžování plastické deformace bez zjevného porušení struktury stříkaného betonu. Deformací vrstvy stříkaného betonu dochází k přerozdělení napjatosti, které se projevuje omezením lokálních horninových tlaků ve prospěch rovnoměrného obvodového zatížení. Výsledkem je relativně subtilní konstrukce v relaci k vyraženému příčnému průřezu tunelu či štoly. Vhodný tvar ostění v kombinaci s příhradovými výtěžnými rámy, ocelovými sítěmi a systémově osazovanými kotvami umožňuje využívat samonosných vlastností horninového masivu a stabilizovat výrub až do doby vybudování definitivního ostění dimenzovaného na předpokládané zatěžovací a provozní stavy po dobu projektované životnosti podzemního díla. Značná pestrost geologických podmínek v různých lokalitách ve vztahu k příčným průřezům podzemních staveb vyžaduje provádění geotechnického monitoringu, který zahrnuje jak vyhodnocování zatížených horninových poměrů, tak obsahuje celou řadu měření, především měření deformací. Podle těchto měření na líci primárního ostění ze stříkaného betonu lze usuzovat na velikost i časové působení zatížení od okolního horninového masivu. Podstatnou součástí moderních tunelářských metod je tedy operativní vyhodnocování monitorovanými zaznamenaných deformací tendencí i dalších průběžně získávaných výsledků s možností provádění bezprostředních opatření vedoucích k zesílení či naopak k vyšší úspornosti konstrukce ze stříkaného betonu.

## VLASTNOSTI STŘÍKANÉHO BETONU V OSTĚNÍ TUNELU

Aplikace stříkaného betonu je umožněna jeho nanášením v proudu stlačeného vzduchu. Mezi částice betonové hmoty je průběžně pod tlakem dopravován vzduch, který spolurozhoduje o dosažitelné hutnosti, pevnosti, odolnosti i dalších souvisejících vlastnostech stříkaného betonu. Je zde patrný zásadní rozdíl oproti standardnímu betonu, kdy obsah vzduchu je až na výjimky co nejvíce minimalizován přísadami a technologií zpracování.

Základním a nejdůležitějším parametrem pro konstrukční stříkaný beton v oblasti podzemních staveb je již zmíněný rychlý náběh tuhnutí a tvrdnutí nastříkané betonové hmoty. Nárůst tuhnutí a počáteční pevnosti musí splňovat dvě technologická kritéria. Jednak musí zajišťovat stabilizační účinky na líci horniny již při malé nastříkané vrstvě do tloušťky cca 5 cm a současně musí umožňovat nástřík dostatečné konstrukční tloušťky najednou nanášené vrstvy na převyšlých plochách výrubu (stříkání do klenby) zpravidla až do tloušťky 15 cm.

Podobně jako u monolitických betonů je vyhodnocována pevnost v tlaku po 28 dnech. Tím je vytvořen předpoklad pro srovnání vlastností stříkaných i standardně prováděných betonů. Hodnota modulu přetvárnosti v relaci s dosažovanou pevností je jedním z podkladů pro statický výpočet primárního ostění. Tloušťka konstrukce je posuzována ze statického hlediska ještě podle ekonomicky dosažitelné pevnosti stříkaného betonu. Uvedený pojem pevnosti by měl

## INTRODUCTION

Large volumes of sprayed concrete are used in the Czech Republic as a dominating construction material for primary lining of traffic tunnels. Construction of traffic tunnels has experienced a boom owing to the efforts to finish the traffic infrastructure development as fast as possible so that relatively quick and user-advantageous passage of railway and road traffic through the Czech Republic in the new configuration of the EU is possible. This development has been associated with a need for implementing new projects of significant magnitudes, more demanding in terms of capacities of all parties participating in the construction process. While a linkage of tunnel building companies to previous completed projects of similar importance is required (such projects could not be completed without expertise of key personnel in the field of underground construction), a shift had to be accepted regarding owners and consulting/designing companies, i. e. new firms employing personnel lacking any experience in the field of tunnel construction. Obviously, this condition resulted in occurrence of extremes, i. e. insufficient or improper sprayed concrete specifications in tender documents, or exaggerated requirements for frequency or objectives of checking tests with respect to the relatively short (temporary) structural function of primary lining in tunnels. Both above-mentioned deviations are undesired. If those issues are understood differently in meetings, they can become a reason for extension of construction times or increase in the cost of the excavation face support using sprayed concrete. The text below contains data that can provide basic information on the conception of issues of sprayed concrete used as part of load bearing tunnel structures in the underground or in portal areas.

## ROLE OF SPRAYED CONCRETE IN DOUBLE-SHELL LINING

Sprayed concrete has become a common term among technical professionals. It is inseparably associated with modern tunnel construction methods using its property of rapid development of setting and hardening. A layer of sprayed concrete, together with other supporting elements, is considered an ideal structure for stabilisation of an underground opening surface, as it forms a reaction support at the contact with the rock mass and prevents further deterioration of the rock mass. Despite rapid development of sprayed concrete strength and corresponding development of the deformation modulus, plastic deformations take place in the early stage of loading, without visible breaking of the sprayed concrete structure. The stress redistributes due to the deformation of the sprayed concrete layer. The redistribution translates into limitation of local rock pressures for the benefit of the uniform circumferential loading. A relatively subtle structure is the result, compared to the tunnel or gallery excavated cross-section. Proper geometry of the lining combined with lattice girders, steel mesh and systematically installed anchors allow exploitation of self-supporting properties of the rock mass, and stabilisation of the excavated opening until the final liner is erected (having dimensions designed for loading and operational states assumed for the design life of the underground structure).

A considerable variety of geological conditions within different locations in relation to the cross sections of underground structures requires execution of geotechnical monitoring, which encompasses both assessment of rock conditions encountered and a number of measurements, deformation measurements above all. The magnitude and time development of the loads can be deduced from those measurements, being carried out on the surface of the sprayed concrete primary lining. Therefore, significant part of modern tunnelling methods is an operative assessment of deformation tendencies recorded by the monitoring, and assessment of other continually collected results, with a possibility of immediate implementation of measures leading to reinforcement or, conversely, improvement of the sprayed concrete structure economy.

## PROPERTIES OF SPRAYED CONCRETE IN TUNNEL LINING

The application of sprayed concrete is possible by spreading it in a stream of compressed air. Pressurised air is continuously supplied among particles of concrete matrix. This air participates in deciding on the achievable density, strength, resistibility and other related properties of sprayed concrete. There is a basic difference visible compared to traditional concrete, where, apart from exceptions, the air content is minimised using admixtures and specific processing techniques.

The basic and most important parameter for structural sprayed concrete used in the field of underground construction is the above-mentioned rapid development of setting and hardening of concrete matrix early after application. The rate of growth of setting and initial strength must meet two technological criteria. It must ensure stabilisation effects on the rock face already at a thin applied layer (up to about 5 cm thickness), and, in the same time, it must allow application of sufficient thickness of concrete layer on above-head surfaces (e.g. the vault crown), usually up to 15 cm. Similarly to cast-in-situ concretes, the compressive strength is assessed after 28 days. This allows comparison of properties of sprayed concretes and traditionally cast concretes. The value of the deformation modulus in relation to the strength achieved is one of the data used for structural calculation of primary lining. In addi-



zahrnout možné negativní vlivy lidského faktoru především při jeho nanášení. Při provádění jsou zatím standardně využívány pevnostní třídy C 16/20 (SB 20) a C 20/25 (SB 25).

Další vlastnosti stříkaného betonu nejsou u primárních ostění zpravidla sledovány, neboť se jedná o konstrukci s dočasnou statickou funkcí, jejíž úloha končí po vybetonování definitivního monolitického ostění. Cílem tedy je zřízení co nejlépejší nosné konstrukce, která je u převládajících dvouplášťových ostění plně staticky nahrazena definitivním monolitickým ostěním zpravidla v době do jednoho roku po jejím nanášení a je díky osazení mezilehlé foliové izolace "obětována" možným účinkům podzemní vody.

### RECEPTURA, VÝROBA BETONOVÉ SMĚSI PRO NÁSTRÍK A ZKOUSKY

Materiálové složení stříkaného betonu musí být plně přizpůsobeno technologii provádění, náběhu pevnosti i pevnosti po 28 dnech. Vzhledem k potřebným rychlým náběhům tuhnutí i pevnosti betonu v tlaku je v našich podmínkách nejčastěji využito portlandských cementů vyšších pevností, tj. nejméně třídy CEM I 42,5 R v dávkování 400 až 450 kg na 1 m<sup>3</sup> namíchané směsi.

Aby byla dosažena co možná nejnižší cena, je nutné při návrhu receptury vycházet ze složek kameniva běžně na betonárnách dostupných a zatížených co možná nejnižšími dopravními náklady, které zpravidla jsou podstatnou položkou z nákladové ceny kameniva. V případě suché aplikace stříkaného betonu je podstatně vhodnější používání frakcí přírodního nedrceného kameniva, které nezpůsobuje tak vysoké opotřebení těsnění, hadic i trysek. Doporučené pásmo čáry zrnitosti je uvedeno na str. 9 lit. [2], přičemž pro kamenivo domácí provenience nelze zpravidla vyhovět stanovenému obsahu jemných částic do velikosti 0,5 mm. Frakce používaného kameniva jsou vymezeny horní hranicí síta 11,2 mm zejména vzhledem ke stříkání na armaturu sestávající ze sítí a výztužných příhradových rámu. Větší zrna kameniva by mohla při nástřiku způsobovat deformaci slabších průřezů sítí a vyvolávat jejich výrazné vibrace. Jejich použití je rovněž nepřijatelné zejména pro značnou nebezpečnost pro členy pracovní osádky při jejich odrazu.

Při mokřím způsobu provádění stříkaného betonu řídkým či hutným proudem je nutné při míchání betonové směsi přidávat kromě vody rovněž vysoce účinný plastifikátor snižující vodní součinitel a umožňující tím zvýšení reaktivnosti urychlující přísady.

V případě používání pro technologii stříkání vhodných modifikovaných čerpadel na beton (doprava betonu k trysce hutným proudem) je možné doplnit recepturu o příměsi zlepšující čerpatelnost směsi obdobně jako u standardních betonů (nejčastěji popílek).

Nezastupitelnou složkou stvrzující odlišnost stříkaných betonů od betonů monolitických je přísada urychlující tuhnutí a tvrdnutí. V českých zemích se používají tekuté přísady přidávané v trysce do vzduchem unášeného proudu betonu. Dávkuji se přesnými dávkovacími zařízeními v relaci na nastavený výkon čerpadla na beton (mokřý způsob) či výkon použitého stříkacího stroje (suchý způsob). Pro stříkání do klenby tunelu se hmotnost urychlující přísady k hmotnosti tryskou protékajícího cementu může zvyšovat až do hodnoty 8 %.

Specifikací receptury stříkaného betonu by měl stanovit zhotovitel stavby tunelu v úzké spolupráci s pracovníkem laboratoře, který vyhodnocoval průkazní a běžné kontrolní zkoušky na předchozích tunelových stavbách. Ve specifikaci by měly být zahrnuty poznatky z předchozích aplikací, způsob nanášení (suchá či mokrá cesta), odlišnosti ve složení betonové směsi vzhledem k použitým strojům a nastavení jejich výkonu (stříkací stroj, čerpadlo na beton) a zohledněna účinnost a dávkování přísad (plastifikační a urychlující přísada) zejména s ohledem na aktuální teplotu vzduchu i vstupní teplotu betonové směsi.

Pro usnadnění specifikace receptury stříkaného betonu jsou dále uvedeny dvě receptury používané na stavbách liniových podzemních staveb umožňující po nástřiku dosažení pevnosti 25 MPa (SB 25 - C 20/25). Receptury jsou uvedeny pouze pro základní orientaci - každé nové použití nenavazující bezprostředně na probíhající aplikaci vyžaduje za jiných vstupních podmínek provedení průkazních zkoušek. Stanovení receptury na nové stavbě by mělo být provedeno pracovníkem majícím předchozí zkušenosti s odladováním poměru jednotlivých složek betonové směsi z hlediska použitých strojů i s ohledem na vlastnosti kameniva z použitelných lokalit.

#### Betonová směs pro nástřik suchou cestou na 1 m<sup>3</sup>:

Cement CEM I 42,5 R	440 kg
Kamenivo 0-8 mm	1090 kg
Kamenivo 4-8 mm	480 kg
Roztok urychlující přísady s vodou, přidávaný do trysky	cca 190 kg
Urychlující přísada Prestix nebo Ekosal nebo Fastex	6 až 8 % k váze cementu

#### Betonová směs pro nástřik mokrou cestou na 1 m<sup>3</sup>:

Cement CEM I 42,5 R	430 kg
Kamenivo 0-4 mm	1025 kg
Kamenivo 4-8 mm	645 kg
Plastifikátor ViscoCrete 5 SB	4 kg
Voda	cca 175 kg
Urychlující přísada Sigunit 53 AF	5,5 až 8 % k váze cementu

Zkoušky tuhnutí a počáteční pevnosti do hodnoty 1 MPa jsou prováděny penetrační jehlou. Pevnosti od hodnoty 3 MPa do 17 MPa jsou zjišťovány přístrojem Hilti-Tester 4, kterým se vytáhají hřeby definovaných rozměrů nastřelené do vzorků pistolí Hilti DX 450 L se zelenými nábojkami. Pevnosti stříkaného betonu ve stáří 3 a 28 dní se přednostně kontrolují na vývrtech průměru 10 cm odebra-

tion, the structure thickness is assessed, from structural point of view, according to economically attainable strength of the sprayed concrete. The above-mentioned term for strength should encompass possible negative effects due to the human factor, taking place during the spraying phase above all. Strength classes C 16/20 (SC 20) and C 20/25 (SC 25) have been used for spraying as a standard till now.

Other properties of sprayed concrete are not usually followed in case of the primary lining application, as this is a structure having a temporary structural function; its role is over once the final lining has been cast. Therefore, in the cases of prevailing double-shell liners, the objective is to build temporary load bearing structures as cheap as possible, to be fully replaced (in structural terms) by the final cast-in-situ lining, carried out usually within a one-year period after the sprayed concrete layer application. Due to the installation of intermediate waterproofing membrane, this layer is eventually sacrificed to the possible groundwater effects.

### FORMULA, PRODUCTION OF CONCRETE MIX FOR SPRAYING AND TESTING

Material composition of sprayed concrete must be fully adapted for the application technology, initial strength build-up, and strength at 28 days. Because of the need for rapid development of setting and compressive strength build-up, higher strength portland cements are the most frequently used, i. e. classes CEM I 42.5 R, with doses of 400 to 450 kg per 1 m<sup>3</sup> of concrete mix.

To achieve the lowest possible cost, it is necessary to use aggregates available commonly in batching plants, i. e. aggregates burdened by the lowest transportation expenses, which are usually a substantial item of the cost price. In case of dry mix application technique it is much more suitable to use natural uncrushed aggregates, which do not cause so intensive wear of the sealing, hoses and jets. Recommended range for the grading curve is stated on page 9 Ref. [2] (the specified content of fine particles of the size up to 0.5 mm is usually hard to be maintained in case of domestic provenience aggregates). Fractions of grain-size of the aggregates used are determined by the 11.2 mm upper limit for the sizing screens, namely with respect to spraying on reinforcement consisting of steel mesh and lattice girders. Larger grains of the aggregates could cause deformation of thinner bars and generate significant vibrations of the reinforcement. Their utilization is also unacceptable because of posing considerable danger to the crew members due to the rebound.

If the wet process is applied using a thin or dense stream, it is necessary to add a highly efficient water reducer apart from water when the concrete is being mixed, to reduce the cement-water ratio, thus to allow increasing of the accelerator reactivity.

When modified concrete pumps suitable for the shotcrete application are used (dense stream of concrete passing through the nozzle), the concrete formula can be adjusted by adding admixtures improving pumpability of the concrete mix (most often fly ash), similarly to traditional concretes.

Irreplaceable component, confirming the difference of sprayed concretes and cast-in-situ concretes, is the admixture accelerating the process of setting and hardening. Liquid accelerators added at the nozzle to the by-air-carried concrete stream are used in Czech regions. They are dosed by precise dosing units, in relation to the pre-set output of the concrete pump (wet process) or the output of the concrete sprayer used (dry process). For concrete application on a tunnel vault crown, the ratio of the accelerator weight to the weight of cement flowing through the nozzle can increase up to a value of 8 %.

The sprayed concrete mix formula should be specified by the tunnelling contractor in close co-operation with the laboratory worker who assessed the results of preliminary demonstration tests and common check tests for previous tunnelling projects. The specification should take into consideration the knowledge gained from previous applications, the application technique (wet or dry process), differences in the concrete mix composition with respect to the equipment used and set outputs (concrete sprayer, concrete pump) and efficiency and dosing of admixtures (plasticising and accelerating admixtures), namely with respect to actual ambient temperature and initial temperature of the concrete mix.

To make the specification of the sprayed concrete formula easier, there are 2 formulas presented below, which are used in construction of underground linear structures. These formulas allow strength of 25 MPa to be achieved after the sprayed concrete application (SC 25 - C 20/25). They are presented for the purpose of basic orientation only; any new application that does not link directly to an application being just in progress requires, if the conditions are different, execution of pre-construction tests. A formula for a new project should be developed by a person having previous experience in adjusting the ratios of individual concrete mix components with respect to the equipment to be used and to properties of aggregates supplied from the sources available.

#### Concrete mix for an application using the wet process (per 1 m<sup>3</sup>)

Cement CEM I 42.5 R	440 kg
Aggregate 0-8 mm	1090 kg
Aggregate 4-8 mm	480 kg
Solution of accelerating admixture with water (added at the nozzle)	about 190 kg
Accelerating admixture Prestix or Ekosal or Fastex	6 to 8 % of cement weight

#### Concrete mix for an application using the dry process (per 1 m<sup>3</sup>)

Cement CEM I 42.5 R	430 kg
Aggregate 0-8 mm	1025 kg
Aggregate 4-8 mm	645 kg
Water reducer ViscoCrete 5 SB	4 kg
Water	about 175 kg
Accelerating admixture Sigunit 53 AF	5.5 to 8 % to cement weight

ných z nastříkaného ostění (případně z nastříkaných dřevěných forem) po dosažení předpokládané pevnosti 10 MPa. Podle dosavadní tuzemské praxe lze četnost zkoušek doporučit dle tabulky na str. 25 lit. [2], tj. u větších staveb zpravidla 1 x za měsíc. V případě pochybností o nárůstu pevnosti v prvních hodinách po nástřiku lze doplnit kontrolní zkoušky operativními zkouškami penetrační jehlou, které provádí proškolený technik stavby.

### PROVÁDĚNÍ STŘÍKANÉHO BETONU, KVALITA, TEPLOTA

Provádění stříkaného betonu se musí řídit řadou závazných pravidel, které mají podstatný vliv na jeho okamžitou kvalitu i konečné vlastnosti. Ztuhnutí stříkaním nanášeného betonu a uložení na podklad probíhá v jediném okamžiku. Jedná se o proces nevratný či jednoduše neopravitelný, o jehož průběhu rozhoduje člověk držící trysku či ovládající manipulátor s tryskou. Kvalita hutnění směsi připravované proudem vzduchu je nejlepší při kolmému dopadu proudu betonu. Vzdálenost ústí trysky od podkladu má být od 1,0 do 1,8 m, v závislosti na používaném strojním zařízení a nastaveném výkonu. Dodržování kolmosti dopadu částic stříkaného betonu rozhoduje podstatně o množství spadu, který se i při optimálním provádění může pohybovat průměrně kolem 10 % pro mokrá způsob a 25 % pro suchý způsob stříkání. Uvedené hodnoty jsou hrubě orientační, neboť do procesu vstupují i další vlivy, jako je například kvalita podkladu (nestabilní líc výrubu, hornina s výrony vody, zmrzlá hornina apod.), zvolená receptura, komplexní pracovní návyky operátora trysky apod.

Tak jako u standardního monolitického betonu je také u stříkaného betonu tuhnutí a tvrdnutí velmi závislé jak na vlastní teplotě směsi, tak na teplotě okolního prostředí. Teplota povrchu horninového masivu v tunelu se pohybuje většinou v úzkém rozsahu 7 až 10 °C. Za bezproblémové lze považovat teploty betonu i okolního vzduchu od 13 do 25 °C. Při teplotách směsi nad 25 °C se snižuje doba zpracovatelnosti namíchané směsi oproti standardním poměrům, při kterých lze zpracování směsi bez ztráty kvality stanovit po dobu 1,5 hodiny. Podstatně častější je výskyt nižších teplot vzduchu mimo letní období a s ním zpravidla spojené výkyvy teploty připravené betonové směsi pod 13 °C. Teplota namíchané betonové směsi pod 5 °C by měla být nepodkročitelná zejména s ohledem na podstatně sníženou až vyloučenou funkčnost urychlující přísady, která je závislá na teplotou podmíněné vlastní hydrataci cementu. Aplikace stříkaného betonu pod teplotou vzduchu 5 °C je s ohledem na použití urychlující přísady možná, vyžaduje však analýzu dalších teplotních podmínek a provedení opatření vedoucích ke zvýšení teploty zpracovávané betonové směsi zahřátím některých složek směsi (především vody, kameniva, eventuálně i temperováním urychlující přísady), tj. provedení zimních opatření obdobných jako u monolitického betonu. Přidání urychlující přísady v trysce má za následek zahájení chemické reakce s cementem, jež je obvykle prováděna postupným zvýšením teploty do doby 12 hodin po nástřiku a jejím jen mírným snižováním při dalším nárůstu pevnosti do 24 hodin. Při dostatečné "startovní" teplotě stříkané betonové směsi s urychlující přísadou je voda v nastříkaném betonu vázána v chemické reakci doprovázené relativně rychle se rozvíjející pevností. Tak může stříkaný beton bez poškození odolat úšinkům teplot vzduchu i mírně pod bodem mrazu.

### KVALIFIKACE NASTŘÍKÁVAČŮ

Vzhledem k podstatnému vlivu lidského faktoru na pevnost v tlaku byly lety praxe ověřeny a zformulovány instrukce pro práci nastříkavače při aplikaci stříkaného betonu. V podstatných bodech je možná jejich formulace v následujících imperativích:

1. Odmítní stříkat na špatně připravenou ocelovou výztužnou síť (při nástřiku vibruje, místy je upevněna daleko od líce výrubu, nástřik přes 2 sítě apod.);
2. Udržuj ústí trysky ve vzdálenosti 1,0 až 1,5 m (výjimečně s manipulátorem až 1,8 m) od plochy podkladu;
3. Stříkání směsi prováděj při kolmém směru nástřiku na plochu podkladu (výjimka ruční stříkání nad hlavou, ruční zastříkávání nestabilního výrubu hrozcího zřícením) přednostně při zachování krouživého pohybu trysky;
4. Žádej, aby rychlost vzduchu vystupujícího z trysky byla na stříkacím stroji případně kompresoru upravena (snížena) a umožnila provádění nástřiku na vzdálenost dle bodu 2 (seřízení horního vzduchu na stříkacím stroji u suchého způsobu, snížení množství vystupujícího vzduchu z kompresoru do trysky u mokrého procesu);
5. Žádej, aby u suchého způsobu množství vzduchu vystupujícího z trysky bylo na stříkacím stroji upraveno (sníženo) a bylo v relaci s množstvím dopravované směsi, vlhkostí betonové směsi a délkou vedení hadic mezi stříkacím strojem a tryskou (seřízení spodního vzduchu na stříkacím stroji při suchém způsobu);
6. Při provádění nástřiku suchým způsobem sleduj pozorně povrch nanášeného betonu a nastav ovládací ventil vodního roztoku s urychlující přísadou tak, aby beton vykazoval matný lesk (nesmí být na něm vodní film nebo naopak aby nedocházelo k velkému spadu neslepením jednotlivých zrn směsi nedostatkem vody);
7. Začni se střídavým vyplňováním největších nadvýlomů tak, abys na totéž místo stříkal s přestávkou alespoň 5 minut vrstvu do tloušťky 5 až 8 cm;
8. Stříkaný beton u ukloněných (nepřevýšlých) a svislých ploch nanášej postupně čerstvého betonového koláče vodorovně na délku záběru postupně odspoda nahoru na potřebnou tloušťku najednou avšak maximálně 20 cm;
9. Stříkaný beton u převýšlých ploch a klenb nanášej nejříve na nově osazené výztužné rámy Bretex (cca po 1 m směrem k vrcholu klenby) a potom postupně tvoř mezi sousedními Bretexy klenbičky o maximální tloušťce vrstvy 10 cm (u Bretexů) a cca 7 cm v poloviční vzdálenosti mezi nimi. Při

The testing of setting and initial strength up to a value of 1 MPa is carried out using the penetration needle. Strengths from a value of 3 MPa to 17 MPa are determined using the Hilti-Tester 4. This apparatus pulls nails of pre-defined dimensions, shot in the samples with the Hilti DX 450 L cartridge hammer charged with green cartridges. The strengths of sprayed concrete at an age of 3 and 28 days are preferably checked on core samples sawn from the sprayed concrete lining (or from wooden moulds filled with sprayed concrete) when the expected strength of 10 MPa has been reached. According to the domestic practice so far, the testing frequency can be recommended according to the table on page 25 Ref. [2], i. e. for larger projects usually once a month. In case of doubts about the strength build-up in initial hours after the sprayed concrete application, it is possible to add operative testing with the penetration needle to the check tests. The operative testing is carried out by a trained technician employed by the contractor.

### APPLICATION OF SPRAYED CONCRETE, QUALITY, TEMPERATURE

The process of application of sprayed concrete must conform to several binding rules, which affect significantly both its momentary quality and final properties. Compaction due to the spraying process and placement of concrete on the substrate take place in the same moment. This process is irreversible, or irreparable in a simple way. The person holding the nozzle or controlling the manipulator boom with the nozzle decides on the course of this process. Quality of compaction of the mix conveyed by the stream of air is the best if the incidence angle is perpendicular. The nozzle mouth distance from the substrate should be 1.0 to 1.8 m, depending on the equipment used and the set output. The maintenance of perpendicularity of the sprayed concrete particles incidence decides significantly about the rebound volume (the rebound volume may vary in average about 10 % and 25% for the wet and dry process respectively). The above-mentioned values are rough, since even other effects, as for example the substrate quality (unstable excavation face, rock mass with water strikes, frozen ground etc.), the concrete formula chosen, complex work habits of the nozzleleman, etc.

The same as it is at traditional cast-in-situ concrete, the setting and hardening of sprayed concrete depends substantially on its own temperature and ambient temperature. Temperature of rock mass surface in a tunnel varies mostly within a narrow range of 7 to 10 °C. Concrete and ambient air temperature from 13 to 25 °C can be considered acceptable. At the mix temperatures exceeding 25 °C, the application life of the mix is reduced (compared with standard conditions, for which the limiting time of 1.5 hours for the mix application without a quality loss can be specified). Much more frequent is the occurrence of lower ambient temperatures (in other seasons than the summer), associated with fluctuation of the concrete pre-mix temperature under 13 °C. The prepared concrete mix temperature should never be lower than 5 °C, above all with respect to the significantly reduced or even eliminated functionality of the accelerating admixture, which depends on the cement hydration proper, contingent on the temperature. Application of sprayed concrete at ambient temperatures under 5 °C is possible if an accelerator is used, but this requires an analysis of other temperature conditions and implementation of measures leading to an increase in the concrete mix being processed, by heating up some mix components (above all water, aggregates, or even by moderate heating up the accelerator), i. e. implementation of "winter season measures" similar to those used for in-situ concrete casting. The addition of accelerator at the nozzle results in a commencement of a chemical reaction with cement. This reaction is usually followed by continuously increasing temperature (till 12 hours after the application), and only moderately decreasing temperature accompanying a further increase in the strength (till 24 hours). If the "starting" temperature of the sprayed concrete and accelerator is sufficient, water contained in the already applied concrete is bound in a chemical reaction accompanied by relatively rapidly developing strength. This is how sprayed concrete can survive ambient temperatures even slightly under the freezing point without suffering a damage.

### QUALIFICATION OF NOZZLE OPERATORS

Because of the significant influence of the human factor on the compressive strength, instructions on the work of nozzle operators applying concrete by spraying were formulated, after years of verification in the practice. The main points can be formulated using the following imperatives:

1. Refuse to apply sprayed concrete on poorly prepared steel mesh (vibrating during the spraying, locally fixed at a too large distance from the rock face; spraying through two layers of the mesh, etc.);
2. Keep the nozzle mouth at a distance of 1.0 to 1.5 m (exceptionally up to 1.8 m when a manipulator is used) from the substrate surface;
3. Apply the mix keeping the nozzle perpendicular to the substrate surface (overhead hand-spraying and hand-spraying of an unstable excavation under a threat of collapsing are the only exceptions);
4. Insist that the velocity of the air leaving the nozzle be adjusted (reduced) on the spraying machine or the compressor so that the spraying can be carried out from the distance specified in the item 2 (adjustment of the upper air supply on the sprayer in case of the dry process; reduction in the air flow supplied from a compressor to the nozzle in case of the wet process);
5. Insist, in case of the dry process, that the air flow passing the nozzle be adjusted (reduced) on the sprayer, to be in proper relation to the volume of the concrete mix being conveyed, moisture of the mix and the length of hoses between the sprayer and the nozzle (adjustment of the bottom air on the sprayer in case of the dry process);
6. In case of the dry process, follow carefully the surface of the applied concrete, and set the water + accelerator solution control valve so that the surface exhibits dull lustre (the surface must not be covered with a water film, or



nástřiku dbej na dodržení postupné symetrie nanášení po obvodě profilu (dle velikosti příčného řezu - minimálně v členění např. levá, pravá opěra, levá, pravá klenba);

10. Dběj na přímé vedení dopravních hadic pro betonovou směs k trysce. Ohyby na vedení včetně posledního oblouku pro nasměrování trysky musí mít co největší poloměr;
11. Dběj, aby přírodní hadice vody s urychlující přísadou nebo u mokrého způsobu přírodní hadice přísady a stlačeného vzduchu byly ve všech spojkách i u stříkací trysky těsné a nevykazovaly nikde žádné úniky.

Kromě uvedených základních instrukcí jsou zpravidla další závazná ustanovení uvedena v technologickém postupu ražby tunelu, který respektuje zvláštní technicko-kvalitativní podmínky (ZTKP), TKP investora stavby i parametry zadání v realizační dokumentaci.

Připravuje se program školení s praktickým přezkoušením nástřikávačů. Program bude určen pro pracovníky, kteří budou provádět nástřik definitivních konstrukcí ze stříkaného betonu, jejichž četnost je zatím malá, ale jejichž uplatnění v podzemí je výhledově zřejmé tam, kde nebude možné realizovat bednění se začerpáním monolitického betonu.

### ZÁSADY PRO POUŽÍVÁNÍ STŘÍKANÉHO BETONU, PRACOVNÍ SKUPINA ČTUK

Z výše uvedeného textu jsou patrné zásadní odlišnosti stříkaného betonu od standardního betonu monolitického. Aby byla možná i jistá tuzemská legislativní orientace i v oblasti stříkaného betonu, zpracovala pracovní skupina pro stříkaný beton "Zásady pro používání stříkaného betonu", které by mohly sloužit pro účastníky výstavby jako základní podklad do doby, než budou k dispozici příslušné evropské normy či směrnice schválené v rámci Evropské unie. "Zásady" jsou k dispozici ke stažení na webové stránce Českého tunelářského komitétu (viz literatura [2]). Na uvedené webové stránce je v informacích o pracovních skupinách uváděno zaměření činnosti pracovní skupiny v právě probíhajícím roce. Členy skupiny jsou specialisté z organizací realizujících podzemní konstrukce či stavby a rovněž zástupci projektových společností i vysokých škol. Kromě "Zásad" se předpokládá v informacích na webu zveřejňovat některé další důležité výstupy či závěry z činnosti tuzemské či mezinárodní pracovní skupiny pro stříkaný beton při ITA-AITES.

V "Zásadách" je vymezena relativně široká problematika, kterou lze z hlediska aktuálního přístupu k návrhu a vyhodnocování vlastností stříkaného betonu zjednodušit do bodů zčásti již zmíněných výše:

#### A. Základní technické požadavky na stříkaný beton pro konstrukce podzemních staveb

V podzemním stavitelství je stříkaný beton používán dominantně jako součást konstrukce primárního ostění tunelů, štol či šachet. Přitom musí být splněny především tyto dvě technicko-kvalitativní podmínky:

1. Rychlé tuhnutí (pro mladé stříkané betony stáří do 24 hodin) vymezené oborem  $J_2$  (viz str. 20 lit. 2). Důvodem řízeného a při výstavbě zpravidla opakovaně kontrolovaného náběhu pevnosti stříkaného betonu je:

1. Zajistit dostatečně účinnou stabilizaci povrchu líce výrubu v krátké době po nástřiku.
2. Umožnit nástřik v silnější vrstvě najednou pokud možno s co nejnižším spadem zejména na převýšených plochách a na klenbách výrubu.
3. Umožnit nástřik na vlhký horninový podklad a uzavřít menší průsaky vody na líci výrubu.
4. Zajistit dostatečnou přilnavost stříkaných vrstev betonu při přerušeniích či přestávkách při nástřiku v rámci jedné pracovní operace.
5. Umožnit plastický průběh deformací bez trhlin ve vytvářené konstrukci ostění-hornina zejména v prvních hodinách a dnech po aplikaci.

Zatímco první 3 body by vyžadovaly co nejrychlejší tuhnutí stříkaného betonu např. v oboru  $J_3$ , body 4 a 5 spadají spíše do oboru  $J_1$ . Logickým kompromisem je náběh tuhnutí a tvrdnutí v oboru  $J_2$ . Průběh počátečních pevností plynule navazuje na obvykle vzrůstající pevnost běžných betonových směsí s portlandskými cementy podle zastížených podmínek v rozmezí od 9. do 20. hodiny po namíchání směsi až do doby zjišťované 28denní pevnosti.

2. Splnění pevnostní konstrukční funkce (stejně jako u monolitických betonů) dosažením předepsané 28denní pevnosti.

#### B. Vymezení obvyklých hranic pro hospodárné využití SB

Při návrhu konstrukce primárního ostění ze stříkaného betonu se doporučuje počítat s předepsáním nejvýše 25 MPa krychelné pevnosti v tlaku. Tento požadavek vychází ze současné tuzemské praxe a zdůvodňuje se používanými recepturami, současnými aplikačními podmínkami, určením stupně vlivu prostředí a hospodárnosti provádění.

V recepturách se množství cementu na 1 m<sup>3</sup> namíchané betonové směsi podmiňují dosahované pevnosti stříkaného betonu pohybuje v rozmezí 400 až 450 kg. Další zvyšování množství cementu je neekonomické a nevede již k výraznějším nárůstům rané ani konečné pevnosti stříkaného betonu. Zvýšené dávkování cementu do směsi (cca o 100 kg) oproti monolitickým betonům je nutné na vlastní vykrytí principu technologie provádění (doprava a hutnění betonu proudem stlačeného vzduchu) i s ohledem na možné chyby při aplikaci ovlivněné lidským faktorem. Nástřikávač určuje při ručním nástřiku stejně jako při nástřiku s pomocí manipulátoru aplikační podmínky, které rozhodují o míře zhutnění, tj. určují také pevnost stříkaného betonu v tlaku. Na odhadu a rozhodnutí nástřikávače (případně po jeho domluvě s ostatními členy pracovní osádky) jsou závislé zejména: Úhel nástřiku, vzdálenost trysky od podkladu, rychlost vyletující směsi, poměr vzdu-

vice versa, excessive rebound must not occur due to a lack of water preventing the mix particles from sticking together),

7. Start the work by cyclic filling of the biggest cavities, with spraying at the same spot at at least 5-minute intervals (a single layer thickness from 5 to 8 cm),
8. Apply sprayed concrete on sloping surfaces (not overhanging surfaces) and vertical surfaces, shifting the fresh concrete cake horizontally along the excavation round length, continuing from the bottom to the top, maintaining the required thickness sprayed in a single application (20 cm being a maximum),
9. Apply sprayed concrete to overhanging surfaces and vaults, covering the newly installed Bretex lattice girder first (roughly every 1 m, proceeding toward the vault crown), and then, step by step, form little vaults between neighbouring Bretex girders, with maximum layer thickness of 10 cm (at the girders) and about 7 cm at the middle between the girders. During the application pay attention to maintaining symmetry in the particular steps of covering the profile circumference (depending on the cross-section dimension - with a minimum sequencing to e.g. the left and right side wall, left and right vault),
10. Take care of keeping the hoses conveying the concrete mix to the nozzle straight. The radii of bends on the hose line, including the last bend serving for the nozzle targeting, must be as large as possible.
11. Take care of keeping the hoses supplying water with accelerator, or the hoses supplying the admixture and compressed air in case of the wet process, tight and exhibiting no leakage at all joints, including the nozzle connection joint.

Other binding provisions, apart from the above-mentioned basic instructions, are usually contained in the tunnel excavation method statement. The statement respects special technical and quality specifications, technical and quality specifications issued by the employer, and parameters required by design documents.

A programme of training sessions is being prepared, containing also a practical exercise for nozzle operators. The programme will be designed for workers who will erect definitive structures using sprayed concrete. Frequency of such structures has been low by now, but their application in the underground in the future is obvious in the situations where the operation of erecting a formwork and pouring concrete behind will be impossible.

### GUIDELINES FOR UTILISATION OF SPRAYED CONCRETE, CTuC WORKING GROUP

There are basic differences between sprayed concrete and traditional cast-in-situ concrete obvious from the above text. To allow certain domestic legislative orientation even in the field of sprayed concrete, the working group for sprayed concrete elaborated the "Guidelines for utilisation of sprayed concrete", which could serve for project participants as a basic document until relevant European standards or directives approved in the framework of the European Union are available. The "Guidelines" are available for downloading on the Czech Tunnelling Committee's web site (see Ref. [2]). The above-mentioned web site contains, in the information on working groups, the focus of the working group in the current year. Members of the group are specialists from organisations executing underground structures or projects, and also representatives of designing offices and universities. It is expected that in addition to the "Guidelines", the information published on the web will contain some other important outputs or conclusions made by the local or international ITA-AITES working groups for sprayed concrete.

The relatively wide scope of problems defined in the "Guidelines" can be simplified, from the point of view of the current attitude to design and assessment of properties of sprayed concrete, into the following items, already partially mentioned above:

#### A. Basic technical requirements for sprayed concrete for underground structures

Sprayed concrete is utilised in the field of underground construction dominantly as part of primary lining of tunnels, galleries or shafts. For this purpose, the following two technical and quality conditions must be met:

1. Rapid setting (an age of less than 24 hours for green concrete) determined by the range  $J_2$  (see page 20 Ref. 2). The purpose of the controlled, and during the construction usually repeatedly checked, sprayed concrete strength build-up is:

1. To secure sufficiently efficient stabilisation of the excavated ground surface within a short time period after the spray application
2. To allow a thicker single application of concrete, with as little rebound volume as possible, above all on overhanging surfaces and vaults.
3. To allow application on wet rock substrate and to seal minor leaks in the excavated ground surface
4. To secure sufficient tensile bond strength between applied concrete layers in cases of interruption or breaks during one spraying operation
5. To allow plastic deformation without cracks in the lining-rock structure, developing, above all, in the initial hours and days after the application.

While the first three items would require as fast setting of sprayed concrete as possible, e.g. within the range  $J_3$ , the items 4 and 5 fall rather to the range  $J_1$ . Logical compromise is the development of setting and hardening within the range  $J_2$ . The diagram of initial strengths links fluently to the usually growing strength of common concrete mixes containing portland cement (depending on the conditions encountered, within 9th to 20th hour after the mix preparation, till the time when the strength at 28 days is determined).

2. Fulfilling the function of a load bearing structure (the same as for cast-in-situ concretes) by achieving the 28-day strength required.

#### B. Determination of usual limits for economic exploitation of sprayed concrete

chu a přepravené směsi, postup nanášení po ploše výrubu, nastavený výkon stroje na stříkání betonu (SSB nebo pumpa), nastavení dávkovače urychlující přísady a zpravidla i tloušťka betonu nanášená v jedné vrstvě. Jinými slovy: Ani nejlépe sestavená a odladěná receptura nezaručuje při nedodržení vyhovujících podmínek při nástřiku dosažení projektem stanovené pevnosti stříkaného betonu v tlaku. Navíc k individuálním chybám přistupují i další ovlivnění (průsaky vody z horniny do čerstvě nastříkaného betonu, husté vyarmování či použití plnostěnných prvků výtuzje apod.), která mají zásadní vliv na homogenitu a tedy i rovnoměrnou pevnost stříkaného betonu v ploše konstrukce. Konstrukce primárního ostění je konstrukce, jejíž funkčnost je z hlediska statického působení dočasná. Definitivní ostění u dvouplášťové konstrukce podzemních děl přebírá dle statického výpočtu plně veškerá zatížení od okolního prostředí a se spolupůsobením s primárním ostěním (i když ve skutečnosti alespoň po nějakou dobu existuje) se vůbec nepočítá. Vzhledem k průměrné době uvažovaného využití primárního ostění ze stříkaného betonu (přibližně kolem jednoho roku) není vhodné a zejména ekonomické používat receptury a postupy zaručující odolnost vůči některému stupni vlivu prostředí. Konstrukce primárního ostění nemají být standardně dimenzovány na plný hydrostatický tlak podzemní vody, takže by neměly být ani 100 % vodotěsné. Pochopitelně měly by zajistit snížení průsaků podzemní vody z hlediska vydatnosti i polohově tak, aby bylo možné instalovat mezilehlou foliovou izolaci. Navíc podzemní konstrukce ze stříkaného betonu mají být relativně subtilní, aby v nich proběhla redistribuce napjatosti prováděná předpokládanými deformacemi v rámci systému ostění-hornina. Je třeba znovu zdůraznit, že u dvouplášťových tunelů se jedná o konstrukce ze stříkaného betonu s dočasně uvažovanou statickou působností. Cílem tedy je zajistit co nejlevnější stabilitu výrubu po relativně omezenou dobu (zpravidla do doby 1 roku) bez nároků na trvanlivost či odolnost vůči vlivu prostředí tak, jak jsou specifikovány v normě ČSN EN 206-1. Hodnocení vlivů prostředí by mělo pro tyto případy být obdobné jako v podmínkách odpovídajících značení X0.

## SOUČASNÉ A PLÁNOVANÉ APLIKACE STŘÍKANÉHO BETONU

### A. Tunel Mrázovka

Jedním z klasických uplatnění stříkaného betonu u velkého podzemního díla prováděného novou rakouskou tunelovací metodou byla výstavba městského tunelu Mrázovka, který bude uveden do provozu letos v srpnu. Poměrně podrobný popis podmínek realizace z hlediska stříkaného betonu je uveden v literatuře [7].

### B. Stříkaný beton svahů před tunelem Panenská

V blízkém časovém horizontu lze předpokládat stále širší uplatnění stříkaného betonu aplikovaného mokrou cestou na všech větších liniových podzemních dílech. Jedna z tendencí zákonitě povede k uplatnění stříkaného betonu jako definitivní konstrukce zejména v příportálových úsecích a v tvarově složitých propojkách a přechodech příčných průřezů tunelů. Definitivní konstrukce ze stříkaného betonu bude muset logicky vyhovovat všem nárokům během její životnosti – pak nároky na splnění příslušného stupně odolnosti vůči vlivu prostředí jsou zcela namístě. Jako příklad lze uvést využití stříkaného betonu jako trvalého podkladu pod plastovými deskami navrženými jako pohledová úprava svahů v rámci stavby tunelu Panenská v Krušných horách. Proto byla odladěna receptura stříkaného betonu s použitím mikrosilik, která má zvýšenou odolnost oproti účinkům CHRL. Vybrané hodnoty vlastností stříkaného betonu vyšetřené laboratoří v rámci průkazných zkoušek při porovnání různých receptur jsou patrné z příložené tabulky 1 a grafu 1. Ukazují, jak velký vliv na různé vlastnosti má použití metody nástřiku a příměsí.

### C. Stříkaný beton do obvodového vrubu

Samostatným technickým problémem bylo zajištění aplikace stříkaného betonu při metodě obvodového vrubu s předklenbou (MOVPP). Metoda byla zařita technickou pomocí pracovníků firmy BEC Freres S.A. Stříkaný beton ve vrubu představuje rovněž konstrukci primárního ostění, které zajišťuje výrub až do doby zřízení definitivního ostění z monolitického betonu. Princip MOVPP spočívá v provedení vrubu tloušťky 20 cm (v případě tunelu Březno) podél horní a boční části předem definovaného obvodu tunelu. Vrub je postupně po výřiznutí stanoveného pořadí a počtu segmentů obvodového vrubu vyplňován stříkaným betonem. Uložený beton po zatvrdnutí vytvoří ochrannou předklenbu ještě v předstihu před rozpojením horniny v trase tunelu. Předklenba má tvar komolého kužele, aby se jednotlivé předklenby mohly překrývat. Délka pily určuje délku prováděné předklenby, která je v případě tunelu Březno 5 m. S předchozí předklenbou se následná předklenba může překrývat o 2,5 až 0,5 m, tj. že délka záběru se volí podle zastížených geologických poměrů 2,5 až 4,5 m. Výrub v ploše příčného řezu tunelu probíhá najednou pod ochranou předem vytvořeného primárního ostění. Stabilita čelby je zajištěna sklolaminátovými kotvami délky 16 metrů. Předklenba z prostého betonu je v oblasti spodní části opět kotvena 4 m dlouhými radiálními kotvami, které se osazují bezprostředně po instalaci čelbových kotev. Do technického zadání pro výstavbu tunelu byly v dokumentaci pro zadání stavby převzaty parametry vycházející z uplatnění stříkaného betonu na stavbách ve Francii a Portugalsku, kde byly použity stříkané betonové směsi s hlinitanovými cementy. Tyto cementy se vyznačují zásadně rychlejšími náběhy tuhnutí a tvrdnutí než cementy portlandské. Vzhledem k tomu, že dovoz hlinitanových cementů z Francie byl výrazně dražší, úkolem bylo zajistit provádění stříkaného betonu suchým způsobem z tuzemských portlandských cementů a odladit jeho použití podle technologických potřeb výstavby tunelu. Proto byla zahájena na podmínky divize 5 nezvykle dlouhá série ověřovacích a porovnávacích zkoušek, které ukázaly rozdíly v průběhu tuhnutí a tvrdnutí různých vzorků cementů i betonových směsí.

*It is recommended that prescription of cube strength not exceeding 25 MPa be considered when the primary lining structure is being designed. This requirement is based on current domestic practice, and is explained by the concrete formulas used, current application conditions, determination of the degree of influence of the environment, and construction work economy.*

*The amount of cement per 1 m<sup>3</sup> of concrete mix which is a condition for achievement of required sprayed concrete strengths ranges from 400 to 450 kg in mix formulas. Further increasing of the cement amount is uneconomic and does not lead to a more significant increase in the early or final strength of sprayed concrete. The increased dosing of cement into the mixture (by about 100 kg) compared to cast-in-situ concrete is necessary to cover the technique principle itself (conveying and compaction by the compressed air flow) and with respect to possible errors in the application influenced by the human factor.*

*It is the nozzle operator who determines, both in case of hand spraying and robot spraying, the application conditions, which decide about the degree of compaction, i.e. determine the sprayed concrete compressive strength. The following aspects depend on the nozzle operator's judgement and decision most of all (with possible discussion with the other crew members): the spraying angle, nozzle distance from the substrate, velocity of the sprayed mixture, ratio of air to the conveyed mix, the spraying sequence over the excavated surface, the pre-set output of the concrete spraying machine (SSB or a pump), setting of the accelerator dosing unit, and usually also the thickness of concrete applied in a single layer. That is to say: Even the best-developed and debugged formula does not guarantee achievement of designed compressive strength of sprayed concrete when appropriate conditions are not maintained during the application. In addition to individual errors, there are other effects (water leaking from the rock mass into young sprayed concrete, narrow reinforcement or utilisation of massive elements for the support, etc.), which affect significantly the homogeneity, therefore also the uniform strength of sprayed concrete over the area of the built structure.*

*Primary lining is a structure whose functionality is temporary in terms of static action. According to structural analyses, final lining in case of double-shell structures of underground works takes all loads of the surrounding environment. The analyses do not take into account the interaction with the primary lining (even though it exists in practice at least for a certain time). Considering the average time for which the sprayed concrete primary lining action is anticipated (about one year), it is undesirable and, above all, uneconomic to use formulas and procedures guaranteeing special resistance to some of the impacts of the underground environment. The primary lining structures should not be, as a standard, designed for full hydrostatic head of ground water, therefore they should not be 100 % waterproof. Of course, they should provide reduction in groundwater seepage in terms of the flow rates and positions, so that an intermediate waterproofing membrane could be installed. In addition, underground structures from sprayed concrete are to be relatively subtle to allow stress redistribution accompanied by anticipated deformations within the lining-ground system. It must be stressed again that in double-shell tunnels, sprayed concrete structures are assumed to fulfil a temporary static role. For that reason the objective is to ensure the excavation stability as cheap as possible, for a relatively limited time (usually up to 1 year), without a need for longevity or resistance of the structure to environmental influences (specified in the ČSN EN 206-1 standard). For these cases, the assessment of environmental influences should be similar to that carried out in conditions corresponding to denomination X0.*

## CURRENT AND PLANNED APPLICATIONS OF SPRAYED CONCRETE

### A, the Mrázovka tunnel

*One of classical instances of sprayed concrete application on a large underground structure carried out using the New Austrian Tunnelling Method was the construction of the urban tunnel Mrázovka, which is going to be inaugurated this year, in August. A relatively detailed description of construction conditions in terms of sprayed concrete is contained in Ref. [7].*

### B, sprayed concrete cover on slopes before the Panenska tunnel

*Ever wider application of wet-sprayed concrete on all larger linear underground structures (Fig. 1) can be expected within a short time horizon. One of tendencies will certainly lead to application of sprayed concrete to final structures, mainly in portal sections, at cross passages with complicated geometry, and at transition sections between different tunnel cross-sections. Logically, a final structure from sprayed concrete will have to comply with all requirements existing in the course of its lifetime; then the requirements for meeting a relevant degree of resistance to environmental impacts are fully justified. As an example, we can mention the utilisation of sprayed concrete as a permanent substrate under plastic slabs designed as an architectural finishing of slopes in the framework of the Panenska tunnel construction in the Krusne Mountains. A formula for sprayed concrete using silica fume was developed for this purpose, which exhibits increased resistance to chemical thawing substances. Selected values of the sprayed concrete properties, tested by a laboratory in the framework of pre-construction testing, with comparison of different formulas, can be seen in Table 1 and Chart 1. They show the magnitude of influence of the spraying method and admixtures on various properties.*

### C, sprayed concrete for the pre-vaunting tunnelling method

*Application of sprayed concrete for the Pre-Vaulting Method (PVM) was a special technical problem. This method was backed by technical assistance provided by BEC Freres S.A. Sprayed concrete forming the pre-vault represents also the primary lining structure supporting the excavation until the cast-in-situ final lining is finished. The PVM method principle is such that a 20 cm-wide slit (for the Březno*



Po řadě nelehkých jednání, kdy prosazování názorů na časové technologické vazby zástupci divize 5 bylo s ohledem na absenci tuzemských zkušeností ostatními účastníky výstavby dlouho vetováno, se podařilo nakonec dohodnout změnu naběhu pevnosti: 8 MPa po 7 hod., 12,5 MPa po 14 hod., 17 MPa po 24 hod. a 28 MPa po 28 dnech. Z praktického hlediska se jeví jako nejpodstatnější pevnost 8 MPa, kterou lze považovat za jakousi "odbedňující" pevnost ve srovnání s betonáží monolitického betonu do formy. Pozdější hodnoty pevnosti byly odvozeny od výsledků statického výpočtu.

