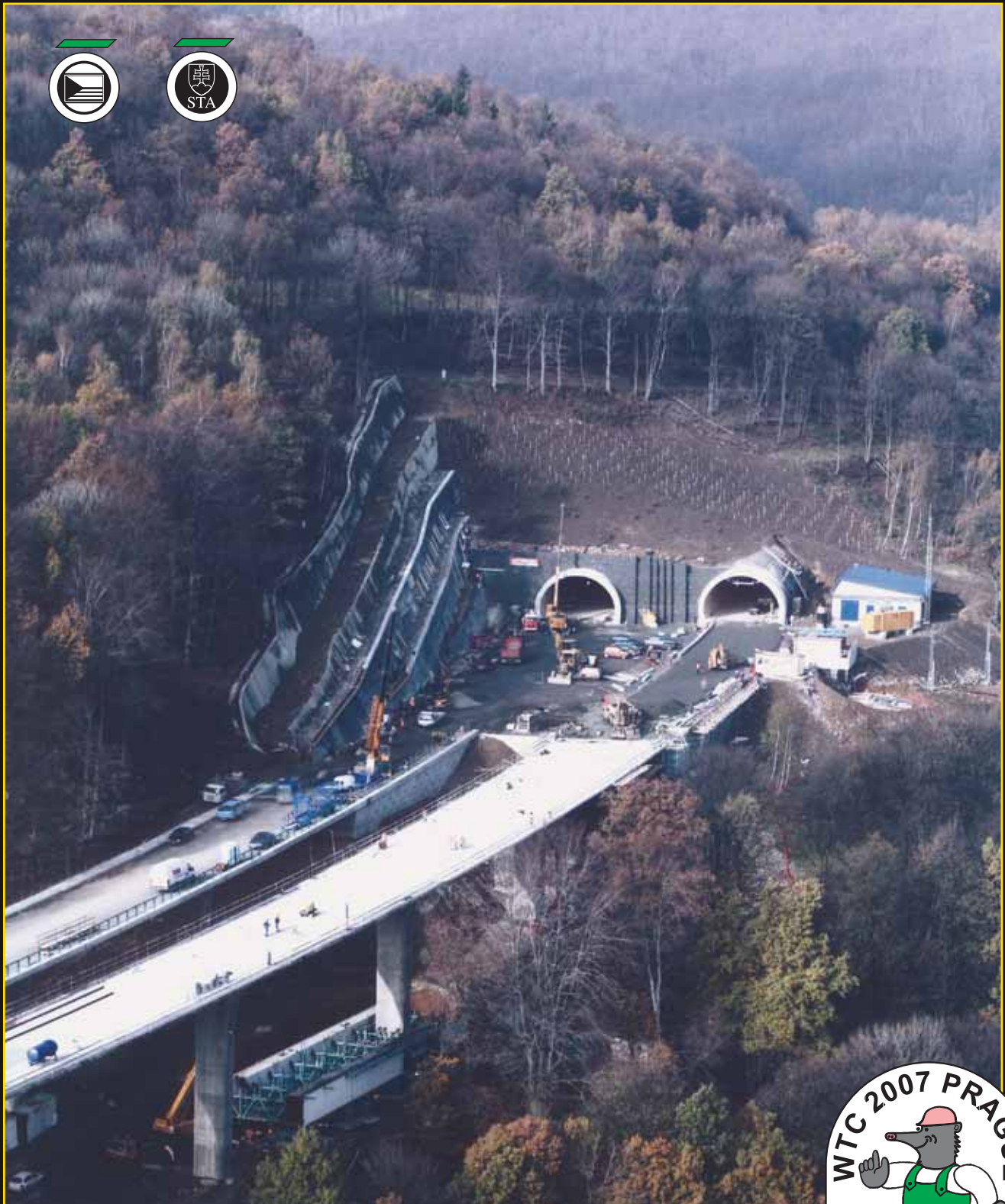


# TUNEL

č. 1  
2007

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



## EDITORIAL

První číslo TUNELU v letošním roce nelze začít jinak než připomenutím mimořádné významné akce, jejíž organizace byla svěřena Českému tunelářskému komitétu ITA/AITES – **světového kongresu WTC 2007**. Pražské setkání odborníků z oblasti podzemních staveb, které proběhne v první květnové dekádě, přinese zhodnocení několikaleté usilovné a časově velmi náročné činnosti související s přípravou odborné i společenské části kongresu. Pevně věřím, že konečný výsledek uspokojí a potěší především všechny naše hosty – účastníky konference i jejich případný doprovod; úlevný pocit z dobře vykonané a užitečné práce pocítí nepochybně všichni, kteří se na přípravě kongresu podíleli a přispěli k jeho zdárnému průběhu.

Příprava náplně odborné části konference byla velmi náročná, výsledek je však velmi pozitivní – do třídního sborníku konference, vydaného renomovaným nakladatelstvím A.A. Balkema Publishers, který bude k dispozici také v elektronické verzi, bylo zařazeno 317 příspěvků zabývajících se aktuální problematikou podzemních staveb z celého světa. To je největší počet publikovaných příspěvků ze všech dosud proběhlých světových tunelářských kongresů ITA/AITES. Z připravovaných devíti sekcí byl výrazně největší zájem autorů o sekce *Výzkum, vývoj a navrhování podzemních konstrukcí a Provádění tunelů konvenčními metodami a pomocí TBM (včetně monitoringu)*. Celkový přehled příspěvků s názvy, jmény autorů a zařazením do sekcí je k dispozici čtenářům ve formě přílohy tohoto čísla TUNELU, podrobnější informace o celkovém stavu přípravy kongresu je uvedena ve zpravodajství z ČTuK.

U příležitosti konání kongresu bude vydána **publikace Podzemní stavitelství v České republice**, která slovem i obrazem zpracovává přehledně historii oboru, podrobně pak současnost i výhledy do příštích let. Vedle konferenčního sborníku bude anglická verze publikace trvalou připomínkou úrovně našeho podzemního stavitelství pro všechny účastníky konference, kteří ji dostanou jako součást souboru konferenčních materiálů. České vydání knihy, které bude volně dostupné případným zájemcům, vyplní existující mezeru v řadě odborně-populárních publikací, týkajících se ostatních oborů inženýrského stavitelství. Souhrnné dílo s tematikou podzemních staveb v České republice dosud vydáno nebylo, a bude proto pro mnoho zainteresovaných odborníků a zvědavých sympatizantů vítaným přehledem faktů i zdrojem poučení o účtyhodné a ne všeobecně známé šíři náplně podzemního stavitelství. Podrobnější informace o této publikaci, která již nyní vzbuzuje oprávněný zájem, doložený objednávkami jejích obou verzí, je uvedena uvnitř časopisu ve zpravodajství z ČTuK.

V období přípravy prvního čísla proběhlo výročí, které nelze v našem technicky zaměřeném časopise opominout. Den 18. leden 2007 byl dnem, kdy uplynulo **300 let od vzniku Českého vysokého učení technického v Praze**. Je to datum často zpochybňované, s největší pravděpodobností proto, že se jeho uznáním stává ČVUT nejstarší technickou univerzitou ve střední Evropě. Veřejná inženýrská škola byla pod názvem Stavovská inženýrská škola v Praze formálně ustavena 40 let před založením věhlasné a stále existující pařížské Mostní a silniční školy (Ecole des Ponts et Chaussées), která vznikla v roce 1747. Historicky je však toto datum opodstatněné a písemně doložené – císař Josef I. Habsburský 18. 1. 1707 česky psaným reskriptem (zakládá listinou) rozhodl, že výuku inženýrství je třeba zahájit a sehnat na ni peníze...

Iniciátorem založení Stavovské inženýrské školy byl Josef Christianna Willenberg, který také jako první získal inženýrskou profesuru; díky otálení českých stavů však až v roce 1717, takže vlastní výuku mohl zahájit v lednu 1718. Willenberg byl uznávaný odborník v opevnovacích pracích, takže Stavovská inženýrská škola měla v počátečním období své existence v podstatě poslání vojensko-fortifikační. V období působnosti druhého profesora J. F. Schora, vynikajícího umělce-malíře a architekta-teoretika, a zejména pak po jeho úmrtí za působnosti profesora F. A. Hergeta, významného zeměměřického a vodohospodářského odborníka, se však změnila ve školu převážně civilně-inženýrskou. Tento její charakter se zvyraznil po roce 1815 za působení prof. F. J. Gerstnera, vynikajícího astronoma, zeměměřiče, odborníka ve vodním a železničním stavitelství. Je nepřehlédnutelným faktem, že Stavovská inženýrská škola v Praze, základ dnešního ČVUT, se v počátcích své existence profilovala jako škola stavebního zaměření. Podrobnější přehled o historickém vývoji školy, která je „almou mater“ pro mnohé z nás, lze najít uvnitř čísla v rubrice jubileí.

Úvodník čísla připomíná patnácté výročí založení firmy, která dnes nese název IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o. Úspěšné působení této firmy ve sféře podzemního stavitelství u nás i v zahraničí je všeobecně známé a týká se vesměs obtížných zadání. Její pracovníci také přispěli do tohoto čísla TUNELU třemi kvalitními příspěvky z oblasti teorie, projektování i realizace podzemních staveb. Z dalšího obsahu čísla jsou dva články věnovány velmi aktuální problematice požární bezpečnosti, tři články popisují tunely v zahraničí (Indie, Turecko, Slovensko) a jeden kabelovou šachtu tunelu Klímkovice.

Věřím, že vás náplň čísla jedna 2007 potěší i poučí, stejně tak jako připravované vydání mimořádného čísla TUNELU, jež bude obsahovat plné znění konferenčních Key-note Lectures.

*Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., řádný profesor  
Stavební fakulty ČVUT v Praze, člen redakční rady časopisu Tunel  
a předseda vědecké rady WTC 2007*

## EDITORIAL

The first issue of TUNEL in 2007 cannot start another way than by reminding us of the exceptionally important event, the **World Tunnel Congress WTC 2007**, with the Czech Tunneling Committee being entrusted with the task of organising it. The Prague meeting of professionals active in the field of underground construction, which will take place in the first decade of May, will be the conclusion of several years of strenuous and time consuming activities associated with the preparation of the technical and social parts of the Congress. I firmly believe that the final result will satisfy and give pleasure to all of our guests, the attendees of the Congress persons who will accompany them. The feeling of relief after well done and useful work will certainly spread among all of those who participated in the preparation of the Congress and contributed to its success.

The preparation of the contents of the technical part of the Conference was very difficult, but the result is highly positive: 317 papers dealing with the current issues of underground engineering all over the world have been incorporated into the three-part congress proceedings, which is published by a renowned publishing house, A.A. Balkema Publishers. The proceedings will be available even in an electronic version. The number of papers being published is the highest ever experienced at world tunnel congresses ITA/AITES. Of the nine topic sections, the markedly highest interest of authors was attracted by *Research, development and design of underground structures and Tunnel excavation by conventional methods and by TBM (including monitoring)*. The overall summary of the papers with names of the authors and division into sections is available to the readers in the form of an appendix to this TUNEL issue, whereas more detailed information on the overall state of the Congress preparation is contained in the CTuC Reports).

The publication **Underground Construction in the Czech Republic**, which will be published on the occasion of the Congress dealings, provides both in words and graphically a review of the history of this construction branch, and detailed information on the presence and perspective for future years. Along with the Conference Proceedings, which deal with topical worldwide tunnelling issues, the English version of the publication will be a lasting reminder of the level of Czech underground construction for all participants of the conference, who will receive it as a part of the package of conference documents.

The Czech issue of the book, which will be freely available to any interested person, will fill up a gap existing in the series of technical-atechnical publications on civil engineering. No synoptic work on the topic of underground construction in the Czech Republic has been issued till now. It will, therefore, become a welcomed summary of facts and source of enlightenment for many interested professionals and inquisitive sympathisers as to the considerable and not generally known breadth of the content of underground construction work. More detailed information on the publication, which has already started to arouse justified interest, which has been proven by orders for both versions, is contained inside the magazine, in the *CTuC Reports*.

An anniversary, which took place during the course of the preparation of the first TUNEL issue, must not remain unnoticed in our technical magazine. The day of 18th January 2007 was the day of **300th anniversary of the Czech Technical University in Prague**. This date has been often disputed, in all probability because of the fact that the acknowledgement of this date makes the Czech Technical University (ČVUT) the oldest technical university in central Europe. A public school of engineering was formally founded under the name of the 'School of Engineering of the Estates in Prague' 40 years before the foundation of the renowned and still existing Ecole des Ponts et Chaussées in Paris (the Bridging and Road Construction School), which was founded in 1747. This date is, however, based on historical documents. Emperor Joseph I of Hapsburg decided on 18th January 1707, through a rescript written in Czech, that the engineering tuition was to be started and money for it be "scrapped together"...