V další fázi bylo nutné provést proveditelnost a možné opakované reprodukce nárůstu potřebných pevností stříkaného betonu ve vrubu. Je nutné si uvědomit, že standardní aplikace stříkaného betonu v tuzemsku byly prováděny za plné vizuální kontroly operátora trysky ze vzdálenosti vhodné pro plošné nástřiky, tj. ze vzdálenosti 1 až 1,5 m. Nástřik betonu do vrubu se však vyznačuje nutným transportem proudu betonu vzduchem až na vzdálenost 5 m za současného zpětného proudění vytlačovaného vzduchu v úzkém prostoru segmentu, jehož limitní příčné rozměry se blíží hodnotám 0,2 x 0,8 m. Odražené částice betonu (spad) se stávají součástí vytvářené konstrukce. Hutnění betonu nastává po dopadu částic betonu přibližně rovnoběžně s podélnou osou tunelu, tj. kolmo na radiálně působící zatížení na vytvářenou předklenbu. Nelze vyloučit ani občasně uvolnění kusů horniny z líce vrubu, která se stává při vlastním stříkání překážkou a následně i součástí vytvářené konstrukce z nevytuzeného stříkaného betonu. Proto bylo obzvláště potřebné při průkazných zkouškách maximálně přizpůsobit podmínky provádění následně skutečné realizaci předklenby.

Vlastní průkazní zkoušky byly proto provedeny před portálem tunelu Březno do dřevěného bednění velikosti 5,0 x 1,0 x 0,2 m se strojním zařízením, které bylo již dodáno pro vlastní ražbu včetně manipulátoru osazeného na vrubovacím stroji. Pro zkoušky byly použity dvě balené kompresorovny, dvě čerpadla na tlakovou vodu, stříkací stroj Aliva AL-285 s integrovaným dávkovačem na urychlující přísadu.

Ačkoliv se podařilo při průkazných zkouškách dohodnutých hodnot pevnosti stříkaného betonu s recepturou portlandského cementu a s použitím urychlující přísady dosáhnout, bylo zřejmé, že rozvoj pevnosti je ovlivňován kromě dominující teploty také celou škálou dalších faktorů. Bylo proto dohodnuto, že úvodní ražba tunelu bude provázena rozšířeným měřením pevnosti na každé předklenbě pro získání potřebného souboru výsledků, které by zajišťovaly statisticky významnou množinu umožňující provedení závěrů v konkrétních podmínkách použití obvodového vrubu.

- Kontrolní zkoušky stříkaného betonu byly tedy prováděny zprvu jak stavbou, tak laboratorně na každé provedené předklenbě. Stavba zabezpečovala měření pevnosti v tlaku metodou Hilti-Tester na čele každého segmentu (lamely) po 7, 14 a 24 hodinách po dokončení zástřiku na posledním vyřezaném segmentu předklenby. Laboratoř přebírala 3 odvrtná jádra z boků a klenby každé obnažené konstrukce ostění a zjišťovala jejich pevnosti po 48 hodinách, případně po 72 hodinách a následně po 28 dnech. Podle získaných výsledků byla prováděna úprava receptury i opatření ke zlepšení technologie provádění a zabezpečení reprodukovatelnosti aplikace.

Zkoušená vlastnost Tested property	Stáří (dny) Age (Days)	MSB 25 (X0) WSC 25 (X0)	MSB 25-SI (XF4) WSC 25-SI (XF4)	SSB 25 (X0) DSC 25 (X0)
Krychelná pevnost (MPa) Cube strength	28	33,2	38,7	38,5
Maximální průnik (mm) Maximum seepage	40	18	16	33
CH.R.L. metoda „C“ odpad po 75 cykl. (g/m <sup>2</sup> ) C.T.S. method „C“ rebound after 75 cycles (g/m <sup>2</sup> )	59	2599	1097	9143

MSB 25 (X0) – základní receptura nástřikána mokrou cestou

WSC 25 (X0) – basic formula applied using wet process

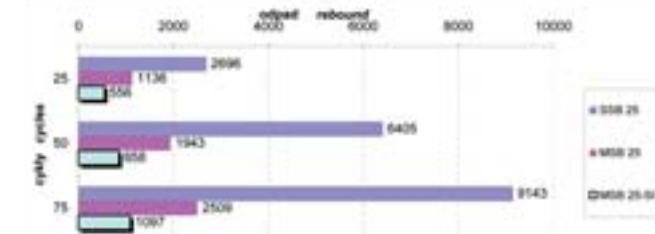
MSB 25-SI (XF4) – základní receptura s mikrosilikou nástřikána mokrou cestou

WSC 25-SI (XF4) – basic formula with silica fume, applied using wet process

SSB 25 (X0) – základní receptura nástřikána suchou cestou

DSC 25 (X0) – basic formula applied using dry process

Tab. 1 Pevnost a odolnost vzorků stříkaného betonu vůči průsaku a CH.R.L.  
Tab. 1 Strength of sprayed concrete samples and their resistance to seepage and chemical thawing substances.



Graf. 1 Vývoj celkového množství odpadu z povrchu betonu (v g/m<sup>2</sup>) po určených cyklech

Chart. 1 Development of total rate of rebound from concrete surface (in g/m<sup>2</sup>) in specified cycles

tunnel) is cut along the upper and side parts of a pre-defined tunnel circumference. Step by step, simultaneously with cutting of the prescribed number of its segments in prescribed sequence, the slit is filled with sprayed concrete. Hardened concrete forms a protective pre-vault reaching ahead of the rock excavation. The pre-vault has a shape of a truncated cone, which shape allows overlapping of individual pre-vaults. The chain saw length determines the length of the pre-vault, i. e. 5 m in the case of the Březno tunnel. The pre-vault can overlap the preceding pre-vault 2.5 to 0.5 m (the excavation advance length is selected according to geological conditions encountered, i. e. 2.5 to 4.5 m). Full-face excavation takes place then under the protection by the pre-prepared primary lining. The face stability is secured by fibreglass anchors 16 m long. The pre-vault from unreinforced concrete is anchored in the bottom area by 4 m-long radial anchors installed immediately after installation of the face anchors.

Tender documents contained technical specification for the tunnel construction, which took over parameters based on the application of sprayed concrete on projects in France and Portugal, where sprayed concrete mixtures with aluminous cements were used. These cements are characterised by fundamentally faster process of setting and hardening than portland cements. Because the import of aluminous cements from France would have been significantly more expensive, the task was to ensure concrete spraying using the dry process, with the concrete produced from domestic portland cements, and to adapt its application according to technological requirements of the tunnel construction.

For the above reason a series of confirmation and comparative tests was started, unusually long in terms of Metrostav Division 5. The tests revealed differences in the development of setting and hardening of different samples of strengths and concrete mixtures.

After a number of difficult negotiations, where Division 5 representatives' opinions regarding time-technological relationships were vetoed by the other project parties for a long time due to absence of domestic experience, the following proposal for changed development of strength build-up was eventually agreed: 8 MPa after 7 hours, 12.5 MPa after 14 hours, 17 MPa after 24 hours, and 28 MPa after 28 days. From a practical point of view, the most significant appears the 8 MPa strength, which can be considered a kind of "shutter striking" strength if compared to pouring concrete behind a shutter. The further values of strengths were derived from the structural calculation results.

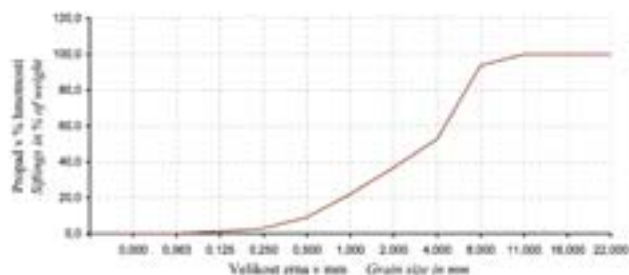
In the next phase, it was necessary to prove feasibility and possibility of repeated reproduction of the required strength build-up of concrete sprayed into the slit. It is necessary to realise that standard applications of sprayed concrete in our republic allowed the nozzle operator to fully visually control the operation from a distance suitable for planar spraying, i. e. from a distance of 1 to 1.5 m. But filling of a slit with sprayed concrete is characterised by a necessity for the concrete stream to pass a distance of nearly 5 m in the air, against the simultaneous counterflow of the air forced from the narrow space of the slit segment, whose limiting dimensions are close to 0.2 x 0.8 m. Thus the rebounded concrete particles (rebound) become part of the structure being constructed. Concrete compaction takes place after the particles hit the substrate. The particles move in a direction approximately parallel with the longitudinal axis of the tunnel, i. e. perpendicularly to the radial load acting on the pre-vault being constructed. Even a random fall of a piece of rock from the excavated surface cannot be excluded. Such a piece of rock becomes an obstacle during the spraying, and subsequently becomes part of the structure being built from unreinforced sprayed concrete. This is why maximum adaptation of the application conditions during the preconstruction testing to the conditions of in-situ construction of the pre-vault was extremely important. For the above reason the preconstruction testing took place in front of the Březno tunnel portal. Concrete mixture was sprayed into wooden moulds with dimensions 5.0 x 1.0 x 0.2 m, using the equipment that had already been supplied for the tunnel excavation proper, including the robot mounted on the pre-vault tunnelling machine. The tests were carried out using 2 packaged compressor plants, 2 water pressure pumps, and the Aliva AL-285 sprayer with an integrated accelerating admixture-dosing unit.

Even though the agreed values of the strength of sprayed concrete, prepared using the formula with Portland cement and accelerating admixture, were not achieved during the preconstruction testing, it was obvious that the development of strength was affected, apart from dominating temperature, also by many other factors. It was therefore agreed that the initial tunnel excavation would be accompanied by extended scope of measurement of strength on each pre-vault so that a necessary set of results was obtained providing statistically significant set of data allowing conclusions to be made in the conditions of application to the pre-vaults.

- Check tests of sprayed concrete were carried out initially both by the contractor on the site and by a laboratory, testing each pre-vault completed. The in-situ testing comprised measurement of compressive strength with Hilti-Tester on the face of each segment (lamella) at 7, 14 and 25 hours after completion of spraying on the last cut-out segment of the given pre-vault. The laboratory took over 3 samples cored from each exposed lining structure of the side walls and vault crown, and determined their strengths at 48 hours or 72 hours, and subsequently after 28 days. The obtained results were used for adjustment of the concrete formula and determination of measures designed to improve the spraying technique and to allow reproducibility of the application.

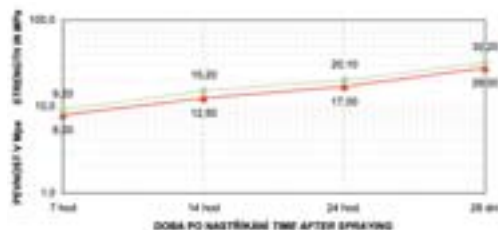
Experience and modifications of spraying concrete into the peripheral slit can be summed up as follows:

- It was proved that domestic Portland cement CEM I 52.5 R (from Cizkovic plant) with setting accelerator can be used for sprayed concrete used for the pre-vaults. Dosing of the accelerator (Prestix 71) was fixed at a value of 6.5 % of cement weight;



Graf 2 Čára zrnitosti používaného kameniva do stříkaného betonu obvodového vrubu z odběru ze dne 6. 2. 2003

Chart 2 Grading curve of aggregates used for sprayed concrete applied to pre-vaults, collected on 6/2/2003



Graf 3 Příklad průběhu nárůstu pevnosti stříkaného betonu obvodového vrubu při kontrolních zkouškách ze dne 6. 2. 2003

Chart 3 Example of development of strength of sprayed concrete applied to pre-vaults determined by check testing on 6/2/2003

Zkušenosti a úpravy technologie provádění stříkaného betonu do obvodového vrubu lze shrnout do těchto bodů:

1. Prokázalo se, že pro stříkaný beton vrubu lze používat tuzemský portlandský cement CEM I 52,5 R (Čížkovice) s urychlovačem tuhnutí. Dávkování urychlojící přísady (Prestix 71) bylo zafixováno na hodnotě 6,5 % z váhy cementu.
2. Vizualní kontrola polohy trysky manipulátoru před vrubem byla zlepšena instalací dálkového ovládání manipulátoru mimo kabinu obsluhy vrubovacího stroje.
3. Rychlost směsi na trysce (cca 25 až 30 m/s) byla nastavena na plný výkon dvou balených kompresoroven. Při neměnné délce hadic 35 m (světlý průměr 65 mm) je dosahována zhruba dvojnásobná rychlost oproti standardní aplikaci stříkaného betonu.
4. Zejména s ohledem na rychlost betonové směsi v hadici bylo nutné umístit prstenec pro přidávání roztoku vody s urychlojící přísadou 3 m před ústí trysky. Rovněž tlak vody dopravované do dávkovacího čerpadla bylo nutné zvýšit z obvyklých 4 až 5 na 8 až 9 barů namontováním dvojice čerpadel. Množství přidávané vody bylo nutné doplnit o kontrolu na trubcovém průtokoměru, který průběžně sledovala obsluha stříkacího stroje.
5. Z důvodu opakování optimálních podmínek byly polohy ovládacích pák na stříkacím stroji, nastavení průtokoměru i dávkovacího čerpadla pro urychlojící přísadu označeny na strojích a zařízeních a popsány v technologickém postupu.
6. Zatímco množství cementu v 1 m<sup>3</sup> namíchané suché betonové směsi odpovídalo běžné receptuře stříkaného betonu (430 kg), muselo být složení kameniva postupně upraveno. Zvláště s ohledem na stříkání na vzdálenost 5 m bylo nutné zvýšit podíl frakce 4 - 8 mm (měla jednoznačný vliv na objemovou hmotnost i na dosahovanou počáteční pevnost betonu předklenby), která byla zastoupena cca 40 % z váhového podílu kameniva v namíchané betonové směsi (graf 2). Po výkyvech v obsahu odplavitelných částic, které měly negativní vliv na náběhy pevnosti v tlaku, se začalo používat výhradně prané kamenivo.
7. S ohledem na dominantní roli teploty betonové směsi pro start a rozvoj pevnosti stříkaného betonu bylo nutné v rámci zimních opatření technicky zajistit ohřívání kameniva i ohřev záměsové vody v těsné blízkosti před dávkovačem urychlojící přísady (tato opatření umožnila urychlení náběhu pevnosti betonu na hodnotu 8 Mpa za 6 hodin). Příklad náběhu pevnosti je patrný z grafu 3.

V tuzemských podmínkách se při aplikaci stříkaného betonu do obvodového vrubu jednalo o dosud nevyzkoušenou oblast, která s výjimkou několika států v Evropě (Francie, Portugalsko, Velká Británie) nebyla dosud řešena. Přes počáteční obtíže lze konstatovat, že se podařilo tuto dílčí operaci razícího cyklu vyřešit s využitím tuzemských složek betonu do stadia, které vyhovělo potřebám razícího cyklu i cyklu výstavby definitivního ostění.

#### D. Stříkaný drátkobeton

Při vhodných geologických podmínkách a příčných průřezích podzemních děl dojde ke zkrácení operace budování primárního ostění využíváním stříkaných betonů s rozptýlenou ocelovou výztuží (drátkobetonů). Tato varianta stříkaného

2. Visual inspection of the position of the manipulator in front of the slit got improved by the installation of the manipulator remote control outside the pre-vaulting machine operator's station;
3. Velocity of the mixture passing through the nozzle (about 25 to 30 m/s) was set to correspond to full output of the two packaged compressor stations. Compared to the velocity at standard application of sprayed concrete, roughly double velocity is achieved at constant length of hoses of 35 m (JN 65 mm);
4. It was necessary, mainly with respect to the velocity of the concrete mixture in the hose, to install the ring measuring water with accelerator at a distance of 3 m before the nozzle mouth. Also the pressure of water conveyed to the dosing pump had to be increased from a usual value of 4 - 5 bars to 8 - 9 bars by installation of a pair of pumps. The volume of water being added had to be checked continually on a pipe flowmeter, followed continually by the crew;
5. To allow repetition of optimal setting, the positions of control levers on the spraying machine, setting of the flowmeter and accelerator-dosing pump were marked on the machines and appliances, and recorded in the method specification
6. While the amount of cement per 1 m<sup>3</sup> of the dry concrete mixture corresponds to a common formula for sprayed concrete (430 kg), the aggregate composition had to be adjusted step by step. Especially with respect to spraying from the 5m distance, it was necessary to increase the proportion of the 4 - 8 fraction (affecting explicitly the volume weight and initial strength of the pre-vault concrete achieved), which represents (after the adjustment) about 40 % of the total weight of aggregates contained in the concrete mix (see Chart 2). After variations experienced in the washable matter content, which had affected development of compressive strength negatively, washed aggregates started to be used solely;
7. With respect to the dominating role of the concrete mixture temperature, it was necessary for the start and development of sprayed concrete strength to implement technical measures for the winter work, i. e. heating the aggregates at the covered stockpile and heating mix water just before entering the accelerator dosing unit (those measures ensured acceleration of the concrete strength development to 8 MPa after 6 hours). An example of the strength development is shown in Chart 3.

The application of sprayed concrete in the pre-vaulting method has not been tried in our country yet. This issue has been solved in several European countries only (France, Portugal, Great Britain). Despite initial problems, it can be stated that this partial operation of the excavation cycle has been solved successfully, using domestic components of concrete, up to a degree which satisfied the needs of the excavation cycle and the final lining construction cycle.

#### D. Fibre reinforced sprayed concrete

In favourable geological conditions and cross sections of underground workings, the application of fibre reinforced sprayed concrete shortens the primary lining construction operations. This variant of sprayed concrete will be solely associated with the wet application process. Currently the fibre reinforced sprayed concrete is used in the exploration gallery Visnove where Division 5 of Metrostav, a. s., completed excavation of a section designed for the NATM. The fibre reinforced sprayed concrete is applied as a second layer on a primary layer of sprayed concrete reinforced with steel mesh, or on cleaned rock face found in locations without geological faulting, where the excavation was carried out by Doprastav using a TBM. The objective is to ensure extended lifetime of this nearly 7 km long gallery until the construction of the second tube of the highway tunnel. After completion of the first tunnel tube running in parallel with the gallery, escape adits will interconnect the gallery with the tunnel, turning it into an escape route in case of emergency. Wider application of fibre reinforced sprayed concrete is expected prospectively on large mined tunnel constructions on the Outer Ring Road around Prague. Plenty tests will have to be carried out to make the routine application in large profiles possible. The testing will have to prove whether the required properties of sprayed concrete matrix with steel fibres are achievable in our conditions. In the same time it will be necessary to prepare relevant legislative framework supported, for example, by assessments of particular modelled instances of the application.

#### E. Higher compressive strength sprayed concrete

Similarly to cast-in-situ concrete, there is a tendency towards reproducibility of higher strength sprayed concretes, especially those designed for definitive structures and in the future for final lining with a shell mode of static action, obvious. The development tendency is heading solely toward application of the wet process, starting primarily with removing human factor errors by enhancing qualification and improving manual skills. Individual influence of the nozzle operator will probably be removed permanently only when full robotisation and automation of the spraying process is achieved. Of course, quicker and less costly appears, together with increasing professional level of nozzle operators, to prepare higher quality formulas allowing better compaction by application of innovated admixtures in parallel with as optimally as possible adjusted composition of aggregates in the mix. While innovated admixtures in the field of civil engineering chemistry are usually more expensive, meaning a significant cost burden on a unit of sprayed concrete, the cost increase does not have to be so painful in the field of quality of aggregates or binders. Suitability of aggregates is usually limited by the possibility to transport fractions satisfying the requirements given by the optimal grading curve. Certain opportunities are offered by using higher strength class cements. The difference in reactivity of accelerating admixtures, and the difference in final strengths of cement mortar tested on laboratory samples with commonly used cement and higher strength cement is shown in Table 2.



betonu bude vázána výhradně na mokry způsob jeho aplikace. V současné době se provádí stříkaný drátkobeton na průzkumné štolě Višňové, kde Metrostav – divize 5 vyrazil část délky prováděnou dle principu NRTM. Stříkaný drátkobeton je nanášen jako druhá vrstva na síťmi armovaný stříkaný beton nebo na očištěnou horninu v místech bez geologických poruch, kde ražbu provedl nasazený ražicí stroj Doprastav. Cílem je zajistit prodlouženou životnost této téměř 7 km dlouhé štolky až do doby výstavby druhé tunelové trouby dalšího tunelu. Po vyrazení prvního dalšího tunelu souběžného se štolou bude štolka propojena únikovými chodbami a v případě potřeby by sloužila jako úniková cesta. Výhledově se předpokládá širší uplatnění drátkobetonu na ražených tunelech na vnějším okruhu kolem Prahy. K rutinnímu provádění ve velkých profilech bude třeba provést ještě řadu zkoušek, které v našich podmínkách prověří dosažitelné vlastnosti stříkané betonové hmoty s ocelovými drátky. Současně bude třeba připravit příslušný legislativní rámec podložený např. vyhodnocováním konkrétních modelovaných případů uplatnění.

### E. Stříkaný beton vyšších pevností v tlaku

Podobně jako u monolitického betonu je zřejmá tendence k reprodukovatelnosti stříkaných betonů vyšších pevností zvláště pro definitivní konstrukce i výhledová primární ostění se skořepinovým efektem nosnosti. Směr vývoje vede výhradně k uplatňování mokré cesty stříkání a začíná především u odstraňování chyb lidského faktoru prohlubováním jeho kvalifikace a zvyšováním manuální pracovní zručnosti. Individuální vliv obsluhy trysky bude zřejmě trvale odstraněn až dosažením plné robotizace a automatizace procesu stříkání. Rychlejší a méně nákladné se pochopitelně jeví spolu s vyšší odbornou úrovní nastříkačů připravovat kvalitnější receptury umožňující vyšší zhuštění použitím inovovaných přísad souběžně s pokud možno optimálně odlaďenou skladbou kameniva v namíchané směsi. Zatímco nové dražší přísady v oblasti stavební chemie znamenají zpravidla značné cenové zatížení objemové jednotky stříkaného betonu, v oblasti kvality kameniva či pojiva nemusí jít o velké prodražení. Kamenivo je zpravidla limitováno dopravní dostupností vhodných frakcí naplňujících optimální průběh čáry zrnitosti. Určité možnosti se nabízejí používáním cementů vyšších pevnostních tříd. V tab. 2 je patrný rozdíl v dvou a třídenních i rozdíl v konečných pevnostech cementové malty zkoušené na laboratorně připravených vzorcích s cementem obvykle používaným oproti cementu vyšší pevnosti.

### F. Stříkané prefabrikované směsi

V poslední době je rovněž sledována problematika prefabrikovaných směsí pro suchý proces stříkání, které jsou s ohledem na operativní použitelnost i na dlouhodobou skladovatelnost v silech s nízkými nároky na prostor využitelné pro ražbu zejména kolektorů uprostřed husté městské infrastruktury. Nevýhody jasně vyšší ceny za betonovou směs s nulovou vlhkostí, vysoká prašnost při provádění i vysoký spád jsou v některých zdůvodněných případech přebity výše uvedenými výhodami doplněnými o výhodu dopravní obslužnosti v době mimo denní vysokou dopravní zátěž. Suchá cesta aplikace si zřejmě udrží své "místo na slunci" právě pro svoji "připravenost k akci" v případech relativně rizikových ražeb mělko pod městskou infrastrukturou s překvapivými "objevy" nearchivovaných inženýrských sítí, nesoudržných kulturních navážek i nekvalitně provedených zásepů z předchozích otevřených výkopů. Pro aplikaci se využívá suchých betonových případně malto- vých směsí, jejichž pojivo je tvořeno přednostně bezsádrovcovým cementem. Náběhy tuhnutí a pevnosti jsou velmi rychlé, takže spíše zasahují nad čáru J3 (viz graf 4). Problémy mohou nastat při vyhodnocování spadu, který při nevhodném postupu nástřiku může být enormní a rovněž s dodržení opakovatelnosti pevnostních hodnot nástřikové hmoty po 24 hodinách od nástřiku i po 28 dnech.

## ZÁVĚR

Cílem článku bylo předložit čtenáři vybranou mozaiku ze současné problematiky stříkaného betonu na stavbách tunelů v České republice. Kromě uvedení některých poznatků souvisejících se získáním nových zkušeností se speciálním uplatněním stříkaného betonu (stříkaný beton do obvodového vrubu) bylo hlavním motem zdůraznit odlišný přístup k pojetí stříkaného betonu oproti monolitickému v rámci jeho konstrukční funkce jako primárního ostění podzemních děl. Snahou je rovněž dosáhnout názorového souladu na stříkaný beton mezi zástupci projektanta, dodavatele i investora zvláště v oblasti ekonomicky využitelných pevností v tlaku i v určení stupňů vlivů prostředí odpovídajících trvání a podmínkám využívání dané stříkané konstrukce.

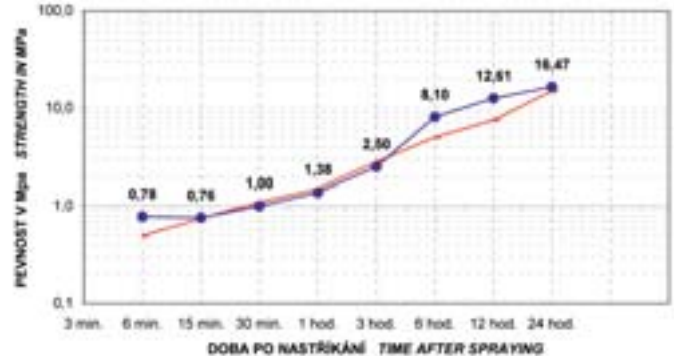
## LITERATURA / REFERENCES

- [1] Polák, P., Mika V.: Stříkaný beton konstrukcí podzemních staveb. Sborník ke konferenci "Beton v podzemních a základových konstrukcích", Praha 25. 2. 2004  
*Proceedings of the conference "Beton v podzemních a základových konstrukcích", Prague 25.2.2004*
- [2] Pracovní skupina pro stříkaný beton: Zásady pro používání stříkaného betonu (3/2003). www.ita-aites.cz  
*Working group Sprayed Concrete: Guidelines for application of sprayed concrete (3/2003).*
- [3] Heřt, J.: Aplikace metody obvodového vrubu s předklenbou v podmínkách poddolaného území tunelu Březno. Sborník semináře VŠB Ostrava "Zpevňování a těsnění hornin a stavebních konstrukcí 2003"  
*Proceedings of VŠB Ostrava seminar "Zpevňování a těsnění hornin a stavebních konstrukcí"*
- [4] Polák, P.: Uplatnění stříkaného betonu v tunelových stavbách. Sborník k 2. konferenci "Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí 2003"  
*Proceedings of 2nd conference "Technologie, provádění a kontrola betonových konstrukcí 2003"*

Druh cementu Cement type		CEM I 42,5 R	CEM I 52,5 RR
"Nulová malta" „Zero mortar“	Pevnost v tlaku po 2 dnech (MPa) Compressive strength at 2 days	29,7	42,3
	Pevnost v tlaku po 28 dnech (MPa) Compressive strength at 28 days	58,7	84,9
Sigurit L 53 AF 7% + ViscoCrete 5 SB 1%	Pevnost v tlaku po 3 dnech (MPa) Compressive strength at 3 days	25,6	33,2
	Pevnost v tlaku po 28 dnech (MPa) Compressive strength at 28 days	41,8	49,2
Prestia 71-03 7% + ViscoCrete 5 SB 1%	Pevnost v tlaku po 3 dnech (MPa) Compressive strength at 3 days	32,7	37,2
	Pevnost v tlaku po 28 dnech (MPa) Compressive strength at 28 days	43,7	52,0

Tab. 2 Rozdíly v pevnostech v tlaku cementové malty pro cementy různých pevnostních tříd s urychlujícími přísadami

Table 2 Differences in compressive strengths of cement mortar for cements of various strength grades, with accelerating admixtures



Graf 4 Příklad náběhu pevnosti nastříkané prefabrikované směsi ve srovnání se spodní hranicí oboru J3

Chart 4 Example of development of strength of applied prefabricated sprayed concrete mix compared to the lower limit of J3 range

### F. Sprayed prefabricated mixes

The issue of prefabricated mixes for the dry spraying process has also been followed lately. Owing to the operative availability and long-term storability in silos with low demand for space, these mixes can be used in excavation of utility tunnels above all, within dense urban infrastructure. The disadvantages, e. g. higher cost of concrete mix with zero moisture, high level of dust emissions during application, and high rate of rebound, are in some specific cases outdone by the above-mentioned advantages, plus an advantage of a possibility to supply the mixes beyond day-time intensive traffic. The dry process will obviously keep its "place in the sun" especially for its "readiness to act" in the instances of relatively risky excavation carried out shallow under urban infrastructure, with surprising "discoveries" of unrecorded utilities, non-cohesive man-made fills and poor quality backfills of recent open cuts. Dry concrete or mortar mixes are used for the application, with anhydrite-free cement used preferably as the binder. Development of setting and hardening is very rapid, reaching rather under the J3 curve (see Chart 5). Problems can be encountered in terms of rebound rate, which can be high in case of improper spraying procedure, and also in terms of maintaining the reproducibility of strength values of the concrete 24 hours and 28 days after spraying.

## CONCLUSION

The objective of this paper was to present to the readers a selected mosaic of current issues of sprayed concrete used on tunnel constructions in the Czech Republic. Apart from presenting some new recognitions relating to a special application of sprayed concrete (sprayed concrete in the pre-vaulting method), the main motto was to place stress on the different approach to the concept of sprayed concrete compared with cast-in-situ concrete in terms of its structural function, i.e. the primary lining of underground workings. Our ambition is also to achieve a harmony of opinions on sprayed concrete among representatives of designers/consultants, contractors and owners, above all in the area of in terms of economy usable compressive strengths, and in determination of degrees of influence of the environment corresponding to the duration and conditions of the sprayed concrete structure utilisation.

- [5] Polák, P.: Uplatnění stříkaného betonu u firmy Metrostav a. s. Sborník konference Speciální betony, Otrokovice 5. - 6. 3. 2002  
*Proceedings of the conference "Speciální betony", Otrokovice 5. - 6.3.2002*
- [6] Polák, P., Mika V.: Průběh teploty a nárůst pevnosti u stříkaného betonu. Tunel 1/2001  
*Time behavior of temperature and strength build-up in sprayed concrete.*
- [7] Polák, P.: Vybrané poznatky z uplatnění stříkaného betonu při stavbě tunelu Mrázovka. Stavební obzor 6/2000  
*Selected knowledge from shotcrete application at Mrázovka tunnel construction.*

## METODA ŘÍZENÉ DEFORMACE V SELATINSKÝCH TUNELECH

### CONTROLLED DEFORMATION METHOD IN SELATIN TUNNELS

PROF. ING. MILOŠ BUCEK, DrSc., METROSTAV, a. s.  
ING. RADKO BUCEK, Ph.D., SG GEOTECHNIKA, a. s.

#### ÚVOD

Metoda řízené deformace byla poprvé aplikována při stavbě selatinských tunelů na dálnici Izmir–Aydin v Turecku v letech 1990 - 2000. Během výstavby zde byl vyvinut způsob sledování použitý s úspěchem zvláště při aplikaci NATM v měkkých horninách. Tento postup je popsán v následujícím článku. Z počátku se uvádí několik stručných informací o stavbě selatinských tunelů.

#### NĚKOLIK CHARAKTERISTICKÝCH ÚDAJŮ O TUNELOVÝCH ROURÁCH

Salatinské tunely jsou tvořeny dvojicí tunelových rour, Jižní 3043,00 m a Severní 3018,00 m, každá pro jeden dopravní směr. Vzdálenost mezi osami tunelových rour je 31,0 m. V situačním řešení jsou užity dva oblouky o poloměrech  $R_1=1300,00$  m a  $R_2=1150,00$  m, průměrný podélný sklon 2,6 %, největší nadloží zhruba uprostřed tunelu 360,00 m. Příčný řez tunelovou rourou má tři jízdní pruhy šířky 3,75 m, celková šířka vozovky mezi obrubníky činí 12,00 m (obr. 1). Výška klenby nad vozovkou je 7,85 m, průřezný profil 5,00/12,00 m, vnitřní profil tunelové roury je 102,52 m<sup>2</sup>. Teoretická velikost výrubního profilu je od 123,20 m<sup>2</sup> pro RC I a RC II až po 182,50 m<sup>2</sup> pro RC VI.

#### GEOLOGICKÉ PODMÍNKY

Během geotechnického průzkumu byly podél tunelové roury zastíženy následující druhy hornin. Směrem od severního portálu to bylo přibližně 600,00 m střídajících se slídnatých a amfibolitických břidlic, slabě porušených, s několika nevýznamnými poruchovými zónami. Tato část horninového masivu byla oceněna jako pro ražbu poměrně příznivá - RC II, RC III. Poté přišla přibližně 1080 m dlouhá část velmi příznivé horniny, která byla tvořena vápencem a krystalickým vápencem, oceněna pro ražbu jako RC I, RC II, RC III, RC IV, každá po 270,00 m. Následujících 130,00 m bylo tvořeno zcela rozloženými slídnatými břidlicemi ohodnocenými jako RC IV (50 %) a RC V (50 %). V dalších přibližně 600 m byly zastíženy nejrušnější horniny jako slídnaté, grafitické a masktové břidlice, rula, mramor, vápencem vše mírně porušeno, s několika poruchovými zónami, ohodnocené jako RC II (20 %), RC III (60 %) a RC IV (20 %). Zbývající jižní část, přibližně 600 metrů, byla podle průzkumu tvořena slídnatými a chloritickými břidlicemi a rulou, slabě porušenými, se dvěma poruchovými zónami, oceněnými jako RC II (50 %) a RC III (50 %) (obr. 2). Pro ocenění horninového masivu byl použit klasifikační systém rakouské normy B2203. Pro selatinské tunely byl klasifikační systém rozdělen do šesti horninových tříd. Toto rozdělení bylo během ražby shledáno jako zcela vyhovující kromě částí týkajících se vestrojení, které bylo třeba přizpůsobit, zvláště ve třídě RC V a RC VI, skutečnému horninovému prostředí. V tabulce 1 je pokles stropu výrubu uveden podle skutečnosti, původně předpokládané hodnoty poklesů byly mnohem menší, než bylo předpokládáno v projektu.

Jak bylo z popisu geol. profilu zřejmé, podmínky pro ražbu tunelů byly více než příznivé: 4 % RC I, 36 % RC II, 43 % RC III; v těchto horninách by ražba byla bezproblémová, 15 % RC IV, kde by se ražba setkala s malými problémy a konečně 2 % RC V, kde by ražba byla skutečně obtížná. Naneštěstí skutečnost, jak bylo zjištěno během ražby, byla mnohem horší než ty nejpesimističtější předpoklady. Ve velmi obtížných podmínkách bylo 47 % celkové ražby, tj. v horninách třídy RC V, RC VI a v portálových částech. Existovalo několik důvodů, proč byla skutečnost tak rozdílná oproti předpokladu vyplývajícímu z inženýrskogeologického průzkumu. Za prvé, jak je vidět z obr. 3, ve střední části podélného profilu nebyl situován příznivý vápencem nebo mramor, jak bylo uvedeno v průzkumu, ale grafitické, slídnatografitické, chloritické a masktové břidlice spolu s malým množstvím porušených vápenatých břidlic, zatímco pevný vápencem, jak byl deklarován v průzkumu, se nacházel pouze ve svrchní části uvedených problematických hornin. Za druhé, tyto pro tunelování velmi obtížné horniny, byly mnohem horší kvality, než bylo předpokládáno v geot. průzkumu, vlivem nepříznivého působení podzemní vody a nepříznivého uložení horninových vrstev. Za třetí, posledním velkým problémem bylo několik rozsáhlých rezervoárů podzemní vody (celkem několik milionů m<sup>3</sup>) s tlakem cca 15,0 atp v úrovni tunelové roury, což mělo opět velmi nepříznivý vliv na kvalitu okolní horniny, nemluvě o problémech spojených s tunelováním ve zvodněném prostředí. Z uvedeného je rovněž zřejmá důležitost pečlivého provádění provozního geologického průzkumu v nejbližším okolí čelby. Na uvedené stavbě bylo posléze postupováno tak, že vždy po 40 m byly v kalotě provedeny a vyhodnoceny 3 jádrové vrty a kromě toho byly za přítomnosti geologa v každém druhém prstenci vrtány tři 8,0 m dlouhé vrty pro ověření situace těsně před čelbou. Horninový masiv zařazený do tříd RC V a RC VI byl nejenom silně tlačivý, ale vykazoval i známky plastického charakteru deformace. Pouze části s výskytem mramoru, vápence, v některých místech slídnaté, křemité a křemitofylitické břidlice

#### INTRODUCTION

The Selatin tunnels are situated on the motorway IZMIR–AYDIN in Turkey. There was, during the construction in years 1990–2000, directly in site, developed a special process for application of NATM in soft rocks. This system of building is described in the following article. At the beginning, there is short information about the tunnel construction.

#### SEVERAL CHARACTERISTICS OF TUNNELS

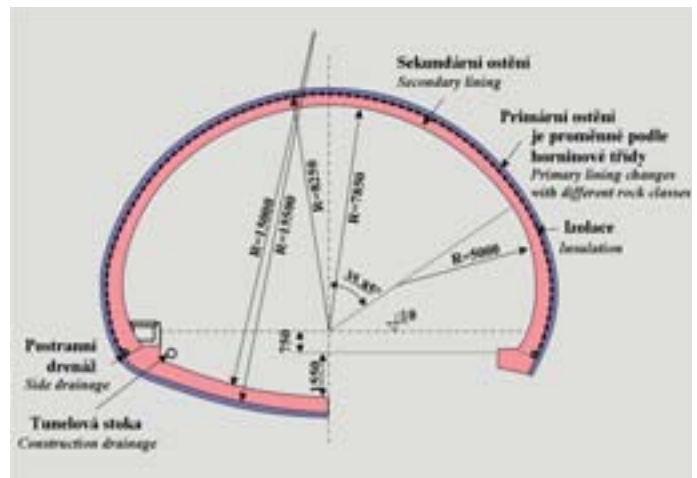
The Selatin tunnels consist of two tubes, Southbound 3043.00 m and Northbound 3018.00 m, each for one traffic direction. Distance between axes of tubes is 31.00 m. In plan there are two curves  $R_1=1300.00$  m,  $R_2=1150.00$  m, longitudinal gradient generally 2.6 %, maximum overburden 360.00 m, approximately in the middle of tunnels.

The tunnel cross section has (Fig. 1), 3 traffic lanes, width 3.75 m, total road width between curbs is 12.00 m. The height of arch above road is 7.85 m, clearance profile 5.00/12.00 m, inside profile 102.52 m<sup>2</sup>. Theoretical excavated profile from 123.20 m<sup>2</sup> for RC I and RC II, to 182.50 m<sup>2</sup> for RC VI.

#### GEOLOGICAL CONDITIONS

During the geotechnical investigation along the tunnel alignment the following kinds of rocks were caught: From the north portal it was approximately 600 meters alteration of mica and amphibolite schists moderately folded, with several fault zones. This part was found out to be comparatively favourable rock, assessed as rock class II and III. It was followed by an approximately 1080 meters long part of very favourable rock mass, consisting of marble and crystalline limestone, assessed as RC I, RC II, RC III, RC IV (270 m each). The next 130 meters were created by completely decomposed schist, intensively folded and faulted, assessed as RC IV (50 %), RC V (50 %). In the following approximately 600 m there were encountered miscellaneous rocks: micashist, graphiteschist, talcschist, gneiss marble, limestone moderately folded and faulted with fault zones assessed as RC II (20 %), RC III (60 %), RC IV (20 %). The last southern part, approximately 500 meters long, consisted of micashist, chloriteschist and gneiss, moderately folded and faulted with two fault zones, assessed as RC II (50 %) and RC III (50 %) (Fig.2). For rock assessment classification system according to the Austrian Standard NORM B2203 was used. The classification system for the Selatin Tunnels consisted of six Rock Classes. This classification system was found to be quite convenient although, during the realisation, it was necessary to adapt the part, concerning the support, to the existing rock conditions. In the table 1, the roof settlement amount is given according to the reality, not as assumed in the design.

According to the geotechnical investigation, the rock condition for tunnel excavation was favourable: 4% RC I; 36% RC II; 43% RC III, in these types of rocks the excavation and primary support installation is without any problems; 15% RC IV, excavation with small problems and finally 2% RC V, with problematic excavation. Unfortunately, the reality, how it was found out during the working process was



Obr. 1 Příčný řez tunelovou rourou třípruhového tunelu  
Fig. 1 The tunnel cross section with 3 traffic lanes



TŘÍDA HORNINY-RC ROCK CLASS	DEFORMACE VÝRUBU ROOF SETTLEMENT	STAV HORNINY ROCK CONDITION	PRIMÁRNÍ VÝSTROJ: KOTVY, VÝTUŽNÁ ŽEBRA, SP. KLENBA, OCHRANNÝ DEŠTNÍK SUPPORT: ROCK BOLTS, STEEL RIBS, INVERT, FOREPOLING	STŘÍKANÝ BETON, OCEL. SÍŤ SHOTCRETE, WIRE MESH
RC I RCI	Není měřitelná No deform. measurable	Pevná, stabilní stable	Kotvy $\varnothing$ 28; 4,0 m dl.; místně podle potřeby; max. délka záběru 4,0 m. RB $\varnothing$ 28; 4.00 m long; occasionally as locally required; max. length of round 4.00 m.	5,0 cm stř. beton, žádná výztuž 5.0 cm shotcrete, no wire mesh
RC II RCII	0-5,0 cm 0-5.0 cm	Po výlomu míst. opadáva afterbreaking	Kotvy $\varnothing$ 28; 4,0 m dl.; místně podle potřeby; délka záběru 2,5-3,0 m. RB $\varnothing$ 28; 4.00 m long; occasionally as locally required; length of round 2.5-3.00 m	10,0 cm stř. betonu +1x ocelová síť v klenbě; 5,0 cm stř. beton v opěři 10.0 cm shotcrete, 1x wire mesh at crown; 5.0 cm shotcrete at sidewall
RC III RCIII	5,0-10,0 cm 5.0-10.0 cm	Slabě drobová Slightly friable	Kotvy $\varnothing$ 28; 4,0 m dl. každé dva metry; ocelové l prof. NPI 140 v přístropí; ochranný deštník $\varnothing$ 32, max. délky 4,0 m podle potřeby, délka záběru 2,0 m. RB $\varnothing$ 28; 4.00 m long, every 2.00 m; steelribs in the top heading (NPI 140); forepoling $\varnothing$ 32, max. length 4.00 m if necessary	15,0 cm stř. beton, 1x ocel. síť v celém profilu 15.0 cm shotcrete, 1x wire mesh everywhere
RC IV RCIV	10,0-15,0 cm 10.0-15.0 cm	Drobová, slabě tlačivá Friable; slightly pressure exerting	Kotvy $\varnothing$ 28, 4,0 m dl. každých 1,5 m; v patě klenby 2x 8,0 m dl.; ocel. l prof. 2x NPI 140; ochr. deštník $\varnothing$ 32, 2,5 m dl. podle potřeby, délka záběru 1,5 m. RB $\varnothing$ 28; 4.00 m long, every 1.5 m; at the bottom of the top heading 2x 8.00 m long RB; steel ribs 2x NPI 140; forepoling $\varnothing$ 32, 3.00 m, long if necessary; invert, if necessary	20,0 cm stř. beton; 1x ocel. síť v celém profilu 20.0 cm shotcrete; 1x wire mesh everywhere
RC V RCV	15,0-30,0 cm 15.0-30.0 cm	Drobová, tlačivá Friable; pressure exerting	Kotvy $\varnothing$ 28, 6,0 m dl. v přístropí, 8,0 m dl. v opěři, 4 kusy na každé straně; délka záběru 1,0 m; ocel. l prof. GI 140, nebo 2x NPI 140, nebo TH-29; ochr. deštník $\varnothing$ 32, 2,5 m dl.; spodní klenba 25,0 cm + 2x oc. síť a 4,0 m dl. kotvy, délka záb. 1,0 m. RB $\varnothing$ 28; 6.00 m long in the top heading, 8.00 m long RB in sidewalls, 4 pieces either side, all every 1.0 m; steelribs GI 140, or 2x NPI 140, or TH-29; forepoling $\varnothing$ 32 rebar or pipe, 2.5 m long; invert 25.0 cm thick with 2x wire mesh and 4.00 m long RB in the bottom	25,0 cm stř. beton; 1x ocel. síť, výlom přístropí musí být rozčleněn 25.0 cm shotcrete; 1x wire mesh; excavation of top heading has to be divided
RC VI RCVI	Více než 25,0 cm More than 25.0 cm	Silně tlačivá Heavily pressure exerting	Kotvy $\varnothing$ 28, 8,0 m dl. v přístropí; 2x 12,0 m dl. v patě klenby na každé straně; 8,0 m dl. v opěři; oc. oblouky TH-29; ochr. deštník $\varnothing$ 32, 4,0 m dl; sp. klenba 30,0-35,0 cm, 2x oc. síť a 4,0 m dl. kotvy ve sp. klenbě; 40,0 cm široké def. mezery ve stř. betonu, podle potřeby, délka záběru 0,75 m. RB $\varnothing$ 28; 8.00 m long in the top heading, 2x 12.00 m long RB each side in the bottom of the top heading; 8.00 m long RB in sidewall; steelribs TH-29; forepoling $\varnothing$ 32 rebar or pipe, 4.0 m long; invert 30.0-35.0 cm thick, 2x wire mesh and 4.00 m long RB in the bottom; open deformation slots 40.0 cm wide, if necessary	30,0-35,0 cm stříkaný beton; 2x ocel. síť, výlom přístropí musí být rozčleněn. Pilotštola, podle potřeby. 30.0-35.0 cm shotcrete; 2x wire mesh; excavation of top heading has to be divided (pilot gallery, if necessary)

Tab. 1 Klasifikační tabulka hornin pro selatinské tunely  
Table 1 Rock classification for Selatin tunnels

byly pro ražbu příznivé. Optimistická předpověď vyplývající z průzkumu spolu se špatným ohodnocením skutečné geologické situace vedly z počátku ke dvěma kolapsům přibližně 20,0 m dlouhým. Bylo zřejmé, že je nutno zcela přehodnotit přístup k pracovnímu procesu, způsobu vystrojení a zvláště pak k vyhodnocování údajů získaných měřeními deformací tunelového výrubu a následnému ovlivňování nejdůležitějších složek tunelování. Tak byla přímo na stavbě stanovena pravidla postupu v těchto obtížných geologických podmínkách pod názvem "Metoda řízení deformace v NRTM". Jak je z předložených materiálů zřejmé, popisované zkušenosti byly získány při stavbě hlubinného tunelu ve velmi proměnlivém geologickém prostředí. Stavba tunelu mělce uložených má svoje zvláštní specifika a při jejich výstavbě je třeba postupovat s obzvláštní opatrností, aby vlivem ražby nedošlo ke znehodnocení geotechnických vlastností horninového masivu nacházejícího se v nadloží.

## METODA ŘÍZENÉ DEFORMACE

Použit novou rakouskou tunelovací metodu pro výstavbu tunelů Selatin bylo rozhodnuto z několika důvodů. Za prvé je to ve velké většině případů neekonomičtější způsob výstavby, protože podle základní myšlenky NRTM je horninový tlak přenášen ve většině případů hlavně horninovým prstencem vytvořeným kolem výrubu pomocí kotevního systému, ve spolupráci s ostatními složkami primárního a sekundárního vystrojení výrubu. Proto celková tloušťka ostění může být v některých případech slabší a následně i plocha výlomu menší. Za druhé je možno použít pro výstavbu všechny druhy potřebné těžké mechanizace v každém okamžiku pracovního procesu, což ovlivňuje rychlost výstavby a tím opět její ekonomiku. Třetí, ale nikoliv nejmenší výhodou je její schopnost přizpůsobit se změně geometrických rozměrů výrubu i okamžitě změně geologických poměrů, což však znamená, že na projekt je třeba pohlížet pouze jako na první přiblížení se konkrétní skutečnosti, které musí být během výstavby průběžně operativně upravováno. Podnětem pro takové úpravy může být například nevyhovující pracovní postup v proměnných geologických podmínkách, způsob a velikost deformace tunelového výrubu apod. V případě tunelu Selatin byla bezprostředním důvodem změny projektu týkající se primárního vystrojení nadměrná deformace výrubu (až 80,0 cm v klenbě a 50,0 cm ve spodní klenbě) vedoucí ve dvou již zmíněných případech až k jeho úplnému zavalení.

Primární vystrojení NRTM je tvořeno obvykle kombinací kotevního systému, stříkaného betonu, různých typů výtužných žebírek, spodní klenby a dalších prvků jako

*much worse than the most pessimistic estimation. In very problematic rock conditions, there were 47 % of tunnel excavations; RCV, RCVI and portal class. There were several reasons, why reality was so different from the geologic investigation. Firstly, as it is possible to see in Fig. 3, in the middle part of the longitudinal section, there was no limestone, as in geotechnical investigation report, but bad quality graphiteschists, while limestone was situated only as a covering part of these bad quality rocks.*

*Secondly, these unfavourable rocks were much worse quality than it was estimated in the geotechnical report, because of underground water presence and unfavourable influence of the rock foliation direction.*

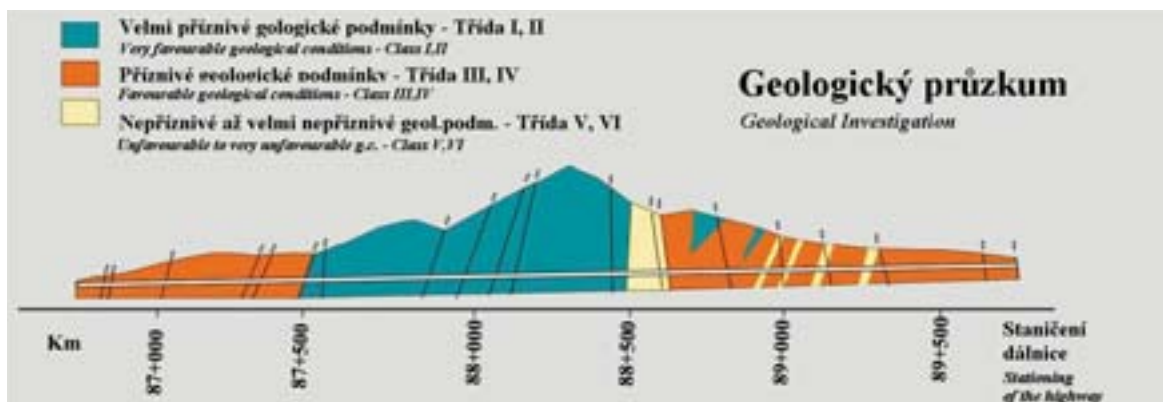
*Thirdly, the last reason were several extensive underground water reservoirs (together several million m<sup>3</sup>) under high water pressure (15,0 bars) in friable limestones, with considerable influence on the neighbouring rocks quality, not speaking about problems connected with tunnelling in water saturated surroundings.*

*Rock classes RC V and RC VI were heavy pressure exerting, even exhibiting plastic behaviour; only parts with marble, compact limestone, in some sites micaschists, quartzschists and quartzphyllschists were favourable. The optimistic prediction together with wrong assessment of the existing geological situation led from the beginning to two collapses, approximately 20.0 m long. Therefore it was necessary to make immediately some improvements into the excavation's primary support towards the design and farther to develop a new system of the following working process.*

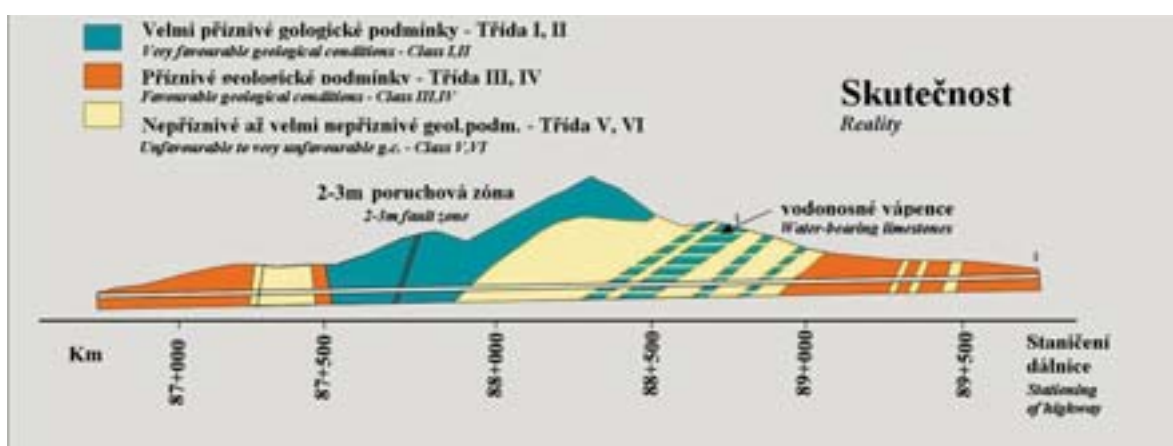
*It was done directly on the site in the cooperation with the contractor, supervision and the designers, for the better assessment of the consequences of the excavation, to determine arrangements for keeping them within acceptable limits. The result of it was the so called "CONTROLLED DEFORMATION METHOD IN NATM". what will be described farther. As evident from the presented materials, described experience was gained on the structure of deep tunnels, in very variable geological surroundings. The construction of shallow tunnels has its own specifications, and in time of the realization it is necessary to go forward very carefully, so that the geotechnical quality of the rock mass in overburden is not affected by the excavation.*

## THE CONTROLLED DEFORMATION METHOD

*It was decided to use the NATM as a tunnel building method for the Selatin tunnels because this method is based on the results of the last scientifically established principles and has a lot of advantages against other existing possibilities of*



Obr. 2 Geologická situace dle průzkumu  
Fig. 2 Geological situation based on the geotechnical report



Obr. 3 Geologická situace zastižena při výstavbě  
Fig. 3 Geological reality encountered during construction

např. ocelové sítě, ochranný deštník v čelbě, kotvení čelby apod. Množství a dimenze jednotlivých elementů jsou stanoveny v projektu na základě výsledků geotechnického průzkumu. Jak již bylo řečeno, je třeba v průběhu prací přizpůsobit tento návrh skutečným vylomovým podmínkám, které se mohou měnit v každém následujícím prstenci, a které v geotechnickém průzkumu nebyly a ani nemohly být dostatečně přesně vystiženy.