The foundation of the School of Engineering of the Estates was initiated by Josef Christann Willenberg, who was then the first man to be commissioned by heading the new Engineering Chair (Professorship), even though as late as 1717 owing to hesitation of the Bohemian Estates. The tuition could, therefore, start in January 1718. Willenberg was a respected expert in fortification earthwork. It means that the mission of the School of Engineering of the Estates was in the military-fortification field at the beginning of the existence of the school. The character of the school changed during the tenure of J. F. Schor, the second professor, an outstanding artist (painter and architect) and theoretician, and primarily, after his death, during the tenure of professor F. A. Herget, a prominent expert in the field of geodesy and water management. It became predominantly a civil engineering school. This character was even emphasised after 1815 during the presence of professor F. J. Gerstner, an excellent astronomer, geodesist and expert in the field of hydraulic engineering and railway construction. It is impossible to fail to notice the fact that the School of Engineering of the Estates in Prague, which is the foundation of the today's Czech Technical University, profiled itself as a school focused on civil engineering. A more detailed survey of the historical development of the school, which is the alma mater for many of us, is available in the Jubilee column inside this magazine issue.

The editorial of this issue commemorates the fifteenth anniversary of the company, which is now named IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o. The successful activities of this company in the sphere of underground construction in the Czech Republic and abroad is generally known. They are mostly associated with difficult tasks. Its staff contributed to this TUNEL issue by submitting three quality articles dealing with the areas of theory, design and implementation of underground structures. Of the remaining contents of this issue, two articles are dedicated to the particularly topical problem of fire safety, three articles describe tunnels built abroad (India, Turkey, Slovakia), and one of them deals with a cable shaft for the Klímkovice tunnel.

I believe that the content of the first issue in 2007 will also please and enlighten you, as will the extra issue of TUNEL, which will contain full texts of the Congress Key-note Lectures.

*Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., a full-time professor of the Faculty of Civil Engineering  
of the Czech Technical University in Prague, a member of the Editorial Board of Tunel,  
and Chairman of the Scientific Council of the WTC 2007*





## VÁŽENÍ ČTENÁŘI ČASOPISU TUNEL,

po více než čtyřech letech má naše společnost IKP Consulting Engineers možnost prezentace v prestižním periodiku vydávaném ČTuK ITA/AITES. V uplynulém období u nás došlo ke změně vlastnických vztahů. Proto od února 2004 působíme na trhu projektových, konzultačních a inženýrských prací pod novým obchodním jménem místo původního ILF Consulting Engineers.

K zásadním změnám v zaměření činností naší společnosti nedošlo. V oblasti tunelářských staveb jsme tak mohli navázat na bohaté zkušenosti získané v období, kdy firma patřila k rakouské skupině ILF Consulting Engineers. Racionální přístup k tunelářské problematice i vysokou odbornou úroveň našich jižních sousedů považujeme za stále hodnou následování. A mimoto šel vývoj samozřejmě dál. Pracovníci našeho oddělení geotechniky a podzemních staveb prohlubovali svoje znalosti a zkušenosti jak při přípravě dokumentace dalších podzemních staveb, tak aktivní spoluprací s řadou ostatních partnerů doma i v zahraničí.

Při zpracování dokumentace i při konzultační činnosti v oboru podzemních staveb naši specialisté pečlivě sledují vývoj v oboru. Ve své práci se snaží účelně aplikovat nové přístupy a metody s cílem navrhovat řešení bezpečná a zároveň přínášející našim partnerům při realizaci úspory jak časové, tak i nákladové. V tomto čísle časopisu Tunel jsou prezentovány některé projekty, na kterých se naše společnost IKP Consulting Engineers podílela. K těm mi dovoluji několik poznámek.

Při zpracování realizační dokumentace pro tunel Liboucheč na dálnici D8 byla navržena změna původního řešení na realizaci nevyztuženého sekundárního ostění. Ačkoliv při výstavbě tunelů v již zmíněném Rakousku je použití nevyztuženého definitivního ostění běžné, prosadit návrh nebylo v našich podmínkách vůbec jednoduché. Záměr vyžadoval od našich pracovníků značné úsilí, rozhodně nad rámec obvyklého rozpracování předchozího stupně do úrovně realizační dokumentace. S pomocí zúčastněných partnerů ve výstavbě se podařilo návrh realizovat a uvedené řešení může být precedencem i pro další tunely jak silniční, tak železniční. Návrh nevyztuženého ostění si vyžádal zcela nový teoretický přístup k problematice, o které je v tomto čísle článek zpracovaný spoleautory.

Zároveň však zkušenosti z uvedené zakázky ukazují, jak je u nás stále ještě těžké prosazovat nové myšlenky při složitých vztazích mezi partnery v investiční výstavbě. A v neposlední řadě, jak hluboce je zakořeněna snaha ušetřit na nákladech za projektovou dokumentaci, přestože právě tady je možné vhodným a účelným řešením dosáhnout optimálního vynakládání investičních finančních prostředků v řádově vyšších hodnotách.

Dalším projektem, kde se podařilo našim pracovníkům uplatnit nové a ne zcela obvyklé řešení, je železniční tunel Březno. I o něm je pojednáno v tomto čísle v samostatném článku. V rámci konzultační činnosti pro dodavatelskou firmu Metrostav a. s. byly našimi pracovníky navrhovány možné varianty zmačání závalu z roku 2003. Po konzultacích a ve spolupráci se zákazníkem byl přijat návrh na realizaci únikové šachty o světlem průměru 20 m. Ve složitých geotechnických podmínkách byla šachta úspěšně a bez větších problémů realizována. Ke zdánlivé realizaci dříve před plánovaným termínem přispělo, kromě dobré práce dodavatelů, i flexibilní řešení navržené pracovníky IKP Consulting Engineers v rámci realizační dokumentace.

Z dalších projektů z posledního období rozhodně stojí za zmínku realizační dokumentace tunelu Vepřek na I. železničním koridoru, který byl prvním železničním tunelem realizovaným pomocí NRTM. Pro České dráhy naše firma dále zpracovala projekt stavby tunelů Malá Huba a Hněvkovský I. na III. železničním koridoru a přípravnou dokumentaci tunelů Olbramovický, Votický a Tomický na IV. železničním koridoru. Ze současných aktivit se jedná především o zpracovávání realizační dokumentace na tunelové objekty stavby 513 Vestec – Lahovice na silničním okruhu okolo Prahy.

Kromě zpracování projektové dokumentace jsme se rovněž zabývali konzultační a supervizní činností. Při této příležitosti je na místě zmínit zejména supervizi při zpracování realizační dokumentace tunelů Nového spojení v Praze. V konstruktivní spolupráci s projektantem a dodavateli se podařilo aplikovat řadu vhodných řešení, z nichž je potřebné zmínit zejména aplikaci nevyztuženého definitivního ostění pro tyto dvoukolejné železniční tunely. Je jasné, že i v tomto případě došlo k časovému a nákladovému úsporám.

Rozsáhlá modernizace a rozšiřování našeho železničního i silničního dopravního systému přinesly i celou řadu staveb podzemního stavitelství. Kromě zajímavé práce získávají odborníci v oboru geotechniky a podzemních staveb i řadu nových poznatků a zkušeností. Tento trend u nás pokračuje a značnou možnost k realizaci dává i velký rozsah obdobných investic na Slovensku. Už jenom v těchto dvou zemích je možné vidět budoucnost tunelářské profese jako velice perspektivní, a proto bych chtěl všem tunelářům popřát do budoucích let mnoho úspěšných a prospěšných staveb.

## DEAR READERS OF TUNEL MAGAZINE

After more than four years, our company IKP Consulting Engineers is given the opportunity of presentation in this prestigious CTuK ITA/AITES-issued periodical. The ownership relationships changed in our company over the past period. For that reason, we have operated in the design, consultancy and engineering services market under a new trade name since February 2004; the original name ILF Consulting Engineers was replaced.

No fundamental changes in the orientation of our company activities have occurred. We were, therefore, able to follow up the wealth of experience gathered in the field of tunnel construction in the period in which the company was part of the Austria-based group ILF Consulting Engineers. The rational attitude towards tunnelling problems and the high professional level of our southern neighbours is still worth following for us. Of course, development continued even in our company. The staff of our departments of geotechnics and underground construction deepened their knowledge and experience both during preparation of documents for new underground projects and through active collaboration with many other business-mates in this industry, both domestic and foreign.

While working on documents or providing consultancy services in the field of underground construction, our specialists thoroughly observe the developments in this construction branch. They make an effort at their work to reasonably apply new approaches and methods, with the aim of creating designs which are safe and, at the same time, beneficial for our customers during the construction in terms of time and cost savings. This issue of Tunel contains presentations of several pieces of design work in which our company IKP Consulting Engineers participated. Let me add several comments on them.

A change in the original design for the Liboucheč tunnel on the D8 motorway was proposed during the work on the detailed design – the reinforced concrete to be used for the secondary lining was replaced by unreinforced concrete. Even though utilisation of unreinforced concrete in tunnel construction for a final lining is commonplace in above-mentioned Austria, it was not at all simple to push this design through in Czech conditions. Our personnel had to make significant efforts, certainly beyond the scope of the usual elaboration of the previous design stage to the detailed design stage. The design was successfully implemented owing to the assistance of the parties to the project. This solution could become a precedent even for other tunnels, both road and railway ones. The design of the unreinforced concrete lining required an absolutely new theoretical approach towards this problem. It is described by the co-authors in a paper, which is contained in this magazine issue.

However, the experience gained from this project, at the same time, shows that it still has been difficult in the Czech Republic to implement new ideas in the conditions of complicated relationships between parties to the project. And, at last but not least, it shows how deep rooted is the effort to achieve savings in the cost of design documents despite the fact that this is the right point where optimum investment costs can be achieved through an appropriate and effective solution, with savings higher by an order of magnitude than those achieved through economising on the design.

Another project where our personnel succeeded in the application of a new and not entirely usual design approach was the Březno tunnel. This tunnel is also described in a separate paper in this issue of Tunel. Our employees designed, in the framework of consultancy services to the contractor, Metrostav a.s., possible variants of dissolving a collapse, which happened in 2003. After consultations, the final design consisting of an escape shaft with the net internal diameter of 20m was developed in collaboration with the customer. The shaft was successfully sunk in difficult geotechnical conditions without significant problems. The flexible solution, which was prepared by IKP Consulting Engineers personnel as a part of the work on the detailed design, was, apart from the good work of the contractor and sub-contractor, one of the factors which contributed to the successful completion of the works, even ahead of the schedule.

Of the other design assignments of the recent period, the final design for the Vepřek tunnel on the Railway Corridor I is definitely worth mentioning. This was the first railway tunnel to be built by the NATM. Czech Railways was our customer also in the case of the Malá Huba and Hněvkovský tunnels on the Railway Corridor III (the detailed designs) and the Olbramovice, Votice and Tomice tunnels on the Railway Corridor IV (the design documentation for issuance of zoning and planning decision). Of the current activities, I should mention the work on the detailed design for tunnels on the Prague City Circle Road, construction lot 513 Vestec – Lahovice.

Apart from designing, we have also been involved in consultancy and supervision. Here I should mention our supervision over the detailed design for the New Connection Project tunnels in Prague. The constructive collaboration with the designer and contractors resulted in successful application of a number of suitable solutions. The most significant of them was the application of unreinforced final lining to the double-track railway tunnels. Obviously, this solution has also yielded time and cost savings.

The extensive modernisation and expansion of our railway and road transport systems have carried with them the need for numerous buildings. This is also a source of interesting work, but also interesting know-how and experience, for geotechnical and underground construction specialists. This trend continues to exist not only in the Czech Republic, but also in Slovakia, where significant opportunities are offered owing to the great extent of similar projects. The two countries are only examples proving the fact that the future of the tunnelling profession is very bright. Therefore, I would like to wish all tunnellers success in implementing many useful constructions.

**ING. JIŘÍ ROSICKÝ**

**Jednatel a výkonný ředitel, IKP Consulting Engineers, s. r. o.  
Acting Secretary and Executive Director, IKP Consulting Engineers, s. r. o.**

# NELINEÁRNÍ VÝPOČET BETONOVÝCH OSTĚNÍ TUNELŮ

## NON-LINEAR ANALYSIS OF CONCRETE TUNNEL LINERS

ALEŠ ZAPLETAL, JIŘÍ HOŘEJŠÍ

### 1. ÚVOD

V poslední době se v českých tunelářských kruzích setkáváme se snahou navrhovat definitivní ostění tunelů z prostého betonu. Že to možné je, dokazují tunely z prostého betonu vybudované či budované nejenom v okolním světě, ale i u nás. V Praze je takto postaven Letenský tunel (do provozu uveden v roce 1953) a oba tratěvé tunely na linii A metra pod Vltavou, mezi stanicemi Staroměstská a Malostranská (zhotoveny technologií lisovaného betonu a do provozu uvedeny v roce 1978).