Praktická otázka pak bude: je použito správné množství a dimenze jednotlivých elementů primárního vystrojení? Jak později uvidíme, odpověď na tuto otázku lze obdržet z výsledků měření deformace tunelového výrubu a zkušeností získaných během postupu výstavby. Z tohoto hlediska vyplývá velká důležitost, která je v NRTM měření deformací a jejich vyhodnocování přisouzena. Z jejich výsledků lze vyčíst nejenom zdali únosnost instalovaného primárního vystrojení je dostatečná, ale v případě, že tomu tak není, kde je třeba vystrojení zesílit a jakým způsobem. Pro možnost tohoto posouzení je třeba mít k dispozici teoretickou deformační křivku pro určitou velikost výrubního profilu a konkrétní geologickou situaci. S touto křivkou by pak bylo možno porovnávat průběh skutečných deformací, měřených v přístroji nejčastěji ve třech bodech ABC (obr. 5) a později i v opěři v bodech DE. Maximální deformace sledovaných bodů by se měly v závislosti na čase a vzdálenosti od čelby plynule měnit podle stanovené rovnice (1) až do určité ustálené, z výpočtu stanovené hodnoty, nazvané "optimální deformace", která by na jedné straně tvořila hranici pro nadměrnou deformaci, na druhé straně, pokud by porovnávaná deformace byla příliš malá, by byla signálem o plýtvání materiálem v primárním vystrojení výrubu.

Je známo, že informace, které jsou získány prostřednictvím měření deformací, mají být využity ke stabilizaci horniny kolem výrubu. Je ovšem třeba vědět jak a hlavně ve kterém okamžiku reagovat na varování, které horninový masiv poskytuje prostřednictvím svého přetváření. K tomu má přispět právě již zmíněná "Metoda řízení deformace".

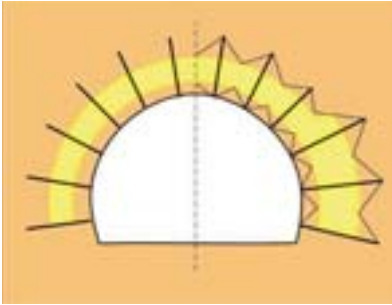
Na obr. 6 je znázorněna mnohokrát publikovaná a diskutovaná hypotéza vztahu mezi kontaktním napětím  $\delta_c$  a deformací výrubu  $\text{exd}$ . Z tohoto náčrtu vyplývá, že  $\delta_c$  ( $\text{exd}$ ) nabývá v blízkosti počátku (čelby) svého minima, kde hodnota  $\delta_c$  jsou nejmenší. Jestliže tudíž dokážeme, aby se deformace výrubu pohybovala v mezích 1,2 grafu, tj. v mezích "optimální deformace", bude na primární ostění působit nejmenší kontaktní napětí. Nyní je tedy třeba stanovit nějakým způsobem velikost této "optimální deformace" a dále pak průběh teoretické deformační křivky, se kterou by bylo možno srovnávat průběh deformační křivky skutečného měření a která by vedla ke konečné deformaci přibližně rovné hodnotě stanovené "optimální deformace".

performances. At first, it is the most economical way of building, because according to the main idea of the NATM, existing rock pressure is carried on mostly by a rock ring created around excavation by means of rockbolts, in a composite action with the primary and secondary tunnel lining. Therefore the thickness of the secondary lining can be lesser and the excavation is smaller, too. At the second, it is possible to use all kind of heavy tunnel machines in every moment of construction, which influences the speed and economy of building. At the third, the method's great advantage is the adaptability in changeable geological conditions, it means that design is necessary to be understood as the first proposal, which has to be changed according to the geological reality. The reason for such a decision could be, for instance, large deformation (in case of the Selatin tunnels up to 80,0cm in the arch, around 50,0cm in the invert).

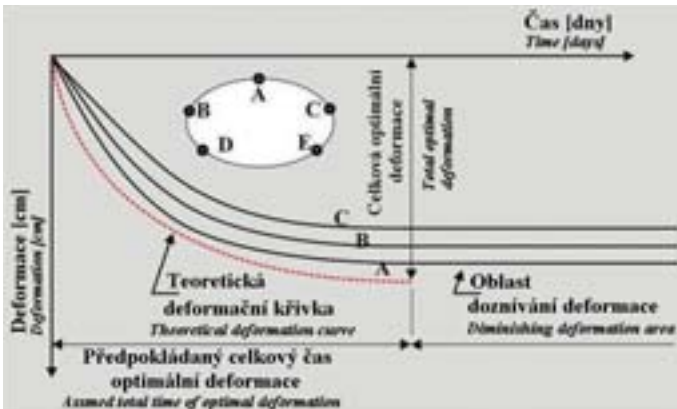
Primary support of excavation, performed by means of NATM, is designed usually as a combination of a rockbolting system, steel ribs, invert, shotcrete and the other components as wire mesh, forepoling, rockbolting of the face etc. (Fig.4). Amounts and dimensions of these elements are determined at the beginning on the base of the geotechnical investigation. As mentioned above, it is necessary during the construction to adapt the design to the immediate condition of the rock mass, which could be changeable in each ring. The practical question will be if the correct amount of the support elements is used. It will be shown later that the answer will result from the measurement of deformation, together with the application of knowledge gained from the working process. From this point of view, a great importance of the measurement of the deformation for the NATM application. It should answer the question not only whether the loading capacity of installed primary lining is sufficient, but also to answer where it is necessary to make it stronger and in which way. For the possibility of this decision it is necessary to compare the course and magnitude of practical excavation's deformation (from the beginning measured mainly in points A,B,C; and also in DE, (Fig. 5) with some theoretical deformation curve with certain safety margin, deformation limit, which is in the presented article called "the optimum deformation". The maximum deformation should change in time and with the distance, in extreme case the excavation collapses. On the other hand, if the deformation is too small, it signals the waste of the supporting material. The way to determine the size of the previously mentioned "optimum deformation" and the course of the theoretical deformation curve will be shown later.

Information which is gained from the deformation measurement can be, of course, used for the stabilization of the rock mass around the excavation. However, it has to be known, how to use it in a proper way and also it is necessary to react in right time to the warning, which rock mass signals through its movement. The hypoth-





Obr. 4 Funkce kotevního systému  
Fig. 4 Function of rock bolting system



Obr. 5 Teoretická deformační křivka  
Fig. 5 Theoretical deformation curve

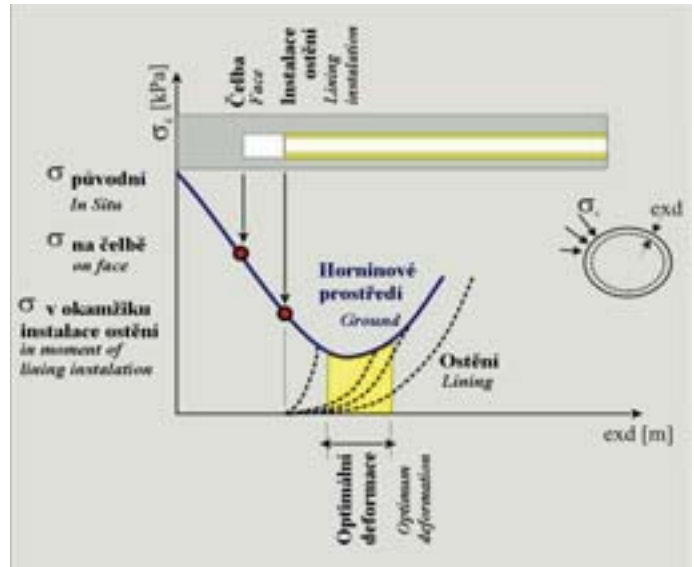
### STANOVENÍ VELIKOSTI "OPTIMÁLNÍ DEFORMACE"

1. Nejprve je nutno stanovit zatížení horninové klenby, vytvořené předběžně navrženým kotevním systémem (obr. 4) [2]. To je možno provést na základě některé z hypotéz mechaniky hornin, použít výpočet pomocí MKP, nebo vyjít z měření provedených během realizace přímo na stavbě (stanovení rozvolněné oblasti kolem výrubu a pod.).

Na tomto místě je třeba se zmínit o důležitosti včasného osazení kotevního systému. K tomu, aby se konstrukce vytvořená součinností kotev a horninového masivu stala funkční, je třeba určité deformace, tím větší, čím je modul deformace horninového prostředí menší. Deformace tunelového výrubu začíná již v oblasti před čelbou a jestliže nejsou kotvy instalovány z technologického hlediska co možno nejdříve, dojde ke vzniku tzv. "ztracené deformace", kterou pro stabilizaci výrubu a aktivaci kotevního systému již nelze využít a která má nepříznivý vliv na nejbližší okolí výrubu, případně na povrch nadloží. Příklad, že dojde při nárůstu deformace tohoto druhu až k nějaké kritické hodnotě, může mít za následek zavalení výrubu, i když navržený kotevní systém bude posléze instalován. Velmi důležitá je tedy obecně platná zásada: kotevní systém bude úspěšný tehdy, bude-li instalován ihned po provedení výrubu, tj. co nejbližší k čelbě, na počátku měřených deformací. Z tohoto požadavku vyplývá další zásada, že body pro měření deformací musí být instalovány a nulové měření provedeno co nejdříve po provedení výrubu.

2. Ve vytvořeném modelu se pak provede výpočet napětí a deformace v horninové klenbě předurčené podle určitých zásad navrženými kotvami a stanoví se nutná změny v délce a hustotě kotev tak, aby napětí v této klenbě odpovídalo s určitou bezpečností geotechnickým vlastnostem horninového prostředí a přitom deformace klenby se pohybovaly v přijatelných mezích. Tímto způsobem stanovená konvergence výrubu je pak označena jako "optimální deformace" pro určitý typ horniny, konkrétní tunelový profil a upravený návrh primárního vstrojení. Při dostatečné zkušnosti lze v některých případech, pro danou velikost konečného výrubu a konkrétní geotechnické podmínky, velikost optimální deformace úspěšně odhadnout.

Vzhledem k tomu, že vstupní informaci, která je pro řešení této úlohy k dispozici, lze téměř vždy označit za přibližnou, není třeba pro výpočet deformace uvažovat s příznivým vlivem některých složek primárního vstrojení, např. stříkaného betonu, a to z následujících důvodů. Pokud lze očekávat, že deformace výrubu se budou pohybovat v malých hodnotách, skořápka stříkaného betonu bude bez zvláštního odporu tuto deformaci sledovat jako celek, přičemž deformace se bude realizovat zabořováním patek. Jestliže během větší deformace tunelového výrubu dojde k porušení stříkaného betonu, nebo jsou-li dokonce v ostění úmyslně vytvořeny prázdné mezery umožňující volnou deformaci, pak stříkaný beton rovněž velikost konvergence nemůže podstatně ovlivnit. Proto je tedy možno v řešené úloze "stanovení velikosti optimální deformace výrubu" vliv stříkaného betonu zanedbat, stejně jako vliv čelby, který vlivem postupu prací pomine, a dalších, v tomto okamžiku nepodstatných skutečností. Vliv stříkaného betonu na deformaci výrubu se



Obr. 6 Fenner-Pacherova křivka s vyznačením oblasti optimální deformace  
Fig. 6 Fenner-Pacher curve with optimum deformation area

esis about the relation between the contact pressure  $\sigma_c$  and the excavation's deformation is demonstrated in Fig. 6. From there, it can be seen that near the face there exists an area, where the contact pressure is the smallest [1] and this is the value, which is called "the optimum deformation". Now, the only thing left is to determine the size of the deformation and the deformation curve course, for the certain rock environment, in order to use it for comparison with the real measurement and come by this way to the final excavation's deformation equal to the value of the optimum deformation.

### THE OPTIMUM DEFORMATION MAGNITUDE

At first, it is necessary to determine in some way the loading of the rock arch, created by the preliminary designed rockbolts (Fig. 4) [2]. It is possible to go out for instance from some rock mechanics hypothesis, to use the final elements calculation, or to use some kind of site measurements. At this place it is necessary to mention the importance of the rockbolt system installed on time. The rockbolting rock arch has to pass a deformation process, in order to get into function. The worse the rock environment quality, the larger deformation has to take place to activate the arch. The excavation deformation starts in front of the excavation face and if the rockbolt system is not installed in time, possible to say-as soon as possible, so called "lost deformation" occurs, which cannot be used for the activation of the rockbolt arch and which has unfavourable influence on the nearest surroundings of the excavation. A case where a significant increase of this deformation occurs, can result in a total excavation collapse, in spite of the rockbolts installation. Very important is therefore the principle: a rockbolting system will be successful only if it is installed as soon as possible after the start of the deformation measurement. At the second, to perform the stress and strain calculation of the rockbolting rock arch and change in the number and length of the preliminary stated rockbolts is needed, so that the excavation deformation and stress in rock mass around the excavation would be suitable. This way of the calculated deformation will be called "the optimum deformation" for a certain type of the rock, tunnel cross section and an arranged type of primary lining. In this step, it is possible to neglect shotcrete, as well as the influence of the face and other, at this moment unimportant, subjects. The stress in any rock arch section has to correspond to the geotechnical characteristics of the surrounding rock mass. If it doesn't, the previously designed rockbolts have to be designed once more. Why the shotcrete primary lining is neglected at this step of calculation? There are three reasons. In case of small deformation, the deformation increases during the gradual opening of the excavation and because in this step of building the shotcrete lining is not closed, shotcrete is capable of following the increasing rock mass deformation. In case the deformation is going to be bigger, it comes to the destruction of shotcrete lining for its inability to follow this magnitude of deformation without ruptures. At last, in case of really considerable deformations, the best way to prevent the destruction is to use gaps in the primary lining shotcrete immediately from the beginning. This type of lining is capable to survive even big amounts of the deformation, without the destruction of the shotcrete layer.

It is always necessary to have on mind, that all here presented statements are established on the observation of the horizontally divided excavation. In case of other division of the excavation, e. g. vertical division, it is possible that the influence of the shotcrete layer will be very significant and that its influence cannot be neglected. The fact is, that for the same rock, the same excavation profile and similar primary lining, different "optimum deformation" values exist, depending on the working process. The explanation of this phenomenon is going out from the different step of the "lost deformation" during the different working process used. These facts are very difficult to interpret into calculation solution and in case of bad circumstances; one can come to a quite wrong solution. Therefore it is always necessary to compare the results with the measured reality.

v plné míře projeví až po úplném uzavření primárního ostění, pokud do té doby nedojde k jeho porušení. Při využívání uváděných poznatků je však třeba mít na zřeteli, že vyplývají ze sledování horizontálně rozčleněného výlomového profilu. Při jiném postupu pracovního procesu, např. při svislém členění, nebo v případě, že vlivem geotechnických podmínek kotevní systém nemůže být dostatečně funkční, dochází k pomalé degradaci jeho únosnosti (plastický jíl), bude stříkaný beton pro stanovení optimální deformace hrát významnou roli a jeho příznivé působení zanedbat nelze. Ve výpočtu deformace pomocí MKP není úplně postižen příznivý vliv kotev, protože zatím jejich skutečnou funkci při použití matematického modelu nedokážeme pravdivě vystihnout. Ve výpočtu se zavádí jejich vliv pouze tloušťkou horninové klenby, kterou vymezují kotvy svojí délkou a změnami mechanickými a fyzikálními vlastnostmi horniny v této oblasti. O tom, že svým působením vytvářejí v hornině kolem výrubu novou kvalitu, však nemůže být pochyb, vyplývá to např. z extenzometrických měření. Dalším praktickým důkazem příznivého působení je skutečnost, že v některých případech dochází vlivem deformace horninového masivu až k přetržení kotevních tyčí. Pokud se týká svislého a vodorovného členění výrubu, lze obecně vyslovit konstatování, že pro týž profil ve stejných geologických podmínkách bude konečná deformace výrubu pro svislé členění vždy menší než pro členění vodorovné. Jako vždy při řešení jakékoli složitější úlohy i zde je třeba nejprve dobře promyslet a zdůvodnit mechanismus působení jednotlivých dílčích činností (např. částečných výrubů) na celkovou funkci sledovaného fenoménu a pak se teprve pustit do řešení zkoumaného problému. Z tohoto konstatování dále vyplývá skutečnost, že pro tutéž horninu při stejném profilu výlomu a podobném provizorním zajištění existuje různá velikost "optimální deformace" v závislosti na zvoleném postupu pracovního procesu výstavby. Vysvětlení tohoto jevu vyplývá z různého stupně využití "ztracené deformace", při odlišných způsobech výstavby podzemního díla. To je však početně velmi těžko postižitelná skutečnost, která při nesprávné interpretaci použitých údajů může vést až k výsledkům velmi odlišným od správného řešení. Proto je třeba získaný výsledek vždy konfrontovat se skutečností a korigovat tak vypočtené hodnoty.

3. Z takto stanovené deformace a ze zkušenosti odhadnutého celkového deformačního času může být nakreslena teoretická konvergenční křivka (viz rovnice 1). Vzhledem k tomu, že výpočet optimální deformace byl proveden pouze přibližně, je třeba i na tuto křivku pohlížet jako na první přiblížení se ke skutečnosti, které bude během pracovního procesu dále upřesňováno. Z toho důvodu je rovněž nutno během postupu pečlivě sledovat a zaznamenávat všechny změny geologie, které samozřejmě velikost deformace obvykle nejvíce ovlivňují. Konečný tvar deformační křivky, vyplývající z korigování výpočtu výsledkem několika provedených měření, se nazývá korelační deformační křivka a užívá se pak dále jako směrodatná křivka pro rozhodování o nutnosti úpravy nebo doplnění provizorního vstrojení výrubu. Jakmile je stanovena korelační def. křivka, stačí pak pouze měřit skutečné deformační křivky a porovnávat je s jejím průběhem. Jestliže se měřené deformace začne od ní nepřiznivě lišit, je nutno okamžitě zesílit primární ostění v patřičném místě osazenými kótami. Rovněž je možno průběh deformací ovlivnit např. změnou pracovního postupu.

Dále je třeba mít na paměti, že neporušená spodní klenba, čas jejího provedení, rozumí se ve vztahu ke vzdálenosti od čelby, má na konečné zastavení deformační rozhodující vliv a tím také na celkovou stabilizaci výrubu.

4. Při aplikaci zásad MRD není podstatou monitoringu zjištění o dosažení nebo nedosažení určitých stanovených deformačních hodnot, ale důležitý je způsob, jak který měřický bod těchto hodnot nabývá. To znamená, že rozhodování o instalaci posilujícího kotvení nevyplývá z dosažení určitých mezních deformací, ale z deformační rychlosti, trendu v kterémkoliv okamžiku výstavby primárního ostění. Z tohoto konstatování vyplývá podstata myšlenky MRD: Pro rozhodování o nutnosti zesílení primárního ostění není důležité dosažení stanovených deformačních mezí, ale dynamika vývoje deformační křivky, tj. deformační rychlost a její změna v určitém časovém úseku.

5. Definovaná deformační křivka je ve skutečnosti součet dvou deformačních hodnot. První část je hodnota pružné deformace, která je závislá pouze na deformačních charakteristikách horninového prostředí, velikosti výrubu a vzdálenosti sledovaného profilu od čelby (od určité velikosti této vzdálenosti, cca 1 D, se pružná deformace profilu prakticky již nemění).

Druhá část je závislá pouze na reologických vlastnostech horniny a může narůstat po značně dlouhý časový interval (např. 6-12 měs. apod.), nezávisle na vzdálenosti od čelby.

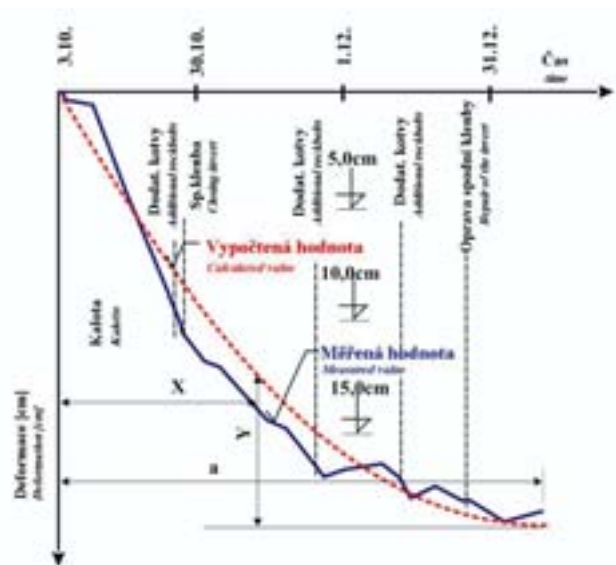
## STANOVENÍ PRŮBĚHU KONVERGENČNÍ KŘIVKY

Ze studia a porovnávání velkého počtu měřených dlouhodobých deformačních křivek dospěli autoři k závěru, že vztah deformace výrubu k času, který vede ke stabilizaci výrubu, lze jednoduše, v doč. shodě se skutečností, nahradit parabolou druhého stupně v následujícím tvaru:

$$Y = \frac{d}{a} \cdot \left( \frac{X^2}{a} - 2X \right) \quad (1)$$

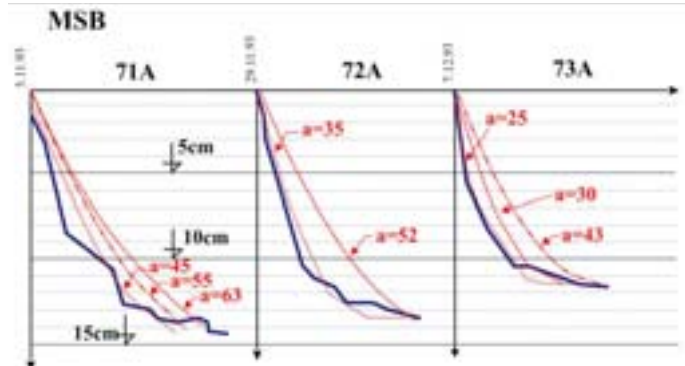
kde	Y = okamžitá deformace	(cm)
	X = čas, který uplynul od osazení měř. bodu	(dny)
	d = stanovená velikost optimální deformace	(cm)
	a = konečný čas celkové deformace	(dny)

Neznámou veličinu a je možno, jak již bylo řečeno, stanovit např. na základě zkušenosti (viz tabulka 2). Bylo zjištěno, že pro pevné horniny se tato hodnota pohybuje ve dnech (max. 10), pro měkké horniny je to přibližně jeden měsíc, pro velmi měkké až plastické horniny jsou to tři až šest měsíců. Na každé lokalitě pracuje,



Obr. 7 Stabilizace výlomu podle metody řízené deformace

Fig. 7 Excavation stabilisation according the controlled deformation method



Obr. 8 Vliv deformační doby na tvar teoretické deformační křivky

Fig. 8 Deformation time influence on the shape of the theoretical deformation curve

Shotcrete is capable of resisting deformation only when the primary lining is completely closed and it hasn't come to its rupture yet.

At the third, the course of deformation's curve can be drawn from this stated deformation and from the experience of the estimated total deformation time (depends on the rheological rock behaviour).

Finally it is necessary to follow the real excavated profile deformation during the excavation and compare it with the theoretical profile. When the deformation starts to be too different from the theoretical deformation curve, it is necessary to arrange the primary support stronger immediately by the installation of additional number of rockbolts. It is necessary to remember, that also undisturbed invert, in time of its building and distance from the face has a big significance for the stability of the excavation.

## THE TIME-DEFORMATION CURVE

For the possibility of the real time-deformation curve's course following it is necessary to find out the theoretical shape of this curve. From a big number of the deformation curves studies the author has come to the following result. For the expression of this time-deformation curve it is possible to use equation of parabola in the shape:

$$Y = \frac{d}{a} \left( \frac{X^2}{a} - 2X \right) \quad (1)$$

Where	Y = immediate deformation	(cm)
	X = time	(days)
	d = calculated value of optimum deformation	(cm)
	a = time in which it will come to the end of the deformation	(days)

The presented relationship is valued without any arrangement for the horizontal excavation profile division.

The unknown quantity can be determined approximately from experience. It was found, that for strong rocks this quantity moves in days (max. 10), for soft rocks it is around one month, for very soft till plastic rocks it is from three to six months. In every site an experienced geotechnical specialist is capable of estimating the



nebo na ni alespoň dozorá, některý ze zkušených geotechnických specialistů, který je schopen po určitém seznámení se s problematikou přibližně určit deformační rychlost, a tak doplnit v rovnici chybějící konstantu. Při určování veličiny  $a$  je rovněž možno vyjít i přímo z rovnice (1) s využitím koordinát některého z prvních měření. Také je možno postupovat metodou postupného přibližování tak, že se srovná několik prvních naměřených hodnot s předpokládanou konvergenční křivkou. Jestliže je dosaženo shody, nalezneme se nová konvergenční křivka se změněnou hodnotou  $a$ . Pro určité zkušenosti je to nejsnadnější cesta.

Uvedená závislost, rovnice (1), platí bez úpravy opět jen v těch případech, kdy se jedná o vodorovné členění výrubního profilu.

Vždy je třeba mít na vědomí, že pro zdárnou praktickou interpretaci naznačené metody má velký význam stabilita čelby [3]. V případech nestabilní horniny často dochází během ražby k vypadávání horniny v horní části výrubu ještě před nastříkáním stabilizační vrstvy stříkaného betonu nebo k vyjždění horniny z čelby, a tím i ke vzniku malých nebo větších nadvýlomů ještě před čelbou. Spolu s tím dochází i k nežádoucímu rozvolnění horniny, k nárůstu ztracené deformace a následně pak i ke zvýšení celkových deformací. Proti tomuto jevu je možno bojovat např. nástřikem čelby, krátkým nebo dlouhým ochranným deštíkem, lepším rozčleněním výlomu čelby, vytvořením opěrného klínu, kotvením čelby a pod.

Na obr. 7 je ukázáno jak postupovat při aplikaci MŘD, aby bylo dosaženo stabilizace výrubu při stanovené hodnotě optimální deformace. Je zde uvedena deformační křivka bodu "67 A" jižní tunelové roury, ze které je patrné, že bylo nutno třikrát osazovat další kotvy, aby bylo dosaženo požadovaného průběhu deformační křivky a zastavení deformace na 19,0 cm. Protože zde šlo o mastkové břidlice, které podle následujícího rozdělení patří do třetí skupiny měkkých až plastických hornin, celkový deformační čas  $a$  byl v tomto případě přibližně 100 dní. Samozřejmě, současně byl sledován i deformační průběh sousedních bodů B a C, protože deformace profilu není obvykle symetrická a z výsledků měření je nutno rozhodnout i o umístění dodatečných kotev. Z obrázku je zřejmé i podstatný vliv spodní klenby na stabilizaci výrubu. Podle zkušenosti z výstavby tunelů Salatin je v měkkých horninách důležité uzavřít spodní klenbu co nejrychleji, i když tento postup bez potřebné úpravy primárního ostění často vede k její destrukci. V uvedeném případě trvalo uzavření profilu 25 dní, což nebylo příliš úspěšné, avšak stále ještě uspokojivé. V jiných případech bylo dosaženo uzavření profilu během 14 dnů. Jestliže v podobných podmínkách uplynula mezi čelbou a provedením spodní klenby doba delší než jeden měsíc, vždy následoval podstatný nárůst deformací, přičemž problémy s jejich stabilizací vzrůstaly. Na obrázku je dobře patrný i vliv výlomu přístropí a obou postupných výlomů v opěři. Zde je třeba poznamenat, že uvedená část deformační křivky není ovlivněna žádnými dalšími skutečnostmi jako např. přerušování prací, průchodem druhého tunelu atd. Jak vypadá průběh deformační se zaznamenáním všech působících vlivů bude obsahem dalšího článku "Zkušenosti s výlomy v měkkých horninách na tunelech Selatin".

Na obr. 8 je ukázána konvergenční křivka v měřících bodech 71, 72 a 73 severní roury, kde je zobrazen vliv veličiny  $a$  na teoretický průběh deformace spolu se skutečným měřením. Na tabulce 2 jsou ukázány velikosti optimální deformace a celkové deformační časy pro některé typy hornin vyskytující se v selatinských tunelech. Z uvedených hodnot časů  $a$  a deformací lze pro podobné typy horninového prostředí a stejné rozpětí výlomu odvodit pravděpodobné velikosti potřebných veličin pro stanovení korelační deformační křivky.

HORNINA/ROCK	d (cm)	a (čas/time)
Porušený, tence vrstevnatý vápenec Jointed laminated limestone	10,00 6,00	7 – 14 dní/days
Grafitické břidlice Graphiteschist	19,00 10,00	
Mastkové a chloritické břidlice Talschist and chloriteschist	28,00 19,00	3 – 6 měsíců/months

Tab. 2 Doba konvergence a ilustrativní hodnoty optimální deformace pro třípruhový dálniční tunel

Table 2 Time-deformation and illustrative values of: optimum deformation for a 3-lane highway tunnel

## ZÁVĚR

Na hodnoty uvedené v tabulce je třeba pohlížet jako na hodnoty přibližné, platící pro výrub o světlosti cca 16,00 m, ovlivňované okamžitou změnou geologické situace a při jejich stanovování a praktickém ověřování bylo vycházeno ze statisticky zjištěných skutečností. Navzdory všem zmíněným nepřesnostem, popsané myšlenky a doporučení o sledování deformací a okamžitém reagování na jejich neočekávané změny byly úspěšně použity v praxi a při pokračování výstavby obou tunelů již nedošlo k žádným dalším nepředvídatelným událostem.

Předložený článek by rovněž rád upozornil na důležitost správně prováděného monitoringu při použití NRTM jako metody pro výstavbu podzemního díla.

Tak, vyvolána praxí, vznikla "metoda řízené deformace".

right speed of the deformation after short time and thus determine the missing value into the calculation. For the determination of the found value it is also possible to come out from the equation (1), stated optimum deformation  $d$  and the three first measured convergences in the following profile, or to work in another manner, e.g. the method of trial and error. Using calculated value of the optimum deformation and estimated duration of the deformation, comparing several such gained values with really measured convergences. If the calculated deformation course is much different from the first part of measured values, the new shape of deformation curve is calculated with amended constant  $a$ . After some experience with rock mass, it is the easiest way.

It is always necessary to have on mind that for the practical interpretation of the above-mentioned principles the face stability has enormous significance [3]. In case of the weak rocks it happens very frequently that together with the excavation, before a shotcrete stabilization shell is applied, the upper part of the rock face is going out, into the excavation. In this way smaller or bigger overbreaks are created in front of the face, which has influence on the rock loosening and consequently on the future deformation development in this area. Against it is possible to use shotcreting of the face, short or long forepoling, a better division of the face of the excavation, creating a belly-like support against movement, rockbolting of the face etc. How to install it, in which case, this is not a content of this article.

In the Fig.7, it is shown in which way it is necessary to go forward and how to use the theoretical deformation curve, to come to the equilibrium according to the described method. It can be seen in the presented curve at the deformation point "67A" in the Southbound, that it was necessary to increase the number of rockbolts three-times, to stop the deformation at 19,0cm. Because there were talcschists there, which belong according to the previous division into the third group, weak till plastic rocks, the total deformation time  $a$ , in this case, was around 100 days. Of course, the same process of measurement has to be done in the deformation points B and C in the right and left neighbourhood of the point A, because the profile's deformation is very rarely symmetrical. From this investigation it is necessary to decide also on additional rockbolts placing. In the picture it is also possible to see a big influence of invert on the profile stabilization. From the Selatin experience it was very important to close the profile as soon as possible. In this case it lasted 25 days, which was not too successful, but still satisfactory. In some other cases the closing of the profile was reached in 14 days. When, in such similar conditions, the profile was closed later than in one month, it was always followed by an enormous increase of the deformations. In the picture it is also possible to see the influence of the top heading and bench I and bench II excavation.

In this place, it is also necessary to explain, that this stated part of the deformation curve is not influenced by anything, e.g. by interruption of work, the second tunnel tube excavation etc. How the deformation curve looks further, with all influences that will come later, it is the content of another article "Experience with soft rock excavation in the Selatin tunnel".

Deformation curves at points 71, 72 and 73 Northbound are shown in Fig. 8. The influence of the value  $a$  on the theoretical course of deformation curves is illustrated. In the table 2, quantities of optimum deformations  $d$  and total deformation time  $a$  for several typical kinds of rock in Selatin tunnel are shown.

## CONCLUSION

The values in the table are informative, because a lot of approximate simplifying facts were used during their determination. In spite of that, the use of the described ideas and recommendations, about the deformation's following and immediate reaction on the unexpected changes, was very successfully used in practice. In fact, this controlled deformation method originated in the practice.

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] G. Kichler, Dipl. Ing. The safety of the ringlike support structure of the surrounding rock or soil formation, when applying NATM. (International society for rock mechanics, symposium 1985 Mexico).
- [2] H. Wagner, Ph.D.P.E. Theoretical aspects of temporary support measures in shallow and deep tunneling. (Underground construction seminar, Feb. 2+3 1987, New York).
- [3] G. Swoboda and H. Wagner. Design based on numerical modeling. Requirement for an economical tunnel construction. (Rapid excavation and tunneling conference, June 13-17 1993, Boston, Massachusetts).
- [4] M. Bucek, Ph.D.Doc, J. Bartak, Rock mechanics and engineer geology. (CVUT, Prague 1984).

## DEFINITIVNÍ KONSTRUKCE AUTOMOBILOVÉHO TUNEL MRÁZOVKA V PRAZE

## FINAL STRUCTURES OF MRÁZOVKA VEHICULAR TUNNEL IN PRAGUE

ING. JOSEF DVOŘÁK, ING. PAVEL ŠOUREK, SATRA, s. r. o., ING. JIŘÍ MOSLER, METROSTAV, a. s.

## ÚVOD

V době, kdy vyjde toto číslo časopisu Tunel, bude uvedena do provozu další část městského automobilového okruhu v pražské čtvrti Smíchov. Stěžejním objektem této části je tunel Mrázovka a dokončení přemostění Plzeňské ulice u jižního portálu Strahovského tunelu. Dojde tak k výraznému zklidnění dopravy a zlepšení životního prostředí v přilehlé oblasti.

Tunel Mrázovka je zcela jistě technicky nejnáročnějším dílem, které bylo v České republice novou rakouskou tunelovací metodou doposud realizováno. Příspěvek se zaměřuje na definitivní ostění a dokončující práce, neboť jejich realizace nebyla v tomto časopise doposud popsána.

## DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ - NÁVRH

Dopravní řešení městského okruhu si v tunelu Mrázovka vyžádalo realizovat různé profily ražených tunelů - třípruhové, dvoupruhové, jednopruhové, tunelové rozplety, tunelové propojky a podzemní technologické prostory. Zásadní význam pro statický návrh definitivního ostění měly závěry ze studie proudění spodní vody v okolí tunelu, zejména určení ustálené hladiny spodní vody po dokončení díla, jejíž výška dosahuje až 30 m nad klenbu tunelu. Z podélného profilu trasy, kde nejnižší místo není u portálu, vyplývá nemožnost gravitačního odvodnění tunelu. Na základě těchto předpokladů a s přihlédnutím ke zkušenostem z vyspělých evropských tunelářských zemí byla navržena celoplošná uzavřená foliová izolace umístěná mezi primární a sekundární (definitivní) ostění.

Pro dimenzování definitivního ostění byly rozhodující kombinace následujících zatěžovacích stavů: vlastní tíha, geostatické zatížení, hydrostatické zatížení, smrštění betonu, změny teploty.

Statické výpočty definitivního ostění byly provedeny metodou konečných prvků programem MISES 3 firmy Tdv GmbH z Grazu. Při výpočtu v numerickém modelu bylo využito výpočetní metody simulující vliv rozpadu primárního ostění v závislosti na čase. Změna únosnosti primárního ostění má totiž zásadní vliv na zatížení definitivního ostění od geostatického tlaku.

Již zkušební výpočty při numerickém modelování třípruhového tunelu ukazovaly na problém velkých deformací definitivního ostění v bocích a spodní klenbě. Současně se i hodnoty ohybových momentů dostávaly nad reálné možnosti dimenzování.

Proto se přistoupilo k velmi nestandardnímu řešení, k zapojení mostovky (konstrukce nesoucí vozovku) jako ztužujícího táhla do konstrukce ostění. Tak odpadla nutnost zesilování ostění a s tím spojená nutnost zvětšení raženého profilu.

Zapojením mostovky jako táhla byly sníženy deformace a ohybové momenty v bocích a ve dně ostění. Deformace dna bez využití táhla by se projevil nadměrnými deformacemi vozovky od nadzdvíhnutí stěn. V teoretických úvahách o návrhu betonového táhla figurovala i možnost předpínání lany, předpínání tyčemi, nebo kombinace předpínání a betonářské výztuže. Všechny tyto varianty byly však z hlediska provádění shledány jako nevhodné. S ohledem na způsob zakotvení do bloků se použila pouze betonářská výztuž. Při statickém posouzení železobetonové desky mostovky bylo základním předpokladem výpočtu dodržení maximální šířky trhlin tak, aby byla zajištěna protikorozní ochrana výztuže. Kromě namáhání vnitřními silami od spolupůsobení mostovky s ostěním je tato konstrukce zatěžována pohyblivým zatížením od dopravy a vahou vrstev vozovky. Na kombinaci těchto zatížení byla mostovka navržena, a to včetně vlivu únavy od pohyblivého zatížení.

Statický model s využitím mostovky jako táhla byl využit pro oba třípruhové tunely včetně rozpletových úseků. V případě rozpletů (profil výrubu dosahuje až 335 m<sup>2</sup>) se však konstrukce táhla-mostovky dostává až na samou mez využitelnosti, neboť pro zajištění kritéria maximální trhliny je v betonové desce tloušťky 300 mm umístěno až 10Ø R32/m ve třech řadách nad sebou. Navíc nad podpůrnými stěnami je tato výztuž doplněna přidavnými smykovými ohyby proti protlačení stěn deskou. Tento fakt vedl k použití betonové směsi pro mostovku, která se blížila betonu samozhutnitelnému, ovšem s nutností zajištění příčného a podélného spádu mostovky až 2 %. Rovněž byla upravena maximální frakce kameniva. Šířka rozpletu, nutnost zatažení výztuže táhla od jednoho boku klenby k druhému a nemožnost stykování přesahem vedly k nutnosti použití šroubovacích spojek výztuže LENTON.

U ostatních profilů tunelu Mrázovka již spolupůsobení konstrukce mostovky a ostění nebylo nutné uvažovat.

Převládajícím namáháním konstrukce ostění tunelu je mimostředný tlak s malou a velkou výstředností, posouzení bylo provedeno dle teorie mezních stavů ČSN 731201 - Navrhování betonových konstrukcí. Naopak táhlo-mostovka, jako konstrukce mostního typu, byla posouzena dle teorie dovolených namáhání ČSN 736206 - Navrhování betonových a železobetonových konstrukcí. Rozhodujícím namáháním u ní byla kombinace tahu s ohybem.

## INTRODUCTION

Another section of the City Circle Road will be opened to traffic in Prague district Smíchov about the time of this Tunel magazine issue publication. A principal structure of this section is the Mrázovka tunnel, including the completed part of the bridge over Plzeňská Street at the southern portal of the Strahov tunnel. This opening will result in significant silencing of traffic and improvement of environment within the surrounding area. Certainly, the Mrázovka tunnel is technically the most complex construction that has been realised in the Czech Republic using the New Austrian Tunnelling Method. Therefore this contribution is focused on the final liner and finishing work, which have not been described in this magazine yet.

## FINAL LINER - DESIGN

The traffic solution of the City Ring Road required various cross sections of the Mrázovka mined tunnel to be applied, i.e. triple-lane, double-lane and single-lane profiles, bifurcation chambers, cross passages and underground equipment rooms. Crucial for the structural analysis of the final lining were conclusions of a study on groundwater flows in the vicinity of the tunnel, mainly determination of the groundwater standing level after completion of the Works (the level reaches up to 30 m above the tunnel crown). It follows from the longitudinal profile of the route (the lowest point is not found at the portal) that application of a gravity system of the tunnel drainage was impossible. Based on the above assumptions, and with respect to experience from developed European tunnelling countries, a closed waterproofing membrane system around the entire circumference was designed, to be installed between the primary and secondary (final) liners.

Combinations of the following load states are crucial for the structural analysis of the final lining: dead weight, geostatical load, hydrostatical load, concrete shrinkage, changes in temperature.

Final lining analyses were carried out using the Finite Element Method, with application of the MISES 3 program developed by a Graz-based company Tdv GmbH. For calculation in the numerical model, a calculation method was used simulating the influence of deterioration of the primary liner with time. This was because the change in the loading capacity of the primary liner affects principally the loading of geostatical pressure acting on the final liner.

A problem of major deformations of the final liner at the sidewalls and invert was signalled as early as the phase of trial calculations during the numerical modelling of the triple-lane tunnel tube. In the same time, values of bending moments exceeded realistic capabilities of proportioning.

For the above reason, a very non-standard solution was adopted. A bridge deck (i.e. the carriageway bearing structure) was incorporated as a stiffening tie-beam connected to the lining structure. This solution eliminated a need for thicker lining structure associated with a necessity to enlarge the excavated cross section.

The incorporation of the bridge deck acting as a tie-beam resulted in reduction in deformations and bending moments in the lining sidewalls and invert. Deformations of the invert without application of the tie-beam would have taken effect in a form of excessive deformations of the carriageway due to heaving of walls supporting the bridge deck inside its span. Theoretical considerations on the concrete tie-beam design contained also options of pre-stressing with cables, rods, or a combination of pre-stressing and concrete reinforcement in steel bars. All these variants were found unsuitable in terms of execution. Concrete reinforcement only was used, with respect to the manner of anchoring to blocks. A basic assumption for the structural analysis of the reinforced concrete bridge deck slab was that maximum width of fissures had to be maintained to secure corrosion protection of reinforcement bars. Apart from the stressing due to internal forces originating from the bridge deck - liner interaction, this structure is loaded by a live traffic load and the weight of the carriageway layers. The bridge deck was designed for a combination of those loads, including an effect of live loading fatigue.

The structural model comprising the bridge deck acting as a tie-beam was applied to both triple-lane tunnel tubes, including bifurcation chamber sections. Regarding the bifurcation chambers (excavated cross-section area reaching 335 m<sup>2</sup>), however, the tie-beam (bridge deck) structure gets to the very limit of applicability. To secure compliance with the criterion of the maximum fissure width, there are three tiers of 10Ø R32/m placed in the 300 mm thick concrete layer. On top of that, additional shear bent-up bars are placed above the supporting walls to prevent the walls from punching the slab. This fact resulted in application of concrete mix of nearly self-compacting composition for the bridge deck. Still a necessity for this concrete mix to allow the placement at a longitudinal and transversal gradient up to 2% remained. The maximum aggregate grain size was also adjusted. The width of the bifurcation chamber, a necessity to draw the tie-beam reinforcement bars from on side-wall to the other one, and impossibility to use lap splicing, resulted in necessity to use LENTON threaded connections of reinforcement bars.

The bridge deck - liner interaction did not have to be taken into consideration for the other profiles of the Mrázovka tunnel.

Prevailing stressing of the tunnel lining structure is due to combined bending and compressing with small and large eccentricity. The structural analysis was carried out using the plastic theory, according to the ČSN 736206 standard "Concrete and Reinforced Concrete Structures Design". Deciding stressing was due to a combination of tension and bending.



## DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ - REALIZACE

Provádění definitivního ostění přímo souviselo s prováděním hydroizolačního systému. V případě tunelu Mrázovka byla použita celoplošná uzavřená fóliová izolace na bázi polyolefinů (SARNAFIL MP 915-30 B2 o tloušťce 3 mm se signální vrstvou), doplněná o injektážně monitorovací systém injektážních bodů a hadic, který umožňuje případné dodatečné dotěsnění vyplněním prostoru mezi izolací a vnějším lícem definitivního ostění. Jednotlivé příčné spáry mezi sekcemi betonáže (délka dle pojízdné hydraulické formy) byly zajištěny vnějšími těsnícími pásy AFI 600/35 MP. Ostatní spáry byly zajištěny zesíleným pásem izolace.

Vlastní práce následovaly po dokončení ražby tunelů provedením geodetické kontroly povrchu stříkaného betonu primárního ostění tunelu. V západním tunelu byl k tomuto účelu použit systém DIBIT, u východního pak systém CYRAX. Oba systémy umožnily provést v krátkém čase celoplošné zaměření a vyhodnocení povrchu ostění v požadované přesnosti v řádu milimetrů. Na základě výsledků kontrolního zaměření byly provedeny lokální hrubé úpravy primárního ostění pomocí skalní frézy Boart Longyear BF 1000 D-5 nasazené na podvozku tunelbagru Liebherr R 932 Litronic Tunnel.

Následovala konečná úprava podkladu pod hydroizolační fólii včetně provedení podkladní vrstvy betonu B 20 ve střední části spodní klenby tunelu. Součástí přípravných prací bylo také přijetí dočasných opatření proti prosakující vodě, neboť účinnost původní stavební drenáže umístěné pod primárním ostěním invertu se ukázala v dovrchním úseku jako nedostatečná, a docházelo tak k hromadění prosakující vody pod hydroizolačním souvrstvím.

Po zhotovení izolací spodní klenby tunelu byla, v postupných krocích, vybetonována spodní část ostění. Postupovalo se od spodní klenby přes betonové bloky a stěny k mostovce. Následovala izolace horní klenby a její betonáž, doplněná injektáží prostoru mezi sekundárním ostěním a izolací. Tato injektáž měla zajistit vyplnění prostoru vzniklého technologickou nemožností dobetonovat klenbu až do úplného vrcholu, objemovými změnami betonu a nerovnostmi na podkladu izolace. Jako materiál ostění, kromě betonových bloků, byl použit beton C25/30, modifikovaný přísadami podle místa uložení. S ohledem na harmonogram prací, respektive na čas pro odbednění, se beton pro horní klenbu, stěny a mostovku upravoval především přísadami pro urychlení počátečního nárůstu pevnosti. V betonu mostovky byla zároveň upravena zrnitost a konzistence směsi tak, aby beton prostoupil i hustou výztuží mostovky. Pro betonáž bloků bylo využíváno betonu C16/20, nebo C25/30 se sníženým nárůstem pevnosti, respektive se sníženým nárůstem hydratačního tepla, tak aby u masivních prvků nedocházelo ke vzniku trhlin vlivem objemových a teplotních změn při zrání betonu.

Práce v klenbě byly prováděny ze tří pomocných pracovních plošin a vlastního tunelového bedničního vozu s využitím společné kolejové dráhy s rozchodem 12,60 m. U všech pracovních plošin a pojízdného ocelového bednění musel být zajištěn nezbytný průjezdný profil z důvodu umožnění dopravy materiálu a betonové směsi. Délka rozpracovaného úseku klenby tunelu od úpravy primárního ostění po betonáž byla cca 70 m. Rychlost postupu se pohybovala v průměru 13 sekcí za měsíc. Společně s betonáží klenby byly zabetonovány také SOS výklenky s plochou 13 m<sup>2</sup>, nasávací požární kanály s profilem 1500 x 200 mm a krčky do tunelových propojek.

Pro montáž výztuže klenby třípruhového tunelu (hmotnost výztuže jednoho bloku byla v průměru 8,64 t) se použila těžká ocelová pracovní plošina s elektrickým pojezdem vybavená hydraulicky vysouvatelnou podpěrnou konstrukcí využívající šplhací zařízení ACS-R firmy PERI GmbH. Svislou dopravu armatury zajišťoval nakládací jeřáb NJ 35 výrobce OSTROJ OPAVA.

Na montáž výztuže ve spodní části klenby navazovala montáž výztuže střední části a po vysunutí podpěrné konstrukce se provedlo propojení a doplnění armatury boků. Vnější vrstva armatury byla opatřena flexibilními distančními podložkami typu Kabuflex Ø 55 mm, na vnitřní vrstvě byly použity pevnostní distanční vláknobetonové podložky válcového tvaru v počtu 200 ks na jeden blok. Z důvodu úspory místa pro uložení materiálu v tunelu byl navržen lichoběžníkový otevřený profil nosných příhradových žebér výztuže tak, aby bylo možno jednotlivá žebra ukládat do sebe.

Horní klenba tunelu byla betonována do pojízdného čtyřkloubového ocelového bednění firmy ÖSTU STETTIN (v případě třípruhových tunelů celkové šířky 14,4 m a hmotnosti 120 t). Bednění bylo vybaveno hydraulickým ovládním, pevným rozvodem betonu s pohyblivým rozdělovačem betonu, pneumatickými vibrátory NVT 105 firmy GRUMAG a pojistnými přetlakovými prvky.

Konstrukce ocelového bednění umožňovala připojení přídavných ocelových bednění pro betonáž požárních kanálů v klenbě, výklenků SOS a krčků technologických propojek. Při osazování a demontáži přídavných obalů požárních kanálů byla navíc použita pneumatická zdvihadla spolu se závěsy s lanovými kladkami přikotvenými do primárního ostění přes izolaci pomocí BA kotev.