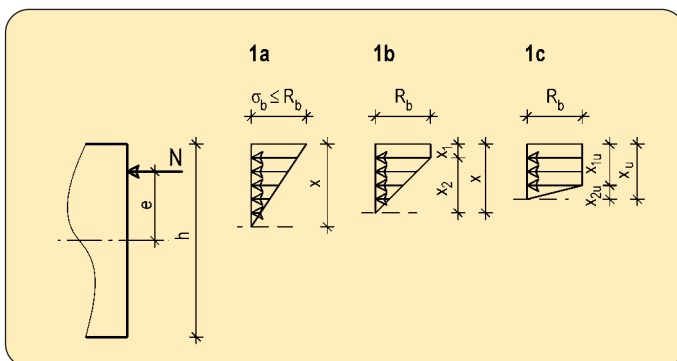
Sama myšlenka tunelu z prostého betonu u nás tedy není nová. Nové je pouze to, že se objevuje ve spojení s Novou rakouskou tunelovací metodou.

Z hlediska statiky novum tohoto typu není významné. Podstatné z hlediska statiky je, že pokud má být ostění z prostého betonu navrženo nejenom bezpečně, ale i hospodárně, nevystačíme většinou s koncepcí lineárního ostění. Musíme přistoupit k výpočtu nelineárnímu, neboli k výpočtu, který respektuje fakt, že se v ostění (po překročení meze trhlín) vytvářejí trhliny a některé průřezy se plastifikují. Trhliny (za předpokladu, že trhlinka není schopna přenést zbytkový tah) způsobí, že výslednice normálových sil ostění zaujmou polohu uvnitř betonového průřezu. To umožňuje odvodit únosnost ostění z výpočtových pevností betonu v tlaku a dosáhnout tak ekonomického návrhu konstrukce. (Poznámka: Pokud leží normálová síla mimo průřez ostění – což může být výsledek lineárního výpočtu – je moment, který síla vyvolává, k zachycení pouze za pomoci tahových napětí betonu, neboť armatura chybí. Tahová pevnost je však řádově menší nežli pevnost tlaková. A to se nutně musí projevit na dimenzích navrhované konstrukce.)

V tomto článku publikujeme fyzikální vztahy, na kterých je možno nelineární výpočet tunelového ostění založit, když toto ostění je modelováno jako prutová soustava.

Nelineární výpočet je jistě možno uskutečnit i na ostění železobetonovém. Fyzikální vztahy jsou zde komplikovanější a vztahy na prostém betonu jsou pak jejich zvláštním případem. Proto se následující text zabývá prioritně železobetonem, a teprve poté jsou doloženy vztahy odvozené pro prostý beton.

Lineární výpočty nevyžadují kontrolu ve smyslu zajištění náležitosti duktility ostění (ostění nemají příliš vysoké stupně vyztužení). U nelineárních výpočtů je však zapotřebí schopnost průřezů přenést deformace prověřit. To je v našem případě splněno, neboť odvozené vzorce obsahují jako jeden z argumentů poměrné deformace krajních vláken tlačенého betonu, resp. tažené armatury.



Obr. 1 Vývoj namáhání tlačené oblasti betonového průřezu

Fig. 1 Stress development in the compression zone of concrete section

1a Beton namáhán pružně / 1a Concrete in the elastic state

1b Beton částečně plastifikován / 1b Concrete in the state of partial plasticification

1c Beton ve stavu mezní únosnosti:  $x_{2u} = \epsilon_{pp} / \epsilon_{kp} \cdot x_u$

1c Concrete in the ultimate limit state:  $x_{2u} = \epsilon_{pp} / \epsilon_{kp} \cdot x_u$

### 1. INTRODUCTION

We have been lately able to notice efforts in Czech tunnel construction circles to design final liners of tunnels using unreinforced concrete. The tunnels lined in unreinforced concrete which have been completed not only abroad but also in the Czech Republic are the proof that it is possible. This type of design was used in Prague for the construction of the Letná tunnel (opened to traffic in 1953) and both running tunnels on Line A of the underground railway passing under the Vltava River, between Staroměstská (Old Town) and Malostranská (Lesser Town) stations (which were built using a compressed concrete technique and opened to traffic in 1978).

The idea of using unreinforced concrete for tunnel structures is, therefore, not new in the Czech Republic. The novelty is only the fact that it appears in the combination with the New Austrian Tunnelling Method.

The novelty of this type is insignificant in terms of statics. What is significant in terms of statics is the fact that if the designed unreinforced concrete lining is to be not only save but also economical, than the concept of linear lining is mostly insufficient. We have to approach a non-linear analysis, it means an analysis which respects the fact that cracks occur in the lining (when the limit of cracking has been exceeded) and some sections become plasticized. As a result of the origination of cracks (on the assumption that the crack is not capable of carrying the residual tension), the resultant of normal forces in the lining shifts inside the concrete section. Owing to this fact, the load-bearing capacity of the lining can be deduced from the design values of compressive strengths of concrete, thus an economical design of the structure can be arrived at. (Note: When the normal force lies outside the lining structure cross section, which may be a result of the linear analysis, the moment induced by the force can be carried only by the tensile stresses in concrete because of the fact that concrete reinforcement is missing. However, the tensile strength is lower by order of magnitude than compressive strength. It has definitely to influence dimensions of the structure being designed).

The physical relationships we publish in this paper can be used as a basis of the non-linear structural analysis of the tunnel lining where the lining is modelled as a framework system.

A non-linear analysis can certainly be applied to a reinforced concrete lining. The physical relationships are more complicated in this case, and relationships regarding unreinforced concrete are a special case of these relationships. For that reason, the following text deals with reinforced concrete as a priority, and the relationships deduced for unreinforced concrete are documented subsequently.

Linear analyses do not require checking in the meaning of ensuring proper ductility of the lining (the liners do not have too high percentage of reinforcement). It is, however, necessary for non-linear analyses to check the capability of the sections to carry strain. This requirement is met in our case because the formulas derived contain the strain in edge fibres of a compressed concrete section and strain in tension reinforcement bars as one of the arguments.

### 2. BASIC CONCEPTS

#### 2.1. General description of the stress and strain condition in the section

The non-linear modelling relationships we will derive below will be usable if we are able to express the stress - strain state in the concrete section at any  $M \times N$  ( $M$ =moment,  $N$ =Normal Force) combination falling within or on the  $M - N$  interaction diagram.

## 2. ZÁKLADNÍ POJMY

### 2.1. Obecný popis napjatosti a deformace průřezu

Vztahy nelineárního modelování, které zde odvodíme, budou použitelné, dokážeme-li vyjádřit stav napjatosti a deformace betonového průřezu při jakékoliv kombinaci  $M \times N$  ( $M$  = moment,  $N$  = normálová síla) ležící uvnitř interakčního diagramu, resp. na interakčním diagramu.

Toto vyjádření provedeme za předpokladu, že se průřez deformuje neustále (tedy bez ohledu na trhliny a plastifikaci betonu či oceli) lineárně (rovinně) a že plastifikace průřezu je podřízena (obr. 3) pracovním diagramům betonu či oceli tak, jak je uvádějí normy (ČSN 731201, čl. 2.1.4, čl. 2.2.2.3; ČSN P ENV 1992-1-1, čl. 4.2.1.3.3, čl. 4.2.2.3.2).

Důsledkem je (obr. 1), že plastifikaci průřezu bude odpovídat lichoběžníkové rozdělení napětí po výšce tláčené oblasti a že i plná plastifikace průřezu (dosažení mezního stavu únosnosti) bude v tláčené části betonu popsána lichoběžníkovým rozdělením napětí (nikoliv obdélníkovým). Pro výšky  $x_u, x_{1u}, x_{2u}$  v mezním stavu únosnosti platí (ve všech následujících rovnicích dosazujeme všechny veličiny s kladným znaménkem):

$$x_{2u} = \frac{\varepsilon_{pp} * x_u}{\varepsilon_{kp}} = \frac{R_b * x_u}{E_b * \varepsilon_{kp}}, \quad (1)$$

$$x_{1u} = x_u * \left(1 - \frac{R_b}{E_b * \varepsilon_{kp}}\right). \quad (2)$$

V rovnicích je  $R_b$  pevnost betonu v tlaku,  $\varepsilon_{pp} = R_b/E_b$  a  $\varepsilon_{kp}$  je mezní poměrné přetvoření betonu.

Uvažujme o obdélníkovém průřezu z prostého betonu výšky  $h$  a šířky  $b$ . V souřadném systému  $M, N$  sestrojme jeho interakční diagram. Vedme paprsek procházející počátkem, který je množinou možných kombinací  $M \times N$  při téže excentricitě  $e = M/N = konst.$  (obr. 2). Na tomto paprsku existují po překročení meze trhlin dva významné body: bod PP o souřadnicích  $M_{pp}, N_{pp}$ , a bod KP o souřadnicích  $M_{kp}, N_{kp}$ .

Bod PP je bodem počátku plastifikace průřezu. Napětí v tláčené části betonu je po výšce průřezu rozděleno podle trojúhelníka a jeho velikost v krajních vláknech je  $R_b$ . Normálová síla dosahuje velikosti

$$N_{pp} = \frac{3}{2} * R_b * b * \left(\frac{h}{2} - e\right), \quad (3)$$

zatímco deformace krajních vláken je

$$\varepsilon_{pp} = R_b/E_b \quad (4)$$

a výška tláčené oblasti

$$x = 3 * \left(\frac{h}{2} - e\right). \quad (5)$$

Normálová síla  $N < N_{pp}$ , působící na téže excentricitě, vyvolává rovněž trojúhelníkové rozdělení napětí s výškou tláčené oblasti podle rovnice (5), avšak s napětím v krajních tláčených vláknech o velikosti

$$\sigma_b = \frac{2}{3} * \frac{N}{b * \left(\frac{h}{2} - e\right)} \quad (6)$$

a poměrnou deformací krajních vláken

$$\varepsilon = \sigma_b/E_b \quad (7)$$

Síla  $N \in (N_{pp}, N_{kp})$  způsobuje plastifikaci tláčeného betonu, která vede na lichoběžníkové rozdělení napětí podle obr. 1.

Platí

$$x_2 = \left(\frac{24N}{R_b * b} * \left(\frac{h}{2} - e\right) - 12 \frac{N^2}{R_b^2 * b^2}\right)^{1/2}, \quad (8)$$

$$x_1 = \frac{N}{R_b * b} - \frac{x_2}{2}. \quad (9)$$

Součet  $x_1 + x_2$  je vždy menší než  $x$  z rovnice (5).

Pro poměrnou deformaci krajních vláken obdržíme:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{pp} * \frac{x_1 + x_2}{x_2} = \frac{R_b}{E_b} * \frac{x_1 + x_2}{x_2}. \quad (10)$$

V bodě KP je průřez plně plastifikován při normálové síle

$$N_{kp} = \frac{3 * (2 - \xi)^2}{4 * (\xi^2 - 3\xi + 3)} * (h - 2e) * R_b * b = \Xi * (h - 2e) * R_b * b, \quad (11)$$

když

This formulation is based on the assumption that the deformation of the section proceeds (irrespective of cracks and plastification of concrete or steel) linearly (i.e. in a planar manner) and that the plastification of the section corresponds (see Fig. 3) to the stress-strain diagrams of concrete or steel in a way which is described in standards (ČSN 731201, čl.2.1.4, čl.2.2.2.3; ČSN P ENV 1992-1-1, čl.4.2.1.3.3, čl.4.2.2.3.2).

Consequently (see Fig. 1), trapezoidal stress distribution through the depth of the compression zone will correspond to the plastification of the section, and the full plastification of the section (the reaching of the ultimate limit state) will also be described by the trapezoidal distribution (not rectangular). It can be stated about the  $x_u, x_{1u}, x_{2u}$  depths in the ultimate limit state (all quantities inserted in all of the equations below have a positive sign) that:

$$x_{2u} = \frac{\varepsilon_{pp} * x_u}{\varepsilon_{kp}} = \frac{R_b * x_u}{E_b * \varepsilon_{kp}}, \quad (1)$$

$$x_{1u} = x_u * \left(1 - \frac{R_b}{E_b * \varepsilon_{kp}}\right). \quad (2)$$

In the equations,  $R_b$  is the compressive strength of concrete,  $\varepsilon_{pp} = R_b/E_b$  and  $\varepsilon_{kp}$  is the limit strain in concrete.

Let us assume a rectangular unreinforced concrete section with depth  $h$  and width  $b$ . Let us construct an interaction diagram of the section in an  $M, N$  coordinate system. Let us assume a line passing through the origin, which is a  $M \times N$  combination set with the same eccentricity  $e = M/N = const.$  (see Fig. 2). There are two significant points on this line after the limit state of cracking is exceeded: the PP point with the  $M_{pp}, N_{pp}$  coordinates, and KP point with  $M_{kp}, N_{kp}$  coordinates.