Doba vlastní betonáže klenby se pohybovala obvykle v rozmezí 6 - 8 hodin v závislosti na množství betonu v jednotlivých sekcích a plynulosti dopravy betonové směsí. Rychlost betonáže 2 m výškového sloupce betonu za hodinu byla limitována konstrukční pevností formy, přičemž maximální povolený rozdíl hladin betonu v bocích bednění činil 700 mm. Odbednění formy se provádělo zhruba 12 až 14 hodin po ukončení betonáže, minimální pevnost při odbedňování byla 12 MPa. Definitivní ostění v rozpletech bylo navrženo v délce cca 50 m. Tyto délky byly dále rozčleněny na 9, resp. 10 sektorů o délce cca 5 m.

Spodní klenba až do úrovně mostovky byla prováděna zcela obdobně jako u tunelů třípruhových.

## FINAL LINING - CONSTRUCTION

Execution of the final lining was directly associated with installation of the waterproofing system. A closed waterproofing system using polyolefine-based membrane SARNAFIL MP 915-30 B2 (3 mm thick, with a signal layer) was used for the Mrázovka tunnel. The system was complemented by a grouting-monitoring system of grouting points and hoses, which allows additional re-sealing if required, by filling the space between the membrane and external surface of the final lining with grout. Individual transversal joints between individual concreting sections (having a length corresponding to the hydraulic shutter length) were provided with external water-stops AFI 600/35 MP. The other joints were protected by reinforced strips of the waterproofing membrane.

The work on the final lining followed after completion of the tunnel excavation by surveying the shotcrete primary lining surface. The DIBIT system was used for this operation in the western tunnel tube, and the CYRAX system in the eastern tube. Both systems allowed execution of the survey and assessment of the whole surface, to required accuracy in the order of millimetres. Local rough trimming of the primary lining was carried out on the basis of the check survey, using Bogart Longyear BF 1000 D-5 roadheader boom mounted on an undercarriage of Liebherr R 932 Litronic Tunnel excavator.

Final finishing of the waterproofing membrane substrate followed, including casting of a blinding concrete layer in the central part of the invert (concrete B20). Part of preparation operations was also adoption of temporary measures against seeping water, as efficiency of the original construction drainage placed under the invert primary lining showed insufficient in the uphill driven section (seeping water gathered under the waterproofing layers).

Once the invert waterproofing had been completed, the lower part of the lining was cast in steps. The casting proceeded from the invert, through concrete blocks and walls, to the bridge deck. Application of the waterproofing to the upper vault and casting of the vault followed, together with injecting grout to the space between the secondary lining and membrane. This grouting was designed to fill the space originating due to technical impossibility to pour concrete up to the very top of the vault due to volume changes of concrete, and uneven surface of the waterproofing membrane substrate. Concrete of C25/30 grade, modified by admixtures according to particular locations of placement, was used for the lining (excepting the blocks). The concrete for the upper vault, walls and bridge deck was modified using primarily admixtures accelerating initial development of strength. Regarding the bridge deck concrete, gradation of aggregates and the mix consistency were modified to allow concrete to pass through the congested reinforcement. Concrete C16/20 or C25/30 with reduced strength gain, or reduced rate of hydration heat rise was used for the blocks to prevent development of fissures in the massive elements due to volume and temperature changes during the concrete curing period. The operations in the vault were carried out using three auxiliary gantry platforms and the travelling shutter proper (all of them sharing one track with a track gauge of 12.60 m). A clearance profile necessary for transport of materials and concrete mix had to be maintained under all gantry platforms and the travelling steel shutter. The length of the section being under construction, from the primary lining trimming to the concrete casting, amounted to about 70 m. The advance rate fluctuated around 13 sections per month. SOS niches having an area of 13 m<sup>2</sup>, suction fire ducts with a cross section 1500 x 200 mm, and stubs of cross passages were cast together with the vault.

The placement of the reinforcement of the triple-lane tunnel vault (an average weight of reinforcement for one section reaching 8.64 t) was carried out using a heavy steel gantry platform with an electric motor drive, provided with hydraulically extendable support structure using a climbing equipment ASC-R manufactured by PERI GmbH. Loading crane NJ 35 manufactured by OSTROJ OPAVA secured vertical transport of reinforcement bars.

Placement of reinforcement in the central part of the vault followed after the placement of reinforcement in the lower part, and, after extending the support structure, the two parts were interconnected, and the reinforcement of the sidewalls added. The external reinforcement layer was provided by flexible spacers Kabuflex Ø 55 mm, while high-strength fibre reinforced concrete spacers of a cylindrical design were used for the internal layer (200 pieces per one section). For a reason of saving space for storing materials in the tunnel, the cross section of lattice girders used as the reinforcement support was designed as an open trapeze. This design allowed the girders to be nested.

The tunnel upper vault was concreted using a four-joint travelling steel shutter manufactured by ÖSTU STETTIN (total width of 14.4 m, weight of 120 t in the case of triple-lane tunnel tubes). The shuttering was equipped with a hydraulic control system, a fixed concrete distribution system with a movable concrete distributor, pneumatic vibrators NVT 105 manufactured by GRUMAG, and safety overpressure elements.

The steel shutter design allowed connection of steel shuttering attachments for casting of fire ducts in the vault, SOS niches and cross passage stubs. Pneumatic hoists were used (together with suspensions with cable pulleys fixed to the primary lining using BA anchors passing through the waterproofing membrane) for assembly and dismantling of additional envelopes of the fire ducts.

The concrete vault casting took usually 6 to 8 hours, depending on the volume of concrete in the particular section and fluency of concrete mix transport. The casting rate of a 2 m high concrete column per hour was given as a limit determined with respect to the structural strength of the shutter, while maximum allowable difference of 700 mm was prescribed between the levels of concrete surfaces at the sides of the shutter. The shutter stripping took place about 12 to 14 hours after completion of the casting; minimum stripping strength of 12 MPa was required.

The final liners in the bifurcation chambers were about 50 m long. Those lengths were divided into 9 or 10 sectors/rounds (about 5 m long).

The invert up to the bridge deck level was carried out similarly to the triple-lane tunnels.

Naproti tomu pro horní klenbu bylo třeba najít vhodný systém betonáže a zejména bednění, který by dokázal zajistit požadovanou plynulou změnu tvaru. Navržena byla kombinace bednění systémového s vložením individuální části speciálně pro každý sektor vyrobené. Bednění, resp. ostění rozpletů, muselo v severní části plynule navazovat na třípruhový tunel (šířka tunelu 14,46 m) a v poloze jižní muselo splňovat širkové požadavky uspořádání navazujícího dvoupruhového tunelu a odbočující jednopruhové větve (šířka tunelu 20,95 m). Problematická pro návrh tvaru ostění byla též proměnná výška od primárního ostění. Rozdíl výšky profilu klenby na začátku a na konci rozpletu činil 1,33 m. To vedlo k zásadnímu požadavku na bednění definitivního ostění klenby, jež s postupem betonářských prací po sektorech muselo být schopno lineárně zvětšit světlou výšku profilu. Dalším požadavkem bylo plynulé půdorysné natáčení boků klenby, a to podle vedení tras tunelů. Pro reálnou možnost návrhu bednění bylo přistoupeno ke zjednodušení tvaru vnitřního líce definitivního ostění, kdy místo plynule se měnící obloukové klenby byl tento tvar nahrazen vždy dvojicí válcových ploch na obou bocích a vodorovným rozšiřujícím se klínem ve vrcholu klenby. Poloměry ostění byly navrženy podle nejmenšího sektoru tak, aby je bylo možno použít pro všechny profily obou rozpletů. Do napojení obloukových ploch byla vložena pracovní spára. Boky klenby se tak mohly betonovat samostatně a vůči sobě se oddalovat a natáčet. Zároveň bylo možno podle pracovní spáry na hotových bocích klenby natáčet obloukovou část vrcholu klenby pro možnost navýšování profilu. Hodnota pootočení byla volena s ohledem na výslednou tloušťku vlníků klenby, který byl dobedněn vodorovně. Poslední sektor (číslo 9, resp. 10) byl ukončen atypicky pracovní spárou se svislou čelní stěnou, která zakončuje konstrukce dvoupruhového a jednopruhového tunelu.

Tloušťka ostění klenby pro jednotlivé sektory byla navržena 450 - 600 mm. Stejně jako v jiných úsecích tunelu byly tolerance na provádění horní klenby stanoveny do +100 mm a -0 mm od projektovaného tvaru.

### BAREVNÉ ŘEŠENÍ – DOKONČOVACÍ PRÁCE

Výsledné barevné řešení interiérů tunelu Mrázovka sleduje stanovenou jednotnou koncepci barevného řešení celého MO, respektuje stavebně-technické řešení stavby a zároveň se stává součástí informačního systému tunelu, tedy i celého MO. Vlastní povrchové úpravy a informační systém v tunelu jsou díky své povaze vzájemně natolik provázané, že je nelze oddělit a řešit samostatně. Mezi cíle jednotné koncepce patří zejména:

- jasné a jednotné vizuální definování tunelů MO jako významné městské komunikace;
- využití prvků barevného řešení k usnadnění orientace řidiče.
- Za základní "orientační jednotku MO" byly zvoleny mezikřížovatkové úseky, které jsou od sebe navzájem zřetelně barevně odlišeny. Materiálová skladba všech mezikřížovatkových úseků - keramický obklad na stěnách tunelu a nátěr stropu event. klenby - byla převzata z DSP tunelů Mrázovka. Přibližně do výšky očí řidiče byl navržen 500 mm široký barevný vodící pruh ve zvolené základní barvě mezikřížovatkového úseku. Na základě porovnávání variant byla vybrána výška obkladu 3,5 m.
- Vlastní barevné řešení interiérů tunelu Mrázovka zahrnuje povrchové úpravy a barevné řešení chodníků, stěn a stropů event. klenb tunelových trub, SOS výklenků, interiérů propojek, povrchové úpravy viditelných zámečnických výrobků, dveřních výplní a vrat, zakrytování technologií. Keramický obklad o zvoleném modulovém rozměru 125 x 250 mm je ukládan rovnoměrně s niveletou tunelu, tloušťka spáry je 3 mm. Obklad je rozdělen do šesti barevných vodorovných pruhů a čtyř barevných odstínů. Výběr barev byl proveden dle vzorníku RAL a s ohledem na již neměnný způsob osvětlení sodíkovými výbojkami (jiné barvy než oranžová či červená by byly v sodíkovém světle potlačeny a barevné řešení tunelu by ztrácelo smysl). Pro barevný vodící pás tunelů Mrázovka byla vybrána barva červená, pro ostatní plochy keramického obkladu byly zvoleny tři odstíny béžové barvy. Po délce tunelu jsou úseky keramického obkladu přerušovány zelenými pruhy dilatačních celků s SOS výklenkem a propojkou. Liniové barevné řešení obkladu je rytmizováno svislými pruhy keramiky v odstínu nejtmavší béžové v místech, kde se nacházejí víka injeztážních krabic. Pro nátěr klenby tunelu byla vybrána barva světle šedá. Stejný barevný odstín je použit i v interiérech propojek a v SOS výklenku. Podlahy propojek jsou opatřeny nátěrem v odstínu barvy zelené.
- Informační systém tunelu Mrázovka obsahuje staničení tunelu, informace o vzdálenosti k SOS výklenku, event. propojce, způsob označování dveřních výplní a skříňi SOS výklenků, jednotné značení SOS výklenků, event. propojek v rámci MO, značení únikových cest v technologických prostorách tunelu. Informační cedule staničení a informace o směru a vzdálenosti úniku k SOS výklenku či propojce jsou jednotně řešeny jako plechové, zapuštěné do keramického obkladu. Písmo a piktogramy jsou provedeny fotoluminescenčním nátěrem na tmavě zeleném podkladu. Fotoluminescenčním nátěrem je provedeno i označení SOS výklenků. Pro označování byl stanoven předpis pro umístění a obsah včetně výšky a stylu písma. Po hranách chodníků probíhají vodící fotoluminescenční pruhy (š = 50 mm), které jsou přerušeny příčným pruhem vždy v místě možného úniku, event. SOS výklenku.

### ZÁVĚR

Snahou účastníků výstavby tunelu Mrázovka v čele s projektantem (SATRA, s. r. o.) a zhotovitelem (sdružení akciových společností METROSTAV a SUBTERRA) bylo profesionální zvládnutí všech problémů s cílem vytvořit kvalitní, moderní a estetické dopravní dílo splňující nejpřísnější požadavky na bezpečnost provozu.

On the other hand, a suitable concrete casting system had to be found for the upper vault, namely regarding the shutter, which had to ensure a fluent transition of the cross section geometry. The proposed design combined a shuttering system with an individual section inserted, fabricated specifically for each round. The shuttering, or the concrete lining of the bifurcation chambers, had to provide fluent transition to the triple-lane tunnel in the northern part (tunnel width of 14.46 m); in the southern part it had to provide transition to the double-lane tunnel and the single-lane tunnel branch (total tunnel width of 20.95 m). Also the changing height from the primary lining posed problems in terms of the lining geometry design. The difference of the height of the vault cross section at the beginning of the bifurcation chamber and at its end amounted to 1.33 m. This resulted in a fundamental requirement for the final vault lining shutter to be capable of increasing the profile clearance linearly with the concrete casting operations advancing, round by round. Another requirement was that the sides of the vault shutter had to be capable of fluent horizontal rotation to conform to the horizontal alignment of the tunnels.

With respect to practical aspects of the shutter design, the geometry of the final lining internal surface had to be simplified. A fluently changing full-centre vault was replaced by a couple of cylindrical surfaces on both sides and a horizontal expanding wedge at the vault crown. Radii of the lining were designed according to the smallest sector/round, to be applicable to all profiles of both bifurcation chambers. A day joint was "inserted" to the connection of the cylindrical surfaces. Thus the vault sides could be cast separately, and could be rotated and their distance changed. In the same time it was possible to increase the cross section clearance by rotating the full-centre vault segment, depending on the day joint of the completed sides of the vault. The angular rotation value was chosen considering the resulting thickness of the vault crown, where the shuttering was completed by hand. The last round (# 9 or 10) ended atypically, by a day joint with vertical front wall, which terminates the double- and single-lane tunnel tubes.

The vault lining for individual sectors/rounds was designed at a thickness varying from 450 to 600 mm. Same as in other tunnel sections, +100 mm and -0 mm tolerances from the designed geometry were determined for the upper vault construction.

### COLOUR SCHEME – FINISHING WORK

The final colour scheme of the Mrázovka tunnel interior follows the agreed unified colour scheme conception of the entire City Circle Road (CCR), respects the structural solution of the construction, and, in the same time, becomes part of the tunnel information system, thus of the entire CCR. The surface finishes and information system in the tunnel proper are, owing to their nature, interconnected to such a degree that they cannot be separated and solved independently. Among objectives of the unified conception, we can state above all the following ones:

- explicit and unified visual definition of tunnels on the CCR as an important urban road;
- application of the colour scheme elements to simplification of driver orientation.
- Inter-junction sections, distinguished markedly in colours, were chosen as basic "CCR orientation units". Material composition of all inter-junction sections, i.e. the ceramic wall cladding in the tunnel and the ceiling/vault coating, was taken over from the final design of the Mrázovka tunnel tubes. An approximately 500 mm high coloured strip was designed at the level of driver's eyes. The colour corresponds to the colour determined for the given inter-junction section. A part of determination of the overall conception of surface finishes was also a decision on the level of the ceramic cladding top above the roadway level. A level of 3.5 m was chosen on the basis of comparison of variants. The colour scheme of the Mrázovka tunnels interior or proper comprises surface finishes and colour schemes of pavements, walls and ceilings or vaults of the tunnel tubes, SOS cabins, interiors of cross passages, surface treatment of visible metalwork, door panels and gates, and tunnel equipment covers. The ceramic cladding of the chosen module dimensions 125 mm x 250 mm is applied in parallel to the vertical alignment of the tunnel, the joints are 3 mm wide. The cladding is divided into six coloured horizontal strips and four colour shades. A colour card RAL was used for selection of colours, but the already unchanging sources of light, sodium lamps, were also taken into consideration (other colours than orange or red would be suppressed in the sodium light, and the purpose of the colour scheme would not be achieved). Red colour was chosen for the coloured guide strip in the Mrázovka tunnel, while three shades of beige colour were selected for the other surfaces of the ceramic cladding. The ceramic cladding is interrupted along the entire length of the tunnel by green strips of the dilatation blocks containing SOS niches and cross passages. The linear-type colour scheme of the cladding is made rhythmic by vertical strips of darkest beige shade ceramics in locations of covers of grouting boxes. The same colour shade is also used in cross passage interiors and SOS niches. Floors in the cross passages are provided with a green shade coating. The Mrázovka tunnel information system comprises information on the tunnel chainage, distance to the SOS niche or cross passage, the manner of marking door panels and SOS cabins, unified marking of SOS niches or cross passages in the CCR system, marking of escape ways in tunnel equipment rooms. Signs informing about the chainage and direction of escaping and distance to the SOS cabin or cross passage are designed as steel sheet tablets embedded into the ceramic wall cladding. Letters and pictograms are carried out using photoluminescent paint on dark-green background. Photoluminescent paint is also used for SOS niches marking. The marking specifications determine positions and legend of the signs, including the height and style of letters. Photoluminescent guide strips (50 mm wide) run along the edges of pavements. The strips are regularly interrupted by a transversal strip at each location of the escape way or SOS cabin.

### CONCLUSION

Participants of the construction process with the engineering consultant (SATRA, s. r. o.) and contractor (joint venture of METROSTAV and SUBTERRA companies) at the head contributed to the professional solution of all problems, with an objective of creating a quality, modern and aesthetic traffic structure complying with the most stringent requirements for operational safety.



## Městský okruh v Praze úsek Barrandovský most – Strahovský tunel

od počátku ke zprovoznění /1992 > 2004/

- Západní segment pražského městského okruhu propojuje Barrandovský most se Strahovským tunelem
- Celý průběh je pokrýván třemi soubory staveb:
  - MO Zličov – Radlická
  - MO Radlická – Strahovský tunel
  - MO Strahovský tunel 3. stavba

### výkon činnosti generálního projektanta celého komplexu staveb

- > Stanovení koncepce dopravního řešení v územním plánu a v urbanistické studii Smíchov
- > Opatření veškeré průzkumné dokumentace, realizace průzkumné štoly
- > Zajištění přípravné a projektové dokumentace pro všechny stavby
- > Dodávka realizační dokumentace pro zhotovitele staveb
- > Monitoring při výstavbě tunelů, geologické sledování ražeb, pasportizace a sledování zástavby
- > Výkon autorských dozorů



PUDIS a.s., Nad Vodovodem 2/3258, 100 31 Praha 10  
tel.: +420 274 776 645, fax: +420 274 778 656  
www.pudis.cz, e-mail: info@pudis.cz

IČ: 45272891, DIČ: CZ45272891  
Městský soud v Praze, oddíl B, vložka 1458  
ČSOB a.s. - 105 026 522 / 0300

**PUDIS**  
akciová společnost



Sokolská 32, 120 00 Praha 2 - Nové Město  
phone : (+420) 296 337 111  
fax : (+420) 296 337 100  
e-mail : satra@satra.cz  
web : www.satra.cz

- Technical-economical studies
- Projects for zoning decision and building permit
- Tender documentation
- Realization documentation
- Set of record drawings
- Operational-technical information systems of constructions
- Operation regulations
- Elaboration of static calculations by the method of final elements
- Proposal and dimensioning of operational and fire ventilation of tunnels
- Measurement of relative damages in reinforced concrete structures using vibrating wire strain gauge

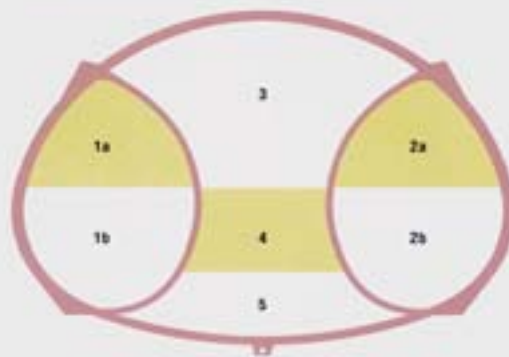
**DESIGN, CONSULTING AND ENGINEERING SERVICES**  
designer of driven tunnels and the technology for the whole construction



**AUTOMOBILOVÝ TUNEL MRÁZOVKA DO PROVOZU!  
MRÁZOVKA VEHICULAR TUNNEL UNDER OPERATION!**

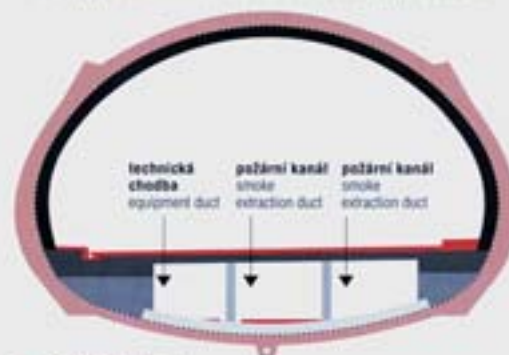


**Postup ražby Excavation procedure**



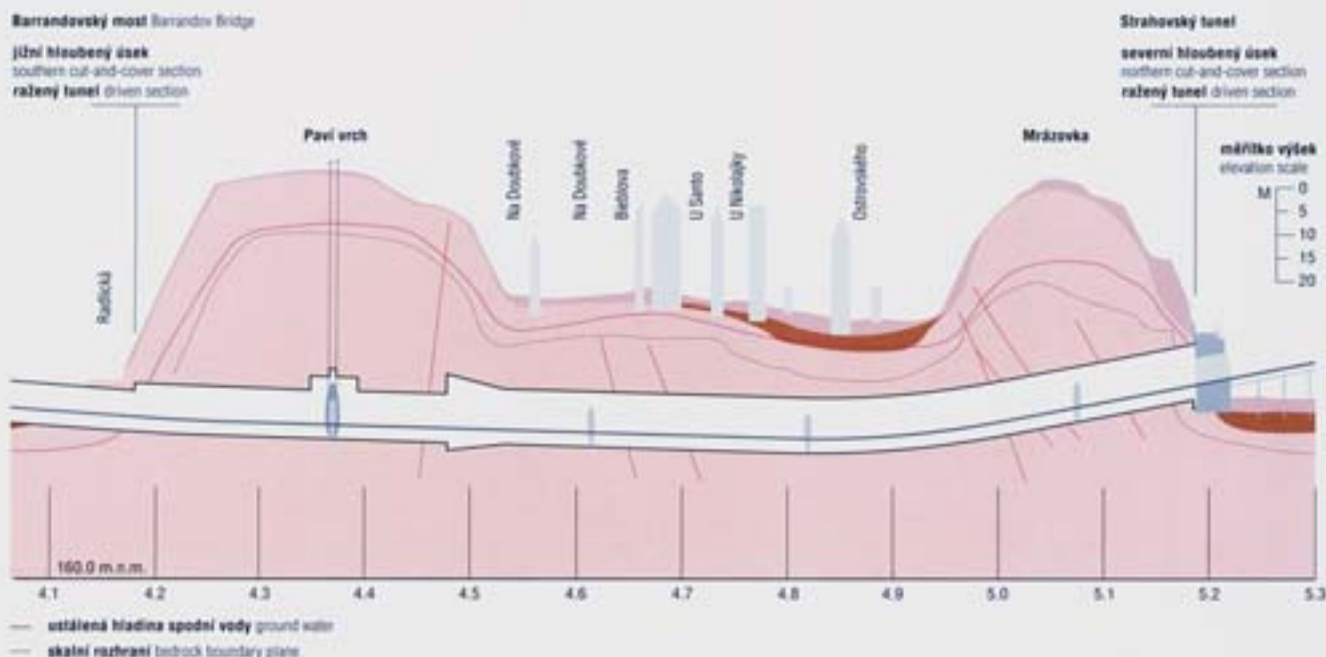
- 1 levá boční štola left sidewall drifts
- 2 pravá boční štola right sidewall drifts
- 3 kalota top heading
- 4 jádro bench
- 5 dno invert

**Postup betonáže Concrete casting procedure**



- primár primary liner
- sekundár secondary liner
- 1. fáze – betonáž Phase 1 – concrete casting
- 2. fáze – betonáž Phase 2 – concrete casting
- 3. fáze – betonáž Phase 3 – concrete casting
- 4. fáze – betonáž Phase 4 – concrete casting
- 5. fáze – betonáž Phase 5 – concrete casting

**Podélný řez s geologií, západní tunel  
Longitudinal profile with geology, the western tube**





# AUTOMOBILOVÝ TUNEL MRÁZOVKA DO PROVOZU! MRÁZOVKA VEHICULAR TUNNEL UNDER OPERATION!

## TUNELY MRÁZOVKA ZÁKLADNÍ INFORMACE O STAVBĚ

**Investor:** Magistrát hl. m. Prahy – odbor městského investora, Vyšehradská 51, Praha 2  
**Obstaravatel:** VIS, a. s., Bezová 1658, Praha 4  
**Generální projektant:** PUDIS, a. s., Nad vodovodem 3258/2, Praha 10  
**Projektant ražených částí a technologie:** SATRA, s. r. o., Sokolovská 32, Praha 2  
**Dodavatel:** Sdružení firem METROSTAV, a. s., Koželužská 2246, Praha 8  
 SUBTERRA, a. s., Bezová 1658, Praha 4

### RAŽENÉ TUNELY

Celková délka:	západní tunel (ZTT)	1004 m
	východní tunel (VTT)	837 m
Celkový objem ražených tunelů		351 778 m <sup>3</sup>
Profily:	třípruhový	165 m <sup>2</sup>
	dvupruhový	115 m <sup>2</sup>
	tunelový rozplet	až 324 m <sup>2</sup>

Tunelové propojky	5 ks
Strojovna vzduchotechniky	49 m
Trafostanice	26 m

Hloubené tunely	VTT	ZTT
Jižní hloubený úsek	379 m	257 m
Severní hloubený úsek	48 m	34 m

Celkový objem	109 021 m <sup>3</sup>
---------------	------------------------

## MRÁZOVKA TUNEL BASIC INFORMATION ON THE CONSTRUCTION

**Owner:** Municipality of the Capital City of Prague - Investment Department,  
 Vyšehradská 51, Prague 2

**Project Management:** VIS, a. s., Bezová 1658, Prague 4

**Principal Designing Engineer:** PUDIS, a. s., Nad vodovodem 3258/2, Prague 10

**Designing Engineer for mined sections and equipment:**

SATRA, s. r. o., Sokolovská 32, Prague 2

**Contractor:** Joint-venture METROSTAV, a. s., Koželužská 2246, Prague 8  
 SUBTERRA, a. s., Bezová 1658, Prague 4

### MINED TUNNELS

Total length:	Western Tunnel Tube (WTT)	1004 m
	Eastern Tunnel Tube (ETT)	837 m
Mined tunnels total excavation volume		351 778 m <sup>3</sup>

Profiles:	three-lane	165 m <sup>2</sup>
	double-lane	115 m <sup>2</sup>
	tunnel bifurcation	up to 324 m <sup>2</sup>

Cross passages	5 pcs
Ventilation station	49 m
Transformer station	26 m

Cut-and-cover tunnels	ETT	WTT
Southern section	379 m	257 m
Northern section	48 m	34 m
Cut-and-cover tunnels total excavation volume		109 021 m <sup>3</sup>

Obr. 1 Stavební úpravy severního portálu  
 Fig. 1 Construction work on the northern portal

Obr. 2 Západní tunelová trouba před dokončením  
 Fig. 2 Western tunnel tube before completion

Obr. 3 Tunel s technologickým vybavením  
 Fig. 3 Tunnel with the technological equipment

Obr. 4 Montážní práce v tunelu  
 Fig. 4 Assembling works in the tunnel

Obr. 5 Pohled do strojovny vzduchotechniky  
 Fig. 5 View into the ventilation plant room

Obr. 6 Rozplet v západním tunelu  
 Fig. 6 Bifurcation chamber in the western tunnel

Obr. 7 Ventilační jednotky připravené k montáži  
 Fig. 7 Ventilation units ready to be assembled

Obr. 8 Vjezdový úsek tunelu ze severního portálu  
 Fig. 8 Entry section of tunnel at the northern portal





**AUTOMOBILOVÝ TUNEL MRÁZOVKA DO PROVOZU!  
MRÁZOVKA VEHICULAR TUNNEL UNDER OPERATION!**





## STAVEBNÍ GEOLOGIE - GEOTECHNIKA, a.s.



**SG**  
Geotechnika

Váš partner pro řízení geotechnických rizik při výstavbě tunelů



Stavební geologie - GEOTECHNIKA, a.s.

Geologická 988/4, 152 00 Praha 5 - Barrandov

tel.: 234 654 111, 234 654 101

fax: 234 654 112, 234 654 102

e-mail: [geotechnika@geotechnika.cz](mailto:geotechnika@geotechnika.cz)

web: [www.geotechnika.cz](http://www.geotechnika.cz)

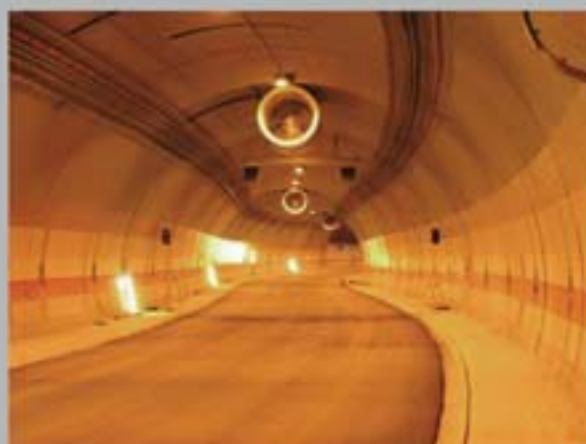


DOPRAVNÍ SYSTÉMY

Se stavbou tunelu MRÁZOVKA je úzce spjata jméno společnosti **ELTODO dopravní systémy s.r.o.**, která již dříve figurovala při dalších neméně důležitých stavbách tunelů, ať již v tuzemsku či v zahraničí. V současné době je společnost zapojena do rozsáhlých projektů, týkajících se výstavby tunelu Mrázovka.

### Jedná se zejména o:

- Řízení dopravy a technologické zařízení
- Proměnné dopravní značky
- Integrace řízení tunelu Mrázovka do systému řízení vnitřního městského okruhu
- Měření CO, opacity a rychlosti proudění vzduchu
- Rekonstrukce hlavního technologického dispečinku tunelů TSK na Strahově
- Integrace TV systému Mrázovka do TV vnitřního městského okruhu



Eltodo dopravní systémy s. r. o. koordinuje také dodávky jednotlivých subdodavatelů, zajišťuje spolehlivost, funkčnost dodávek a technologické návaznosti na související dálniční stavby.

## HODNOCENÍ RIZIK V AUTOMOBILOVÝCH TUNELECH

### ASSESSMENT OF RISKS IN ROAD TUNNELS

PROF. ING. PAVEL PŘIBYL, CSc., ELTODO EG, a. s.

#### ÚVOD

Otázky typu "Je v tomto tunelu zajištěna dostatečná bezpečnost pro řidiče", ale i "Není tunel vybaven zbytečně nákladně" nebo "Jak se zvýší bezpečnost, když změníme ..." trápí investory a provozovatele tunelu velmi často. Nalezení "metriky" pro hodnocení rizik je jistě velmi složité a v našich podmínkách dosud ani nebylo řešeno.

Tříletý projekt vědy a výzkumu ministerstva dopravy, který byl ukončen v březnu tohoto roku, se v několika kapitolách touto problematikou zabývá. Kromě definic souvisejících s rizikovou analýzou a rizikovým managementem analyzoval možnosti, které jsou známy pro vlastní hodnocení, a zkoumal, co by bylo možné převést do našich podmínek. Pro kvantitativní, neboli číselné, hodnocení rizik se ve světovém měřítku používají tzv. stromkové diagramy, lit [1]. Tyto diagramy jsou však poměrně složité a jejich omezení spočívá i v tom, že se ve snaze zahrnout do hodnocení rizik velkou množinu proměnných ovlivňujících bezpečnost stávají velmi nepřehlednými. Zajímavým experimentem bylo hodnocení rizik ve stávajících i projektovaných tunelech na městském okruhu v Praze založeném na příčinných (Bayesovských) sítích, lit [2]. Výsledky umožňovaly provést srovnání všech tunelů městského okruhu z hlediska bezpečnosti. Vlastní metoda příčinné sítě se ale řešitelům projektu ministerstva dopravy nejevila optimální jako univerzální nástroj pro analýzu rizik v automobilových tunelech v širším měřítku.

Vlastní řešení hodnocení rizik se v projektu odvíjelo dvěma směry. První byl orientován na "laickou" veřejnost a ve formě tzv. rizikového kalkulátoru umožňuje investorovi ohodnotit, zda jím realizovaný tunel je v souladu s platnými normami a technickými podmínkami. Zde se jedná pouze o kvalitativní hodnocení a měřítkem je, zda kvalita vyhovuje, či ne. Druhá metoda je značně originální a nebyla dosud ve světovém měřítku publikována. Její podstatou je, že sice využívá pro kvalitativní hodnocení stromkových diagramů, ale podstatně redukuje dimenzi problému, a tím činí metodu průhlednou a snáze opakovatelnou. Vlastní redukce problému spočívá v tom, že se pro hodnocení zásadních uzlů ovlivňujících bezpečnost, jakým je například způsob identifikace požáru, používá expertní hodnocení založené na fuzzy metodice.

Obě metody hodnocení rizik v tunelech doplněné dalšími kapitolami jsou zpracovány do návrhu technických podmínek, lit. [3], které budou v letošním roce projednávány odbornou veřejností.

#### MOŽNOSTI ANALÝZY RIZIK

V rámci projektu byly popsány a analyzovány možnosti pro oceňování rizik od nejjednodušší metody kvalitativní, přes semikvantitativní, až po kvantitativní metodu dávající číselné hodnoty. Principy kvalitativní i kvantitativní analýzy jsou popsány v následujících odstavcích.

##### Kvalitativní analýza

Obvykle se jedná o hodnocení v prvním kroku analýzy rizik, které má stanovit, zdali je vůbec další analýza nutná, případně na jaké oblasti se má následná analýza zaměřit. Výstupy umožní určit oblasti dalšího zájmu a z toho vyplývající techniky pro následné ocenění rizik. Obvykle lze říci, že se jedná o prostředek využívající hlavně u systémů s potenciálně nízkým nebezpečím rizik. V případě tunelů se jedná o základní hodnocení, zda jsou naše tunely ve shodě s národními i evropskými předpisy pro vybavení tunelů vzhledem k bezpečnosti.

Z hlediska techniky provádění se provede shlukování zařízení a objektů, například podle požadavků na vykonání jisté funkce, a klasifikuje se, zda je nutné zkoumat rizika, nebo se konstatuje, že zařízení/objekt/systém je dostatečně bezpečný, aby mohl vykonávat danou funkci, protože je ve shodě s předpisy. Často jsou používány matice rizik, kde jsou četnosti a důsledky událostí rozděleny do kategorií rizik jako "vysoké", "střední" a "nízké".

Podobný, i když zjednodušený, postup je použit pro ocenění větší, menší nebo nedostatečně "bezpečnosti" zařízení, objektů a systémů v navržené metodice využívající tzv. **Rizikový kalkulátor**. Tato originální metodika byla vytvořena v rámci zpracování projektu a je promítnuta i do návrhu technických podmínek. Detailní popis kalkulátoru je v lit. [4] a princip metody je uveden dále.

##### Kvantitativní analýza

Kvantitativní analýza je obecně vzato neobjektivnější. Tento typ analýz je obvykle zpracován nejvíce v detailu, a proto vyžaduje i nejvíce času, čímž je zkoumání relativně drahé. Nezbytné je mít k dispozici dostatek vstupních, obvykle statistických, údajů. Četnosti událostí a jejich důsledky jsou kvantifikovány, tedy vyjádřeny číselně, a tím i porovnatelně. Následně mohou být použita další kritéria pro akceptování nebo neakceptování vyhodnocených rizik.

#### INTRODUCTION

Questions such as "Is there a sufficient level of safety provided in this tunnel?", and also "Has the tunnel been equipped too costly?" or "How is safety enhanced if we change...?" annoy the investors and tunnel administrators very frequently. Finding of the right "metric" for the assessment of risks is indeed very difficult and for our conditions has not yet even been dealt with.

A three-year project of science and research of the Ministry of transport, which was concluded in March this year, dealt with this issue within several chapters. On top of definitions connected with risk analysis and risk management it also analyzed options that determine the own assessment and examined, what can be transformed into our conditions. As for quantitative, or numerical, assessment of risks, the so-called tree charts are globally used, lit [1]. These charts are, however, rather complicated and they are also limited by the fact that they strive to integrate a large set of safety-shaping variables into the assessment of risks and thus become highly convoluted. There was an interesting experiment in assessment of risks in the existing as well as designed tunnels at the City Ring Road in Prague using causal (Bayesian) nets, lit [2]. The results allowed to perform comparison of all tunnels of the City Ring Road from the viewpoint of safety. Nevertheless, the own method of causal nets did not appear to solvers of the project of the Ministry of Transport as an optimal universal tool for analysis of risks in road tunnels in a wider scale.

The own solution of the assessment of risks in the project followed two directions. First was oriented at the lay public and using the so-called Risk calculator enables the investor for instance to evaluate whether the tunnel he realises fulfills valid standards and specifications. In this case, the only a qualitative assessment and the criterion is whether the quality is satisfactory or not. The second method is largely original and has not yet been published on a global basis. In principle it uses tree charts for qualitative assessment, but it significantly reduces dimension of the problem and thus makes the method more transparent and easier to repeat. The own reduction of the problem lies in the use of expert assessment, based on Fuzzy methodology, for the assessment of major safety-shaping junctions, such as the method of fire identification.

Both methods of assessment of risks in tunnels, supplemented by further chapters, are elaborated into the proposal for specifications, lit [3], which are about to be discussed by the professional community this year.

#### OPTIONS OF THE RISK ANALYSIS

Within the project, options for the assessment of risks were characterized and analyzed from the most elementary qualitative method, through semi-quantitative to quantitative method that submits numerical values. Principles of the qualitative as well as quantitative analysis are characterized in the following paragraphs.

##### Qualitative analysis

It usually acts as a first-step assessment in the risk analysis, which is to determine whether further analysis is needed at all, or on what fields should the subsequent analysis focus. The output allows determining the sphere of further interest and from that arising methods for the following assessment of risks. Usually it can be stated that it is a tool used mainly for systems with potentially low hazards. In case of tunnels it is basic assessment, whether our tunnels are in accord with national and European regulations for safety-related equipment of tunnels.

From the technical point of view, equipment items and structures are clustered, for instance according to the requirement to perform a certain operation and it is classified whether it is necessary to examine risks or it is stated that the equipment/structure system is sufficiently safe in order to perform such operation, because it is in accord with regulations. Risk matrices are often used, where the frequencies and effects of events divided into risk categories such as "high", "medium" and "low".

Similar, although simplified, procedure is used for the assessment of higher, lower or insufficient "safety" of devices, structures and systems in the designed methodology that uses the so-called **Risk calculator**. This original methodology was created during elaboration of the project and is also projected into the proposal for specifications. For detailed characteristics of the calculator see lit [4], for principles of the method see below.

##### Quantitative analysis

Quantitative analysis is generally the most objective one. This type of analysis is usually elaborated into details and therefore also requires the most time, which make it



Po důkladné analýze byla zvolena jako základní metoda pro kvantitativní oceňování rizik v návrhu technických podmínek metoda stromkových diagramů (MSD). Ta je tvořena následujícími kroky: identifikace rizikové (hazardní) události, kvantifikace pomocí konsekvenci analýzy (consequence analysis), určení četnosti nebo pravděpodobnosti a stanovení míry rizika. Výsledky jsou prezentovány jako F/N křivky, reprezentující sociální rizika pro uživatele tunelu. Tím je tedy grafické vyjádření ukazující vztah mezi četností dané události (F) a množstvím následků (N). Následkem může být například počet usmrčených osob při nehodě či požáru.

### RIZIKOVÝ KALKULÁTOR – KVALITATIVNÍ HODNOCENÍ

Metoda kvalitativní musí být poměrně jednoduchá. Měla by odborníci (např. projektantovi) pomoci odhadnout, zda stavební a technologické vybavení a uspořádání tunelu vyhovuje z hlediska bezpečnosti. Výstupem tedy nejsou číselné hodnoty a tím tato metoda ani neumožní sledovat v kvantitativním (číselném) ohodnocení, jaké změny v ocenění rizik vyvolají například dodatečné stavební či technologické úpravy. Na druhé straně však tato jednoduchá metoda nevyžaduje spoluúčast specialisty na rizikovou analýzu a usnadní základní orientaci v problematice. Základní myšlenkou je vytvoření programového prostředí, které posuzuje daný tunel ve dvou krocích:

1. Na základě zadání parametrů tunelu a dopravních charakteristik vypočítá míru příslušnosti k bezpečnostním kategoriím TA, TB a TC (dle TP98) a dále určí relativní [%] příslušnost k dané kategorii.
2. Po vyplnění předprogramovaných tabulek stanoví, které objekty (prvky, subsystémy) jsou v rizikové oblasti.

Celá metodika tohoto hodnocení je zpracována v programovém prostředí Excel a je nazvána rizikový kalkulátor. Při práci se postupuje následujícím způsobem: Pro určení míry příslušnosti daného tunelu k bezpečnostním kategoriím dle TP98 (vydání 2004) se zadávají parametry jako délka tunelu, intenzita apod. a výstupem je přiřazení tunelu do jedné ze tří kategorií a určení míry příslušnosti k této kategorii. V praxi to znamená, že tunel 100% zařazený do dané kategorie musí splňovat požadavky této kategorie. Pokud přísluší pouze z 50 % například do TA, a tím se blíží TB, je možné požadavky zmírnit.

Vlastní myšlenka ocenění rizik vychází z rozložení subsystémů (objektů ve smyslu systémové analýzy) tunelu majících vliv na rizika pro účastníky provozu, na: "osvětlení tunelu, větrání tunelu ..." na prvky (nouzové osvětlení, ...; dimenzování množství vzduchu v normálních podmínkách ...). Struktura a počet objektů a prvků striktně vycházejí z TP98 a z připravované normy ČSN 73 7507. Protože se jedná v převážné míře o heterogenní prvky mající i různý vliv na rizika, je každému prvku přiřazena váha. Tuto váhu přidělili všem prvkům řešitelé projektu, ale je možné ji modifikovat na základě expertních zkušeností.

Vlastní hodnocení potom probíhá tak, že hodnotitel přiřadí (zaškrtnutím příslušného políčka) každý prvek do jednoho ze tří výstupů: *přesahující požadavky* (ve vztahu k TP a ČSN), *shoda se standardy a nevyhovující TP* nebo ČSN. Příklad tabulky připravené pro hlásky nouzového volání je na obr. 1.

Po vyplnění všech dílčích tabulek pro jednotlivé objekty je automaticky zpracována výsledná tabulka (zobrazená na obr. 2) určující rizikový faktor pro každý hodnocený objekt. Ten je zobrazen třemi barvami:

zelená bezpečné, vyhovuje technickým podmínkám a ČSN  
 šedá bezpečné, převyšuje požadavky na bezpečnost  
 oranžová nebezpečné, nevyhovuje technickým podmínkám a ČSN

Pokud je u nějakého objektu oranžová barva, je nutné provést dodatečnou analýzu, respektive provést kvantitativní výpočet rizik.

Rizikový kalkulátor tedy usnadní základní orientaci v problematice a upozorní na kritická místa z hlediska bezpečnosti. Pokud se taková místa objeví, je nutné přejít na číselné neboli kvantitativní ohodnocení tunelu.

### METODA STROMKOVÝCH DIAGRAMŮ – Kvantitativní hodnocení

Jak bylo již řečeno, je pro kvantitativní hodnocení použita modifikovaná metoda stromkových diagramů. Původním přínosem navržené modifikované metody je redukování počtu uzlů stromkového diagramu tím, že jsou ohodnoceny základní uzly v první fázi řešení fuzzy metodikou. Tím odpadají sekundární uzly, které by zvyšovaly dimenzionalitu hodnocení. Po této redukci dále následuje standardní hodnocení metodou stromkových diagramů.

Hodnocení tunelové stavby tedy probíhá ve dvou fázích. V první fázi je hodnocení prováděno pomocí fuzzy metody, ve druhé fázi se používá MSD. Fuzzy metoda vnáší do hodnocení expertní odhad založený na zkušenostech odborníků pohybujících se v tunelové oblasti. Expertním hodnocením vychází z báze pravidel. Pravidla zpracoval tým odborníků zabývajících se problematikou projekce, výstavby a provozování tunelů. Pro hodnocení je použit program LFLC 2000 vytvořený na Ostravské univerzitě.

Na obr. 3 je blokové schéma navržené metody. Počátečními (vstupními) podmínkami jsou dopravní data (intenzita dopravy). V závislosti na stavebním uspořádání tunelu mají vliv na rozsah a četnost událostí. Výstupem bloku *Vznik události* je tedy určení četnosti nehod v závislosti na denní době, charakteru tunelu (jednosměrný/obousměrný) a dalších faktorech. V důsledku nehody může vzniknout požár. Výstupem bloku *Vznik požáru a rozsah*, kdy se hodnotí, zda se jedná o nehodu osobního či nákladního vozidla, jaký materiál je převážen apod., je četnost malého či velkého požáru.

Rizikový kalkulátor vybavení tunelu		Výstupy kalkulací:	Rizikový faktor	Shoda s TP98	Předimenzováno
Objekt	Prvek				
4	Hlásky nouzového volání				
4.1	Osvětlení				
4.1.1	Vzdálenost dia bodu 6.1 TP 98				
4.1.2	Umístění u proposal dia bodu 6.1 TP 98				
4.1.3	Instalace na jedné nebo stěněch tunelu				
4.1.4	Není umístěna za uzlem dia bodu 6.1				
4.2	Přehled a označení				
4.2.1	Kryt IP 34 dia bodu 6.1 TP 98				
4.2.2	Číselné označení SOS kabiny dia bodu				
4.2.3	Označení IRI 4 TP dia bodu 6.1 TP 98				
4.2.4	Označení ST dia bodu 6.1 TP 98				
4.2.5					
4.3	Komunikační systém				
4.3.1	Přístup na dialektu není doprava dia				
4.3.2					
4.4	Průhledná palba				
4.4.1	Průhledná palba dia bodu 6.2 TP 98				
4.4.2					

Obr. 1 Tabulka pro hodnocení hlásek nouzového volání  
 Fig. 1 Table for assessment of the emergency calling cabin

relatively expensive. It is essential to have at hand a sufficient amount of primary, commonly statistical, data. Frequencies of events and their effects are quantified, in other words in numerical expression that allows comparison. Subsequently, further criteria can be used to accept or reject the evaluated risks.

Following a thorough analysis, the method of tree charts (TCM) was selected as the basic method for quantitative assessment of risks within proposal for the specifications. It consists of the following phases: identification of the risky (hazardous) event, quantification using a consequence analysis, assessment of frequencies or probabilities and determination of the rate of risk. Results are illustrated using a F/N curve, representing social risks for user of the tunnel. That is the graphical expression of relation between frequency of that given event (F) and the number of consequences (N). A consequence can be for instance the number of killed persons during an accident or fire.

### RISK CALCULATOR – QUALITATIVE ASSESSMENT

The qualitative method has to be relatively simple. It should help the professional from the tunneling field (for example a designer) to estimate whether the engineering and technological equipment as well as the layout of the tunnel are satisfactory as far as safety is concerned. Thus, there are no numerical values in the output, nor does this method allow to observe in quantitative evaluation (numerically) what changes in the assessment of risks are caused for instance by additional civil or technological adjustments. On the other hand, such simple method does not require participation of a risk analysis specialist and provides basic orientation in the field. The fundamental idea is to create a program environment which would assess the given tunnel in two phases:

1. Based on input parameters of the tunnel and traffic characteristics it will calculate the rate of relevance to one of the safety categories TA, TB and TC (according to TP98 specifications) and further determine relative [%] relevance to that given category.
2. After completion of preprogrammed tables it will determine, what structures (elements, subsystems) are located in the risky area.

The entire methodology of this assessment is elaborated in the EXCEL programming environment and is called Risk calculator. The following procedure is kept during the work:

In order to determine relevance of the given tunnel to the safety categories according to TP98 (2004 edition), parameters such as tunnel length, intensity etc. are taken in and as an output the tunnel is classified in one of the three categories while rate of relevance to this category is calculated. In reality that means that a tunnel 100% relevant to that category must fulfill requirements of this category. If it is only 50% relevant, for instance to TA or thus is closer to TB, some requirements can be reduced.

The own idea of assessment of risks arises from the distribution of subsystems (objects as implied by the system analysis) in the tunnel that have impact on risks for the traffic participants, and thus objects (tunnel illumination, tunnel ventilation) and elements (emergency illumination, dimensioning of the amount of air by normal conditions). Structure of the objects and elements strictly follows the TP98 and the prepared standard ČSN 73 7507. As these are predominantly heterogeneous elements that have various impacts on risks, each element has a certain weight. Solvers of the project have attributed weights to all elements, but these can be modified based on expert experience.

The own assessment then proceeds so that the evaluator attributes (by crossing the respective checkbox) each element to one of the three outputs: Exceeding requirements (in relation to TP and ČSN), Fulfilling standards and Not fulfilling TP or ČSN. For example of table prepared for the emergency calling cabins see Fig. 1.

Rizikový kalkulátor vybavení tunelu		Výstupy kalkulací:	Rizikový faktor	Stupeň s TP98	Předimenzování
Objekt	Prvek				
1.	<b>Osvětlení tunelu</b>				
1.1	Normální osvětlení				
1.2	Nouzové unikové osvětlení				
1.3	Náhradní osvětlení				
2.	<b>Větrání tunelu</b>				
2.1	Normální režim-dimenzování množství vzduchu				
2.2	Normální režim-kongesce				
2.3	Větrání propojek a uniků				
2.4	Rízení v případě požáru				
2.5	Teplotní odolnost				
2.6	Účinky smogu				
2.7	Kvalita řízení				
3.	<b>Dopravní systém</b>				
3.1	Dopravní režimy tunelu				
3.2	Kategorie vybavení tunelu dopravním značením				
3.3	Orientační dopravní značení				
3.4	Švetečné signály				
3.5	Švetečné signály pro jízdu v pruzích				
3.6	Zařízení pro provozní informace				
3.7	Reflexní prvky				
3.8	Zábrany				
3.9	Kvalita a pokrytí dopravními detektory				
3.10	Měření dopravních parametrů				
3.11	Možnosti identifikace kongesce				
3.12	Možnosti identifikace zastavení vozidel				

Obr. 2 Výsledná tabulka rizikového kalkulátoru

Fig. 2 Final table of the risk calculator

Tato četnost pak vstupuje do bloku *Vyhodnocení následků*, jehož základem je redukovaný rozhodovací strom. Standardně by rozhodovací strom pro vyhodnocení následků zahrnoval několik (desítek) uzlů. Díky redukci uzlů ve fuzzy blocích se dále pracuje jen s následujícími uzly: *Identifikace události*, *Stavební bezpečnostní úpravy*, *Reakce systému a vývoj kouře*.

### Fuzzy hodnocení jako základ pro metodu stromkových diagramů

Kvalitativní vyhodnocení objektů a prvků podléhajících se na identifikaci požáru a na reakci systému a obsluhy je provedeno **expertní metodou** založenou na fuzzy přístupu. Základem je báze rozhodujících pravidel, která by měla být trvale doplňována podle pokroku ve znalostech. Metoda vyžaduje využití specializovaného programového prostředí, v tomto případě program LFLC 2000 - Linguistic Fuzzy Logic Controller, který byl vytvořen na Ostravské univerzitě, v Ústavu pro výzkum a aplikace fuzzy modelování. V tomto programu byl řešitel projektu vytvořen nástroj, který umožňuje automatické hodnocení objektu/prvku po zadání jeho parametrů. Prostřednictvím tohoto nástroje jsou hodnoceny tři uzly tvořené objekty a prvky. Jedná se o objekty:

- Identifikace požáru;
- Stavební bezpečnostní úpravy;
- Ventilace.