The PP point denotes the starting point of the section plastification. The stress distribution in the compression zone is developed in the triangular shape through the depth of section; the stress value in the outermost fibres is  $R_b$ . The normal force reaches the value of

$$N_{pp} = \frac{3}{2} * R_b * b * \left(\frac{h}{2} - e\right), \quad (3)$$

$$\varepsilon_{pp} = R_b/E_b \quad (4)$$

and the depth of the compression zone

$$x = 3 * \left(\frac{h}{2} - e\right). \quad (5)$$

The normal force  $N < N_{pp}$  acting on the same eccentricity also results in triangular stress distribution with the compression zone depth according to the equation (5), but with the stress value in the outermost fibres under compression

$$\sigma_b = \frac{2}{3} * \frac{N}{b * \left(\frac{h}{2} - e\right)} \quad (6)$$

and the strain in outermost fibres

$$\varepsilon = \sigma_b/E_b \quad (7)$$

The force  $N \in (N_{pp}, N_{kp})$  causes plastification in the concrete compression zone, which results in the trapezoidal stress distribution according to Fig. 1.

It can be stated that

$$x_2 = \left(\frac{24N}{R_b * b} * \left(\frac{h}{2} - e\right) - 12 \frac{N^2}{R_b^2 * b^2}\right)^{1/2}, \quad (8)$$

$$x_1 = \frac{N}{R_b * b} - \frac{x_2}{2}. \quad (9)$$

The sum  $x_1 + x_2$  is always smaller than the  $x$  from the equation (5).

For the strain in outermost fibres, we obtain:

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{pp} * \frac{x_1 + x_2}{x_2} = \frac{R_b}{E_b} * \frac{x_1 + x_2}{x_2}. \quad (10)$$

In the KP point, the section is fully plasticized at the normal force

$$N_{kp} = \frac{3 * (2 - \xi)^2}{4 * (\xi^2 - 3\xi + 3)} * (h - 2e) * R_b * b = \Xi * (h - 2e) * R_b * b, \quad (11)$$

where

$$\xi = \frac{\varepsilon_{pp}}{\varepsilon_{kp}} = \frac{R_b}{E_b * \varepsilon_{kp}} \quad \text{and} \quad \Xi = \frac{3 * (2 - \xi)^2}{4 * (\xi^2 - 3\xi + 3)}. \quad (12)$$

The quantities  $x_{1u}, x_{2u}$  are calculated from the equations (8) and (9), where we insert  $N = N_{kp}$ .

$$\xi = \frac{\epsilon_{pp}}{\epsilon_{kp}} = \frac{R_b}{E_b \cdot \epsilon_{kp}} \quad \text{a} \quad \Xi = \frac{3 \cdot (2 - \xi)^2}{4 \cdot (\xi^2 - 3\xi + 3)} \quad (12)$$

Veličiny  $x_{1u}, x_{2u}$  vypočteme z rovnic (8), (9), kam dosadíme za  $N = N_{kp}$ . Předchozí rovnice popisují prasklý obdélníkový průřez z prostého betonu ve stavu, kdy se tlacený beton chová pružně, popř. když je částečně plastifikován, popř. když je zcela plastifikován. Průřez je takto popsán ve všech aspektech, které bude vyžadovat formulace nelineárních vztahů pro ostění z prostého betonu.

Obdobné vztahy je nutno odvodit i pro železobeton, pokud by byl materiálem ostění. My se tím zabývat nebudeme, protože to leží mimo záměr tohoto článku a návod jak postupovat jsme poskytli.

### 2.2. Náhradní výška tažené armatury $x_a$

Budeme používat pojem „náhradní výška tažené armatury  $x_a$ “. Výška  $x_a$  je dána vztahem  $x_a = \lambda \cdot f_a / b$ , kde  $f_a / b$  je výška pásu oceli, který vznikne rovnoměrným „rozmazáním“ armatury s plochou  $f_a$  po šířce průřezu (obdélníkového) na úrovni těžiště armatury. Součinitel  $\lambda$  převádí ocel na beton a zohledňuje míru plastifikace průřezu.

Výraz pro  $x_a$  získáme z rovnice (21), kterou nyní odvodíme: Předpokládáme, že normálová síla  $N$ , působící na excentricitě  $e$ , vyvolává v obdélníkovém železobetonovém průřezu stav napětí a deformace podle obr. 3. Platí:

$$N = \sigma_b \cdot b \cdot x_1 + \frac{1}{2} \sigma_b \cdot b \cdot x_2 - \sigma_a \cdot f_a \quad (13)$$

$$\epsilon_a = \epsilon_{pp} \frac{h_0 - x}{x_2} \quad (14)$$

Rovnici (13) upravíme tím, že nejprve vytkneme před závorku  $\sigma_b \cdot b$  a poté v závorce zavedeme substituci  $\sigma_b = \sigma_b^* \cdot \frac{x_2}{h_0 - x}$ , kde  $\sigma_b^*$  je fiktivní napětí v betonu na úrovni armatury, definované předchozí substitucí:

$$N = \sigma_b \cdot b \cdot \left(x_1 + \frac{x_2}{2} - \frac{\sigma_a \cdot f_a}{\sigma_b \cdot b}\right) = \sigma_b^* \cdot b \cdot \left(x_1 + \frac{x_2}{2} - \frac{\sigma_a \cdot f_a}{\sigma_b^* \cdot b} \cdot \frac{h_0 - x}{x_2}\right) = \sigma_b^* \cdot b \cdot \left(x_1 + \frac{x_2}{2} - \lambda \cdot \frac{h_0 - x}{x_2} \cdot \frac{f_a}{b}\right) \quad (15)$$

Rovnici (15), kde  $\lambda = \sigma_a / \sigma_b^*$ , dále upravíme:

$$\frac{N \cdot x_2}{\sigma_b^* \cdot b} = x_1 x_2 + \frac{x_2^2}{2} - \lambda \cdot (h_0 - x) \cdot \frac{f_a}{b} \quad (16)$$

Statický moment plochy tlacného betonu výšky  $x_1$  a jednotkové šířky  $b=l$  k neutrálné ose je

$$S_{x_1+x_2}^{x_1} = \frac{x_1^2}{2} + x_1 x_2 \quad (17)$$

zatímco statický moment betonu výšky  $x_1$  a jednotkové šířky  $b=l$  k ose vzdálené od tlacného okraje o  $x_1$  je

$$S_{x_1}^{x_1} = \frac{x_1^2}{2} \quad (18)$$

takže

$$x_1 x_2 = S_{x_1+x_2}^{x_1} - S_{x_1}^{x_1} \quad (19)$$

Protože dále

$$S_{x_1+x_2}^{x_2} = \frac{x_2^2}{2} \quad (20)$$

je statický moment tlacného betonu výšky  $x_2$  a jednotkové šířky  $b = l$  k neutrálné ose, můžeme rovnici (16) psát ve tvaru