Příkladem použití navržené metody může být hodnocení objektu "Identifikace požáru". Na identifikaci požáru se větší či menší měrou podílejí následující prvky:

- liniový hlásič požáru (umístěný pod stropem tunelu hlásí dosažení nastavené teploty nebo nepřipustný nárůst gradientu teploty);
- videodetekce kouře (kamerový systém identifikuje automaticky vznik kouře);
- GSM (řidiči informují záchranné složky pomocí mobilních telefonů);
- SOS kabina (řidiči informují dispečera tunelu o vzniku požáru);
- videodohledu (požár je identifikován dispečerem tunelu z monitorů dohledu).

Na obr. 4 je blokové schéma postupu vyhodnocení identifikace požáru. Pomocí fuzzy metody jsou hodnoceny všechny výše uvedené prvky, kterými je možno identifikovat požár. Na každý z uvedených prvků má vliv řada okrajových podmínek, které ovlivňují schopnost identifikovat požár. Pro liniový hlásič požáru (LHP) bylo připraveno 37 fuzzy expertních pravidel, která hodnotí výšku umístění LHP, vliv gradientu tunelu na vlastnosti LHP, způsob ventilace a dále to, zda je vůbec hlásič instalován, respektive, zda měří i nárůst teploty. Výsledkem je potom hodnocení identifikace požáru liniovým hlásičem ve stupnici od VYBORNÝ až po ŠPATNÝ. Příklad dvou pravidel je v následující tabulce.

If (PožiceVyska is NÍZKO) and (GradientTunelu is MALÝ) and (Ventilace is PŘÍČNÁ) and (GradientTeploty is ANO) and (JeLiniovýHlasič is ANO) then (HodnoceníLHP is VYBORNÝ)
If (PožiceVyska is STŘEDNĚ) and (GradientTunelu is MALÝ) and (Ventilace is PŘÍČNÁ) and (GradientTeploty is ANO) and (JeLiniovýHlasič is ANO) then (HodnoceníLHP is VYBORNÝ)

Vlastní hodnotící parametry (NÍZKO, MALÝ ...) zadává expert. Na výstupu tohoto programového modulu je v číselné stupnici od 0 do 1 vypočítáno, jaká je kvalita identifikace vzniklého požáru. Na příkladu výpočtu hodnocení LHP pro Strahovský tunel, za vstupních podmínek, výška umístění 5,5 m nad vozovkou, gradient tunelu 3,2 % a příčná ventilace je ukázáno, že díky neměření gradientu teploty vyšlo hodnocení 0,5. Pokud by zde byl hlásič pracující i s diferencí teploty, zvýší se hodnocení na 0,811.

After filling in all the partial tables for separate objects, a final table in Fig. 2 is automatically shown, which determined the risk factor for each evaluated object. Such an object is shown in three colors :

- Green safe, fulfills specifications and CSN
- Grey safe, exceeds the safety requirements
- Orange dangerous, does not fulfill specifications or CSN

If there is an orange color for any object, additional analysis, or quantitative calculation of risks, has to be carried out.

The risk calculator thus makes a basic orientation in the field easier and warns of critical places from the viewpoint of safety. In case such places appear it is necessary to switch to numerical, or quantitative, assessment of the tunnel.

### METHOD OF TREE CHARTS – QUANTITATIVE ASSESSMENT

As it was already pointed out, the modified method of tree charts is used for quantitative assessment. The original contribution of the proposed modified method was the reduction of the number of nodes of the tree chart by assessment of the basic nodes using Fuzzy method in the first phase. That makes redundant the secondary nodes, which would increase dimensionality of the assessment. The standard assessment using the method of tree charts follows after this reduction.

Assessment of the tunnel structure thus proceeds in two phases. In the first phase the assessment using the Fuzzy method takes place, and the TCM is used in the second phase. The Fuzzy method introduces into the assessment an expert assessment based on experience of professionals active in the field of tunneling. The expert assessment derives from a set of rules. These rules were elaborated by a group of professionals dealing with issues of design, construction and operation of tunnels. The program LFLC 2000, created at the Ostrava University, is used for the assessment.

At Fig. 3 see a flow chart of the proposed method. Initial (input) conditions are represented by traffic data (traffic intensity). Based on structural configuration of the tunnel, they have impact on range and frequency of events. Output of the block origin of event is thus determination of the frequency of accidents in relation to daytime, character of the tunnel (single-direction, double-direction) and other factors. A fire can break out as a result of an accident. Output of the block Origin of fire and extent is the frequency of minor or major fire, while it is evaluated whether it is an accident of personal or cargo vehicle, what kind of cargo is transported etc.

This frequency then enters the block Assessment of effects, which is based on a reduced decision tree. The decision tree would in average after assessment of the effects include tens of nodes. Thanks to the reduction of nodes in Fuzzy blocks, only the following blocks are further worked with: Identification of the event, Civil engineering safety adjustments, Reaction of the system and Smoke development.

### Fuzzy assessment as a basis for the Tree Chart Method

Qualitative assessment of the objects and elements taking in fire identification, in reaction of the system and the personnel is carried out by an expert method based on the fuzzy approach. The foundation is a base of decisive rules which should be continuously supplemented according to improved knowledge. The method requires the use of a specialized programming environment, in this case program LFLC 2000 - Linguistic Fuzzy Logic Controller (created at the Ostrava University within the Institute for research and application of fuzzy modeling. Solvers of the project by means of this program developed a tool that allows automatic assessment of the object/element upon determination of its parameters. Three nodes comprising objects and elements are evaluated using this tool :

- Identification of fire
- Structural safety adjustments
- Ventilation

Assessment of the object "Identification of fire" can serve as an example of the designed method. The following elements play smaller or larger role in the identification of fire :

- linear heat detector (located below tunnel ceiling reports reaching of preset temperature or unacceptable rise of temperature gradient)
- video-detection of smoke (camera system automatically identifies the occurrence of smoke)
- GSM (drivers inform the rescue units using cellular phones)
- SOS cabin (drivers inform the tunnel controller of the occurrence of fire)
- video-surveillance (fire is identified by the tunnel controller from the surveillance screens)

At Fig. 4 see the flow chart of the procedure of assessment of the fire identification. The Fuzzy method is used to evaluate all aforementioned elements that are capable of identifying a fire. For every of the elements there are a number of marginal conditions that influence the capability of identifying a fire. For the linear heat detection (LHD), 37 Fuzzy expert rules were prepared, which evaluate height of position of the LHD (PositionHeight), influence of tunnel gradient on attributes of the LHD (TunnelGradient), system of ventilation (Ventilation) and also whether the detector is installed at all (LinearDetectorExists), or whether it measures the temperature gradient (TemperatureGradient). The result then is an assessment of the fire identification



Stejným způsobem se vyhodnocují všechny prvky. Pro výpočet pravděpodobnosti identifikace události (požáru) se vychází z pěti hodnot, které byly získány aplikací fuzzy metody. Hodnoty se pohybují v intervalu 0 - 1. Ke každému hodnocenému prvku je přiřazena váha  $\xi$ , která vypovídá o kvalitě a potřebnosti a úspěšnosti identifikovat vznikající požár.

#### Vyhodnocení četnosti událostí

Po expertním hodnocení, které jednak zvýšilo kvalitu hodnocení a podstatně redukovalo problém, se číselné hodnoty získají aplikací metody stromkových diagramů, obr. 5, který tvoří jen pět uzlů.

Na základě vypočítaných četností každé události se stanovuje počet lidí postižených událostí. Pro zobrazení celkového společenského rizika se pak používají tzv. F/N diagramy (četnost/následek). Použití F/N diagramů je běžný postup pro popis společenského rizika v tunelu a je doporučeno i v navrhovaných technických podmínkách. Na obr. 6 je F/N diagram udávající závislost mezi četností událostí a následky událostí.

Výsledkem hodnocení bude, podle mezinárodních dohod a standardů, počet poškození zdraví za rok na 1 km posuzovaného úseku. V literatuře je udávána tolerovaná míra počtu poškození osob maximálně 0,1 osoby za rok na 1 km délky.

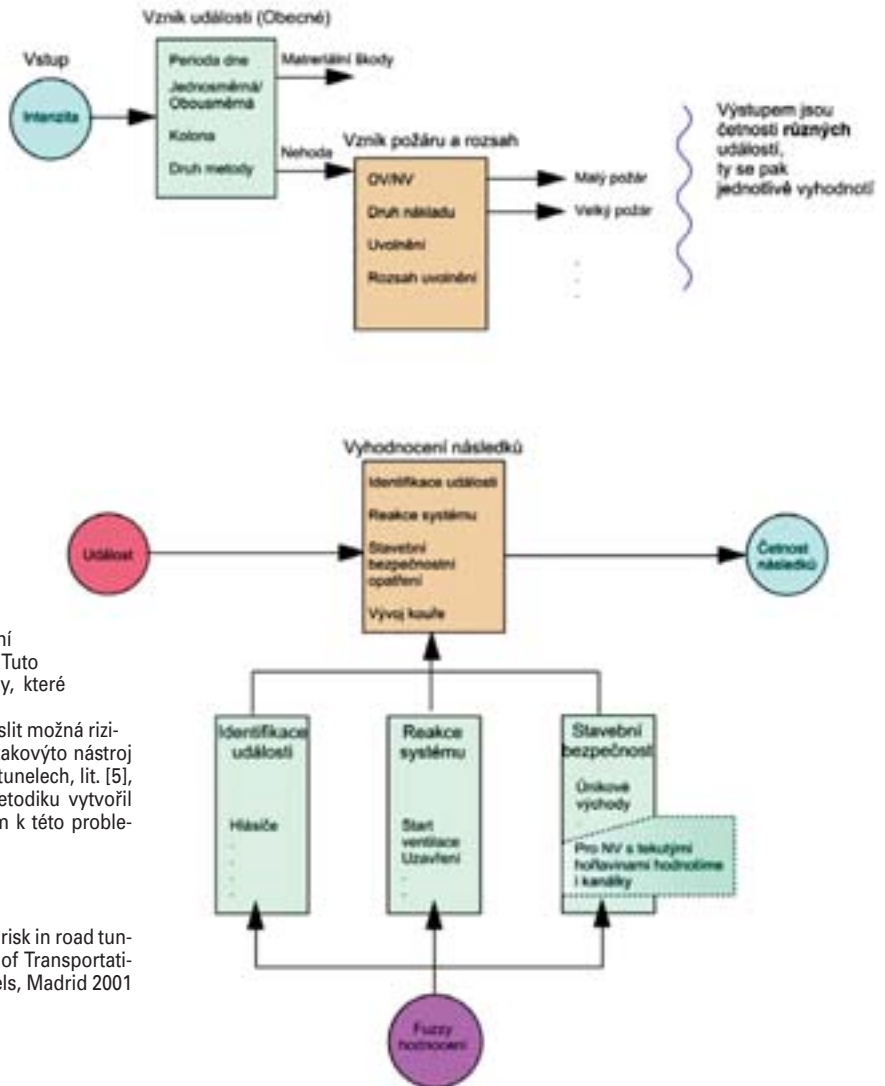
#### ZÁVĚR

Článek popisuje relativně jednoduchou metodu pro hodnocení kvality bezpečnosti tunelu využívající tzv. rizikový kalkulátor. Tuto metodu mohou využívat projektanti, investoři a další osoby, které nejsou specialisty na rizikovou analýzu.

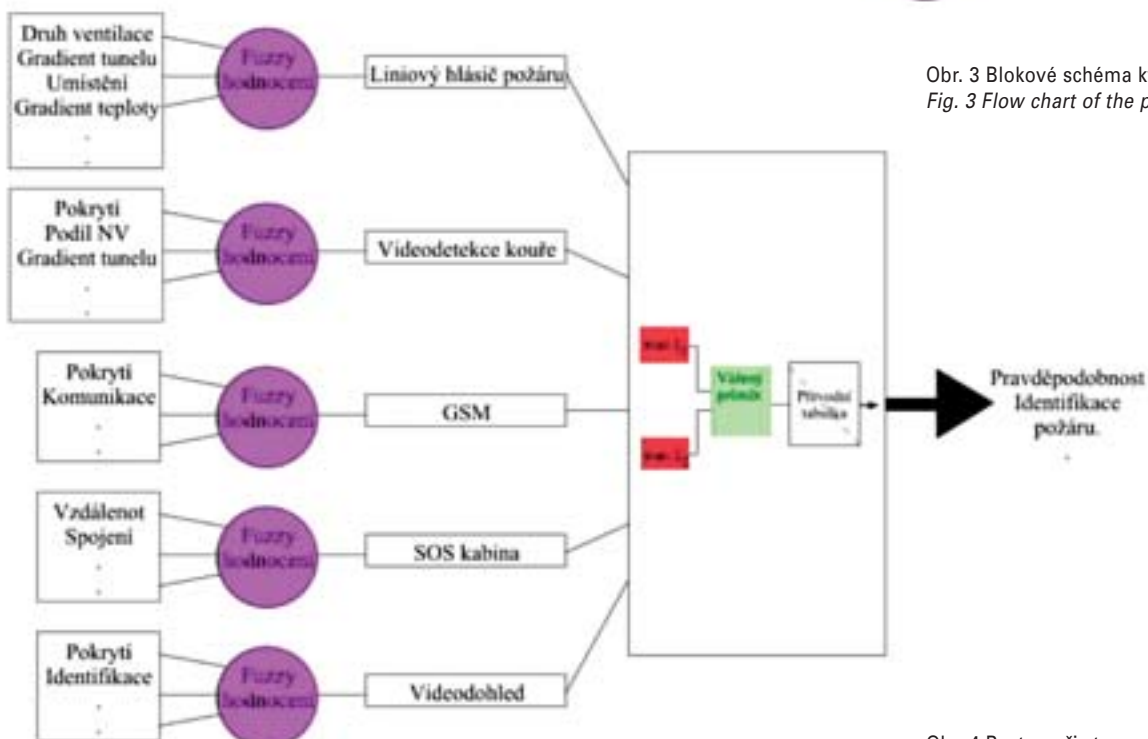
Pro přesné hodnocení je nutné mít možnost kvantitativně vyčíslit možná rizika pro dané nebo plánované provedení tunelu. Nutnost mít takovýto nástroj potvrdila i nová evropská směrnice o jednotné bezpečnosti v tunelech, lit. [5], která jednoznačně požaduje, aby každý členský stát tuto metodiku vytvořil a používal. Nově navržená metoda je originálním příspěvkem k této problematice.

#### Literatura

- [1] TUNPRIM: A spreadsheet model for the calculation of the risk in road tunnels, M. Kruijskamp, D. de Weger & J. Hoeksma, Ministry of Transportation, The Nederland, sborník Safety in Road and Rail tunnels, Madrid 2001



Obr. 3 Blokové schéma kvantitativní metody  
Fig. 3 Flow chart of the proposed method



Obr. 4 Postup při stanovení pravděpodobnosti vyhodnocení identifikace požáru  
Fig. 4 Procedure of determination of the probability of fire identification assessment

- [2] Dvořák J. a kol.: Studie bezpečnosti provozu tunelových staveb západní části městského okruhu v úseku Barrandovský most-Pelc Tyrolka, Satra, č. 014/02-100, červenec 2002, str. 74
- [3] Příbyl P., Zabaník P.: Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací, TP\*\*\* Ministerstva dopravy, ELTODO EG, a. s., Praha, 1. návrh k projednání
- [4] Příbyl P., Zabaník P.: Analýza a řízení rizik v tunelech pozemních komunikací. Závěrečná zpráva, ELTODO EG, a. s., Praha, leden 2003
- [5] Directive 2004/54/EC of the European parliament and of the Council On Minimum Safety Requirements For Tunnels In The Trans-European Road Network, Brussels, 29 April 2004

by the linear heat detector on a scale from EXCELLENT to POOR. For an example of the two rules see the following chart :

If (PositionHeight is LOW) and (TunnelGradient is LOW) and (Ventilation is TRANSVERSAL) and (TemperatureGradient is YES) and (LinearDetectorExists is YES) then (LHDAssessment is EXCELLENT)
If (PositionHeight is MEDIUM) and (TunnelGradient is LOW) and (Ventilation is TRANSVERSAL) and (TemperatureGradient is YES) and (LinearDetectorExists is YES) then (LHDAssessment is EXCELLENT)

The own assessment parameters (LOW) are input by the expert. Using the output of this program module, a calculated number between 0 and 1 determines the quality of identification of the arising fire. The example of calculation of the LHD assessment for the Strahovský tunnel under given conditions : position height of 5,5 m above the road, tunnel gradient of 3,2 % and transversal ventilation showed that for the absent measurement of temperature gradient the assessment equaled 0,5. If the heat detector (fire alarm) in this case considered temperature gradient, the assessment would rise to 0,811.

All elements are evaluated in the same way. There are five initial values, acquired by application of the Fuzzy method, needed for calculation of probability of identification of the event (fire). The values range between 0 and 1. There is a weight  $w$  attributed to each evaluated element, which implies the quality, necessity and success in identifying the arising fire.

### Assessment of the frequency of events

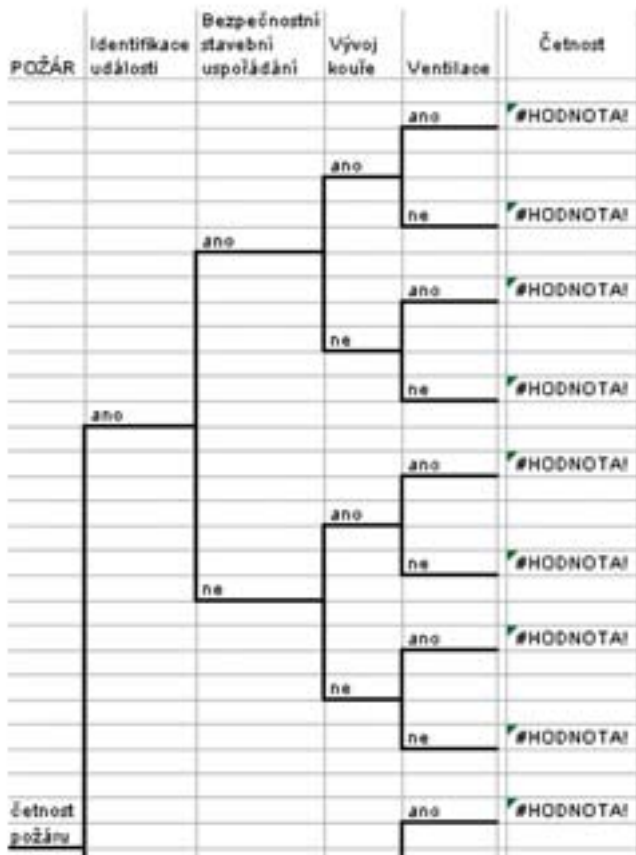
Following the expert assessment, which both increased the quality of the assessment and significantly reduced the problem, numerical values are acquired using the Tree Chart Method, see Fig. 5, which thus consists of only five nodes.

Based on calculated frequencies of every event, the number of persons affected by that event is determined. The so-called F/N (frequency/effects) models are used to illustrate the aggregate social risk. The use of F/N diagrams is a common procedure during description of social risk in a tunnel and it is also recommended in the proposed specifications. In Fig. 6 see the F/N diagram showing the relation between frequency of events and effects of events.

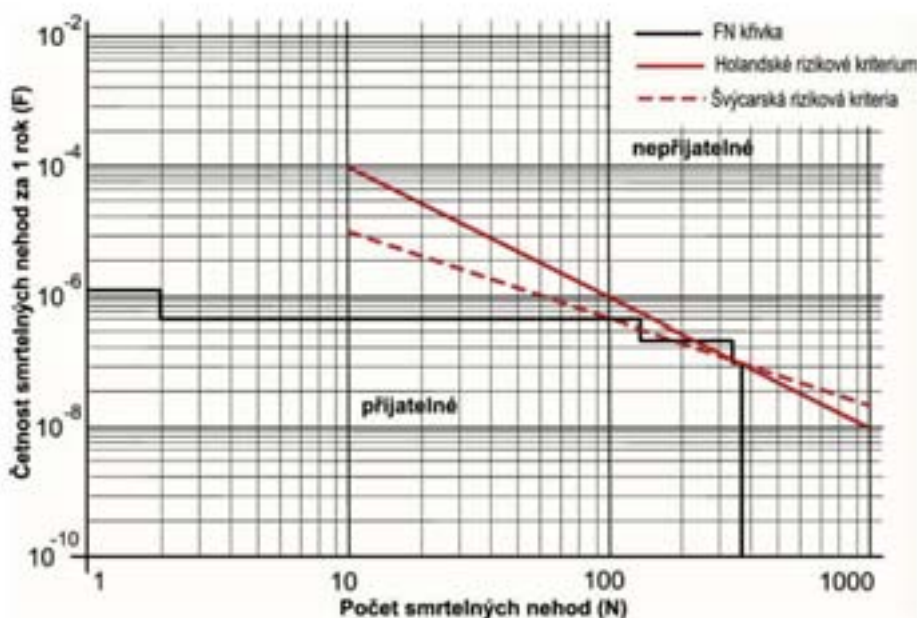
Result of the assessment will be, according to international agreements and standards, the number of injuries per year per 1 km of the evaluated section. The sources suggest the still tolerated maximum rate of human injuries as 0,1 person per year per 1 km.

### CONCLUSION

The article describes a relatively easy method for the assessment of quality of safety in a tunnel using the so-called Risk calculator. Such method can be used by designers, investors and other persons who are no specialists in the field of a risk analysis. The possibility to quantitatively express potential risks for an existing or planned design of a tunnel is necessary for accurate assessment. The need for such a tool was also stressed by the new European directive on standard safety in tunnels, lit. [5], which explicitly requires for every member state to form and use such a methodology. The newly designed method represents an original contribution to this field.



Obr. 5 Část stromkového diagramu pro hodnocené následků  
Fig. 5 Part of the tree chart for assessment of the results



Obr. 6 F/N diagram  
Fig. 6 F/N diagram

### Literatura / References

- [1] TUNPRIM: A spreadsheet model for the calculation of the risk in road tunnels, M. Kruiskamp, D. de Weger & J. Hoeksma, Ministry of Transportation, The Netherlands, proceedings Safety in Road and Rail tunnels, Madrid 2001
- [2] Dvořák J. a kol.: "Studie bezpečnosti provozu tunelových staveb západní části městského okruhu v úseku Barrandovský most-Pelc Tyrolka, Satra, č. 014/02-100, July 2002, page 74
- [3] Příbyl P., Zabaník P.: Bezpečnost v tunelech pozemních komunikací, TP\*\*\* Ministerstva dopravy, ELTODO EG, a.s., Praha, 1. návrh k projednání,
- [4] Příbyl P., Zabaník P.: Analýza a řízení rizik v tunelech pozemních komunikací, Závěrečná zpráva, ELTODO EG, a.s., Praha, January 2003
- [5] Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council On Minimum Safety Requirements For Tunnels In The Trans-European Road Network, Brussels, 29 April 2004



## VÝSTAVBA TUNELA TROJANE V ŤAŽKÝCH GEOLOGICKÝCH PODMIENKACH S NÍZKYM NADLOŽÍM A S RAZENÍM POD ZASTAVANOU OBLASŤOU

### TROJANE TUNNEL BUILT IN DIFFICULT GEOLOGICAL CONDITIONS, UNDER SHALLOW COVER, IN DEVELOPED AREA

ING. MILAN PASTIERIK, BANSKE STAVBY, a. s.

#### ÚVOD

Tunel Trojane v Slovinsku je situovaný na trase diaľnice A-10 Koper - Lendava asi 40 km pred Ljubljano v smere od Mariboru a je súčasťou sústavy tunelov a viaduktov, ktorými prekonáva táto trasa rovnomenné sedlo Trojane medzi Kamniško-Savinjskými Alpami a Posávskou hornatinou. Ostatné tunely na tejto trase (Ločica, Jasovnik, Podmilj) sú už vybudované. Tunel Trojane sa buduje ako posledný, ale bude medzi nimi najdlhší (2900 m). Je to dvojrúrový tunel štandardných európskych parametrov, každá rúra s dvomi jazdnými pruhmi, tak ako všetky novobudované tunely v Slovinsku.

Diaľničná magistrála A10 spojí jadranské pobrežie s rakúskou hranicou v smere Gratz - Viedeň. Je preto jednou z prioritných stavieb dopravnej infraštruktúry Slovinska.

#### ÚČASTNÍCI STAVBY A ČASOVÝ PLÁN

Investorskou organizáciou stavby je DARS, d. d., (Družba za avtoceste v Republiki Slovenie). Generálnym dodávateľom stavby na základe medzinárodného tendra sa stala firma Impresa Grassetto, S. p. A., Milano - Italia, Podružnica Ljubljana. Rozpočtové náklady stavby v čase uzavretia tendra predstavovali 62 miliónov EUR. Subdodávateľom razičských, meračských a betonárskych prác na tunelovom ostení sa stali na základe výberového konania Banske stavby, a. s., Priedvidza. Tender bol uzavretý 23. marca 2000. Práce na stavbe sa začali v septembri 2000. Severná tunelová rúra bola prerazená v októbri 2003, prerazenie južnej tunelovej rúry sa ukončilo v marci 2004. Do septembra 2004 má byť vybetónované sekundárne ostenie a tunel by mal byť spojzadnený do začiatku letnej sezóny 2005.

#### ZÁKLADNÉ PARAMETRE TUNELA TROJANE

Dĺžka južnej (ľavej) tunelovej rúry:	2900 m
Dĺžka severnej (pravej) tunelovej rúry:	2821 m
Priečny profil - hrubý výlom:	90-108 m <sup>2</sup>
Pozdĺžny sklon:	+ 0,5 - (-) 0,5 %
Počet núdzových zálivov:	4
Priečny profil núdzových zálivov:	145 m <sup>2</sup>
Počet priečných prepojení (únikové cesty)	5
Profily priečných prepojení	55 - 85 m <sup>2</sup>

#### GEOLOGICKÉ PODMIENKY NA TRASE TUNELA

Tektonická stavba územia v širšom okolí tunela Trojane je príkrovovo-vrásavá. Ide o vrásnenie a opakujúce sa nasúvanie troch veľkých tektonických celkov: Dolenského krasu, Posávskej vrásky a Savinjsko-Kamniških Alp. Trasa tunela pretína Posávsku vrásku v jednej z podzón Trojanského príkrovu, presnejšie v Kozjašskom príkrove. Je to formácia prevážne paleozoických (permo-karbonských) hornín, zastúpených hlavne pieskovecami a prachovcami. Súvrstvie je intenzívne tektonicky porušené s prejavmi regionálnej metamorfózy, ktorej produktom sú až grafitické bridlice s výrazne vyvinutou bridličnatosťou, klivážou a mikrovrásami. Výraznými plochami odlučnosti sú pravidelne a často sa vyskytujúce tektonické zrkadlá. Vlastností horninového prostredia dotvára prítomnosť podzemnej vody a občasný výskyt metánu. Náročnosť tunelovej stavby z hľadiska nepriaznivých geologických podmienok ďalej komplikuje to, že ide o razienie s nízkym nadložíom a pod zastavaným územím.

Podľa ÖNORM B 2203 je horninové prostredie zaradené do týchto výlomových tried :

B2 (393 m), C2 (2395 m), C3 (515 m), C5 (103 m), SCC (1401 m), PC (718 m), CA (146 m), Cand C (50 m), SCC I (1120 m), SCC II (281 m).

#### TECHNOLÓGIA RAZENIA

Projekt, technológia a organizácia prác sú postavené na zásadách a princípoch Novej rakúskej tunelovacej metódy (NRTM) s niektorými dodatočnými modifi-

#### INTRODUCTION

The Trojane tunnel in Slovenia is situated on the A-10 Koper - Lendava highway, about 40 km before Ljubljana in a direction from Maribor. It is part of a system of tunnels and viaducts allowing this route to pass the mountain-saddle of the same name, Trojane, found between the Kamnik-Savinja Alps and the Sava Highlands. Remaining tunnels of this system (Ločica, Jasovnik, Podmilj) have already been finished. The Trojane tunnel is being built as the last one, but it will be the longest among them (2,900 m). It is a twin-tube tunnel of standard European parameters, each tube with two lanes, as all newly built tunnels in Slovenia.

The highway A10 will interconnect the Adriatic shore with the Austrian border in the Gratz - Vienna direction. It is therefore one of priority projects of the traffic infrastructure of Slovenia.

#### BUILDING TEAM AND CONSTRUCTION SCHEDULE

DARS, d. d., (Družba za avtoceste v Republiki Slovenie) is the construction owner. The general contractor for the construction, the winner of an international tender, is Impresa Grassetto, S. p. A., Milano - Italia, Podružnica Ljubljana. The costs of the construction estimated in the time of the tender conclusion amounted to 62 million euro. Banske stavby, a. s., Priedvidza won a tender for a sub-contract for excavation, survey and tunnel lining casting operations. The contract was signed on 23 March 2000. The construction work started in September 2000. The northern tunnel tube breakthrough took place in October 2003; the southern tube was cut through in March 2004. Casting of the secondary lining is to be finished by September 2004, and the tunnel should be opened to traffic by the beginning of the 2005 summer season.

#### TROJANE TUNNEL BASIC PARAMETERS

Southern (left-side) tunnel tube length	2,900 m
Northern (right-side) tunnel tube length	2,821 m
Excavated cross-section area	90-108 m <sup>2</sup>
Gradient	+0.5 - (-) 0.5 %
Number of emergency laybys	4
Cross section at emergency laybys	145 m <sup>2</sup>
Number of cross passages (escape ways)	5
Cross-passage profile	55 - 85 m <sup>2</sup>

#### GEOLOGICAL CONDITIONS ALONG THE TUNNEL ROUTE

The tectonic pattern of the area within a wider neighbourhood of the Trojane tunnel is that of a thrust fold. It is a matter of folding and repeated sliding of three major tectonic units: the Dolen karst, the Sava fold, and the Savinja-Kamnik Alps. The tunnel route crosses the Sava fold in one of the Trojane thrust sheet sub-zones, more precisely in the Kozjaš thrust sheet. This is a formation of mostly Palaeozoic (Permian-Carboniferous) rock types, represented mainly by sandstones and siltstones. The series of strata is intensively seismically disturbed, with manifestations of regional metamorphosis, producing up to graphitic schist with explicitly developed schistosity, cleavage and micro-folding. Regularly and frequently encountered faulting polishes are an outstanding type of planes of cleavage. The properties of the rock mass are further affected by presence of groundwater and intermittent occurrence of methane. The complications for the tunnel construction due to the unfavourable geological conditions are intensified by the fact that the excavation takes place under a shallow cover, in a developed village area.

According to the ÖNORM B 2203, the following classes are assigned to the rock environment:

B2 (393 m), C2 (2395 m), C3 (515 m), C5 (103 m), SCC (1401 m), PC (718 m), CA (146 m), Cand C (50 m), SCC I (1120 m), SCC II (281 m).

#### EXCAVATION TECHNIQUE

The design, technique and organisation of the works are based on the rules and principles of the New Austrian Tunnelling Method (the NATM), with some additional

káciami podľa návrhu talianskych tunelárov pomenovaných ako Talianska tunelovacia metóda (TTM). Geologické podmienky neumožňovali použitie vrtno - trhavinovej metódy, preto sa razilo s použitím mechanického rozpojovania systémom hydraulického rozrušovania (CAT 330), doplneného hydraulickým impaktorovým kladivom (CAT 320 s impaktorom). Na celej dĺžke trasy tunela sa razilo s členením čelby na kalotu, stupeň a protiklenbu. V kritických úsekoch sa v čelbe kaloty postupovalo s výrubom ďalej členeným na 5 sekvencií (1x prístropná sekvencia, 2 postranné, 1 x oporné jadro, 1 x dočasná protiklenba).

Na nakladanie a odťažbu sa používali čelné kolesové nakladače typu CAT 938 s lopatou 2,75 m<sup>3</sup> a nákladné automobily, ktorými sa rúbanina vyvážala na medziskládku v blízkosti portálu.

Skladbu a dimenzovanie primárnej výstuže predurčuje klasifikácia do výlomových tried. Vo všeobecnosti, pri aplikácii NRTM na tomto tuneli, primárna výstuž pozostáva z nástreku prvej vrstvy striekaného betónu (SB), položená prvej vrstvy ocelevej mrežoviny, postavenia podperného oceleového oblúka zvonkového profilu veľkosti K 21 alebo K 24, nástreku druhej vrstvy SB, položená druhej vrstvy mrežoviny a tretieho nástreku SB. Ďalej nasleduje zabudovanie SN- svorníkov alebo IBO- svorníkov dĺžky 6, resp. 9 m a v ťažších výlomových triedach aj zabudovanie mikropilót. Po reprofiliácii a pred položením hydroizolačnej fólie sa ešte raz celý povrch prestrieka jemnou zmesou SB v hrúbke 3-5 cm.

Striekaný betón je aplikovaný výlučne mokrou cestou s použitím nealkalickeho urýchľovača Mapei AF 2000 striekacou súpravou CIFA SPRITZSYSTEM CSS 2 s výkonom 33 m<sup>3</sup> za hodinu. Svorníkovanie sa robí dvojlafetovými vrtacími vozmi ATLAS COPCO 282, resp. ATLAS COPCO L2C (obidva bez pracovnej plošiny). Pracovná plošina typu MANITOU je na samostatnom podvozku.

### RAZENIE V PODMIENKACH S NÍZKYM NADLOŽÍM

Najťažší úsek z hľadiska razenia je v staničení km 80 210 - 80 370. V týchto miestach je južná tunelová rúra pod zastavaným územím, s nízkym nadložíom v rozpätí 14 - 25 m, s prítokmi podzemnej vody a v komplikovaných horninových podmienkach. Úsek je preto zatriedený do výlomovej triedy SCC II a na jeho úspešné zvládanie projektant navrhol viacero technologických opatrení a to:

- aplikáciu ochranného mikropilótového dáždnika
- použitie zdvojených nepoddajných podperných oblúkov z profilu I 180
- skrátenie záberu na 0,8 m
- zväčšenie hrúbky striekaného betónu z 250 na 350 mm
- členenie výrubu kaloty na 5 sekvencií
- svorníkovanie čela výrubu axiálnymi kotvami
- zrušenie použitia radiálnych svorníkov
- intenzívne geodetické a geotechnické merania

Mikropilótový dáždnik pozostával z 42 oceleových rúr priemeru 114 mm s dĺžkou 15 m, preinjektovaných cementovou maltou. Vzájomné prekrytie dáždnikov je spravidla 4,0 m, ale v najťažších úsekoch sa použilo aj dvojité prekrytie.

Čelo kaloty sa spevňovalo preinjektovanými IBO svorníkmi dĺžky 15 m v počte 35 ks a zároveň aj sklolaminátovými kotvami v počte 10 ks s kotviacou silou 250 kN a so vzájomným presahom jednotlivých sád 7 m. Okrem toho sa čelo spevňovalo oceleovou mrežovinou Q 283 a nástrekom SB s hrúbkou vrstvy 15 cm.

modifikácií podľa návrhu talianskych tunelárov, nazvanú Italian Tunneling Method (the ITM). Geological conditions did not allow application of the drill-and-blast method, therefore mechanical rock breaking using a hydraulic system (CAT 330) supplemented by a hydraulic impact hammer (CAT 320 with an impact breaker). A sequence of top heading, bench and invert was applied to the entire tunnel length. In critical sections the top heading face was further divided to 5 sequences (1 roof sequence, 2 side-wall drifts, 1 supporting core, 1 temporary invert).

CAT 938 type front loaders with 2.75 m<sup>3</sup> shovels and dumpers removing the muck to a temporary stockpile nearby the portal were used for mucking out.

The composition and dimensions of the primary support depend on determination of the excavation class. In general, the primary support used in this tunnel NATM excavation consists of application of the first layer of shotcrete, installation of the first layer of steel mesh, erection of a K 21 or K 24-size steel rib with a "top hat" profile, spraying the second layer of concrete, placement of the second layer of mesh and the third shotcrete layer. Installation of SN rockbolts or IBO rockbolts 6 m long (or 9 m long in more difficult excavation classes) follows, as well as installation of micropiles. A fine shotcrete mix is repeatedly sprayed on the entire surface (layer thickness 3-5 cm) once the excavation has been re-profiled and before application of the waterproofing membrane.

Shotcrete is applied solely using the wet process, using an alkali-free accelerating admixture Mapei AF 2000, with CIFA SPRITZSYSTEM CSS 2 spraying machine (rate of 33 m<sup>3</sup> per hour). Rockbolting is carried out by twin-boom drilling rigs ATLAS COPCO 282 or ATLAS COPCO L2C (both machines without platform lifters). The platform lifter is installed on a separate undercarriage.

### EXCAVATION UNDER SHALLOW COVER

The most difficult section in terms of excavation is at chainage km 80 210 - 80 370. In this section the southern tunnel tube passes a developed area, proceeding under a shallow cover with a depth ranging from 14 to 25 m, with ground water inflows, and in complicated rock conditions. For that reason, this section was categorised as excavation class SCC II, and the consulting engineer proposed several technological measures to secure successful passage, namely:

- application of a protective pre-support canopy,
- installation of pairs of unyielding supporting ribs from H 180 sections,
- reduction of the round length to 0.8 m,
- increasing the shotcrete layer thickness from 250 to 350 mm
- dividing the top heading into 5 sequences
- supporting the face with axial anchors
- cancellation of radial rockbolts application
- intensive survey and geotechnical measurements

The canopy tube pre-support consisted of 42 pipes 114 mm in diameter, 15 m long, injected with cement grout. Overlapping of the canopies of 4 m is usually used, but in the most difficult section double overlaps were used.

The top heading face was reinforced by 35 pieces of 15m-long grouted IBO rockbolts, and simultaneously by 10 pieces of fibreglass anchors with an anchoring strength of 250 kN and overlapping of individual sets of 7 m. In addition, the face was supported by steel mesh Q 283 and 15 cm of shotcrete.

The leaving out the radial rockbolts followed from a need for reduction of ground water inflows into the unsupported excavation, causing internal erosion of the rock environment.



Obr. 1 Hydraulické rýpadlo CAT 330 a 320 s impaktorom  
Fig. 1 Hydraulic excavator CAT 330 and 320 with impactor



Vynechanie radiálnych svorníkov vyplynulo z potreby zníženia aktívnych prítokov podzemnej vody do nezaisteného výrubu, ktoré spôsobovali sufóziu (vnútornú eróziu) horninového prostredia.

Výrub kaloty sa rozčlenil na 5 sekvencií: 1x prístropný záber, 2 x postranný (ľavý a pravý) záber, 1 x oporné jadro, 1 x výlom dočasnej protiklenby. Oporné päty kaloty sa ďalej spevňovali rozšírenými pätkami podperných oblúkov a 4 mikropilótami na jeden záber, dlhými 6,0 m s priemerom ocelevej rúry 60 mm. Mikropilóty boli vŕtané pod uhlom 38° s osovým rozstupom 0,4 m. Na vŕtanie sa použil vŕtací voz ATLAS COPCO BOOMER 282 s rozširovacou korunkou priemeru 114 mm. Funkciou týchto mikropilót je prenášanie zafatena ostenia kaloty v oblasti päty hlavne vo fáze výlomových prác stupňa (laviče) a protiklenby dovedy, kým sa nespevnia nástrekom SB. Predstih kaloty voči výlomu stupňa a protiklenby nemá prekročiť limit 30 m.

Stupeň a protiklenba so zábermi v dĺžke 0,8 m sa razili počas vŕtania ochranného dáždnika a svorníkovaní čela kaloty. Vŕtanie ochranného dáždnika trvalo priemerne 40 hodín. Simultanný priebeh prác v kalote, na stupni a protiklenbe mal čiastočný negatívny dôsledok v tom, že sa musela často likvidovať a znovu budovať nájazdová rampa.

### GEODETICKÉ A GEOTECHNICKÉ MERANIA POČAS RAZENIA

Jedným z opatrení pri razení vo výlomových triedach SCC bolo monitorovanie poklesov povrchu podľa kritérií veľmi presnej nivelácie (VPN). Meranie sa malo vykonávať denne, ale projektant ďalej predpísal, aby sa merania opakovali minimálne dvakrát za deň. Zisťovanie poklesov systémom VPN sa vykonávalo v predstihu minimálne 50 m pred postupujúcim razením. Prvé meranie sa označovalo ako nulté meranie. Bodové pole zachytávalo celý povrch poklesovej kotliny v súlade s požiadavkami projektanta. Z výsledkov merania bolo napr. zistené, že v osi poklesovej kotliny v staničení km 80 200 došlo v období od 3. do 13. februára 2004 k poklesu o 22 cm.

Vo výlomovej triede SCC II sa vykonávalo stále meranie konvergencií. Výsledky meraní preukázali, že hodnoty konvergencií neprekročili predpokladané limity stanovené projektantom (5,0 cm).

Počas samotného razenia sa pomocou špeciálneho meračského prístroja meral stav deformácií horninového masívu. Ide o horizontálny inklinometer firmy TUG (Institut for Rock Mechanics and Tunnelling Gratz), ktorý bol situovaný vždy v priestore pod ochranným dáždnikom a zaznamenával v dĺžke 21 m deformácie v kalote pred výlomovými prácami a počas ich priebehu. Zodpovední geotechnici firmy TUG vyhodnocovali priebežne výsledky meraní tak, že razičská osádka dostávala informácie o stave poklesu nadložia priamo počas výlomových prác.

### REPROFILÁCIA TUNELOVEJ RÚRY

S mesačným časovým odstupom po prerážke severnej tunelovej rúry v októbri 2003 sa začalo meranie presnosti líca primárneho ostenia (s použitím profilera LEICA 4000) a reprofílovanie tých častí, ktoré vybočovali z projektom stanovených tolerancií. Z celkovej dĺžky severnej tunelovej rúry 2900 m sa reprofílcia musela urobiť v úhrnnej dĺžke 800 m. Pri reprofílcii sa z primárneho ostenia odstránilo v objeme celkom 1000 m<sup>3</sup> materiálu (v tom až 30 t ocele) a na vyrovnanie líca sa použilo 400 m<sup>3</sup> striekaného betónu. Podstatná časť prekročenia dovolených tolerancií sa pripisuje na vrub menej priaznivých

The top heading was divided into 5 sequences: 1x roof drift, 2x side-wall drift (left and right), 1x supporting core, 1x temporary invert excavation. The arch springing areas were further reinforced by widening the feet of supporting ribs and installing 4 micropiles per one round (6.0 m long steel pipes, 60 mm in diameter). The micropiles were drilled at an angle of 38° using reaming bits 114 mm in diameter. The function of these micropiles was to carry the load of the top heading lining acting in the springing area, mainly in the phase of the bench and invert excavation until it is reinforced by shotcrete. The horizontal distance of the top heading from the bench and invert excavation should not exceed a limit of 30 m.

The bench and invert with round lengths of 0.8 m were excavated in the time when the drilling for the pre-support tubes was carried out and rock bolts installed to the top heading face. The drilling for the canopy tubes took 40 hours in average. The simultaneous work on the top heading, bench and invert had a partial negative impact: the access ramp had to be removed and renewed very often.

### SURVEY AND GEOTECHNICAL MEASUREMENTS IN THE COURSE OF EXCAVATION

One of the measures applied in the course of the tunnel driving through rock of excavation class SCC was monitoring of the surface subsidence according to high-precision levelling (HPL) principles. The measurement was to be carried out once a day, but later on the designer ordered that the measurements be repeated twice a day as a minimum. The subsidence measurements by the HPL system covered a 50m zone ahead of the excavation face as a minimum. The first round of measurements was defined as zero measurement. A minor control covered the entire surface of the settlement trough in accordance with designer's requirements. For instance, the measurement results showed that the surface on the centre line of the settlement trough at chainage km 80 200 settled 22 cm on 13 February 2004.

Continual convergence measurement was carried out in the excavation class SCC II. The measurement results proved that the convergence values did not cross the assumed limits specified by the designer (5.0 cm).

A special survey instrument was used for the rock mass deformation measurement in the course of the excavation operations. This instrument, a horizontal inclinometer manufactured by TUG (the Institute for Rock Mechanics and Tunnelling Gratz), was always situated in the space under the pre-support canopy. It recorded deformations in the top heading within a 21 m long section ahead of the excavation and in the course of the excavation. Responsible geotechnicians employed by TUG assessed preliminary results of the measurement, and the mining crew received information on the overburden settlement directly in the course of the excavation operations.

### TUNNEL TUBE RE-PROFILING

With a one-month delay after the breakthrough of the tunnel tube North (October 2003), the measurement of accuracy of the primary lining surface started (using LEICA 4000 profiler), together with re-profiling of the parts outside the tolerances specified by the design. Out of the total length of the tube North of 2900 m, the re-profiling had to be carried out along a aggregate length of 800 m. About 1000 m<sup>3</sup> of material (30 t of steel included) were removed from the primary lining during the re-profiling, and 400 m<sup>3</sup> of shotcrete were used for adjustment of surface irregularities. Substantial part of the crossed tolerance limits is attributable to the geological conditions less favourable than expected according to the geological investigation results.



Obr. 2 Budovanie výstuže vo vstrojovacej triede SCC II, typ 18  
Fig. 2 Support erection in the excavation class SCC II, type 18

geologických podmienok ako boli očakávané podľa výsledkov geologického prieskumu.

### BETONÁŽ SEKUNDÁRNEHO OSTENIA

Osobitnou kapitolou na stavbe tunela Trojane je betonáž sekundárneho ostenia. Banské stavby Prievidza podpísali v septembri 2003 kontrakt s generálnym dodávateľom na kompletnú prípravu primárneho ostenia pred položením hydroizolácie ako aj na samotnú betonáž sekundárneho ostenia. Kompletná príprava ostenia pred položením hydroizolácie zahŕňa reprofiliáciu, vyhlbenie rýhy pre drenáž, polozenie drenážneho potrubia a jeho zakrytie betónom. Súčasťou betonárskych prác je aj polozenie ocelevej výstuže v tých častiach sekundárneho ostenia, ktoré je projektované v železobetóne.

Začiatkom roka 2004 betonáž sekundárneho ostenia prebiehala v oboch tunelových rúrach. Postupuje sa od západného k východnému portálu. Betonárske osádky sú na sebe nezávislé, ale zároveň s betonárskymi prácami v južnej tunelovej rúre sa ešte razí a v severnej reprofiluje, resp. pripravuje ostenie na polozenie hydroizolácie.

Pri betonáži sekundárneho ostenia sa používa teleskopické, hydraulicky ovládané debnenie CIFA. Betónuje sa v 12 m dlhých blokoch, na jeden záber sa spotrebuje 165 m<sup>3</sup> betónu triedy C 25/30. Oddebuje sa po 7 h od ukončenia ukladania betónu. Včase oddebnovania musí mať betón pevnosť minimálne 6,5 N/mm<sup>2</sup>.

Dosahované výkony pri betónovaní sekundárneho ostenia sú v priemere 228 m/mesiac. Práce tohto druhu by mali byť ukončené do konca septembra 2004.

### ZÁVER

Banské stavby Prievidza na stavbe tunela využili svoje doterajšie skúsenosti získané na podobných stavbách doma i v zahraničí. Získali však aj nové skúsenosti z razenia v mimoriadne komplikovaných podmienkach a v kooperácii s viacerými partnermi, s ktorými doteraz nemali príležitosť spolupracovať na tej istej stavbe.

Pri betonárskych prácach sa osvedčili najmä tí pracovníci Banských staveb, ktorí betonársku prax nadobudli na tunelových stavbách v Nemecku.

Razenie diaľničného tunela Trojane, oproti mnohým predchádzajúcim stavbám tohto druhu, bolo aj z iného hľadiska náročnejšie. Hlavným rozdielom bol simultánny priebeh viacerých operácií a činností, ktoré v stiesnených podzemných priestoroch si navzájom prekážajú. Tento nárast činností v tuneli znamenal zároveň primerané zvýšenie počtu použitých strojov a zariadení a zvýšenie počtu pracovníkov. Odozvou na toto z množenie prostriedkov a personálu muselo byť detailnejšie plánovanie pracovných činností, precíznejšia organizácia práce a dôslednejšie dodržiavanie zásad bezpečnosti práce.

### SECONDARY LINING CASTING

*Casting of the secondary lining of the Trojane tunnel is a separate chapter of the works. In September 2003, Banské Stavby, a. s., Prievidza concluded a contract with the general contractor for complete preparation of the primary lining ready for installation of the waterproofing system, as well as casting of the secondary lining. The task of complete preparation of the primary lining ready for installation of the waterproofing membrane comprises re-profiling, excavation of a ditch for drainage pipes, laying the drainage pipes and backfilling them with concrete. Part of the concrete casting operations is also placement of reinforcement in the secondary lining sections that are designed in reinforced concrete.*

*At the beginning of the year 2004 the concrete casting operations took place in both tunnel tubes. They are advancing from the western portal to the east. Concrete casting crews are independent, but in the tunnel tube South excavation has not been completed yet and re-profiling and preparation for the waterproofing installation is still being carried out in the tube North.*

*A telescopic, hydraulically controlled shutter CIFA is used for the secondary liner casting. The concrete casting is carried out in steps, 12m-long blocks; 165 m<sup>3</sup> of concrete (grade C 25/30) is needed for one block. The shutter is stricken 7 hours after the concrete casting end. Minimum concrete strength of 6.5 N/mm<sup>2</sup> must be achieved in the moment of the striking.*

*The average advance rate of the secondary liner casting amounts to 228 m per month. This type of operations should be finished by the end of September 2004.*

### CONCLUSION

*Banské stavby, a. s., Prievidza took advantage of their experience gained from similar projects in their country and abroad. But they also gathered new experience from excavation in extremely complicated conditions, moreover in co-operation with more members of the building team whom they did not have the opportunity of working with on one project.*

*The employees of Banske stavby, a. s. who gained their concrete casting practice on tunnel projects in Germany acquitted themselves best in the concrete casting.*

*Compared to many preceding constructions of this type, the Trojane tunnel excavation was more difficult also from another aspect. The main difference was the simultaneous progress of several operations and activities that interfered with each other. This concentration of activities in the tunnel meant also reasonable increase in the number of construction equipment and personnel. This growth of the equipment and human resources had to be accompanied by more detailed planning of work activities, more precise work organisation and more consistent adherence to health and safety rules.*



Obr. 3 Meranie deformácie horninového masívu počas priebehu razenia s horizontálnym inklinometrom  
Fig. 3 Measurement of the rock mass deformation with horizontal inclinometer during excavation



## RAZENIE TUNELA KASTELEC V PODMIENKACH SLOVINSKÉHO KRASU

## KASTELEC TUNNEL EXCAVATION IN SLOVENIAN KARST CONDITIONS

ING. ANTON PETKO, BANSKÉ STAVBY, a. s.

## ÚVOD

Horninové prostredie a geologické pomery sú jednými z najdôležitejších faktorov pri realizácii podzemných stavieb. Najviac ovplyvňujú trasu dopravných stavieb, tvar a výstroj tunelov, dobu realizácie a majú nemalý vplyv na nákladovosť a cenu týchto stavieb a realizátorom vedú pripraví aj napriek dobrému geologic. prieskumu rôzne nemilé prekvapenia a mnohokrát neočakávané, projektom nezvažované komplikácie a situácie, keď treba zaimprovizovať a patričným využitím skúseností riešiť vzniknuté situácie.

Je to prostredie vo svojej prirodzenosti veľmi rôznorodé, zložité, rôznych fyzikálnych vlastností, komplikované tektonikou a hydrogeologickými pomermi. Je na nás, odborníkov z odboru podzemného staviteľstva od projektantov až po zmenového technika, popasovať sa zakaždým s prekážkami, ktoré nám kladie matka príroda. Tento príspevok sa zaoberá razením tunela v prostredí relatívne dobrom a priaznivom - vo vápenci. Aj tu však môžu nastať komplikácie v podobe fenoménu zvanému **kras**.

## ZÁKLADNÉ ÚDAJE

Tunel Kastelec je situovaný na trase diaľnice Koper-Lendava spájajúcej západ a východ Slovinska na úseku Klanec-Strmin cca 15 km západne od Kopru. Je to dvojúrovňový diaľničný tunel dvojprásový s hrubým výlomom 85-90 m<sup>2</sup>. Tunel má dva odstavňé zálvy a 5 prejazdnych únikových chodieb.

Dĺžka: ľavá rúra	2277,79 m
pravá rúra	2236,97 m
Max. nadm. výška:	380 m
Pozdĺžny sklon - klesanie:	-2,546 %
Priečny sklon:	2,5%
Minimálny horizontálny rádius:	1794,4 m
Počet priečných prepojení:	5

## GEOLOGICKÉ POMERY

Trasa tunela prebieha po regionálne významnej tektonickej štruktúre Čičarje, ktorú charakterizuje vrásnenie terciálnych sedimentov (vápencia a flyša) a lámnanie týchto vrás radom reverzných zlomov, ktoré upadajú proti severovýchodu 35 - 50°.

Územie, ktorým prechádza tunel, patrí predovšetkým Petrinjskému krasu s početnými závrťami a jaskyňami. V zakrasenom alveolárno - numulitickom vápenci vystupujú dve tenšie polohy flyša. Styk vrstiev vápencia a flyša je tektonický. Hladina podzemnej vody nepresahuje úroveň 300 m n. m.

Najviac zastúpené horniny v trase tunela sú alveolárno - numulitický vápenc (90 % dĺžky tunela) a flyš. Flyšové vrstvy sú tvorené prevažne vápenným slieňovcom.

Klasifikácia hornín je vo všeobecnosti postavená na rakúskej norme OENORM B 2203.

Rozdelenie horninových tried	Ľavá rúra (m)	Pravá rúra (m)
PC1 ( PC2 alebo PC3 )	46,97	137,79
B2	344,00	338,00
C2	80,00	80,00
B1 ( kalota + stupeň)	653,50	625,00
A2 ( kalota + stupeň)	1102,50	1087,00
SPOLU	2226,97	2267,79

## TECHNOLÓGIA RAZENIA

Technológia razenia rešpektuje princípy NRTM. Ide o cyklické razenie horizontálne členeného profilu na kalotu a stupeň, v PC triedach aj protiklenbu.

Dĺžka záberu je závislá od tried, v A2 je 2,5 - 3,5 m, v B1 je 1,8 - 2,5 m, v B2 je 1,3 - 1,8 m, v C2 a PC je je 1,0 - 1,3 m v kalote. Dĺžka záberu stupňa je dvojnásobok dĺžky záberu v kalote.

Rozpojovanie v triedach A2, B1, B2 bolo trhacími prácami za použitia klinového zálohu a hladkého výlohu v obyse, použitím troch druhov trhavín. Do zálohu sa používal Austrogel G1, pomocné vrty sa nabíjali Lambrexom 1 a Lambrex Contour sa používal do obrysu. V triedach C2 a PC bolo rozpojova-

## INTRODUCTION

Rock environment and geological conditions belong among the most important factors in realisation of underground structures. Moreover, they influence alignments of traffic structures, geometry and support of tunnels, construction time, and affect significantly expenses and prices of the projects. Despite good geological investigation, they can prepare various unpleasant surprises for contractors, and frequently unexpected, not considered in the design, complications and situations requiring improvisation and utilisation of experience in solving emergencies.

It is the nature of this environment to be highly heterogeneous, complicated, featuring different physical properties, with complex tectonics and hydrogeological conditions.

It is a task for us, underground engineering professionals, from designers to a technician on shift, to challenge any obstacle put in our way by Mother Nature. This contribution deals with tunnel driving in a relatively good and favourable environment, in limestone. Even this environment may become complicated due to a phenomenon named **karst**.

## BASIC DATA

The Kastelec tunnel is situated on the Koper-Lendava highway connecting the west and east of Slovenia, in a section between Klanec and Strmin, about 15 km west of Koper. The excavated cross-section of this double-lane highway tunnel is 85 - 90 m<sup>2</sup>. There are two emergency laybys and five escape adits passable for vehicles.

Left tube length:	2277.79 m
Right tube length:	2236.97 m
Maximum altitude:	380 m a.s.l.
Longitudinal gradient - downhill:	-2.546%
Cross gradient:	2.5%
Minimum horizontal radius:	1794.4 m
Number of cross passages:	5

## GEOLOGICAL CONDITIONS

The tunnel alignment passes through a regionally significant tectonic structure Čičarje characterised by folding of Tertiary sediments (limestone and flysh), and breaking of the folds by a series of reverse faults dipping to north-east 35 - 50°. The area the tunnel passes through belongs mainly to the Petrinj karst with numerous sinks and cavities. Two thinner layers of flysh penetrate the karstic alveolate-nummulitic limestone. The limestone-flysh contact is tectonic. Water table level does not cross 300 m a.s.l.

Prevailing rock types along the tunnel alignment are alveolate-nummulitic limestones (90% of the tunnel length) and flysh. Flysh layers consist mostly of marlstone.

The rock classification is in general based on the Austrian standard ÖNORM B 2203.

Rock class distribution	Left tube (m)	Right tube (m)
PC1 (PC2 or PC3)	46.97	137.79
B2	344.00	338.00
C2	80.00	80.00
B1 (top heading + bench)	653.50	625.00
A2 (top heading + bench)	1102.50	1087.00
TOTAL	2226.97	2267.79

## EXCAVATION TECHNIQUE

The excavation technique follows principles of the NATM. It is a cyclic excavation of the profile divided horizontally into top heading and bench, or also invert in PC classes.

The round length depends on the particular class, i.e. in top heading 2.5 - 3.5 m for class A2, 1.8 - 2.5 m for B1, 1.3 - 1.8 m for B2, 1.0 - 1.3 m for C2 and PC. The round length for the bench excavation is double the length in the top heading. The drill-and-blast was used for rock breaking in classes A2, B2 and B1, using V-

nie mechanické tunelovacím bágrom Liebherr 932 Litronic.

Nakladanie rúbaniny v čelbe bolo nakladačom Komatsu WA 380 do dumprov Komatsu HD 25. Začistenie čelby sa robilo tunelovacím bágrom Liebherr 932 Litronic.

Primárne ostenie pozostávalo zo striekaného betónu, jednej až dvoch vrstiev mrežoviny, TH oblúkov a kotiev dĺžky 4 až 6 m s únosnosťou 200 kN, v závislosti od tried. V najviac zastúpenej triede A2 to bol však len striekaný betón hr. 8 cm vyztužený oceľovými vláknami, bez mrežoviny. Toto výrazne skrátilo operáciu budovania primárneho ostenia a znížilo nadspotrebu striekaného betónu.

Striekaný betón sa aplikoval mokrou cestou striekacou súpravou MEYCO SUPREMA za použitia bezalkalickeho urýchľovača Mapei F 1000. Doprava betónu bola autodomiešavačmi objemu 5, resp. 9 m<sup>3</sup> až do čelby.

Vŕtanie vývrtov na trhacie práce a prípadné svorníkovanie sa robilo dvojvláfovým vŕtným vozom ATLAS COPCO 352.

Separátne fúkacie vetranie zabezpečovali dva axiálne ventilátory Korfmann priemeru 1600 mm, ktoré sa s postupom razenia prekládali do ľavého tunela postupne pred priečne prepojenia a uzavretím profilu vetracou stenou sa vytvoril systém vetrania cez priečne prepojenie do pravej rúry a sanie oboch ventilátorov cez voľný profil časti ľavej rúry. Čelba ľavej rúry sa vetrala priamym lúňovým ťahom ventilátorom od vetracej steny. Dušné vetry z oboch rúr šli von cez pravú rúru. Tým sa docielilo to, že úseky oboch rúr po vetraciu stenu boli bez lúňového ťahu a mohla sa tam robiť súčasne s razením profilácia, kladenie medzilahlej izolácie a betonáž definitívneho ostenia.

Strojné vybavenie na razenie:

- Vŕtný voz ATLAS COPCO 352 - 2 ks
- Dumper Komatsu HD 25 - 2 ks
- Dumper CAT D25 - 1 ks
- Tatra 815 - 1 ks
- Nakladač Komatsu WA380 - 1 ks
- Nakladač Komatsu WA270 - 1 ks
- Striekacia súprava MEYCO SUPREMA - 1 ks
- Plošina na podvozku Liebherr 912 - 1 ks
- Tunelbager Liebherr 932 Litronic - 1 ks
- Aliva 626 (rezerva na striekanie) - 1 ks

### ORGANIZÁCIA PRÁČ, DOSAHOVANÉ VÝKONY A POSTUPY

Razená časť oboch rúr predstavovala polovicu dĺžky tunela. Na práce sme nastúpili 4. 12. 2002 a prebrali sme razenie oboch rúr ako subdodávateľ pre firmu SCT. Technológia, zariadenia boli naše okrem striekacej súpravy a dumpra CAT D 25. Taktiež materiál, náhradné diely a údržba boli v našej rézii. S horeuvedeným strojným vybavením, osádkou 12 čelbových pracovníkov, elektrikárom, mechanikom a zmenovým technikom na zmene sme razili len kalotu v oboch rúrach súčasne až do prerazenia. Po prerazení kaloty sa razil ústupok v podstate z oboch strán (4 čelá). Pracovalo sa v nepretržitej prevádzke v 12 hodinových zmenách. Okrem zmenových pracovníkov personál dopĺňal stavbyvedúci, jeho zástupca, hlavný mechanik a dvaja mechanici.

Nami razená časť tunela bola z 95 % v kategórii A2, bez vyztužovacích prvkov, ostenie tvoril len drátkobetón hr. 8 cm. V tejto kategórii sme v marci 2003

cut and smooth blasting procedures. Two explosive types were applied. Austrogel G1 was used for the V-cut, Lambrex 1 for pop holes, and Lambrex Contour for contour holes. Rock classes C2 and PC were excavated mechanically using a Liebherr 932 Litronic tunnel excavator.

Mucking out was carried out with a Komatsu WA 380 loader and Komatsu HD 25 dump trucks. The tunnel excavator Liebherr 932 Litronic also cleaned the face.

Primary lining consisted of shotcrete, one or two layers of mesh, TH frames and 4 - 6 m long anchors with loading capacity of 200 kN, depending on the classification. But for the most frequent class A2 the support consisted of a 8 cm thick layer of fibre reinforced shotcrete only, without mesh. This solution cut the time for the primary lining erection, and reduced the consumption of shotcrete significantly.

The wet process was used for application of shotcrete, by a MEYCO SUPREMA spraying set, with addition of alkali-free accelerator Mapei F 1000. Concrete was transported by 5 or 9 m<sup>3</sup> truck mixers.

Blastholes and bolting holes were drilled using ATLAS COPCO 352 twin-boom rigs.

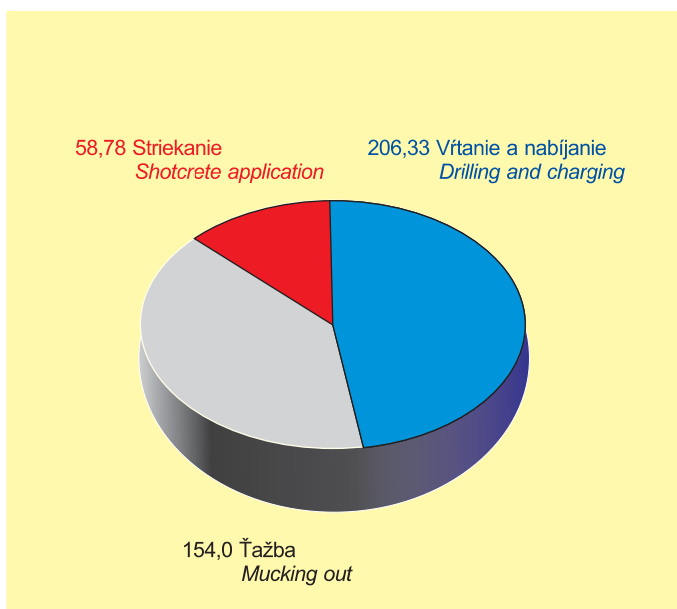
Separate blowing ventilation was secured by two axial fans Korfmann 1600 mm in diameter. With the excavation progressing ahead, the fans were relocated to the left tunnel tube, successively before the cross passages. A system of ventilation through the cross passage to the right tube and the two fans sucking air via the free profile of a part of the left tube was created by closing the profile by a transversal ventilation wall. The face of the left tube excavation was ventilated by a direct ventilation ducting, using a fan installed at the ventilation wall. Waste air from both tubes flew away via the right tube. Owing to this system the sections of both tunnel tubes up to the ventilation wall were without any ventilation ducting, therefore the re-profiling, installation of intermediate waterproofing and final lining casting could be carried out simultaneously with the excavation.

Excavation equipment:

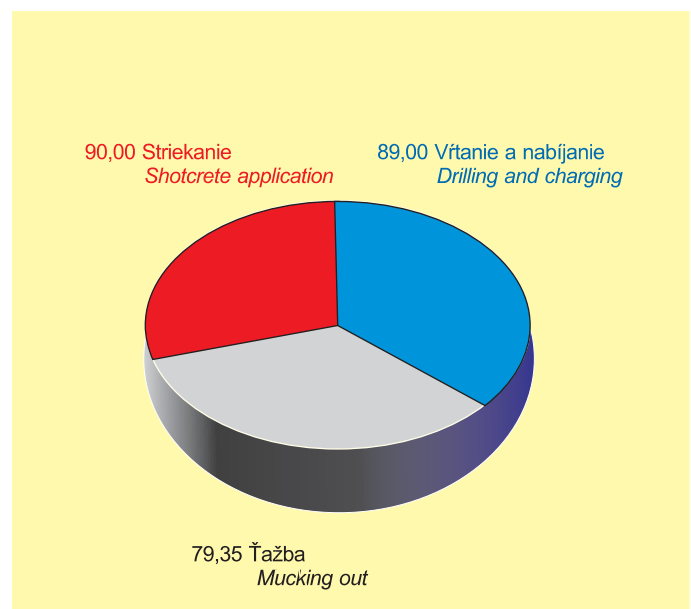
- ATLAS COPCO 352 drilling rig - 2 pcs
- Komatsu HD 25 dumper - 2 pcs
- CAT D25 dumper - 2 pcs
- Tatra 815 dumper - 1 pc
- Komatsu WA380 loader - 1 pc
- Komatsu WA270 loader - 1 pc
- MEYCO SUPREMA spraying machine - 1 pc
- Platform on Liebherr 912 undercarriage - 1 pc
- Liebherr 932 Litronic tunnel excavator - 1 pc
- Aliva 626 (stand-by for spraying) - 1 pc

### ORGANISATION OF WORKS, OUTPUTS AND ADVANCE RATES

The portion of the tunnel tubes excavated by our company represented a half of the tunnel length. We started the work on 4/12/2002, and took over the excavation of both tubes as a sub-contractor for SCT. Equipment was ours, with an exception of the spraying machine and the CAT D25 dumper. We also provided materials, spare parts and maintenance. Using the above-mentioned equip-

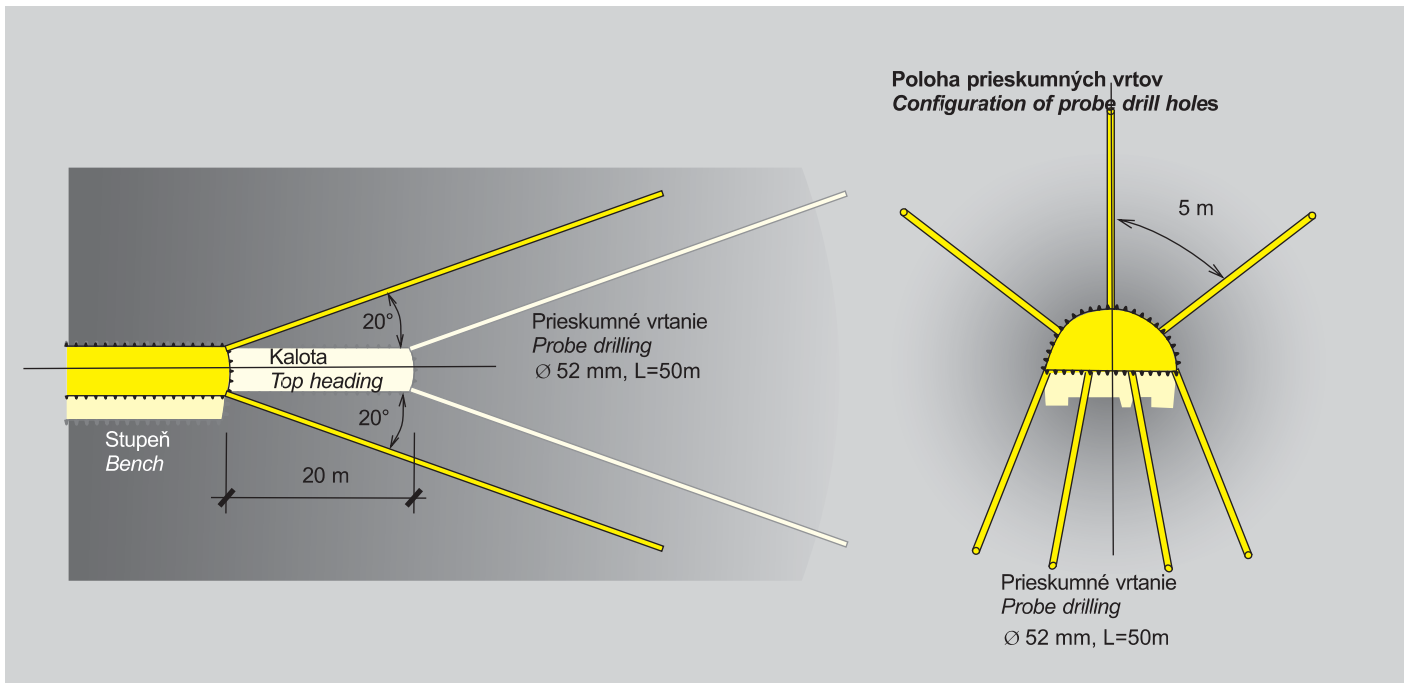


Obr. 1 Priemerný raziaci cyklus v kalote (min.)  
Fig. 1 Average excavation cycle at top heading (min.)



Obr. 2 Priemerný raziaci cyklus v stupni (min.)  
Fig. 2 Average excavation cycle at bench (min.)





Obr. 3 Prieskumné vrtanie (schéma nie je v mierke)  
Fig. 3 Probe drilling (scheme not to scale)

dosiahli v razení kaloty rekordný výkon 636 m spolu v oboch rúrach, čo znamená denný postup viac ako 10 m na rúru. Ťažiskové operácie tu boli vŕtanie a odťažba. Priemerný raziaci cyklus je znázornený na obr. 1. Z grafu vyplýva, že priemerná dĺžka cyklu je 419,11 min.

Pri razení stupňa sa dosahovali výkony priemerne 20 m na rúru denne. Priemerný cyklus razenia stupňa je na obr. č. 2. Z grafu vyplýva, že priemerná dĺžka cyklu je 258,36 min.

### TECHNICKÉ ŠPECIFIKÁ RAZENIA V KRASE

Ako už bolo spomenuté, tunel Kastelec je situovaný v silne krasovej oblasti. Najčastejšími krasovými javmi, s ktorými sme sa stretávali, boli komíny a krasové pukliny nevyplnené, ale aj vyplnené červenou ílovou výplňou, produktom zvetrávania vápence. Objavovali sa aj veľké kaverny s krasovou výzdobou. Pozitívom bolo, že hladina podzemnej vody bola cca 80 m pod počvou tunela a celé prostredie bolo tak prepojené, že sme nenarazili na možnú akumuláciu podzemnej vody, ani zvodnelé výplne kaverien. Taktiež technologickú vodu z vŕtania nebolo možné odvádzať, strácala sa hneď v čelbe pri vŕtaní. Stále však hrozilo nebezpečenstvo nafárana izolovanej zvodnenej kaverny, alebo kaverny vyplnenej tekutým materiálom. Kaverny, cez ktoré sme prechádzali, spôsobovali problémy pri vŕtaní (strácal sa výplach), pri nabíjaní vývrtov (trhaviny padali do kaverien, nálože neboli kontinuálne, pri výbuchu tlak unikol po poruchách a kavernách, trhacie práce nemali svoj účinok). Najväčšie nebezpečenstvo predstavovali veľké kaverny v trase, alebo v blízkosti tunela, hlavne v oblasti pod úrovňou razenia, kde bolo reálne nebezpečie prepadnutia sa ťažkých mechanizmov. V oblastiach s nižším nadložíom bolo potrebné zabezpečovať bezpečnostný okruh trhacích prác aj na povrchu kvôli možným účinkom trhacích prác cez krasové závrty až na povrch.

Toto všetko na základe geologického a geofyzikálneho prieskumu projekt predpokladal. Jedným z najúčinnějších opatrení na prevenciu a lokalizovanie kaverien a na ich odvodnenie je predvŕtávanie.

Projekt predpisoval predvŕtávanie vrtmi priemeru 52 mm v rozložení podľa obrázku č. 3. Pri zistení kaverny sa vŕtanie zhusťovalo a robil sa dodatočný prieskum georadarom za použitia 500 a 250 MHz antény v troch profiloch oblasti počvy. Ďalší postup sa dohodol s geológom.

Lokalizovať kavernu, je len časť problému. Kavernu je treba v prvom rade:

- bezpečne prejsť
- zabezpečiť proti vypadávaní materiálu z nej, resp. ju zabezpečiť proti pádu
- potom sanovať
- vytvoriť v jej prieniku s tunelom umelé primárne ostenie tak, aby bolo možné zabudovať a ochrániť medziláhlú izoláciu a aby odolalo tlakom pri betonáži primárneho ostenia.

Pri nafárnaní kaverny väčších rozmerov sa táto skutočnosť musela hlásiť investorovi, projektantovi a zväzu jaskyniarov, ktorí prišli kavernu preskúmať a zmapovať. Podľa jej rozsahu a polohy voči tunelovým rúram sa dohodlo technické

ment, a crew of 12 workers at the face, an electrician, machinist and a technician on shift, we drove the top heading in both tubes only, simultaneously until the breakthrough. The bench was excavated when the top heading excavation had been finished, in essence from both sides (4 faces). We worked 24 h/day (two 12 h shifts). In addition to the shift workers, the staff consisted of a site manager, his deputy, main machinist and two machinists.

The tunnel section excavated by our company consisted of 95% of the category A2 rock, requiring no supporting elements; only fibre reinforced shotcrete 8 cm thick was used for the lining. In this category, in March 2003, we achieved a top heading advance record of 636 m in both tubes, which means a daily advance rate in one tube of 10 m. The principal operations were drilling and mucking out. An average excavation cycle is shown in Fig. 1. It follows from the chart that average cycle time is 419.11 minutes.

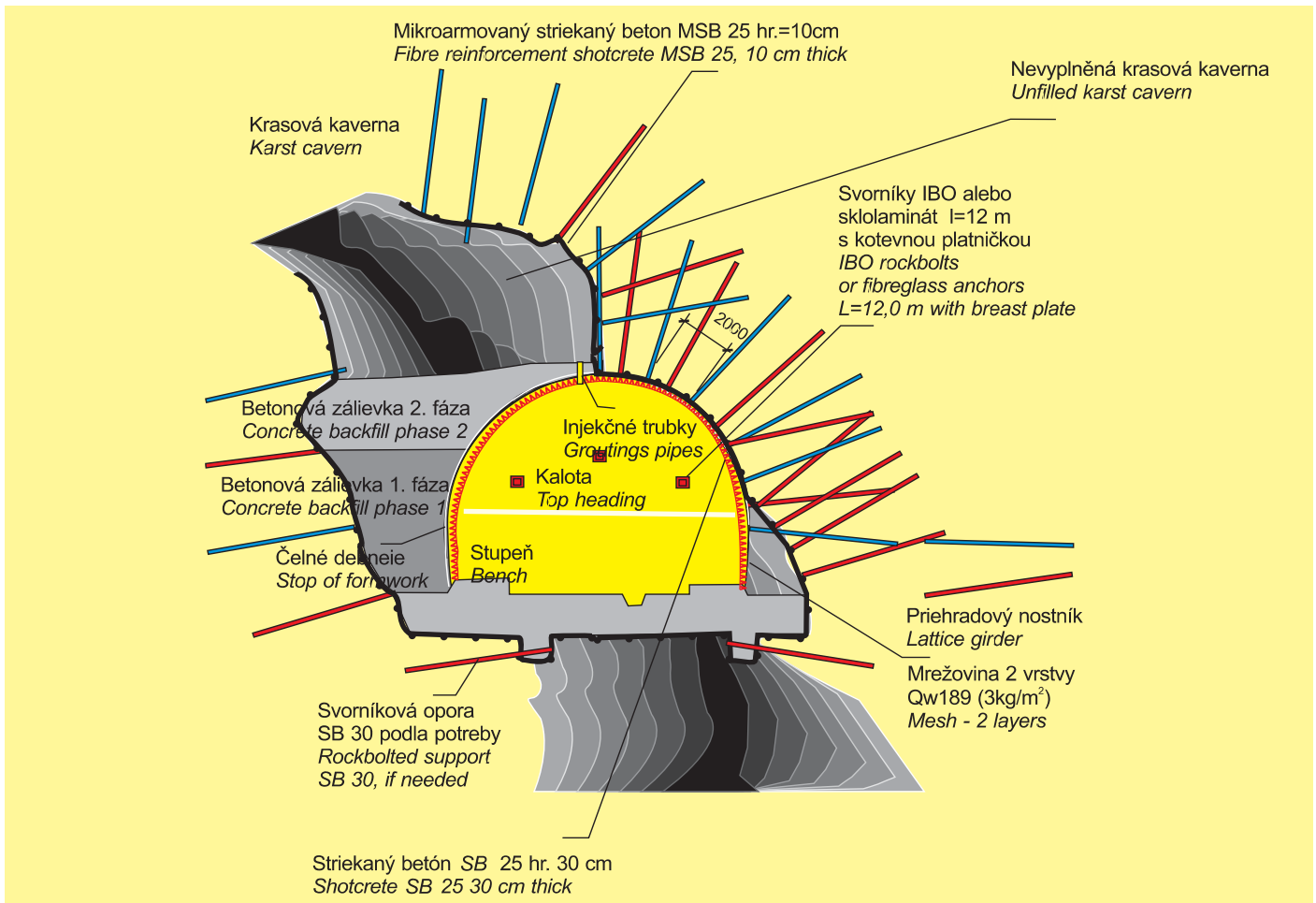
Average daily advance rates of 20 m per one tube were achieved in the bench excavation. An average excavation cycle is shown in Fig. 2. It follows from the chart that average cycle time is 258.36 minutes.

### TECHNICAL SPECIFICS OF TUNNEL EXCAVATION IN KARST

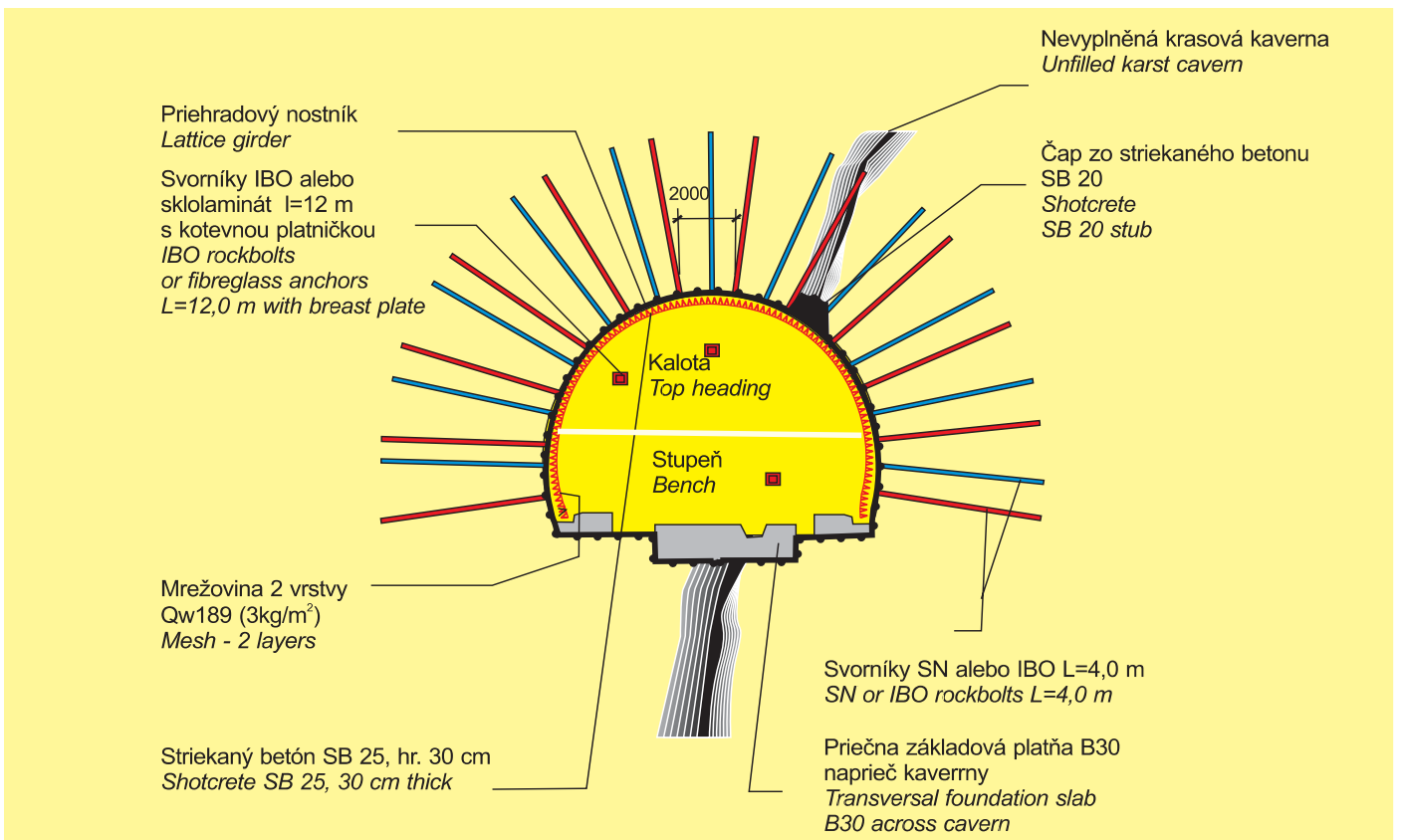
As mentioned above, the Kastelec tunnel is situated in a heavily karstified area. The most frequent karst phenomena we encountered were light holes, karst fissures (mostly unfilled but also filled with red clay originating from limestone weathering). Even large caverns with dripstone decoration were encountered. A positive factor was the fact that water table was about 80 m under the tunnel bottom, and the whole environment was interconnected so well that we encountered no ground water accumulation or water saturated infill of the caverns. It was also impossible to operate a process water drainage system as water disappeared immediately at the face during the drilling. But the threat of drilling into an isolated water-filled cavern or a cavern filled with a liquid material still existed. The caverns we passed through caused problems during the drilling (drilling fluid losses), charging the holes (explosives fell into the caverns, charges were not continual, the explosion pressure leaked through cracks and caverns, thus blasting operations were less efficient). The most significant threat was the existence of large caverns on the alignment or nearby the tunnel, mainly in the area under the excavation level, threatening realistically that heavy equipment could fall through the bottom. In areas with shallower overburden, it was necessary to guard a blasting safety zone even on the surface due to possible effect of the blasting spreading through the sink-holes up to the surface.

All of that was anticipated by the designer on the basis of the geological and geophysical investigation. One of the most efficient measures to minimise the threat and locate caverns and drain them is probe drilling in advance of the heading.

The design prescribed the probe drilling using 52 mm bits, with a pattern shown in Fig. 3. In a case of a cavern detection, a closer span was applied, and an additional survey with a georadar was carried out using 500 and 250 MHz antennas, at three profiles of the bottom. Further actions were agreed by a geologist.



Obr. 4 Sanácia prieniku veľkej kaverny s tunelovou rúrou – priečný rez  
 Fig. 4 Rehabilitation of large cavern and tunnel tube interpenetration – cross section



Obr. 5 Sanácia prieniku kaverny – závrty s tunelovou rúrou  
 Fig. 5 Rehabilitation of cavern – karst sinkhole and tunnel tube interpenetration



riešenie sanácie. Určité varianty boli už vopred riešené v projekte a sú znázornené na obrázkoch 4 a 5.

Sanácia spočívala spravidla:

- z očistenia od uvoľnených kusov, zastriekania ústia kaverny a stien kaverny v dosahu striekacej súpravy vrstvou drôtkobetónu hr. min. 8 cm, zabudovanie svorníkov podľa potreby
- vybudovania základovej platne - výlom na základovú platňu a vybetónovanie
- zabudovanie drenážneho systému na odvodnenie jaskyne (pri indikovaných kavernách a závrtoch, ktoré predstavujú stály zdroj prítokov vody ako následky zrážok, je pred zabudovaním vyztužovacích prvkov potrebné po vonkajšom obvode tunelovej rúry umiestniť drenážne rúry na odvodnenie z krásových formácií)
- zabudovanie obojstranného debnenia pre betonáž primárneho ostenia v prieniku kaverny s tunelom
- prvá fáza betonáže prieniku
- zabudovanie oceľových segmentov a striekaného betónu
- aplikácia sekundárneho ostenia.

Pri razení sme v skutočnosti narazili na mnoho jaskýň a menších kaverien, ktorých prieniky s tunelovými rúrami sme riešili za pochodu v zmysle projektu a následných dojednaní v spolupráci s našim objednávateľom a investorom v záujme maximálnej bezpečnosti.

Prvá väčšia kaverna bola v podstate vertikálny komín, ktorý pretínal pravú tunelovú rúru v celej jej šírke a bol od počvy kaloty hlboký cca 70 m a vysoký cca 60 m. Tento komín bol po zlanení a preskúmaní jaskyniarimi sanovaný zasypaním vyťaženým materiálom z druhej tunelovej rúry a po prezení hornej časti komína a jej očistení prejedním kalotou v TH výztuži s krokom 1 m. Následne sa vytvorilo primárne ostenie z mrežoviny, geotextílie a striekaného betónu projektovanej hrúbky, ktoré slúžilo ako debnenie pri zaplňaní priestoru kaverny. Priestor kaverny za ostiením sa zabetónoval pomocou striekacej súpravy MEYCO (použiteľ len ako čerpadlo) liatym betónom B 15 v dvoch fázach (obr. 4). Pri razení stupňa sa postupovalo obdobne. Prehĺbenie na základovú platňu a jej betonáž sa urobila až pri betonáži banketov.

Menšie komíny alebo kaverny (obr. 5) sa sanovali zastriekaním ich prieniku vrstvou striekaného drôtkobetónu hr. 5 - 8 cm, prípadným svorníkováním a vytvorením čapu - akejsi zátky z mrežoviny a zo striekaného betónu dostatočnej hrúbky tak, aby odolala tlakom betónu pri betonáži sekundárneho ostenia a aby tvorila podklad vhodný pre hydroizolačnú fóliu tunela.

Tieto kaverny vo všeobecnosti spomaľovali postup prác a spôsobovali zdržanie tým, že sa muselo čakať na jaskyniarov.

V ľavej (južnej) tunelovej rúre na staničení 648 m sme narazili pri trhacích prácach na otvor cca 2 x 2 m, ktorý sa zvažoval dole doprava od tunela. Po ovetraní spodín trhacích prác a kontrolnom zmeraní ovzdušia sme zistili, že sme nafarali časť tunela obrovský priestor - jaskyňu úctyhodných rozmerov s krásnou a bohatou krásovou výzdobou. Jej celková dĺžka je cca 180 m a v najvyššej časti má výšku 18 m. Tu sa v mieste prieniku jaskyne s tunelovou rúrou vybetónovala betónová stena z betónu B 25, vystužená tyčami profilu TH 24. Táto novoobjavená jaskyňa ostala a je prístupnou z ľavej tunelovej rúry tunela Kastelec, kde v prvom zálive je urobená prístupová šachta pre jaskyniarov a odborníkov. Verejnosť však do nej nemá prístup.

## ZÁVER

Razenie v takýchto podmienkach je ďalšou kladnou skúsenosťou pre našu firmu, kde k spokojnosti investora aj našej sme si overili pôsobenie v zahraničí na stavbe tunela s našou technológiou, razenie "na kľúč" po sekundárne ostenie vrátane primárneho ostenia. Okrem skúseností s razením v krase, sme si mnohí odniesli fantastický pocit, ktorý poznajú horolezci, jaskyniari, objavitelia. Pociť, keď je človek ako prvý tam, kde ešte nikto nikdy nebol, v priestore, kde ešte nikdy nevstúpila ľudská noha a neprenikol lúč svetla. Aj taká môže byť práca pod zemou.

*Identification of a cavern is one part of the problem only. Primarily, the cavern must be :*

- *passed through safely,*
- *protected from a fall of material from the cavern, or protected from collapsing,*
- *rehabilitated subsequently,*
- *provided with artificial lining at the intersection with the tunnel, so that it could withstand the pressures during the final lining casting.*

*An event when a larger cavern was hit had to be reported to the owner, designer and an association of speleologists, who arrived at the site to search and map the cavern. The technical solution of the rehabilitation was agreed according to the size and position of the cavern with respect to the tunnel tubes. Certain variants had been solved in the design in advance. These are shown in Fig. 4 and 5.*

*The rehabilitation usually consisted of:*

- *removing loosened pieces of rock, application of fibre reinforced sprayed concrete on the cavern mouth and walls of the cavern within the reach of the spraying machine (a layer 8 cm thick), installation of rockbolts as needed,*
- *construction of a foundation slab - bottom excavation and concrete casting,*
- *installation of a drainage system to drain the cavern (if caverns and sinkholes representing a permanent source of water inflows during rainfalls are indicated, it is necessary to install drainage pipes on the external circumference of the tunnel tube discharging water from the karstic formations),*
- *erection of a two-sided shutter for casting the primary lining at the cavern-tunnel intersection point,*
- *the first phase of the intersection casting,*
- *installation of steel segments and application of shotcrete,*
- *erection of the secondary lining.*

*In reality, we encountered many cavities and smaller caverns during the excavation where we solved the intersections with the tunnel tubes immediately, using the rules stated in the design and subsequent negotiations, in collaboration with our client and the owner, with due respect paid to safety aspects.*

*The first larger cavern was basically a vertical chimney intersecting the right-hand tunnel tube within the entire width. Its depth from the top heading floor reached about 70 m, the height was about 60 m. When the speleologists had the survey completed, this chimney was rehabilitated using the muck from the other tube for backfilling. The upper part was climbed and cleaned, then the top heading passed through using TH frames (1m round length). Subsequently the primary lining was built consisting of mesh, geotextile and shotcrete in the designed thickness. This liner was used as a shutter for backfilling of the cavern. The MEYCO set was used for the backfilling (as a concrete pump only) of the cavern space with poured concrete B15, in two phases (see Fig. 4). A similar procedure was used when the bench was excavated. Deepening down to the foundation slab level and casting of the slab was carried out later, simultaneously with the side-walls casting.*

*Minor chimneys or caverns (see fig. 5) were rehabilitated by spraying fibre reinforced concrete on the intersection surfaces (5 - 8 cm thickness), also by rockbolting if needed, and creating a stub, i.e. a kind of a plug from mesh and shotcrete having a thickness sufficient to withstand the concrete pressure during the secondary liner casting, which was designed to create a substrate suitable for installation of the waterproofing membrane.*

*The caverns slowed the advance rate in general, and caused delays due to the fact that the speleologists had to be waited for.*

*At chainage m 648, in the left (southern) tunnel tube, we encountered an opening about 2 x 2 m during blasting operations. The opening sloped down, to the right side of the tunnel. When the space had been defumed and a check measurement of the atmosphere finished, we found out that a part of our tunnel hit an immense space - a cavern of respectable dimensions, featuring beautiful and rich dripstone decoration. The total length of the cavern amounts roughly to 180 m, and the cavern is 18 m high at the highest place. In this particular case a concrete wall was erected at the cavern-tunnel intersection (concrete B 25, TH 24 reinforcement bars). This newly discovered cavern remained unfilled, and it is accessible from the left tunnel tube of the Kastelec tunnel. An access gallery for speleologists and experts is found in the first emergency layby. The access is not allowed to the general public*

## CONCLUSION

*Driving a tunnel in such conditions is another positive experience for our company. To the owner's and our satisfaction, we verified our work on a tunnel construction abroad, using our equipment, a "turnkey" excavation job up to the final lining phase including the primary lining. Apart from the experience in excavation in a karst, many of us gained a fantastic feeling well known to mountaineers, speleologists and discoverers. It is a feeling known to people who came the first somewhere nobody else had ever been before, to spaces never before entered by a human being, where even a sunbeam had never penetrated. This is how work in the underground may also be viewed.*

## ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

## FROM THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTION

## BOLU TUNEL - TURECKO

Tunel Bolu je součástí dnes rozestavěného 25 km úseku Anatolské dálnice, která bude po dokončení spojit Istanbul s hlavním městem Ankarou. Úsek přechází pohoří Bolu a je charakterizován převážně několika velkými mostními estakádami a právě asi 3 km dlouhým dálničním tunelem. Každá tunelová trouba je navržena jako třípruhová s šířkou jednotlivých pruhů 3,75 m. Mezi tunely je dodržen horninový pilíř 40 m.

Umístění tunelu 10 km od hlavní severní anatolské poruchové zóny, která je místem styku mezi Euroasijským blokem a Anatolským blokem, specifikuje problematiku výstavby. Poruchová oblast je průběžně aktivní svými posuny a je příčinou hlavních těžkostí během tunelování.

Průchozí horninový masiv je tvořen konglomeráty arkoz, pískovců, břidlic a dolomitických vápenců. Tektonické pohyby však dotvořily masiv tak výrazně, že jednotlivé typy hornin se v tunelu rychle střídají a jen zřídka jsou ve větší délce než několik stovek metrů.

Výstavba tunelu byla zahájena v roce 1993 a v počátečním běžném postupu narazila na geotechnické těžkosti, což vyvolalo nutnost řešit několik problémů souvisejících s nepříznivými geologickými a hydrogeologickými poměry. Zvlášť speciálně musel být řešen a instalován plošný drenážní systém ve vysoce puklinatém úseku masivu. Další opatření se prováděla v přechodu poruchové oblasti, která byla zdlouhá až po 2letém úsilí. Pro přechod zbývající části trasy byl v r. 1998 proveden v masivu pilot tunel a nový investiční program byl vypracován po jeho zhodnocení. Zohlednily se nejhůřší podmínky masivu a vyprojektovaly se nové variantní návrhy konstrukce ostění pro další pokračování výstavby v silně tlačivých horninách, a to typy variant 3 a 4.

Varianta 3: Konstrukční systém představuje primární ostění ze stříkaného betonu s kotvením. S odstupem je prováděno ostění do ztraceného bednění z betonu B40 v 60cm síle. Na mezilehlou plastovou izolaci navazuje sekundární ostění B30 v síle 60 cm do posuvného bednění. Celý segment spodní klenby je vybetonován. Teoretický výrub 225,6 m<sup>2</sup>, členění výrubu horizontální.

Varianta 4: Tato varianta je v úseku dvou pilot tunelů a je obdobná variantě 3, jen jeho střední monolitická ozezdívka je v síle 80 cm (76+4) třídy B40. Sekundární ostění B30 v síle 60 cm s mezilehlou izolací. Teoretický výrub 260,3 m<sup>2</sup>.

Dvě velmi silná zemětřesení v Turecku v r. 1999 zasáhla svým vlivem tento projekt. První nezpůsobilo žádné škody, ale druhé s epicentrem vzdáleným 20 km od stavby a síle 7,1 Mw se už výrazněji projevovalo hlavně na mostních objektech. Na tunelech byly projevy a škody, hlavně na portálu Ankara a v tunelovém úseku v místě hlavní poruchové zóny na této straně, kde byly práce zastaveny.

Tunel byl navštíven v květnu 2004 skupinou pracovníků Vědeckotechnické společnosti Metrostav. V realizaci byl navštíven tunel budovaný ve variantě 3, do dorážení v nové trase zbývalo asi 740 m, razicí práce jsou prováděny ze stavebního dvora - portál Istanbul.

Ze zahraničních pramenů ing. Petr Vozarik

## BOLU TUNEL - TURKEY

The Bolu tunnel is a part of the currently constructed 25 km long section of the Anatolian motorway, which will after completion connect Istanbul with the Capital City of Ankara. The section passes over the Bolu mountains and is predominantly characterized by several large flyover bridges and particularly by the app. 3 km long motorway tunnel. Each tunnel tube is designed as a three-lane tube with every lane 3,75 m wide. A rock pillar of 40 m is constantly maintained between the tubes.

Location of the tunnel, 10 km away from the northern Anatolian surface zone which is the meeting point between Eurasian and Anatolian blocks, implies the problems of construction. The faulting zone is continuously active with its shifts and thus represents the source of main complications during tunneling.

Passable rock massif is formed by conglomerates of arkoses, sandstones, shales and dolomitic limestones. The tectonic movements have, however, transformed the massif so distinctly that separate types of rocks in the tunnel alternate very frequently and only rarely occur in lengths larger than a couple of hundred meters.

Construction of the tunnel started in 1993 and in the initial standard advance encountered geotechnical complications, which brought about the necessity to deal with several problems coherent with unfavorable geological and hydrogeological conditions. As for one special case, an areal drainage system had to be installed within a highly fractured section of the massif. Further measures were carried out when passing through the faulted zone, some of which were surpassed after two years' effort. As for passage through the remaining part of the route, a pilot tunnel had been realized in the massif in 1998, and a new investment program was elaborated only upon its evaluation.

The worst conditions of the massif have been taken into consideration and new alternative projects for construction of the lining for further continuation of works within strongly pressing rocks have been designed, i.e. the alternatives 3 and 4:

Alternative 3: The structure system consists of primary lining of shotcrete with anchoring. Within some distance back, 60 cm thick lining is cast into sacrificed formwork using concrete B40. Intermediate membrane waterproofing is followed by casting of 60 cm thick secondary lining, with B30 concrete poured behind a sliding formwork. The entire segment of the invert is concreted. Theoretical excavated cross section amounts to 225,6 m<sup>2</sup>, the excavation is divided into horizontal sequences.

Alternative 4: This alternative applies for the section of two pilot tunnels, and is similar to alternative 3, only its middle monolithic lining is 80 cm (76 + 4) thick (concrete B40). Secondary lining is 60 cm thick, concrete B30 applied on intermediate waterproofing membrane. Theoretical excavated cross-section of 260,3 m<sup>2</sup>.

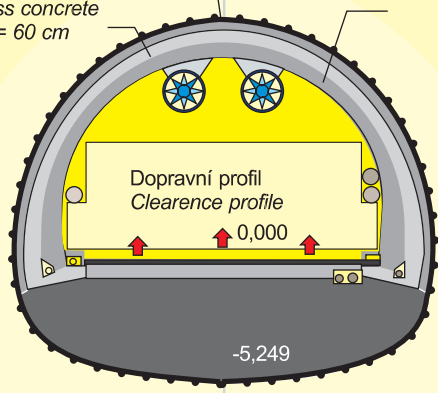
Two very strong earthquakes in Turkey in 1999 had an impact on this project. The first one did not cause any material damage, but the second one with an epicenter 20 km away and strength of 7,1 Mw already strongly affected the project, mainly bridge structures. Also tunnels experienced impacts and defects, namely at the Ankara portal and in the tunnel section found in the place of the major faulting zone at this portal side where works had to be put on hold.

In May 2004, the tunnel site was visited by a group of Metrostav, a. s. employees organized in the company branch of the Scientific-Technical Association. The tunnel constructed using the alternative 3 was visited during realization while 740 m remained to be excavated from the new route. Excavation works are being carried out from the construction yard at the portal Istanbul.

Based on foreign sources by Petr Vozarik.

Stříkaný beton B30, d = 40cm  
Shotcrete lining B30, d = 40cm  
Betonová mezivrstva  
vláknobeton  
B40, d = 60 cm  
Intermediary concrete lining  
fibreglass concrete  
B40, d = 60 cm

Betonová vnitřní vrstva  
vláknobeton  
B30, d = 60 cm  
Concrete inner lining  
fibreglass concrete  
B30, d = 60 cm

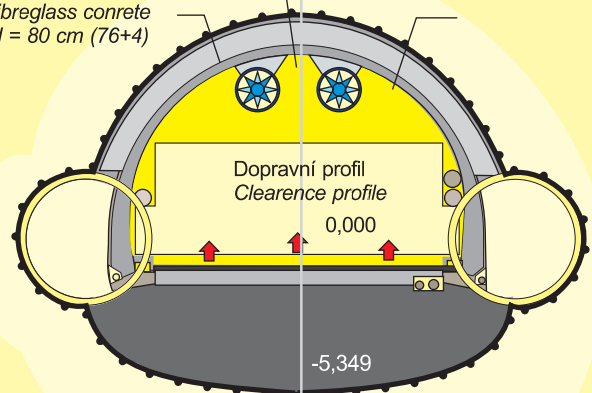


Teoretická plocha profilu 226,66 m<sup>2</sup>  
Plocha profilu 244,55 m<sup>2</sup>  
Theoretical excavation area 226,66 m<sup>2</sup>  
Excavation area 244,54 m<sup>2</sup>

Stříkaný beton B30, d = 30cm  
Shotcrete lining B30, d = 30cm

Betonová mezivrstva  
vláknobeton  
d = 80 cm (76+4)  
Intermediary concrete lining  
fibreglass concrete  
d = 80 cm (76+4)

Betonová vnitřní vrstva d = 60 cm  
vláknobeton B30  
Concrete inner lining d = 60 cm  
fibreglass concrete B30,



Teoretická plocha profilu 260,35 m<sup>2</sup>  
Plocha profilu 273,44 m<sup>2</sup>  
Theoretical excavation area 260,35 m<sup>2</sup>  
Excavation area 273,44 m<sup>2</sup>

Obr. 5 Vzorový příčný řez - varianta 3  
Fig. 5 Regular cross section - variant 3

Obr. 6 Vzorový příčný řez - varianta 4  
Fig. 6 Regular cross section - variant 4



## Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB

## FROM THE UNDERGROUND CONSTRUCTION HISTORY

## TUNEL NA KONCI SVĚTA

Ve stínu grandiózních projektů tunelů spojujících kontinenty, podcházejících mořské zátoky či ve velkých hloubkách horské masivy existují stranou naší pozornosti podzemní díla zanedbatelná svým rozsahem, ale s neobyčejným významem pro lokalitu, v níž se nacházejí.

Jedním z nich je tunel Homer na Jižním ostrově Nového Zélandu. Leží ve výšce téměř 900 m nad Milford Soundem, romantickým fjordem, který v dávných dobách vyřizl ledovec do Tasmanova moře, do něhož po šestnácti kilometrech ústí. Dosahuje hloubky přes 330 m a v jednom místě kilometrové šířky. U jeho ústí leží mystická Anita Bay, rituální místo maorských kmenů. Říká se, že je osmým divem světa. Zajíždí sem i proslulá zámoceánská výletní loď Queen Elizabeth II na své plavbě kolem světa. Okolní vrcholky dosahují až 2065 m (Mt. Pembrok) a Mitre Peak (1710 m) je údajně nejvyšší horou světa zvedající se přímo z mořské hladiny.

Fjord byl z vnitrozemí dopravně zcela nepřístupný. Teprve vybudování tunelu na horské silnici z Te Anau vzdáleného 120 km spojení umožnilo. Silnici začala budovat skupina nezaměstnaných v roce 1929. Práce na tunelu dlouhém 1200 m s několikasetmetrovým nadložím byly zahájeny dva roky po dokončení silnice v roce 1935 pod vedením inženýra W. H. Homera (1889) - v pěti lidech s lopatami a kolečky bez mechanizace. Výškový rozdíl portálů činí přes 130 m. Úpadní ražení znamenalo neustálé potíže s čerpáním vody a nakonec si vynutilo vyražení pomocné odvodňovací štoly. Původně se razil kruhový profil o průměru 18 stop. V roce 1942 byly práce po dobu války přerušeny, Novozélandané narukovali do spojenecké armády. V roce 1946 byly znovu zahájeny, tentokrát již s potřebnou mechanizací. Průměr byl zvětšen na dnešních 24 stop, tj. z 5,5 na 7,2 m. Tunel má obezdívku pouze u portálů. Byl proražen v roce 1953 a rok nato uveden do provozu. Není vybaven ani osvětlením, ani ventilací. Profil neumožňuje bezpečnou jízdu v obou směrech, doprava je světelně řízena a v tunelu jsou dvě výhybiště. V sezoně jím projede autobusy a osobními vozy přes 2000 osob denně a brzy se má tento počet zdvojnásobit. Silnice od západního portálu tunelu v ostrých serpentínách překonává na dvanácti kilometrech téměř osmisetmetrový výškový rozdíl na úroveň moře.

## TUNNEL AT THE END OF THE WORLD

In the shadow of magnificent projects of tunnels that connect continents, underpass sea bays or mountain massifs in great depths, there are underground works out of our sight that might be negligible with their extent, but with extraordinary significance for their locality.

One of these is the Homer tunnel at Southern Island of the New Zealand. It lies about 900 m above the Milford Sound, a romantic fjord that was in the times long past carved by an iceberg in the Tasmanian sea, into which it mouths after 16 kilometers. The fjord reaches a depth of 330 m and in one place a width of 1 km. There is the mystical Anita Bay at its mouth, a ritual location of the Maori tribes. It is disputed to be the eighth Wonder of the world. It is visited by the oceanic cruiser Queen Elizabeth II during its journey around the world. Surrounding mountaintops reach up to 2 065 m (Mt. Pembrok) while Mitre Peak (1 710 m) is believed to be the world's highest mountain that rises directly from the sea surface.

The fjord was totally inaccessible from the inland by means of road traffic. Only construction of a tunnel on the mountain road from the 120 km distant Te Anau made the connection possible. Construction of the road was started by a group of the unemployed in 1929. Works on the 1 200 m long tunnel with several hundred meters of overburden started 2 years after completion of the road in 1935 under the leadership of engineer W. H. Homer (1889) - with five men, shovels and a wheelbarrow, without any mechanization. Altitude difference between the portals reaches 130 m. Downhill excavation meant permanent complications with pumping of water and ultimately it enforced excavation of a subsidiary draining gallery. There was an original circular cross section with a diameter of 18 feet. Since 1942, works were suspended for the time of the World War II when New Zealanders enlisted in the allied armies. Works were resumed again in 1946, this time already with the required mechanization. The cross section was enlarged to current 24 feet, i.e. from 5,5 to 7,2 m diameter. The tunnel only has a lining at the portals. It was broken through in 1953 and the year after put into operation. It is equipped neither with illumination nor with ventilation. Nor does the profile allow safe driving in both directions, traffic is controlled by lights and there are two passing bays in the tunnel. During the season, cars and buses transport about 2000 persons per day through it and the number is about to double soon. The road from the western portal with tight double bends overcomes an altitude difference from the sea level of almost 800 m within a length of 12 km.



Obr. 1 Východní portál tunelu Homer  
Fig. 1 Eastern portal of the Homer tunnel



Obr. 3 Západní portál tunelu Homer  
Fig. 3 Western portal of the Homer tunnel



Obr. 2 Průjezd tunelem Homer  
Fig. 2 Passage through the Homer tunnel

Relativně malá tunelová stavba přinesla do tohoto malebného koutu světa čilý turistický ruch mezinárodního významu. Jeho další rozvoj však již ohrožuje existenci zdejší nedotčené přírody, a proto snahy o stavbu nových komunikací a železniční trati narážejí na ostrý odpor veřejnosti včetně některých maorských kmenů, kterým území patří.

*A relatively small tunnel structure has brought vivid tourism of international significance to the picturesque part of the world. Its further development, however, is starting to endanger the existence of untouched nature and therefore the efforts for construction of new roads and railroads meet formidable resistance of the public including certain Maori tribes that own the land.*

Ing. Karel Matzner

Obr. 4 Milford Sound a Mitre Peak (1710 m)  
Fig. 4 Milford Sound and Mitre Peak (1710 m)



## AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A VE SLOVENSKÉ REPUBLICCE

### CURRENT NEWS FROM THE UNDERGROUND CONSTRUCTION IN THE CZECH REPUBLIC AND SLOVAKIA

#### ČESKÁ REPUBLIKA

##### Dálnice D5 – Tunel Valík na obchvatu Plzně

Tunel Valík, klíčové místo pro dokončení obchvatu Plzně na dálnici D5, se konečně začal razit. Jeho délka (330 m) není vůbec výjimečná, mimořádná je ovšem doba, kterou trvala jeho příprava a překonání umělé vytvářených překážek a obstrukcí, které zapříčinily, že obyvatelé Plzně museli roky dýchat exhalace tisíců aut projíždějících centrem Plzně.

Mimořádné je však také uspořádání dvou tunelových trub se středním železobetonovým pilířem i složité geotechnické poměry, které příroda připravila pro ražbu. Slavnostní zahájení ražeb a osazení sošky svaté Barbory se konalo u rozvadovského portálu ve středu 7. dubna 2004.

Fotografie zachycuje významné hosty této události při projevu generálního ředitele investora stavby ŘSD ČR Ing Laušmana, na další je pohled na portá-

#### CZECH REPUBLIC

##### Motorway D5 – the Valík tunnel at the bypass of Plzeň

*Excavation of the Valík tunnel, a key part for completion of the bypass of Plzeň at the motorway D5, finally started. Its length (330 m) is not exceptional, yet extraordinary is the time which it took to prepare it as well as surpass man-made obstacles and obstructions which caused that the people of Plzeň for years have had to breathe the exhausts from thousands of vehicles passing through the center of Plzeň.*

*Unique is also the layout of the two tunnel tubes with the central pillar of reinforced concrete, in the same way as the complicated geotechnical conditions that nature had prepared. Ceremonial opening of the excavation and installation of the figurine of St. Barbara took place at the Rozvadov portal on April 7, 2004. The picture shows important guests of this event during a speech of the general*





lovou stěnu a poslední fotografie zachycuje ražbu středního tunelu pro budoucí pilíř mezi tunely. Na čelbě tohoto tunelu je vidět průzkumná štola.

#### Tunel Panenská na dálnici D8

Koncem května 2004 byla na tunelu Panenská zahájena realizace definitivního ostění. Ostění se provádí při pokračujících ražbách obou tunelových trub. V ZTT byla v té době vyražena kalota do vzdálenosti asi 1150 m od portálu a ve VTT se čelba kaloty nacházela asi 800 m od severního portálu.

#### Tunel Mrázovka před uvedením do provozu

V době vydání tohoto čísla Tunelu bude již tunel Mrázovka uveden do provozu. V době jeho uzávěrky (konec května 2004) však probíhaly na obou tunelových troubách tunelu Mrázovka dokončovací práce a montáže technologie. Konkrétně šlo o individuální zkoušky jednotlivých provozních souborů technologie, jejichž úspěšné dokončení bylo podmínkou pro zahájení oživování a odlaďování řídicího systému tunelu Mrázovka. Těto činnosti byly v harmonogramu vyhrazeny měsíce červen a červenec. Pokládka živých vrstev definitivních vozovek v tunelech, která probíhala po dobu měsíce června v nočních hodinách, byla naopak poslední stavební činností velkého rozsahu. Srpen už byl ve znamení konečných fází dokončovacích prací, instalace informačního systému, komplexních zkoušek, převíjek a kolaudačního řízení. Souběžně však probíhala integrace tunelu Mrázovka do řízení dopravy v Praze, a to mělo dopady na přilehlé již provozované úseky městského okruhu - Strahovský tunel a úsek Zlíchov - Radlická, což pocítili motoristé při průjezdu těchto oblastí častým výskytem uzavírek a dopravních omezení. V závěru měsíce srpna by tento stav měl pominout a městský okruh v úseku od břevnovského ústí Strahovského tunelu až po Barandovský most i s novým východním mostem přes Plzeňskou a tunelem Mrázovka bude uveden do provozu.

manager Ing. Laušman of ŘSD CR, the construction investor. The next one shows a view of the portal wall while the last one depicts excavation of the central tunnel for the future pillar between the tunnels. The exploratory gallery can be seen at the face of this tunnel.

#### Panenská tunnel at motorway D8

By the end of May 2004, realization of the final lining started in the Panenská tunnel. The lining is realized under ongoing excavations of both tunnel tubes. In the western tunnel tube, calotte in distance of about 1150 m was excavated at the time while in the eastern tunnel tube, calotte was about 800 m away from the northern portal.

#### Mrázovka tunnel before completion

By the time this issue of the Tunnel magazine is published, the Mrázovka tunnel will have already been put into operation. Yet by the time of its editorial deadline (end of May 2004), final works and assembling of technologies still proceeded in both tunnel tubes of the Mrázovka tunnel.

In particular that concerned individual tests of separate operational sets of technologies, whose successful completion was a condition for the start of activation and fine-tuning of controlling system of the Mrázovka tunnel. As the schedule, June and July were reserved for these activities. Laying of asphalt layers of the final carriageways in the tunnel that proceeded during the night hours in June was on the other hand the very last construction activity of a large scale.

August was then marked by final phases of completing works, installation of the information system, complex tests, takeovers and approbation proceedings. Simultaneously, the Mrázovka tunnel was being integrated into the traffic management in Prague, and that had impacts on the adjacent operated sections of the City Ring Road - Strahovský tunnel and the section Zlíchov - Radlická, which the drivers experienced in form of frequent closures and traffic limitations when passing through this area. This situation should have ceased by the end of August as the City Ring Road in section from Břevnov end of the Strahovský tunnel all the way to Barradovský bridge, already with the new eastern bridge over the Plzeňská street and the Mrázovka tunnel, will be put into operation.



Obr. 2 Portálová stěna tunelu Valík  
Fig. 2 Portal of Valík tunnel

**Tunely Dobrovského v Brně**

Dne 10. 5. 2004 proběhlo pracovní setkání účastníků výstavby tunelu Dobrovského v Brně za účasti ministra dopravy Ing. Milana Šimonovského a ředitele SFDI Ing. Pavla Švagra. Tématem setkání bylo hledání optimálního řešení postupu výstavby tunelu navazující na již vyražené štoly.

**Dobrovského tunnels in Brno**

On May 10, 2004, there was a working meeting of participants of construction of the Dobrovského tunnel in Brno, including the Minister of transport Ing. Milan Šimonovský and chairman of the SFDI Ing. Pavel Švagr. The main topic was the search for optimal solution of the proceeding construction of the tunnel that connects to the already excavated galleries.

Ing. Miloslav Novotný

**SLOVENSKÁ REPUBLIKA****Tunel Sitina v Bratislave**

Počas prvej polovice roku 2004 pokračovali intenzívne práce na výstavbe diaľničného tunela Sitina v Bratislave v rámci úseku diaľnice D2 Lamačská cesta – Staré grunty. Tunel je razený podľa princípov Novej rakúskej tunelovacej metódy v značne tektonicky porušenom granitoidnom masíve s pomerne nízkym nadložíom. Obe tunelové rúry (dĺžky 1415 a 1440 m včítane hĺbených úsekov) sú razené od južného portálu v Mlynskej doline. V polovici júna je dosiahnutých 400 m v oboch tunelových rúrach, čo je približne tretina dĺžky razených úsekov. V krátkom čase začne betonáž klenby hĺbeného tunela na severe v areáli SAV ako aj betonáž definitívnych konštrukcií v západnej tunelovej rúre od juhu.

Dodávateľom tunelových objektov pre medzinárodné konzorcium Taisei – Skanska DS sú Banské stavby, a. s. Prievidza. Definitívne konštrukcie (sekundárne ostenie razeného tunela, hĺbené tunely) realizuje spoločnosť Váhostav – Tunely a Špeciálne Zakladania, a. s.

**SLOVAKIA****Sitina tunnel in Bratislava**

During the first half of 2004, intensive works proceeded at construction of the motorway tunnel Sitina in Bratislava as a part of the D2 motorway section Lamačská Cesta – Staré Grunty. The tunnel is excavated using principles of the New Austrian Tunneling Method within a strongly tectonically faulted granite massif with relatively low overburden. Both tunnel tubes (1 415 m and 1 440 m long including the cut-and-cover sections) are excavated from the southern portal in Mlynská valley. As of the half of June, 400 m of excavation are reached in both tunnel tubes, which make up for approximately one third of the length of excavated sections. Concrete placement of vault of the cut-and-cover tunnel is about to start soon from north in the SUV area as well as concrete placement of the final frameworks in the western tunnel tube from south.

Banské stavby, a. s., Prievidza is the contractor for tunnel structures for the international consortium Taisei – Skanska DS. Final structures (secondary lining of the mined tunnel, cut-and-cover tunnel) are realized by Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania, a.s.

Ing. Jozef Frankovský



Obr. 3 Tunel Valík – čelba stredného tunelu  
Fig. 3 Valík Tunnel – from of the middle tube



## ŽIVOTNÍ JUBILEA

## LIFE JUBILEES

SEDMDESÁTÉ JUBILEUM  
ING. OTAKARA VRBYSEPTUAGENARIAN  
ING. OTAKAR VRBA

Čtvrtého srpna 2004 se dožil v plné pracovní aktivitě a duševní svěžesti svých sedmdesátých narozenin Ing. Otakar Vrba, jeden z našich nejzkušenějších inženýrských geologů specializujících se na podzemní stavby. Je autorizovaným geotechnikem i soudním znalcem pro obor geotechnika a zakládání staveb a dnes působí ve funkci hlavního specialisty pro inženýrskou geologii podzemních a vodohospodářských staveb ve SG Geotechnika, a. s.

Své vzdělání ukončil v roce 1957 na ČVUT v Praze. Hned poté nastoupil do Ústavu stavební geologie a na tomto pracovišti, respektive v jeho nástupnických organizacích, zůstal pracovat celý život až dodnes. Připomeňme některé jeho významné práce v oblasti podzemních staveb.

Jeho prvním tunelem, brzy po nástupu do prvního zaměstnání, byl průzkum a geologický dozor pro stavbu železničního tunelu pod Bílou skálou v Praze. V dalších letech, již jako zblhlý inženýrský geolog asistoval například při ražbě vodárenských štol Přísečnice, Stanovice, Josefův důl a Římov. Později, již v roli vedoucího střediska podzemních staveb ve Stavební geologii Praha, řídil a osobně se účastnil průzkumů pro projekty výstavby pražského metra IB, IIB, IIC, IIIC a průzkumu pro naši největší podzemní stavbu vůbec, podzemního zásobníku plynu u Příbrami. Dále řídil geotechnický dozor pro ražbu kanalizačních sběračů v Ústí n. L. a v Hradci Králové.

Díky své zkušenosti a erudici přispěl například nedávno k úspěšnému návrhu a vybudování nové injekční štoly pod starou zděnou gravitační přehradou v Mšeně u Jablonce n. N. Z nejposlednější doby na sebe také upozornil svou konzultační činností při řešení geotechnických rizik souvisejících se zaplavením pražského metra v roce 2002. Je jenom málo lidí, kteří mají tak bohaté zkušenosti nashromážděné například také při revizích starších podzemních děl, zejména vodohospodářských štol z VD Fláje, VD Přísečnice, VD Želivka nebo odpadního tunelu VD Lipno.

Působil i v zahraničí. Na počátku šedesátých let pracoval jako inženýrský geolog v Albánii. V průběhu osmdesátých let strávil několik roků v Havaně na Kubě komplexním inženýrskogeologickým průzkumem pro přípravu projektu havanského metra.

Ve funkci hlavního specialisty – inženýrského geologa pro podzemní a vodohospodářské stavby dnes ve SG Geotechnika, předává své zkušenosti nové generaci našich nových spolupracovníků.

Jeho "zárubovské" krédo inženýrského geologa, které se snaží vštípit do podvědomí všem nám ostatním je: "Přírodní poměry (inženýrskogeologické, hydrogeologické poměry a geotechnické podmínky) zájmového území je třeba nejen prozkoumat, ale v první řadě správně pochopit. Při přípravě a realizaci staveb je pak třeba je citlivě interpretovat, plně respektovat a optimálně využít při přípravě i realizaci stavby".

Jeho osobní zásadou, kterou od něho převzala celá firma, je nikdy nedělat jen průzkum, ale vždy plně spolupracovat při projektování i při provádění stavby.

Ing. O. Vrba, však nebyl jen "vášnivým" a své vědě oddaným inženýrským geologem. Vždy měl rád společnost. Zúčastnil se nespočetných vodáckých a lyžařských zájezdů sportovního oddílu Stavební geologie Praha. Možná že tam vznikla jeho populární přezdívka "Tánek", pod kterou ho znají nejen jeho kolegové z práce.

Vždy mu ale záleželo i na prospěchu firmy, s kterou spojil celý život. Proto neváhal a vždy pomohl kde bylo třeba, například jako člen dozorčí rady nově instituívané akciové společnosti Stavební geologie Geotechnika na počátku devadesátých let. Proto také za svou celoživotní práci pro firmu a pro inženýrskou geologii obdržel v letošním roce pamětní medaili Q. Záruby.

Proto mu jménem všech jeho kolegů z firmy i mimo ni a jménem všech "tunelářů" touto cestou přejeme mnoho zdraví a pohody do příštích let a těšíme se, že společně ještě leckterou zajímavou podzemní stavbu úspěšně provedeme.

Ing. Alexandr Rozsypal, CSc.

On August 4, 2004, Ing. Otakar Vrba, one of our most experienced engineering geologists specializing in the field of underground works, celebrates in full working strength and intellectual vigor his seventieth birthday. He is an authorized geotechnician as well as forensic expert in the field of geotechnics and founding of constructions and he is currently employed by SG Geotechnika, a.s. as a major specialist for engineering geology and underground and water-work structures.

He completed his studies at the Czech Technical University in Prague (ČVUT) in 1957. Right after that he got a position in the Institute for engineering geology and remained working here, and its successive organizations, his entire life until present day. Let us recall some of his significant works in the field of underground works.

As his first tunnel soon into his first position, he took part in exploration and geological monitoring for construction of the railway tunnel below Bílá skála in Prague. As an experienced engineering geologist in the following years, he for example assisted during excavation of the water-work galleries Přísečnice, Stanovice, Josefův Důl and Římov. Later on, already as a leader of the center for underground works within Stavební geologie Praha, he masterminded and personally took part in explorations for construction projects of the Prague subway IB, IIB, IIC, IIIC as well as exploration for our largest underground structure ever, underground gas storage near Příbram. He also managed geotechnical exploration for excavation of the sewer collectors in Ústí n. L. and Hradec Králové.

Thanks to his experience and knowledge, he recently contributed for example to a successful proposal and construction of the new injection gallery below the old concrete gravitation dam in Mšeno near Jablonec n. N. From the latest works he also broke through with his consulting activity during solution of geotechnical risks in connection with the flooded Prague subway in 2002.

There are only a few people that have the same vast experience, gathered for instance during reviews of older underground works, such as water-work galleries Fláje, Přísečnice, Želivka or the tailrace tunnel Lipno.

He was also active abroad. In the beginning of the sixties he worked as an engineering geologist in Albania. During the eighties he spent several years in Havana, Cuba doing a complex engineering-geological exploration for preparation of the project of Havana subway.

As a major specialist - engineering geologist for underground and water-work structures in SG Geotechnika, a.s. he passes his experience onto younger generations of our new colleagues.

His "Záruba-like" motto of an engineering geologist, which he tries to get into all of our minds, goes: "Natural conditions (engineering-geological, hydrogeological or geotechnical) of the given area of interest is not only to be explored, but first and foremost to be understood correctly. During the own preparation and realization of structures, these are to be sensitively interpreted, fully respected and optimally used. "It is his personal principle, adopted by the entire company, not to carry out sole exploration, but to fully cooperate in preparation as well as realization of the structure.

Ing. Otakar Vrba was not, however, only a "passionate" and to his field devoted engineering geologist. He always liked company. He has taken part in countless boating and skiing trips of the sport club of Stavební geologie Praha. Perhaps that was the origin of his popular nickname "Tánek", under he is generally known not only by his colleagues.

He also always cared about prosperity of his company, to which he bound his entire life. Therefore he never hesitated and always helped where necessary, for instance as a member of the board of trustees of the newly formed joint-stock company Stavební geologie Geotechnika in the beginning of the nineties. That is one of the reasons he was this year awarded a memorial medal of Q. Záruba for life's work for the company and the field of engineering geology.

On behalf of all his colleagues from his company as well as all other "tunnelers" we use this occasion to wish him good health and well-being into the following years and we are looking forward to perhaps still successfully do some interesting underground work together.

**DVA PĚTASEDMDESÁTNIČI - DVA SPOLUŽÁCI - DVĚ ODLIŠNÉ PROFESNÍ ŽIVOTNÍ DRÁHY.  
JEDEN ZŮSTAL VĚREN PROJEKCI, DRUHÝ STAVEBNÍMU PROVOZU.  
TWO 75ERS - TWO CLASSMATES - TWO DIFFERENT PROFESSIONAL PATHS OF LIFE.  
ONE REMAINED LOYAL TO DESIGNING, THE OTHER TO CONSTRUCTION OPERATIONS.**

## ING. PAVEL MAŘÍK

oslavil své pětasedmdesátiny 15. května 2004. Převážnou část své stavební praxe věnuje podzemním stavbám. Narodil se v roce 1929 a mládí prožil v Neveklově u Benešova. Vystudoval Fakultu inženýrského stavitelství Českého vysokého učení technického v Praze. Na podzemní stavby nezanevřel ani po nuceném přerušení studia a následně práci v ostravských dolech, kam byl pro svůj původ poslán vládnoucím komunistickým režimem. Po téměř třech letech strávených v podzemí však mohl studium dokončit a po promoci v roce 1956 se stal stavebním inženýrem. Jako projektant se významně podílel na přípravě první linie metra v Praze - trasy I. C, zejména pak stanic Muzeum a Kačerov. K dalším podzemním stavbám patřil projekt Strahovského silničního tunelu, který byl významným prvkem městského silničního okruhu v Praze. I když se v souvislosti s ražbou tunelu již uvažovalo o Nové rakouské tunelovací metodě, zvítězila v pražských poměrech vyzkoušená prstencová metoda aplikovaná za pomoci pološtitu. Projekt řídil již jako vedoucí střediska ve firmě PUDIS Praha. Ve stejné firmě se podílel na projektu hloubeného Těšnovského tunelu na vltavském nábřeží v Praze. Jednalo se o technicky náročný projekt tunelu s nízkým nadložím situovaného pod úrovní hladiny podzemní vody. Projekt musel kromě běžných technických řešení nalézt způsob, jak zajistit celkovou stabilitu tunelu z hlediska vztlaku podzemní vody. Studie proveditelné v souvislosti s projektem dalšího článku městského silničního okruhu - tunelem Mrázovka - byly již prováděny v době částečného politického uvolnění a ke slovu se dostala dříve tabuizovaná Nová rakouská tunelovací metoda. Tunel Mrázovka byl posledním projektem v "dresu" firmy PUDIS Praha. Rok 1989 představoval v České republice zlom nejen z hlediska politického, ale otevřel cestu i k soukromému podnikání. Proto krátce po revoluci odešel z firmy PUDIS Praha a v roce 1993 založil vlastní firmu s názvem Ing. Pavel Mařík - Inženýrské konstrukce, kterou vede dosud. I nadále pak spolupracoval na projektu tunelu Mrázovka např. návrhem zajištění severního portálu. Přibývají ale i další geotechnicky orientované projekty, které bezprostředně nesouvisí s tunelovým stavitelstvím. Jedná se například o projekt rekonstrukce Rašínova nábřeží a nábřeží Edvarda Beneše v Praze, projekty podzemních garáží apod. Návrat k tunelářské tematice znamenal až projekt rekonstrukce Těšnovského tunelu. Nejen stálá práce udržuje jubilanta v dobré duševní kondici. K jeho velké vášni patří karetní hra Bridge, kterou hraje aktivně desítky let a pravidelně se zúčastňuje mnoha turnajů. Do dalšího profesního i osobního života přejeme Ing. Pavlu Maříkovi mnoho zdraví a životního elánu.

Za kolektiv spolupracovníků z firmy IK  
On behalf of a team of colleagues from the company IK

Ing. Jaromír Čížek



## ING. PAVEL MAŘÍK

Celebrated his 75th birthday on May 15, 2004. For prevalent part of his engineering practice he has been devoted to the field of underground works. He was born in 1929 and spent his childhood in Neveklov near Benešov. He graduated from the Faculty of Civil Engineering at the Czech Technical University in Prague. He did not forget the field of underground works neither during a forced interruption of studies nor subsequent work in the Ostrava mines, where he was sent by the ruling communist regime due to his ancestry. After almost three years in the underground, he was allowed to finish his studies and upon his graduation in 1956 he became a civil engineer. As a designer he took significant part in preparation of the first subway line in Prague - the line I.C, especially then the stations Muzeum and Kačerov. To his other underground work also belongs the design of the Strahovský road tunnel, which is an important part of the Prague City Ring Road. Although the New Austrian Tunneling Method was contemplated in connection with excavation of this tunnel, it was decided to employ the ring method with the use of semi-shield that had been proved in Prague conditions. He managed this design already as a department leader in PUDIS Praha. In the same company he took part in a design of the cut-and-cover Těšnovský tunnel at the Vltava riverbank in Prague. It was a technically very complicated design of a tunnel with low overburden located below the water table. Therefore the design had to, among other technical solutions, find a way to stabilize the entire tunnel from the viewpoint of ground-water buoyancy. Research connected with the design of another part of the City Ring Road - the Mrázovka tunnel - was already realized in times of partial political liberation and thus the formerly disregarded New Austrian Tunneling Method came to existence. The Mrázovka tunnel was his last design in the "jersey" of PUDIS Praha. The year 1989 in the Czech Republic represented a political breakthrough that also opened the way for private business. Therefore, closely after the revolution he left PUDIS Praha and in 1993 founded his own company called Ing. Pavel Mařík - Engineering constructions which he leads until present day. Even after that he still cooperated on the project of the Mrázovka tunnel, for instance by designing support of the northern portal. But there are other geotechnically oriented designs that have little in common with tunnel constructions. These include designs of reconstructions of Rašínovo nábřeží and nábřeží Edvarda Beneše in Prague, designs of underground garages etc. He only returned to the tunneling field with the design of the Těšnovský tunnel. Not only permanent work keeps the jubilant in good mental health. He has a great passion for the card game Bridge, which he actively plays for decades and regularly participates at tournaments. We wish Ing. Pavel Mařík good health and vigor in his further personal as well as professional life.

## ING. KAREL MATZNER,

sekretář ČTuK ITA/AITES a vedoucí redaktor tohoto časopisu pětasedmdesátníkem!

Je to k neuvěření, jaké svěžesti a elánu se těší náš redaktor ve svých letech, dokonce i s tituly mistra světa a Evropy v atletických disciplínách seniorů.

Původem je z Českých Budějovic, kde se 16. 3. 1929 narodil. K firmě Vodní stavby nastoupil v roce 1953 po absolvování Fakulty inženýrského stavitelství ČVUT, a to k svému vodohospodářskému oboru na Vodní dílo Lipno. Tady prodělal i svůj první tunelářský křest na stavbě vtokových tunelů a kaverny podzemní hydrocentrály a při dokončování šikmého a odpadního tunelu. I pak zůstal věren jihočeským stavbám, než přešel ve funkci hlavního inženýra na další vodní díla tehdejší éry budování přehrad: na Nechranice, Želivku a Vrchlici.

Do podzemí se vrací v r. 1969, tentokrát na stavbu pražského metra. Deset let zde pracoval jako vedoucí realizace a dalších deset let jako technický asistent generálního ředitele Metrostavu.

V tomto období vzniklo za jeho odborné redakce a spoluautorství pět publikací o stavbě metra a podniku Metrostav, několik technických i populárních filmů a nepočítané články v časopisech a denním tisku.

Po celé období aktivního života je věrný svému sportovnímu koníčku, a to jako aktivní sportovec i organizátor. Jeho jméno je spojeno se všemi sportovními aktivitami pracovníků Metrostavu, Vodních staveb a tělovýchovné jednoty Vodní stavby Praha, kterou po deset let vedl včetně sportovního areálu Hostivař. Dnešní seberealizace je ještě o kategoriích výše. Je předsedou Sdružení veteránů Českého atletického svazu, jehož je současně delegátem v evropské i světové veteránské atletické asociaci EVAA a WMA. Z mistrovství Evropy i světa přiváží on sám i jeho atletický kolektiv pravidelně řadu medailí, naposled letos na jaře z mistrovství světa v silničním běhu a chůzi na Novém Zélandě. Při tom všem stihá pracovat jako prezident senior klubu Metrostav, ale hlavně jako sekretář naší tunelářské organizace a redaktor tohoto časopisu. Úroveň časopisu sama ukazuje na jeho zásluhy. Proto mu chceme popřát, aby mu životní elán, fyzická kondice a psychická pohoda vydržely ještě hodně dlouho, abychom se mohli těšit na další trvalou spolupráci.

Za redakční radu  
On behalf of the Editorial Board



## ING. KAREL MATZNER,

secretary of the ITA/AITES Czech Tunnelling Committee and chief editor of this magazine – seventy five years young.

Briskness and vigour our editor enjoys in his age is unbelievable, as well as the World and European Champion titles he has won in senior track events.

He was born in České Budějovice on 16 March 1929. After graduation from the Czech Technical University, the Faculty of Civil Engineering, he entered, following his major - water resources, the hydropower scheme Lipno. This is where he passed the first tunneller's baptism working on a construction of inlet tunnels and a cavern for an underground powerhouse, and in the final phase of an inclined tailrace tunnel excavation. Even later he remained faithful to South Bohemian construction sites, until he left, as a chief operations officer, for other water resources development schemes of that era, i.e. the Nechranice, Vrchlice and Želivka dams. He returned to the underground work in 1969, to build the Prague

Metro. He worked there for ten years in a position of chief of the operations department, and for another ten years as a technical assistant of chief executive officer of the Metrostav company.

Five publications on the Prague subway and the Metrostav company were prepared in that period, as well as several documentary films and feature films, and untold articles in magazines and daily press under his professional edition and co-authorship.

For the entire period of his active life he has remained true to his beloved sports, both as a sportsman and organiser. His name is associated with all sports activities of employees of Metrostav and Vodní Stavby companies, as well as of members of the Vodní Stavby Prague Sports Club, which he managed for ten years including a sports ground and indoor hall in Prague Hostivař. His today's drive is even higher. He is chairman of the Veterans Association of the Czech Athletic Federation, being its delegate to the European and World Veterans Athletic Association EVAA and WMA. It has become a rule that he and his athletic team have fetched many medals, the last ones from the world championship in road run and race walk, this year held in New Zealand in the spring.

On top of that, he manages to act as president of the Senior Club by Metrostav, but primarily as the secretary of our tunnelling association and editor of this magazine. The high level of this magazine itself shows his credit. This is why we would like to wish him to keep his life arduous, physical condition and good humour for a long, long time, to let us enjoy the further continuing collaboration with him.

Ing. Petr Vozarík



## PĚTAŠEDESÁTINY

PROF. ING. JIŘÍHO BARTÁKA, DrSc.



Prof. Barták patří již řadu let k našim předním představitelům geotechnického oboru. Jeho více než čtyřicetiletá pedagogická, vědecká a odborná činnost byla zaměřena především na oblast podzemního stavitelství, zakládání staveb a lomařství. Dlouholeté úspěšné působení na Stavební fakultě ČVUT v Praze vedlo v r. 1988 k jeho jmenování profesorem pro obor podzemní stavby. V tomto oboru pedagogicky působil a dosud působí i na stavebních fakultách v Brně a Bratislavě, stejně tak široký okruh zabírá i jeho podíl na výchově nových vědeckých pracovníků. K jeho pedagogickému působení se váže autorství celé řady vysoškolských skript z oblasti podzemních staveb a zakládání staveb. Prof. Barták projevoval vždy mimořádné zaujetí pro řešení obtížných úkolů vznikajících zkonkretně ve stavební praxi a vzhledem ke svým bohatým zkušenostem je trvale vyhledávaným expertem pro oblast podzemních staveb a zakládání staveb. Zpracoval stovky studií, odborných posudků a statických výpočtů pro investorské, projekční i dodavatelské organizace v ČR, v posledních letech působil či působí jako expert na velkých podzemních stavbách (stoka "F" v Praze-Troji, rekonstrukce PVE Štěchovice, tunel Hřebeč, podzemní zásobník plynu Příbram-Háje, tunel Mrázovka, kolektory v Českém Krumlově, Praze a Brně, tunel Březno, tunel Valík).

K jeho vědecké a odborné činnosti se váže téměř 200 publikovaných časopiseckých článků a příspěvků ve sbornících vědeckých konferencí. Prof. Barták je autorizovaným inženýrem pro obor geotechnika a soudním znalcem pro obor zakládání staveb a podzemní stavby. Je členem předsednictva Českého komitétu Mezinárodní tunelářské asociace ITA/AITES a členem výboru Geotechnické společnosti Českého svazu stavebních inženýrů. V obou těchto organizacích se mj. trvale podílí na přípravě renomovaných vědeckých konferencí PODZEMNÍ STAVBY PRAHA a ZAKLÁDÁNÍ STAVEB BRNO, jejichž dlouholetý přínos pro úroveň geotechnického oboru v domácím i mezinárodním kontextu je zásadní. Rozsáhlá pedagogická, vědecká, odborná a organizační činnosti prof. Bartáka svědčí o jeho vysokém pracovním nasazení ve prospěch geotechnického oboru. Vzhledem k tomu, že je i dlouholetým aktivním členem redakční rady našeho časopisu TUNEL, popřejme mu do dalších let hlavně zdraví, životní pohodu a chuť do práce, abychom měli ještě dlouho užitek z jeho všeobecně prospěšných aktivit.

Za redakční radu  
On behalf of the Editorial Board

Ing. Petr Vozarik

SIXTY FIVE YEARS OF AGE OF  
PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.

Prof. Barták belongs among top representatives of the geotechnical profession for many years. His pedagogical, scientific and professional activities, focused primarily on the field of underground construction, foundation engineering and quarrying, have been lasting for over forty years.

The long-term successful work in the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague resulted in his appointment as professor for the subject of underground construction. He has worked in this line as a pedagogue also in faculties of civil engineering in Brno and Bratislava. The same is the scope of his work in the field of education of new scientific workers. His pedagogical activities are connected with publishing many university textbooks dealing with underground construction and foundation engineering.

Prof. Barták has always demonstrated exceptional enthusiasm for solving difficult tasks originating unavoidably in the construction practice. Owing to the wealth of his experience, he has always been a much-sought-for expert for the line of underground construction and foundation engineering. He elaborated hundreds of studies, expert opinions and structural analyses for investor, design and construction companies in the CR. Lately he worked or works as an expert on large underground projects (the sewer "F" in Prague-Troja, reconstruction of the pumped storage scheme Štěchovice, Hřebeč tunnel, underground gas storage in Příbram-Háje, Mrázovka tunnel, utility tunnels in Český Krumlov, Prague and Brno, Březno tunnel, Valík tunnel).

Nearly 200 magazine articles and papers published in proceedings of scientific conferences are connected with his scientific and expert activities.

Prof. Barták is certified engineer in the field of geotechnics, and authorised expert in the line of foundation engineering and underground construction. He is a member of the board of the Czech Tunnelling Committee of the ITA/AITES, and a member of the committee of the Geotechnical Association of the Czech Union of Civil Engineers. Within the two organisations he continually takes his share of work on preparation of renowned scientific conferences UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE and FOUNDATION OF BUILDINGS BRNO, being a major long-term contribution to the geotechnical line level in domestic and foreign context.

The large scope of Ing. Barták's pedagogical, scientific, expert and organisation activities prove how high his efforts supporting the geotechnical line are. As he is also a long-time active member of the editorial board, we are wishing him for the years to come sound health, good humour and excitement for work, and for us to enjoy the benefit of his generally profitable activities.

## ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ

## NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

## SVĚTOVÝ TUNELÁŘSKÝ KONGRES 2004 V SINGAPURU

byl pro Český tunelářský komitét ITA/AITES mimořádně významný. Několik leté úsilí získat pořadatelství světového kongresu do Prahy bylo korunováno úspěchem: v roce 2007 se kongres bude skutečně konat v Praze! Uspěli jsme proti tak silným soupeřům, jakými byla Vídeň a skotský Edinburgh. Rozhodli o tom na valném shromáždění delegáti z 36 přítomných zemí tajnou volbou v druhém kole. Zatímco v kole prvním vypadla Vídeň s pouhými 6 hlasy (my dostali 17, Edinburgh 13), v druhém jsme se o "vídeňské" hlasy podělili s Edinburghem rovným dílem, získali jsme tedy 20 hlasů a naši rivalové jen 16. Úspěchu bylo dosaženo za účinné spolupráce s agenturou CzechTourism a českým chargé d'affaires v Singapuru, kde jsme s jejich pomocí uspořádali český večer - seznamovací banket pod názvem "Meeting Point Prague".

Uspořádání světového kongresu spolu s valným shromážděním ITA/AITES je však nejen čest, ale velký závazek, odpovědnost za jeho úspěch a moře organizačtorské a náročné odborné práce. Jeho přínos pro rozvoj oboru v pořádající zemi je však mimořádný a vynaložené úsilí se určitě vyplatí a v různých formách zhodnotí a vrátí. Na světových tunelářských kongresech se setkávají, předávají a získávají zkušenosti nejlepší odborníci v podzemním stavitelství a příbuzných oborech. Proto není divu, že o pořádání světového kongresu usilují s takovou vervou i ty tunelářsky nejrozvinutější země. Nejde totiž jen o odbornou stránku akce. ČTuK je přesvědčen, že je schopen kongres uspořádat na vysoké úrovni po všech stránkách, jak dokázal již při prvním kongresu v Praze v roce 1985 a konečně - i když v menším rozsahu - při mezinárodních konferencích Podzemní stavby Praha. Jeho úspěch bude prestižní záležitostí celého komitétu. Lze očekávat zvýšení zájmu jeho členů o aktivní odbornou činnost a bude nezanedbatelným přínosem pro turistický ruch v Praze i celé ČR.

K odborné části kongresu se vrátíme v příštím čísle našeho časopisu.

## THE WORLD TUNNELING CONGRESS 2004 IN SINGAPORE

was extraordinarily remarkable for the ITA/AITES Czech Tunneling Committee. A several years' effort to gain organization of the World congress for Prague has been successful - in 2007, the congress will really take place in Prague! We have succeeded against such strong opponents as Vienna or Edinburgh in Scotland. It was decided by 36 delegates of the participating countries in second round of a secret ballot. While Vienna dropped out already after the first round with only 6 votes (Prague had 17, Edinburgh 13), these "Vienna" votes were equally split between us and Edinburgh, and thus Prague gained 20 votes against the 16 of our main rivals. This success was supported by effective cooperation with the agency CzechTourism and the Czech Chargé d' Affaires in Singapore, when we used their help in organization of a Czech evening - an information banquet called "Meeting point Prague".

However, organization of the World congress along with the ITA/AITES general assembly is not only a great honor, but also a commitment, responsibility for its success and a great deal of organizational as well as challenging professional work. Yet its contribution to development of our field in the hosting country is exceptional and the invested effort will definitely pay off and return in one way or another. The World tunneling congresses are places for the finest professionals in the field of underground construction and related fields to meet, gain and exchange experience. Therefore it is no wonder that even the most tunneling-developed countries strive for delegation to host the World congress. The point is that professional part of the event is not everything. ČTuK is convinced to be able to organize the congress on a generally high level, as it had proved during the first congress in Prague in 1985 and after all - although in a smaller scale - also during international conferences Underground Construction Prague. Its success will be a prestigious concern of the entire committee, increased interest of its members in active professional activity can be expected while it will represent a significant contribution to tourism in Prague as well as in the entire Czech Republic.

### TŘICÁTÉ VÝROČNÍ ZASEDÁNÍ VALNÉHO SHROMÁŽDĚNÍ ITA/AITES – SINGAPUR 2004

se konalo od 22. do 27. května u příležitosti světového tunelářského kongresu 2004, který pořádala Mezinárodní tunelářská asociace spolu se singapurskou společností Tunnelling and Underground Space Society (TUCSS) pod názvem "Podzemí pro udržitelný rozvoj měst". Zúčastnili se ho zástupci, delegáti, pozorovatelé a členové pracovních skupin (WG) 36 z 53 členských zemí asociace.

#### PŘÍTOMNÉ ČLENSKÉ ZEMĚ/MEMBER NATIONS REPRESENTED

South Africa, Germany, Australia, Austria, Belgium, Brazil, Bulgaria, Canada, China, Korea, Denmark, Egypt, Spain, United States of America, Finland, France, Greece, Hungary, Indonesia, Italy, Japan, Lesotho, Norway, The Netherlands, Poland, Portugal, Romania, United Kingdom, Russia, Singapore, Slovakia, Slovenia, Sweden, Switzerland, Czech Republic, Turkey

#### NEZÚČASTNILI SE/MEMBER NATIONS NOT REPRESENTED

Algeria, Saudi Arabia, Chile, Colombia, Croatia, India, Iran, Iceland, Israel, Malaysia, Morocco, Mexico, New Zealand, Thailand, Ukraine, Venezuela, Vietnam.

### THIRTIETH ANNUAL MEETING – SINGAPORE 2004

The International Tunnelling Association held its thirtieth meeting in Singapore from 22 to 27 May, in conjunction with the World Tunnel Congress 2004 "Underground Space for Sustainable Urban Development" organised by ITA and the Tunnelling and Underground Construction Society of Singapore (TUCSS). The meetings were attended by representatives, delegates, observers and working group members from 36 of the 53 Member Nations of the Association.



Obr. 1 Ing. Mosler přednáší jediný příspěvek z ČR  
Fig. 1 Ing. Mosler delivers the only contribution from the CR



Obr. 2 Ing. Hrdina vítá hosty na banketu „Meeting point Prague“  
Fig. 2 Ing. Hrdina welcomes guests at the banquet „Meeting point Prague“



Obr. 3 Propagační stánek ČTuK – stále středem zájmu  
Fig. 3 Propagation stand of the CTuK – permanent point of interest



Obr. 5 Rozhodnuto: generální sekretář ITA/AITES vyhláší Prahu jako místo světového tunelářského kongresu 2007 (zleva nový prezident ITA/AITES Harvey Parker, bývalý prezident Prof. Alfred Haack, dosavadní prezident Andre Assis, gen. sekretář Claude Berenguier)  
Fig. 5 Decided: Secretary General of the ITA/AITES declares Prague as a host of the World tunneling congress in 2007 (from the left, just elected President of the ITA/AITES Harvey Parker, former President Prof. Alfred Haack, serving President Andre Assis, Secretary General Claude Berenguier)



Obr. 4 Poslední kolo voleb – hlas odevzdává i předseda ČTuK Ing. Hrdina  
Fig. 4 Last round of the ballot – Ing. Hrdina as chairman of the CTuK casts his vote



## NOVĚ ZVOLENÝ VÝKONNÝ VÝBOR (EC)/NEW EXECUTIVE COUNCIL

Členové / Members			Do / Until
H. Parker	USA	President	2007
A. M. Muir Wood	United Kingdom	Honorary President	
A. Assis	Brazil	Past President	2007
K. Ono	Japan	First Vice President	2007
M. Knights	United Kingdom	Vice President	2007
H. Wagner	Austria	Vice President	2007
Y. Erdem	Turkey	Vice President	2007
E. Grov	Norway		2007
F. Gruebl	Germany		2007
Y. Leblais	France		2007
M. Belenkiy	Russia		2007
F. Vuilleumier	Switzerland	Pokladník / Treasurer	2007
C. Berenguier		Generální sekretář / Secretary General	2005
Expert			
S. Calinescu	Romania	Internal Auditor	2005
J.P. Godard	France	Řešení problémů podzemí v městech / Urban Problems-Underground Solutions	2005
A. Haack	Germany	Požární bezpečnost / Safety in Fire	2005

## ČLENSTVÍ

Asociace zaregistrovala Indonésii a Vietnam jako své nové členské země a 15 nových přidružených členů (10 kolektivních a 5 individuálních). Celkový stav členské základny po započtení rezignací činí 53 členských zemí a 277 přidružených členů (118 kolektivních a 159 individuálních).

## SDĚLOVACÍ PROSTŘEDKY

- Tribune:** V roce 2003 byly vydány 3 čísla časopisu o 100 stranách nákladem asi 3100 výtisků. Byly zaměřeny na Holandsko, Španělsko a Rakousko. V roce 2004 u příležitosti zasedání valného shromáždění bylo vydáno a distribuováno výroční číslo se zaměřením na Singapur a se zprávami členských zemí.
- ita@news:** V roce 2003 byly připraveny 4 soubory zpráv. Obsahují novinky z činnosti Asociace, pracovních skupin (WG), členských zemí, o nadcházejících akcích, ze sesterských organizací... Byla dokončena konečná verze a první vydání bylo rozesláno 1500 osobám začátkem května 2004. Do konce roku bude rozesláno 4-5 dalších čísel.
- Tunnelling and Underground Space Technology (TUST):** V roce 2003 bylo vydáno 5 čísel obsahujících 67 článků napsaných autory z 19 zemí. Zvláštní číslo bylo věnováno tunelářství v Japonsku (Tunnelling in Japan). V roce 2004 bude vydáno 6 čísel, věnovaných jak technologiím tunelářským, tak bezvýchopovým. Dvojčíslu 19/4-5 obsahují abstrakty ze světového kongresu v Singapuru.
- Website:** V roce 2003 byl ukončen nový systém "Content Management System" a upraven podle přání a potřeb účastníků. Tento systém dovoluje členům ITA připravovat přímo své vlastní web stránky. Byl aktivován začátkem roku 2004. Stránka ITA obsahuje více než 600 html stran a ekvivalent 500 pdf stran. Byly přidány nové stránky jako stará čísla Tribune, vzdělávací materiál nebo ita@news. Návštěvnost stránky ITA trvale stoupala až na 3200 stran/den, 5000 různých návštěvníků/měs. z více než 110 zemí.
- CD-Rom:** U příležitosti 30. výročí založení ITA bylo vydáno CD-Rom obsahující všechny statě publikované ITA od roku 1974. Toto CD obsahuje více než 300 článků asi o 3000 stranách. Je v něm nainstalován vyhledávací systém podle tématu, výročního zasedání, semináře nebo workshopu, roku a jména autora.

## ITA OPEN SESSION

se konala jako plenární zasedání kongresu v úterý 25. května 2004. Tématem bylo "Podzemí pro udržitelný rozvoj měst". K tomu bylo předneseno pět příspěvků. Harvey Parker (USA) hovořil o historii udržitelného rozvoje s ohledem na životní prostředí, aktivitách ITA v této oblasti a o přínosu využití tunelů pro velkoměsta. Rodney Craig (UK) informoval o práci WG 15 (Životní prostředí) a uvedl příklady z celého světa týkající se udržitelného rozvoje. In-Keun Lee (Korea) popisoval minulost a současný stav rozvoje soulského metra včetně právních a konstrukčních aspektů a uvedl významné údaje o rozvoji města v souvislosti s výstavbou metra. Jean-Paul Godard (Francie) se vrátil k tématu "Why Go Underground" a uvedl náměty, jak zvýšit podporu využití podzemí. Závěrem Sushma Goh (Singapur) přednesl architektonické úvahy a návrhy na "humanizaci" podzemních prostor. Oba předsedající Open Session, R. Krishnan (Singapur) a Andre Assis (Brazílie) pak vedli živou diskusi z pléna na ústřední téma udržitelného rozvoje.

## WORKSHOP ITA O BEZPEČNOSTI

svolaný zvláštní komisí ITA pro bezpečnost podzemních staveb se konal v pátek 21. května 2004. Skládal se z řady přednášek o možnostech a rozsahu práce ITA na poli bezpečnosti podzemí. Workshop posoudil přípravu směrnic a prostředků k snížení rizik, které by pomohly členským zemím systematicky, účinně a účelně se vypořádat i s případnými protispolečenskými zásahy proti podzemní infrastruktuře a jejím uživatelům. Bylo schváleno, aby ITA pokračovala ve své práci na tomto důležitém úseku. Zásady a prostředky mají všeobecnou platnost a poskytují rámec pro přidělování zdrojů a upřednostnění iniciativ spojených s bezpečností; zároveň však respektují samostatnost členských zemí a důvěrnost požadavků.

## PŘÍŠTÍ VÝROČNÍ ZASEDÁNÍ

- Turecko - od 7. do 12. května 2005, během Světového tunelářského kongresu ITA-AITES 2005 "Let's Meet Where Two Continents Meet"
- Korea - od 29. dubna do 4. května 2006, během Světového tunelářského kongresu ITA-AITES 2006 "Safety in the Underground Space"
- Česká republika - od 5. do 10. května 2007, během Světového tunelářského kongresu ITA-AITES 2007 "Underground Space - the 4th Dimension of Metropolises"

Podle tiskového komuniké připravil

In accordance with the press release compiled by

Ing. Karel Matzner

## MEMBERSHIP

The Association has registered the membership of two new member nations, Indonesia and Vietnam, 15 new Affiliate Members (10 Corporate Members and 5 Individual Members); the total results to 53 Member Nations and 277 Affiliate Members (118 Corporate Members and 159 Individual Members) taking into account resignations.

## COMMUNICATIONS

- Tribune:** In 2003, three issues of Tribune (100 pages) were published and about 3 100 copies per issue were edited. They included focuses on Netherlands, Spain and Austria. In 2004, the annual issue with focus on Singapore and the reports of the Member Nations has been published and distributed at the occasion of the General Assembly.
- ita@news:** In 2003, four dummy issues of the ita@news have been prepared. The ita@news contents news from the association, the WGs, the Member Nations, the forthcoming events, the sister associations... The final version has been established and the first issue has been sent to 1500 persons beginning of May 2004. Four to five further issues will be sent by the end of 2004.
- Tunnelling and Underground Space Technology (TUST):** Tunnelling and Underground Space Technology (TUST): In year 2003, five issues of TUST were published, consisting 67 articles written by authors from 19 countries. A special issue has been published on Tunnelling in Japan. In year 2004, six issues will be published combining tunnelling and underground space technology and trenchless technology. A double-issue 19/4-5 contains the abstracts of the WTC Congress in Singapore.
- Website:** In 2003 the new Content Management System has been finalised and adapted to the wishes and needs of the various actors. This system allows the ITA members to prepare directly their own web pages. It has been put on line beginning of 2004. The web site contains more than 600 html pages and the equivalent of 500 downloadable pdf pages. New pages have been added such as old issues of Tribune, training material, ita@news. The visits on the web continuously increased to reach 3200 pages per day by 5 000 different visitors per month coming from more than 110 countries.
- CD Rom:** At the occasion of the 30th anniversary of ITA, a CD-Rom containing all papers published by ITA since 1974 has been issued. This CD-rom contains more than 300 articles representing around 3,000 pages. A special search engine is installed on the CD-Rom authorizing search by Topic, Annual meeting, Seminar/Workshop, Year and Authors' name.

## ITA OPEN SESSION

The ITA Open Session was held on Tuesday, 25 May 2004. The theme of the session was "Underground Space for Sustainable Urban Development". The 2004 ITA Open Session was held in plenary session on Tuesday morning May 25, 2004. Five papers were presented on the theme "Underground Space for Sustainable Urban Development". Harvey Parker (USA) spoke on the history of environmental and sustainable development, ITA's activities in sustainable development, and the effect of megacities on tunnel demand. Rodney Craig (UK) spoke on the work on ITA working group 15, Environment, and gave sustainable development case histories worldwide. In-Keun Lee (Korea) described the past and current state of the development of the Seoul subway including legal issues, construction issues, and important data on urban development resulting from subway construction. Jean-Paul Godard (France) spoke on Why Go Underground and presented ideas on how to improve the benefits of Underground Space. Finally, Sushma Goh (Singapore) addressed architectural considerations and design for humanising underground space. The co-chairs of the Open Session, R. Krishnan (Singapore) and Andre Assis (Brazil) led a lively discussion from the floor on the general theme of sustainable development.

## ITA SECURITY WORKSHOP

On Friday, May 21, 2004, the ITA Security Task Force held a workshop on underground security. The workshop consisted of a series of lectures and breakout sessions on the scope of ITA's work on tunnel security. The workshop considered the development guidelines and risk management tools to assist member nations to systematically, efficiently, and effectively deal with emerging risk associated with antisocial acts against underground infrastructure and its users. It was agreed that ITA should continue its work on this important topic. The principles and tools have universal application and provide a framework for resource allocation and prioritization of security related initiatives which respecting the autonomy of member nations and then confidentiality requirements.

## NEXT ANNUAL MEETINGS

- Turkey from 7 to 12 May 2005, during the ITA-AITES WTC 2005 "Let's Meet Where Two Continents Meet"
- South Korea from 29 April to 4 May 2006, during the ITA-AITES WTC 2006 "Safety in the Underground Space"
- Czech Republic from 5 to 10 May 2007, during the ITA-AITES WTC 2007 "Underground Space - the 4th Dimension of Metropolises"

## PRAŽSKÉ GEOTECHNICKÉ DNY 2004

## PRAGUE GEOTECHNICAL DAYS 2004.

Již se stalo tradicí, že v květnu Stavební geologie - Geotechnika, a. s., ve spolupráci s Českou geotechnickou společností ČSSt a Českým a Slovenským výborem MZZS pořádá Pražské geotechnické dny. I letos tomu nebylo jinak. Geotechnická veřejnost měla možnost setkat se ve dnech 10. - 11. května.

Letošní seminář byl věnován hlavním tématu Extrémní geotechnická rizika při výstavbě mělkých tunelů. Seminář byl doprovázen workshopem, který byl zaměřen na minimalizaci rizik při výstavbě mělkých tunelů v poloskalních horninách.

Velmi atraktivní témata a úroveň zahranických přednášejících vyzvaly mimořádný zájem české odborné veřejnosti, zejména z oblasti podzemních staveb.

V průběhu odborného semináře byla již potřetí vyhlášena Cena akademika Quido Záruby pro mladé inženýrské geology a geotechniky do věku 35 let. Cena za nejlepší práci v roce 2003 byla předána Ing. Lumíru Mičovi za projekt na téma Chování vyztužených zemín v podkladních vrstvách.

Pražských geotechnických dnů 2004 se zúčastnilo na 155 odborníků.

Podrobný program semináře, sborník přednášek, fotogalerii a bližší informace o Ceně akademika Quido Záruby jsou přístupné na [www.geotechnika.cz](http://www.geotechnika.cz).

Během odborného semináře (první den setkání) byly předneseny čtyři příspěvky.

**NATM in the London clay – the Heathrow collapse and subsequent experience** (Ch. Clayton)

(NRTM v londýnských jílech – Havárie v Heathrow a následné zkušenosti)

Během noci 20. - 21. října 1994 došlo ke zhroutilí hlavního tunelu budovaného na londýnském hlavním letišti Heathrow. Tunel pod Heathrow byly ve výstavbě jako součást nového vysokorychlostního spojení mezi letištěm a středem Londýna. Užitá byla kombinace ostění ze stříkaného betonu (označováno jako nová rakouská tunelovací metoda) a kompenzační injektáže. Ražba probíhala v londýnských jílech. V té době nebyly v tomto prostředí s NRTM téměř žádné zkušenosti. Likvidace havárie znamenala trojnásobné zvýšení ceny prací oproti původnímu kontraktu.

**Collapse of tunnel excavated with a conventional method in Toulon and in Paris** (J. Robert)

(Havárie Toulon a Paříž - zhroutilí tunelu raženého konvenční metodou)

První náznak zhroutilí se objevil mezi 9. a 10. březnem 1996, kdy byly objeveny 1 mm široké trhliny. Ke zhroutilí tunelu došlo 15. března 1996. Nepomohla ani řada opatření přijatých v době od zjištění prvních trhlin. Na terénu se kolaps tunelu projevil dvěma propady průměru 20 a 5 metrů. Havárie a její řešení způsobilo prodloužení doby výstavby z původních 32 měsíců na 88 měsíců.

**Case histories from the construction of the Munich underground** (H. Lessmann)

(Rozbor z budování metra v Mnichově)

Zmíněny byly dva případy v Mnichově s podobnými, ale ne stejnými geologickými podmínkami a s podobnými příčinami zhroutilí, ale s odlišnými důsledky.

V ulici Nymphenburgerstrasse byl původní návrh na vybudování přespaného tunelu zamítnut a nahrazen raženým tunelem. Jako obvykle k havárii tunelu došlo před víkendem a v místě pod tramvajovou tratí. Projíždějící tramvaj stačila zastavit před propadem, a tak nedošlo ke zranění cestujících. Příčinou havárie byla stará studna, objevená v místě propadu. Ta samozřejmě nebyla součástí výpočtového modelu.

Tunel v Mnichově na lokalitě Trudering byl budován v prostředí s málo mocnou vrstvou slánovců v nadloží dosahující pouze 1,45 m. Příčinou havárie byly písčité kapsy saturované vodou a otevření pískem vyplněných puklin ve slánovcích. Havárie měla rychlý průběh. Od prvních známek průsaků v čelbě do pádu autobusu veřejné dopravy do kráteru neuběhly více než dvě hodiny. Při havárii došlo ke ztrátám na životech cestujících.

**Some failures in shallow NATM tunnels in Germany and their causes** (W. Wu)

(Některá selhání v mělkých tunelech ražených NRTM v Německu a jejich příčiny)

Na dvou případech tunelových staveb v Německu byl zmíněn význam koordinace prací, použití odpovídající metody tunelování, okamžitých podpůrných opatření, rizika ztráty napětí v geologicky porušených zónách, rychlosti probíhajícího kolapsu i využití observační metody z hlediska možné reakce na vzniklou situaci.

V odpoledním programu prvního dne byla uvedena 12. Pražská mezinárodní geotechnická přednáška na téma **The reduction of risk prior to and during tunnelling** (Minimalizace rizik před a během ražení).

Přednášející profesor Nick Barton se v úvodu zmínil o významu posuzování kvality horninového prostředí ve spojitosti s náklady a časem na tunelovací práce. Dále se zabýval otázkami jak snižovat rizika. Před zahájením tunelovacích prací je možno riziko snížit užitím seismického měření. Na několika případech ilustroval užitečnost mělké refrakční seismické metody. Upozornil na to, že je potřeba věnovat se vlivu hloubky a napětí. Předvedl empirická schémata, která umožňují úspěšně prokázat porušené zóny. V druhé části své přednášky se více zaměřil na možnosti použití a účinky systematické injektáže tlakem až 10 MPa.

Odborná přednáška (druhý den setkání) byla zaměřena na téma:

**An investigation of some rock mechanics issues related to disposal of high level nuclear waste** (N. Barton)

(Rozbor některých metod mechaniky hornin spojených s ukládáním vysoce aktivního jaderného odpadu)

V ní byla podrobně popsána řada speciálních zkušebních metod použitých při zkoumání horninového prostředí připadajícího v úvahu pro výstavbu úložiště jaderného odpadu.

Následoval workshop pod vedením profesora Bartáka a profesora Eisensteina. Ten ve svém úvodním referátu zmínil podíl jednotlivých metod na tunelovacích pracích, varianty použití štítu (TBM) a vztah cenových nákladů mezi NRTM a TBM.

Ing. Bucek se na základě zkušeností z výstavby tunelů Mrázovka v Praze, Březno u Chomutova a Dobrovského v Brně věnoval rizikům stavby mělkých tunelů v jílech především z hlediska průběhu deformací v čase, vlivu ražby na zástavbu a vhodných kritérií pro posuzování poškození objektů na povrchu.

Workshop vyústil v doporučení uspořádat seminář zabývající se problematikou havárií tunelů v České republice.

Ing. Václav Hořejší

As has already become a tradition, Stavební geologie - Geotechnika, a.s. in cooperation with the Czech geotechnical society ČSSt and the Czech and Slovakian committee of the MZZS organizes the Prague Geotechnical Days in May. It was no different this year. The geotechnical community had an opportunity to meet during May 10-11.

This year's seminar was devoted to the major topic of "extreme geotechnical risks during construction of shallow tunnels". The seminar was accompanied by a workshop, which was focused on "Minimization of risks during construction of shallow tunnels in semi-rock mass".

Very attractive topics as well as the level of foreign lecturers inspired extraordinary interest of the Czech professional community, namely from the field on underground works.

Award of the academician Quido Záruba for young engineering geologists and geotechnicians up to 35 years of age was given out for already the third time during the course of the specialized seminar. Award for the best paper in 2003 was given to Ing. Lumír Mič for a project on the topic of "Behavior of reinforced soils in the underlying layers".

155 professionals took part in the Prague Geotechnical Days 2004. Detailed program of the seminar, proceedings of lectures, photo-gallery and further details about the Award of the academician Quido Záruba can be obtained at [www.geotechnika.cz](http://www.geotechnika.cz).

Four contributions were delivered during the specialized seminar (first day of the meeting):

**NATM in the London clay - the Heathrow collapse and subsequent experience**

(Ch. Clayton)

During the night of October 20-21, 1994, central tunnel constructed at the main airport Heathrow in London collapsed. Tunnels beneath Heathrow were under construction as a part of the new high-speed connection between the airport and the heart of London. A lining combination of shotcrete (designated as the New Austrian Tunneling Method) and compensation grouting was used. The excavation proceeded through London clays. At the time, there was almost no experience with the NATM in such environment. Liquidation of the collapse caused a threefold increase of the costs of works compared to the original contract.

**Collapse of tunnel excavated with the conventional method in Toulon and Paris**

(J. Robert)

First signs of collapse appeared between March 9 and 10, 1996, when 1 mm wide fractures were discovered. The tunnel collapsed on March 16. That was not prevented by several remedial measures adopted since discovery of the first fractures. At the surface, the tunnel collapse caused two terrain landslides of 5 and 20 m in diameter. The collapse and its treatment brought about prolongation of the construction term from original 32 months to 88 months.

**Case histories from the construction of the Munich underground**

(H. Lessmann)

Mentioned were two cases in Munich with similar, but not identical, geological conditions, and with similar causes of collapse, yet different effects.

As for the Nymphenburgerstrasse street, the original plan for construction of a covered-in tunnel was rejected and replaced by a cut-and-cover tunnel. As usual, the tunnel collapse occurred before weekend and in a place below the tram track. The passing tram managed to stop in front of the landslide and the passengers were thus unharmed. The collapse was caused by an old well discovered in place of the landslide. It was obviously not included in the calculation model.

Munich tunnel in the Trudering district was constructed in an environment with narrow layer of marlstones in the overburden, reaching only up to 1,45 m. The collapse was caused by sand pockets saturated with water, and by opening of fractures in the marlstones that were filled with sand. The collapse proceeded very quickly. No more than two hours passes since the first signs of leaks at the face till a public transport bus fell into the landslide crater. There were human casualties among the passengers.

**Some failures in shallow NATM tunnels in Germany and their causes** (W. Wu)

Two cases of tunnel structures in Germany demonstrated the importance of coordination of works, the use of appropriate tunneling method, immediate supporting measures, risks of losing the tension in geologically faulted zones, speed of the collapse in motion as well as the use of observation method from the viewpoint of potential reaction to the arising situation.

The afternoon program of the first day included presentation of the 12th Prague international geotechnical lecture on the topic of "The reduction of risk prior to and during tunnelling".

In the introduction, the lecturer professor Nick Barton commented on the significance of assessment of quality of the rock environment in connection with the costs and time of tunneling works. Furthermore he dealt with issues of reduction of risks. Prior to the start of tunneling works it is possible to reduce risks by the use of seismic measurement. Using several cases he illustrated the usefulness of shallow refraction seismic method. He warned that it is necessary to deal with the impact of depth and tension. He submitted empirical schemes that allow to successfully point to the faulted zones. In the second part of his lecture he rather focused on the possibilities of the use and effects of the systematic grouting under pressure up to 10 MPa.

Specialized lecture (second day of the meeting) was focused on the topic of:

**An investigation of some rock mechanics issues related to disposal of high level nuclear waste** (N. Barton)

This lecture in detail described a number of special testing methods used during exploration of rock environment that comes into consideration for construction of nuclear waste storage.

A workshop led by professor Barták and professor Eisenstein followed. The latter in his initial lecture mentioned the ratio of individual methods in tunneling works, the options of shield use (TBM) as well as the relation of costs between the NATM and TBM.

Based on experience from construction of the tunnels Mrázovka in Prague, Březno near Chomutov and Dobrovského tunnel in Brno, Ing. Bucek dealt with the risks of construction of shallow tunnels in clays namely from the viewpoint of the course of deformations in time, impact of tunneling under a built-up area and suitable criteria for the assessment of damage to surface structures.

The workshop was concluded by a recommendation to organize a seminar dealing with the issues of tunnel collapses in the Czech Republic.



## ROADWARE 2004

Již po desáté se šlo na mezinárodním silničním veletrhu ve dnech 18. - 20. 5. 2004 78 firem a organizací. Na výstavní ploše 1400 m<sup>2</sup> v pravém křídle Průmyslového paláce na Výstavišti v Praze byla jejich nabídka v 67 expozicích. Byly to expozice investorských, projekčních i realizačních organizací zaměřených na silniční stavitelství. Tyto organizace doplnily firmy produkující a prodávající stavební materiály a výrobní zařízení jak pro realizaci, tak i pro údržbu.

Zahájení veletrhu dne 18. 5. 2004 proběhlo za účasti vedení Ministerstva dopravy ČR, Silniční společnosti, Ředitelství silnic a dálnic ČR a Státního fondu dopravní infrastruktury. V tradičně velmi dobře provedeném katalogu jsou obsaženy databáze vystavovatelů i správců pozemních komunikací. V kategoriích Podzemních staveb, Geotechnika a Zakládání staveb bylo začleněno 14 firem, např. Metrostav, Doprastav, ŽS Brno, SMP Construction, SSŽ, Strabag. V doprovodném programu veletrhu pak proběhl v konferenčním sále Ministerstva dopravy ČR odborný seminář na téma Bezpečnost v silničních tunelech. Aktuální téma, které nabylo na významu po tragických požárech v alpských tunelech. V této souvislosti připravuje řada států své národní standardy řešící stavební uspořádání a vybavení tunelů. Odbornými garanty semináře byla Česká silniční společnost - Tunelová sekce, Výbor pro bezpečnost v podzemních stavbách ITA/AITES a Sdružení pro dopravní telematiku České republiky. Odborné přednášky na seminářích seznamovaly s výstupem výzkumného projektu Analýza a řízení rizik tunelů pozemních komunikací, stavem zpracování nové normy na projektování tunelů, nové verze technických podmínek pro vybavení tunelů a s návrhem evropské směrnice pro jednotnou bezpečnost. V přednáškách byl věnován i prostor pro seznámení stavu oboru v mezinárodních organizacích PIARC a ITA /AITES.

Agentura Viaco, která organizačně zajišťuje veletrhy Roadware, uvedla nabídku na nový projekt - Katalog infrastruktury 2004. Cílem je publikovat v katalogu několik stovek odborných firem podnikajících ve 14 oborech a 182 specializacích podílejících se na dopravní, městské a technické infrastruktuře. Katalog bude vydán barevně ve formátu A4 a uzávěrka přihlášek je 10. září 2004. Tunely jsou uvedeny v oboru 050 dopravní cesty a zařízení, v oboru 650 geotechnika a geologie.

Veletrh zaznamenal historicky druhou nejvyšší návštěvnost, což svědčí o vzrůstajícím zájmu o komunikační výstavbu v republice a jeho přínosu pro rozvoj obchodních aktivit společnosti. Je potěšitelné, že tradice bude pokračovat i v roce 2005, a to ve dnech 17. 5. -19. 5.

Informace na adrese: Agentura VIACO, Bělohorská 95/233, 169 00 Praha 6

Ing. Petr Vozarik

## ROADWARE 2004

Already for the tenth time, 78 companies and organizations have come together at the international road fair during May 18-20, 2004. Offered were 67 expositions on the area of 1400 m<sup>2</sup> in the right wing of the Industrial Palace at Výstaviště in Prague. These comprised expositions presented by investors, designers as well as contractors focused on road construction. They were supported by those companies producing and selling construction materials and production capacities both for realization and maintenance.

The fair was launched on May 18 under the auspices of high representatives of the Ministry of transport, the Road society, the Directorate of roads and motorways of the CR and the Fund for the transport infrastructure. The traditionally very well completed catalogue compiles database of exhibitors as well as administrators of roads. The categories Underground works, Geotechnics and Founding of constructions include 14 companies such as Metrostav, Doprastav, ŽS Brno, SMP Construction, SSŽ, Strabag.

As far the supporting program of the fair was concerned, conference hall of the Ministry of transport of the CR hosted a subsequent specialized seminar on the topic of Safety in road tunnels. This relevant topic has gained on significance following the tragic fires in the Alpine tunnels. In connection to that, several states prepare their national standards that would deal with structural configuration and equipment of tunnels. The seminar was professionally patronized by the Czech road society - Tunnel section, the ITA/AITES Committee for safety in underground works and the Association for traffic telematics of the Czech Republic. Specialized lectures at the seminars introduced results of the research project "Analysis and management of risks in road tunnels", the current status of elaboration of the new regulation for designing of tunnels, new version of the technical conditions for equipment of tunnels and proposal of the European directive for standard safety. The lectures also allowed to get acquainted with current status of the field within international organizations PIARC and ITA/AITES.

Viaco agency, which organizes the Roadware fairs, has introduced a proposition for a new project - Infrastructure catalogue 2004. Its aim is to publish in the catalogue several hundred specialized companies that are active in the 14 fields and 182 specializations comprising the traffic, urban and technical infrastructure. The catalogue will be published in colored A4 format and the deadline for applications is September 10, 2004. Tunnels are listed in the 050 branch - transport routes and equipment, while geotechnics and geology are under the branch 650. The fair has recorded the second highest amount of visitors ever, which implies increasing interest in the construction of roads in the Czech Republic and its contribution to development of business activities in the society. It is gratifying that the tradition will be kept also in 2005, and thus during May 17-19.

For information contact : VIACO agency, Bělohorská 95/233, 169 00 Praha 6



Obr. 1 Představitelé Ministerstva dopravy, Silniční společnosti, Ředitelství silnic a dálnic ČR a Státního fondu dopravní infrastruktury při slavnostním zahájení veletrhu Roadware 2004

Fig. 1 High representatives of the Ministry of Transport, the Road Society, the Directorate of Roads and Highways and the Fund for the Transport Infrastructure at the opening ceremony of the faire Roadware 2004

## SEMINÁŘ BEZPEČNOST V SILNIČNÍCH TUNELECH

V rámci konání mezinárodního veletrhu ROADWARE 2004 se uskutečnil dne 19. května 2004, jako doprovodný program veletrhu, v prostorách budovy Ministerstva dopravy ČR seminář BEZPEČNOST V SILNIČNÍCH TUNELECH.

Odbornými garanty semináře byl Výbor pro bezpečnost v podzemních stavbách ITA/AITES, Česká silniční společnost - Tunelová sekce a Sdružení pro dopravní telematiku ČR. Záštitu nad celou akcí převzal ministr dopravy ČR Ing. Milan Šimonovský.

Po několika tragických požárech v alpských tunelech se v Evropě začala věnovat velká pozornost zajištění bezpečnosti pro uživatele silničních tunelů. V souvislosti s tím připravuje řada států své národní standardy řešící stavební uspořádání a vybavení tunelů.

Také Evropská komise připravila návrh směrnice o jednotné bezpečnosti v tunelech na transevropské dopravní síti. V České republice se otázkou vybavení a bezpečnosti silničních tunelů systematicky zabývá řada organizací pod patronací ministerstva dopravy již od devadesátých let.

Po uvitání zástupci ministerstva dopravy seznámil prof. Příbyl (ELTODO EG) s výstupem tříletého výzkumného projektu Analýza a řízení rizik tunelů pozemních komunikací. V rámci tohoto projektu byly vyvinuty metody pro analýzu rizik, a to na dvou úrovních: první metoda určená pro investory a projektanty umožní odhadovat, zda je tunel bezpečný více či méně. Druhá originální metoda využívající prvků umělé inteligence je určena pro specialisty a umožňuje číselně ohodnotit počty postižených osob při různých událostech.

Ing. Pořízek (SATRA) představil celou koncepci větrání tunelu Mrázovka v přednášce Požární větrání tunelů Mrázovka. Práce vycházely i ze simulace větrání při požáru zpracovávané v rámci vědeckovýzkumného záměru EU COST.

Ing. Kraus a Ing. Zobaník referovali o stavu revize normy pro projektování tunelů ČSN 73 7507 a o nové direktivě EU k jednotné bezpečnosti tunelů na transevropské silniční síti. Norma doznala značných změn a je před dokončením první verze, která bude oficiálně připomínkována. Direktiva EU byla podepsána 28. dubna, takže je v platnosti.

V další prezentaci Ing. Šajtra (SATRA) byla prezentována konkrétní analýza rizik realizovaných i projektovaných tunelů na městském okruhu v Praze. Z analýzy založené na příčinných sítích vyplynulo, že celá soustava tunelů počínaje tunelem Zlíchov a konče tunelem do Trója je dostatečně bezpečná, ale také byly nalezeny citlivé body, které je možno vylepšit, a to mnohdy s malými náklady. Přednáška Ing. Tichého (Fakulta dopravní) byla ukázkou výzkumných prací této fakulty, orientovaných na interakci člověka a dopravní cesty. Jsou vyvinuty metody, které umožňují sledovat pozornost řidiče, což je možné využít i pro zkoumání odlišností chování řidiče v tunelu a na volné komunikaci. Tyto práce budou pokračovat i v rámci nového projektu vědy a výzkumu ministerstva dopravy OPTUN. Velmi cenné informace z reálného provozování tunelů přednesl ing. Sládek (TSK Praha). Informace o provozování tunelů se sbírají po řadu let a jsou cenným vstupem pro následné vyhodnocování provozních nákladů a bezpečnosti. Technický seminář věnovaný bezpečnosti potvrdil, že se jedná o velmi aktuální problematiku a navíc i to, že úroveň znalostí a odborných prací promítaných do konkrétních realizací tunelů je na vysoké evropské úrovni.

Prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.

## INFORMACE O ZASEDÁNÍ TECHNICKÉHO VÝBORU PIARC WRA TC 3.3 PROVOZ SILNIČNÍCH TUNELŮ VE DNECH 26. 5. A 27. 5. 2004 V PARIŽI

Ve dnech 26. a 27. 5. 2004 proběhlo v Paříži první zasedání Technického výboru 3.3 Provoz silničních tunelů ustanoveného pro období 2004 až 2007. Technický výbor je jedním ze čtyř výborů působících v rámci Strategického úkolu 3 Bezpečnost silničního provozu.

Pro každé z těchto strategických témat byly určeny úkoly, které by měly být v období 2004 až 2007 jednotlivými technickými výbory řešeny. Pro technický výbor (Technical committee - dále jen C) C 3.3 Provoz silničních tunelů byly stanoveny tyto základní úkoly:

Úkol 3.3.1 - Vytvářet bezpečnější tunely

Úkol 3.3.2 - Zlepšit provoz a údržbu tunelů

Úkol 3.3.3 - Větrání a zdolávání požárů

Úkol 3.3.4 - Pro zvýšení bezpečnosti tunelů vzít v úvahu lidský činitel

Technický výbor C 3.3 je veden panem Didierem Lacroixem z Francie (CETU - Výzkumný ústav tunelářský) jako v minulém období. V úvodu zasedání výboru vyzdvihl jeho předseda úzkou spolupráci s ITA/AITES a rozdělení úloh z hlediska zvýšení bezpečnosti tunelových staveb. ITA/AITES řeší bezpečnost z hlediska výstavby tunelových staveb, odolnosti a spolehlivosti konstrukcí v případě mimořádných událostí v tunelu a v rámci technických výborů PIARC jsou řešeny otázky spojené s technickým vybavením, provozem, údržbou a chováním uživatelů, dispečerů i členů záchranných týmů. Vzhledem k tomu, že řada expertů se podílí na společných projektech v rámci EU (FIT, DARTS, UPTUN, SAFE T atd.)

## SEMINAR SAFETY IN ROAD TUNNELS

The seminar SAFETY IN ROAD TUNNELS took place in the building of the Ministry of Transport of the CR on 19 May 2004, in the framework of the international trade fair ROADWARE 2004, as an accompanying programme of the fair.

Expert guarantors of the seminar were the ITA/AITES Committee on Safety in Underground Structures, the Czech Road Association - Tunnel Section, and the Traffic Telematics of CR Association. The event took place under the auspices of Ing. Milan Šimonovský, minister of transport of the CR.

After several tragic fires in Alpine tunnels, great attention has been paid to ensuring safety of road tunnel users in Europe. In this context, many states have been preparing their national standards solving structural configuration and equipment of tunnels.

Also the European Commission prepared a draft of a directive on unified safety requirements for tunnels in the Trans - European road network. Regarding the Czech Republic, the issue of equipment and safety in road tunnels has been systematically dealt with by a number of organisations, under the auspices of the Ministry of Transport, since the nineties.

After opening addresses given by representatives of the Ministry of Transport, Prof. Příbyl (ELTODO) informed about the output of a three-year research project "Analysis and Control of Risks in Road Tunnels". In the framework of this project, risk analysis methods were developed, at two levels: the first method, designed for owners and designers, will allow assessment whether the tunnel is safe more or less. The other original method utilises elements of artificial intelligence. It is designed for specialists, and allows numeric evaluation of the number of affected persons in various events.

Ing. Pořízek (SATRA) introduced the overall conception of the Mrázovka tunnel ventilation in his paper Fire Ventilation of the Mrázovka Tunnel. The paper was based, among others, on a simulation of the ventilation during a fire, conducted in the framework of a scientific research project EU COST.

Ing. Kraus and Ing. Zobaník referred on the state of reviewing the ČSN 73 7507 standard on tunnel designing, and the new EU directive on safety requirements for tunnels in the Trans - European road network. The standard has been modified significantly, and its first version to be commented officially is just before completion. The EU directive was signed on 28 April therefore is in force.

The other presentation delivered by Ing. Šajtra (SATRA) contained a concrete analysis of risks in already completed and under-design tunnels on the City Circle Road in Prague. It followed from the analysis (based on causal networks) that safety of the entire system of tunnels, starting from the Zlíchov tunnel and ending by the tunnel to Trója, is sufficient; but also sensitive points have been found where improvement is possible, many a time at low cost.

The paper given by Ing. Tichý (the Faculty of Transport) was an example of research activities of this faculty, focused on the human - traffic route interaction. Methods have been developed allowing observation of attention of a driver. They can be utilised for research in differences in behaviour of a driver driving in a tunnel and on an open-air road. Those activities will continue even in the framework of OPTUN, a new scientific research project of the Ministry of Transport.

Highly valuable information gained from real operation of tunnels was presented by Ing. Sládek (TSK Praha). The information on tunnel operation has been collected for many years, and is a valuable entry for subsequent evaluation of operational costs and safety.

This technical seminar devoted to safety confirmed that the given issue is "very hot", and also that the level of knowledge and expert work reflected to concrete tunnel constructions is on a high, European level.

## INFORMATION FROM SESSION OF THE TECHNICAL COMMITTEE PIARC WRA TC 3.3 "OPERATION OF ROAD TUNNELS" IN PARIS DURING MAY 26-27 2004

During May 26-27 2004, Paris hosted a first session of the Technical committee 3.3 "Operation of road tunnels", appointed for the years 2004 to 2007. The technical committee is one of the four committees active within the frame of the Strategic task 3 "Safety of road traffic".

Tasks were determined for each of these strategic topics and they are to be pursued by the individual Technical committees between 2004 to 2007. As for the Technical committee C 3.3 "Operation of road tunnels", these fundamental tasks have been put forward :

Task 3.3.1 - to create safer tunnels

Task 3.3.2 - to improve operation and maintenance of tunnels

Task 3.3.3 - ventilation and firefighting

Task 3.3.4 - to consider human factor in order to enhance safety in tunnels

The Technical committee C 3.3 is chaired by Mr. Didier Lacroix of France (CETU - Institute of tunneling research), as during the previous term. In the opening of the committee session, its chairman highlighted a close cooperation with ITA/AITES and distribution of tasks from the viewpoint of enhancing safety in tunnel structures. The ITA/AITES deals with safety issues of construction of the tunnel structures, resistance and reliability of structures in case of emergency events in the tunnels, while the Technical committees of PIARC deals with questions of technical equipment, operation, maintenance and approach of users, dispatchers as well as members of the rescue units. With regards to the fact that a number of experts take part in common projects within the EU (FIT, DARTS,



existuje úzká spolupráce obou organizací při řešení těchto problémů. Také v ČR byla před 5 lety, díky iniciativě Ing. J. Smolíka, vytvořena společná pracovní skupina Bezpečnost tunelových staveb.

Pro řešení úkolů stanovených exekutivou bylo vedením výboru C 3.3 navrženo vytvořit šest pracovních skupin stejně jako v minulém období.

Pracovní skupina:

WG 1 - Provoz - J. C. Martin CETU - Francie

WG 2 - Řízení bezpečnosti v tunelech - D. Lacroix - Francie

WG 3 - Lidské faktory ovlivňující bezpečnost tunelů - E. Worm - Nizozemsko

WG 4 - Detekce, spojení, evakuace - U. Welte - Švýcarsko

WG 5 - Nebezpečné náklady - R. Hall - Velká Británie

WG 6 - Větrání a zdolávání požárů - A. Bendelius - USA

V průběhu pracovního období 2004 a 2007 předpokládá výbor uspořádání dvou seminářů na téma Bezpečnost silničních tunelů v některé z rozvojových nebo přistupujících zemí. V úvahu přichází Leningrad a některá ze zemí Latinské Ameriky.

Podrobné informace naleznete na <http://www.piacr.org>.

Ing. Ludvík Šajtar,  
člen korespondent TC 3.3  
Member Correspondent of TC 3.3

*UPTUN, SAFE T etc), there is an existing close cooperation of both organizations during solution of the issues. Thanks to the initiative of Ing. Smolík, such common workgroup "safety in tunnel structures" was also formed in the Czech Republic 5 years ago.*

*In order to complete tasks laid forth by the executive, the chairmanship of the committee C 3.3 proposed formation of the very same six workgroups as in the previous term :*

*WG 1 - Operation - J.C. Martin CETU - France*

*WG 2 - Management of safety in tunnels - D. Lacroix - France*

*WG 3 - Human factors with impact on safety in tunnels - E. Worm - Netherlands*

*WG 4 - Detection, connection, evacuation - U. Welte - Switzerland*

*WG 5 - Dangerous cargo - R. Hall - United Kingdom*

*WG 6 - Ventilation and firefighting - A. Bendelius - USA*

*During the working term 2004 to 2007 the committee plans on to organize two seminars of the topic of "Safety in road tunnels" in some of the developing or acceding countries. Either Peterburg in Russia or some of the Latin American countries come to mind.*

*For more detailed information see <http://www.piacr.org/>.*

### TSK PRAHA PRO PODPORU BEZPEČNOSTI V TUNELECH

Technická správa komunikací v Praze ve spolupráci s Magistrátem hl. m. Prahy a ÚDI Praha připravila velký příspěvek pro zlepšení bezpečnosti v silničních tunelech vydáním brožury Automobilové tunely v Praze - Pravidla provozu a zásady bezpečnosti.

Vydání tohoto dokumentu reflektuje situaci, kterou se zabývala například pracovní skupina C5 Road Tunnels Operations při mezinárodní silniční organizaci PIARC: zhruba asi 80 % řidičů se v případě ohrožení v tunelu nechová racionálně. Řidiči nejsou schopni v rozhodujících prvních šesti minutách, například po vypuknutí požáru, reagovat adekvátně na vzniklou situaci.

Správné chování v tunelu se řidiči neučí ani v autoškolách, takže tento dokument, který bude rozdáván několika způsoby řidičům může významně přispět k nutné osvětě. Navíc se jedná o tříjazyčný dokument umožňující orientaci i cizincům.

Příklad dvou stran je na následujících obrázcích:

Prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.

### TSK PRAGUE TO SUPPORT SAFETY IN TUNNELS

*Technická Správa Komunikací (technical administration of roads) in cooperation with the Municipality Prague and ÚDI Prague prepared a great contribution to enhanced safety in road tunnels by publishing a booklet Road tunnels in Prague - Rules of traffic operation and safety principles.*

*Publication of such document responds to a situation that was for instance dealt with by the workgroup C5 Road tunnels' operations under the international road organization PIARC: approximately 80% of drivers behave irrationally when in danger within a tunnel. The drivers are not capable of adequate reaction to existing situation mainly during the first 6 minutes, for example since the start of fire. Correct behavior of a driver within a tunnel is not even taught at driving schools, so that this document, which will be distributed by several means, can contribute to essential education of the drivers. Moreover, it is a three-language document that also provides for orientation of foreigners.*

*See the following pictures as examples of two pages:*

#### Značení v automobilových tunelech

Maximální dovolené rychlosti



Středoúzký tunel  
tunel hlávkovka



úzký  
prošík tunelů

Pravidla jízdy v jedním pruzích tunelu



Zákaz vjezdu  
velkých  
vozidel  
do jedné  
průhy



Vůzky  
vjezdu  
do jedné  
průhy



Přístup  
do pravé  
průhy



Přístup  
do levé  
průhy



Zákaz vjezdu  
velkých  
vozidel  
v odbočovací  
okružnici



Cyklisté  
vjezdu  
do odboč.  
okružnic



Zákaz vjezdu  
pedestři



Kolona



Výhled motor -  
v koloně, při  
odbočování  
okružnic



Řezání  
příkry

#### Doubletube Tunnels in Prague Tunnels mit zwei Tunnelröhren in Prag

*It is a doubletube tunnel (Doppelrohr), which is used in case of any kind of danger the nearest passage in the parallel tunnel and go through.*

*Wenn Sie Probleme im Tunnel mit zwei Tunnelröhren (Doppelrohr), Müssen Sie sofort den nächsten Durchgang für den Parallelrohr und gehen Sie durch.*



#### Signing of Distance and Emergency Exits Berechnung der Entfernung und Notausgänge



### ZÁPIS

ze zasedání Valného shromáždění Českého tunelářského komitétu ITA/AITES, které se konalo dne 24. června 2004 v Praze-Holešovicích

#### Přítomni:

36 delegátů zastupujících 30 členských organizací, 18 individuálních členů a 10 hostů, celkem 64 přítomných dle prezenční listiny uložené v sekretariátu ČTuK

#### Omluveni:

Ing. Doležalová, Ing. Štastný, Ing. Janíček (CARBOTECH Bohemia), Ing. Paloncy (ANKRA BOLTEX)

#### Předané podklady delegátům:

- Výsledek hospodaření v roce 2003
- Návrh rozpočtu na rok 2004
- CD s odbornými články ITA od roku 1974 vydané k 30. výročí vzniku ITA (určeno pouze pro delegáty členských organizací)

Program jednání byl spolu s pozvánkou v předstihu podle stanov rozslán všem členským subjektům.

Přítomní delegáti program bez připomínek schválili.

Jednání řídil Ing. Karel Matzner.

### 1. Přivítání přítomných a zpráva o činnosti ČTuK za období od podzimního Pracovního shromáždění v Praze a o závěrech GA ITA/AITES v Singapuru (Ing. Hrdina)

Činnost komitétu a jeho předsednictva pokračovala ve smyslu závěrů z Pracovního shromáždění v Praze. Byla zaměřena zejména na dobrou reprezentaci našeho komitétu na Světovém kongresu v Singapuru, na přípravu kandidatury na pořádání WTC 2007 v Praze, na hospodaření komitétu a na rozvoj činnosti našich dvou pracovních skupin - Stříkaný beton a Výbor pro bezpečnost podzemních staveb.

Předseda informoval o zahájení činnosti nového předsednictva a rozdělení funkcí mezi jeho členy s tímto závěrem:

Prof. Aldorf - styk s příbuznými odbornými společnostmi a VŠ, studentské soutěže

Prof. Barták - zástupce předsednictva v redakční radě časopisu TUNEL

Ing. Mařík - webmaster ČTuK

Ing. Mičunek - dohled nad hospodařením ČTuK

Ing. Romancov - předseda organizačního výboru WTC 2007

Ing. Sikora - sledování činnosti WG ITA/AITES a našich pracovních skupin (PS)

Dále referoval o průběhu GA ITA v Singapuru, o uspořádání českého banketu "Meeting Point Prague" pro delegáty GA a o průběhu voleb. GA ITA zvolilo za nového prezidenta ITA Američana Harvey Parkera a Prahu jako místo WTC 2007. Poděkoval všem, kteří se v čele s Ing. Romancovem o získání pořadatelství do Prahy zasloužili, a členským organizacím, které na "předvolební kampaň" propagující odbornou a organizační vypěstlost našich firem přispěly.

Uvedl pak hlavní směry orientace ČTuK v nadcházejícím období do kongresu 2007, jehož úspěšné uspořádání musí být pro celý komitét a jeho členské subjekty prioritou č. 1. Další prioritou je zlepšení vzájemné interní i externí komunikace s využitím internetu, zvýšení obsahu a kvality naší www stránky, podstatné zvýšení aktivity našich zástupců ve WG ITA/AITES, zavádění vzdělávacích programů zejména v době před kongresem, podpora seminářů za účasti členů EC (výkonného výboru) ITA a využívání služeb sekretariátu ITA v Lausanne, který zaměstnává 5 profesionálních pracovníků. ČTuK zajistil distribuci prestižní publikace ITA "Why Go Underground" spolu s průvodním dopisem prezidenta ITA a předsedy ČTuK významným osobnostem, které mohou ovlivnit rozhodování v investiční výstavbě ve prospěch podzemních čtenství. Závěrem přednesl návrh předsednictva ČTuK na ustavení institutu čestného členství a na jeho udělení prvním dvěma zasloužilým členům: Prof. Eisensteinovi a Ing. Hessovi. Delegáti s tímto návrhem vyslovili jednomyslný souhlas.

#### Usnesení č. 1

Ustavuje se institut "Čestný člen Českého tunelářského komitétu ITA/AITES", který bude zaveden do stanov při jejich nejbližší úpravě.

#### Usnesení č. 2

Valné shromáždění na návrh předsednictva uděluje titul "Čestný člen Českého tunelářského komitétu ITA/AITES" Prof. Ing. Zdeňku Eisensteinovi a Ing. Jindřichu Hessovi za trvalé zásluhy o upevnění postavení českého tunelářství nejen v rámci republiky, ale zejména na světovém fóru v Mezinárodní tunelářské asociaci.

### 2. Zpráva o Světovém tunelářském kongresu v Singapuru a přípravách WTC 2007 v Praze (Ing. Romancov)

Kongres byl setkáním odborníků v podzemním stavitelství z celého světa. Podrobněji se k němu vrátíme na stránkách TUNELU. Výsledek hlasování o místě konání WTC 2007 na GA v náš prospěch je pro nás prestižním oceněním, projevem důvěry, ale současně velkým závazkem vůči světové tunelářské veřejnosti, na němž se musí podílet

### Minutes of the CTuC General Assembly (information for the CTuC members)

široký okruh odborníků. Delegáti byli seznámeni se všemi povinnostmi, které pořádání kongresu s sebou přináší. Na projekčním plátně pak Ing. Romancov představil organizační schéma a harmonogram zajištění kongresu. Z něho vyplývají nutné kroky, které je třeba učinit bezodkladně, a proto předsednictvo ČTuK požádalo valné shromáždění o mandát k ustavení organizačního výboru pod vedením Ing. Romancova, vědecké rady pod vedením Prof. Bartáka a tzv. Advisory Committee s mezinárodní účastí pod vedením Prof. Eisensteina. Do ustavení těchto orgánů přebírá předsednictvo veškerou odpovědnost za další přípravu kongresu včetně jednání s členskými subjekty o finančním zajištění.

#### Usnesení č. 3

Valné shromáždění pověřuje předsednictvo, aby ustavilo všechny potřebné orgány a realizovalo všechny kroky nutné pro úspěšné zajištění přípravy WTC 2007 v Praze.

#### Usnesení č. 4

Valné shromáždění vyzývá všechny členské subjekty, aby v rámci svých možností organizačně a finančně spolupracovaly při přípravě kongresu podle pokynů řídicích orgánů a aby pro jejich ustavení poskytl své zástupce.

### 3. Zpráva o činnosti pracovních skupin WG ITA/AITES a o našem zastoupení (Ing. Sikora)

Ing. Sikora podal přehled našeho zastoupení ve WG: máme celkem 16 zástupců ve 12 z 13 aktivních WG. Naposled jsme doporučili zástupce do WG 05 Ing. Tvardka. Nemáme bohužel o činnosti našich zástupců žádné zprávy. Je žádoucí, aby jejich členství ve WG bylo aktivní a účelné. Předsednictvo je proto žádá, aby do příštího pracovního zasedání na podzim t. r. informovali o svých aktivitách a své další účasti na práci WG.

Valné shromáždění vzalo informaci na vědomí a žádá o přednesení souhrnné zprávy o činnosti našich zástupců ve všech WG na podzimním Pracovním shromáždění členů ČTuK.

### 4. Zpráva o činnosti našich pracovních skupin (Ing. Sikora, Prof. Příbyl)

Ing. Sikora stručně informoval o činnosti skupiny Stříkaný beton v podzemním stavitelství, která pod vedením Ing. Poláka zpracovala doporučení pro aplikaci této technologie, které je publikováno na naší internetové stránce a bude vytištěno v příštím čísle TUNELU.

Prof. Příbyl informoval o účasti na semináři Bezpečnost v silničních tunelech v rámci veletrhu Roadware. Naše pracovní skupina Výbor pro bezpečnost podzemních staveb byla spolugarantem tohoto semináře, konaného pod záštitou ministra dopravy.

### 5. Zpráva o výsledku hospodaření ČTuK v roce 2003 a schválení rozpočtu na rok 2004 (Ing. Doubek, Ing. Mičunek)

Ing. Doubek podal stručný výklad k předloženému vyhodnocení hospodaření v uplynulém roce. Zdůraznil, že dobrého hospodářského výsledku bylo dosaženo především úspěšným výsledkem konference PSP 2003. To umožnilo i odpis některých nedobytných pohledávek. Rovněž čerpání nákladů na získání pořadatelství WTC 2007 bylo v mezích získaných prostředků.

Ing. Mičunek shrnul návrh rozpočtu na rok 2004, který byl sestaven jako vyrovnaný s přihlednutím k dosaženým výsledkům z minulého období a ke skutečnému stavu členských subjektů k 1. 1. 2004. Proto není možno akceptovat ukončování členství v průběhu roku bez splnění finančních závazků. Do budoucna je nutno věnovat trvalou pozornost skluzům v úhradě faktur. STA se právě vyrovnala se svým závazkem z minulých let a přislíbila zaplatit letošní podíl v 2. polovině roku.

#### Usnesení č. 5

Valné shromáždění schvaluje výsledek hospodaření za rok 2003 a rozpočet na rok 2004 bez připomínek.

### 6. Zpráva o stavu členské základny (Ing. Matzner)

Současný stav je 44 členských organizací, z toho 6 institucí, a 40 jednotlivců. Minulý měsíc požádala o ukončení členství firma Čermák a Hrachovec bez udání důvodu a bez úhrady faktur za poradenství a za členské příspěvky v letošním roce. Tyto prostředky jsou však v rozpočtu zahrnuty a rovněž jejich podíl počtu výtisků TUNELU, který pravidelně dostávají, je ve smluvním edičním plánu TUNELU obsažen. Stejný případ se stal s firmou KANKOL v minulém roce, která dodnes dluží úhradu svých členských závazků za rok 2003.



Firma VIS, a. s., požádala o přeřazení z kategorie velkých do malých inženýrských organizací.

Současné rozdělení podle kategorií:

kat. A (velké dodavatelské organizace) - 3, B (malé dodavatelské) - 12,

C (velké inženýrské) - 6, D (malé inženýrské) - 17, E (instituce a čestné členské subjekty) - 6.

Delegáti byli vyzváni ke kontrole spojení (adresa, tel/fax, e-mail) resp. k průběžnému hlášení změn.

#### Usnesení č. 6

Valné shromáždění bere zprávu na vědomí a trvá na dodržování stanov a smluvních závazků ve věci ukončování členství před koncem běžného roku s platností od 1. 1. roku následujícího.

#### 7. Ediční záměry redakční rady časopisu TUNEL v roce 2004/2005

(Prof. Barták)

Na světovém kongresu v Singapuru jsme se opět přesvědčili, jaký je o náš časopis zájem; během dvou dnů bylo rozebráno na 200 výtisků. Časopis je u nás i ve světě vysoko hodnocen, patří mezi čtyři nejlepší z našeho oboru. Pro příští období redakční rada bude pokračovat ve vydávání 4 čísel ročně. Je však třeba zlepšit autorské korektury, aby nedocházelo k edičním chybám. Valné shromáždění přijalo již v roce 2001 usnesení, že každá členská organizace zajistí v běžném roce dva inzeráty (své či svých subdodavatelů, kooperantů apod.). Na každém dalším shromáždění si tento závazek připomínáme, neboť není důsledně plněn. Inzerce je důležitou položkou v příjmové části rozpočtu ČTuK, který delegáti právě schválili.

#### Usnesení č. 7

Valné shromáždění bere zprávu na vědomí a připomíná členským organizacím opakané usnesení z roku 2001 o zajišťování inzerátů v TUNELU.

#### 8. Informace z činnosti příbuzných odborných společností

(Prof. Aldorf)

Navázali jsme spojení s redakcí polského hornického časopisu (Prof. Aldorf je členem redakční rady). V jeho příštím čísle vyjdou tři články převzaté z TUNELU. Z činnosti příbuzných organizací uvádíme zajímavé konference vč. spojení na organizátora:

Konference ISRM EUROCK 2005, Brno 18. - 20. 5. 2005, "Impact of the Human Activity on the Geological Environment", [www.cas.cz](http://www.cas.cz)

Světový hornický kongres "Mining and Sustainable Development", Teheran 7. - 10. 11. 2005, informace a pozvánky [j.dubinsky@gig.katowice.pl](mailto:j.dubinsky@gig.katowice.pl)

#### 9. Aktuální informace webmastera ČTuK o naší internetové stránce

a o stránce ITA/AITES

(Ing. Mařík)

- Naše stránka byla úspěšně využita před kandidaturou ČTuK na pořádání WTC 2007 v Praze.
- Prezentace podzemních staveb stále vázne na nedostatku podkladů. Ing. Mařík vyzývá všechny členské subjekty k poskytnutí obrazového a česko-anglického textového materiálu k jednotlivým stavbám.
- Na webu je kromě aktuálních čísel TUNELU i tematicky dělený obsah ročníků od roku 1992 do roku 2003.
- Stránky je možno využívat i k informování veřejnosti o pořádaných konferencích a seminářích, o našich pracovních skupinách apod.

Kontaktní adresa: [libor.marik@ikpce.com](mailto:libor.marik@ikpce.com).

- Zasláné materiály musí být upraveny pro publikování na webu.
- V souvislosti s pořádáním světového kongresu 2007 v Praze zřídíme novou webovou adresu [www.wtc2007.com](http://www.wtc2007.com)

#### 10. Různé

Valné shromáždění vyslechlo zajímavou přednášku pana Ing. Herrenknechta o využití TBM na různých světových stavbách v jejich specifických podmínkách s projekcí fotodokumentace.

Zapsal: Ing. Matzner

Ověřil: Ing. Hrdina, Ing. Romancov

## SPRAVODAJ SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA/AITES

### SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA/AITES REPORTS

#### VALNÉ ZHROMAŽDENIE SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA / AITES

Dňa 20. apríla 2004 sa v Prievidzi na pôde Banských stavieb uskutočnilo Valné zhromaždenie Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES s nasledovným programom:

1. Privítanie
2. Správa o činnosti od posledného VZ
3. Správa o hospodárení v roku 2003 a prehľad o celkovej finančnej situácii
4. Návrh na zmenu stanov
5. Diskusia k bodom 2, 3, 4
6. Hlasovanie k bodom 2, 3, 4 programu
7. Informácia o príprave konferencie s medzinárodnou účasťou Význam tunelov v doprave, Podbanské, 16. - 18. 06. 2004.
8. Návrh činnosti na nastávajúce obdobie
9. Rôzne
10. Prijatie uznesenie a záver

Prítomní boli zástupcovia celkom 20 subjektov, čo predstavuje približne dve tretiny celkového počtu členov, takže Valné zhromaždenie bolo uznášaniaschopné. Rokovanie viedol Ing. Juraj Keleši, pričom s jednotlivými správami vystúpili predseda STA Ing. Robert Turanský, Ing. Vološčuk, Ing. Keleši a Ing. Pakh.

Najdôležitejším prerokovaným bodom bola zmena stanov STA, ku ktorej bol Komitét viazaný uznesením predošlého valného zhromaždenia. Po obsažnej diskusii boli upravené Stanovy STA podľa návrhu pripraveného Komitétom schválené.

Zástupcovia hostiteľskej organizácie Banské stavby, a. s., Prievidza informovali prítomných jednak o aktuálnych dôležitých stavbách, najmä diaľničnom tuneli Sitina v Bratislave, jednak o postavení spoločnosti v rámci koncernu Skanska a o očakávanom vývoji v nasledovnom období.

Valné zhromaždenie Slovenskej tunelárskej asociácie sa na základe prerokovania bodov programu, prednesených správ, podnetov z diskusie ako aj výsledkov hlasovania k jednotlivým bodom uznieslo nasledovne:

#### INFORMATION FOR THE STA MEMBERS FROM THE STA GENERAL ASSEMBLY

##### A. Valné zhromaždenie prijíma:

- správu o činnosti STA za obdobie od predchádzajúceho VZ
- správu o hospodárení s finančnými prostriedkami

##### B. Valné zhromaždenie schvaľuje:

- zmenu a nové znenie stanov podľa návrhu predloženého Komitétom
- návrh činnosti STA na nasledovné obdobie
- podporu kandidatury Prahy na konanie Svetového tunelárskeho kongresu ITA/AITES v roku 2007
- prijatie čestných členov STA, ktorými sa stali:
  - doc. Ing. Koloman V. Ratkovský, CSC.
  - Ing. Jozef Frankovský

##### C. Valné zhromaždenie berie na vedomie:

- informáciu o príprave konferencie s medzinárodnou účasťou "Význam tunelov v doprave"

##### D. Valné zhromaždenie poveruje:

- Komitét vykonaním príslušných krokov súvisiacich s registráciou nového znenia stanov STA.

Uznesenie bolo schválené všetkými hlasmi prítomných účastníkov Valného zhromaždenia STA.

Ing. Miloslav Frankovský