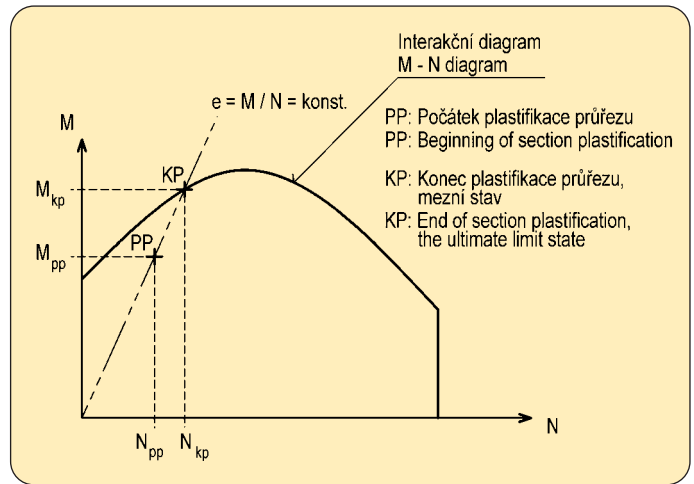
$$\frac{N \cdot x_2}{\sigma_b^* \cdot b} + S_{x_1}^{x_1} = S_{x_1+x_2}^{x_1} + S_{x_1+x_2}^{x_2} - (h_0 - x) \cdot \lambda \cdot \frac{f_a}{b} = S_{x_1+x_2}^{x_1+x_2} - (h_0 - x) \cdot \lambda \cdot \frac{f_a}{b} = S_r \quad (21)$$

kde  $(h_0 - x) \cdot \lambda \cdot \frac{f_a}{b}$  je statický moment jednotkové šířky náhradní plochy armatury  $\lambda \cdot f_a$  o náhradní výšce

$$x_a = \lambda \cdot \frac{f_a}{b} = \frac{\sigma_a \cdot f_a}{\sigma_b^* \cdot b} \quad (22)$$

k neutrálné ose.  $S_{x_1+x_2}^{x_1+x_2}$  je statický moment celé plochy tlacného betonu k neutrálné ose a  $S_r$  je statický moment veškeré účinné plochy o jednotkové šířce  $b=l$  k téže ose.

Koeficient  $\lambda$  nabývá různých hodnot podle toho, v jakém stavu plastifikace se nalézá průřez. Vzorce pro jeho výpočet spolu se vzorci pro  $x_a$  nalezneme v tabulce 1, kde  $E_a$  je modul pružnosti oceli a  $R_a$  je pevnost oceli.



Obr. 2 Postupná plastifikace betonového průřezu  
Fig. 2 Gradual plastification of the concrete section

The above equations describe a cracked rectangular unreinforced concrete section in the condition of elastic behaviour of the concrete compression zone, possibly of its partial or full plastification. Thus, the concrete section is described in all aspects needed for formulation of non-linear relationships for unreinforced concrete lining.

It is necessary to derive similar relationships for reinforced concrete if this material is used for the lining. We are not going to deal with this case because it is beyond the scope of this paper and we have provided guidance as to how to proceed.

### 2.2. The transformed depth of tension reinforcement $x_a$

We will use the term "a transformed depth of tension reinforcement  $x_a$ ". The depth  $x_a$  is given by the relationship  $x_a = \lambda \cdot f_a / b$ , where  $f_a / b$  is the depth of a steel band which originates by spreading of the steel reinforcement area  $f_a$  uniformly throughout the width of the (rectangular) cross section, at the centre of reinforcement level. The coefficient  $\lambda$  converts steel to concrete, taking into account the stage of the section plastification.

We will obtain the expression for  $x_a$  from the equation (21), which is derived as follows:

Let us assume that the normal force  $N$ , acting on an eccentricity  $e$  induces a state of stress and strain in the rectangular reinforced concrete cross section according to Fig. 3.

It can be stated that:

$$N = \sigma_b \cdot b \cdot x_1 + \frac{1}{2} \sigma_b \cdot b \cdot x_2 - \sigma_a \cdot f_a \quad (13)$$

$$\epsilon_a = \epsilon_{pp} \frac{h_0 - x}{x_2} \quad (14)$$

We will rearrange the equation (13); first we factor  $\sigma_b \cdot b$  out and then we use substitution  $\sigma_b = \sigma_b^* \cdot \frac{x_2}{h_0 - x}$  in the brackets, where  $\sigma_b^*$  is the fictitious stress in the concrete at the reinforcement level as defined by the above substitution:

$$N = \sigma_b \cdot b \cdot \left(x_1 + \frac{x_2}{2} - \frac{\sigma_a \cdot f_a}{\sigma_b \cdot b}\right) = \sigma_b^* \cdot b \cdot \left(x_1 + \frac{x_2}{2} - \frac{\sigma_a \cdot f_a}{\sigma_b^* \cdot b} \cdot \frac{h_0 - x}{x_2}\right) = \sigma_b^* \cdot b \cdot \left(x_1 + \frac{x_2}{2} - \lambda \cdot \frac{h_0 - x}{x_2} \cdot \frac{f_a}{b}\right) \quad (15)$$

The equation (15), where  $\lambda = \sigma_a / \sigma_b^*$ , will be further rearranged:

$$\frac{N \cdot x_2}{\sigma_b^* \cdot b} = x_1 x_2 + \frac{x_2^2}{2} - \lambda \cdot (h_0 - x) \cdot \frac{f_a}{b} \quad (16)$$

The static moment of the part of compression zone area of depth  $x_1$  and unit width  $b=l$ , to the zero line is

$$S_{x_1+x_2}^{x_1} = \frac{x_1^2}{2} + x_1 x_2 \quad (17)$$

while the static moment of the part of compression zone area of depth  $x_1$  and unit width  $b=l$ , to the axis at  $x_1$  distance from the outermost fibres under compression is

## 2.3. Zaměnitelnost konstrukcí

### 2.3.1. Zaměnitelnost prutových rovinných konstrukcí

Dvě rovinné prutové konstrukce s totožnou geometrií střednice a stejného uložení (dále konstrukce) nazveme zaměnitelnými, vyvolává-li v nich stejné zatížení stejná přetvoření  $w = \{w_x, w_y\}$  a stejné vnitřní síly  $M, N, Q$  (= moment, normálová síla, posouvající síla).

### 2.3.2. Zaměnitelnost lineárních konstrukcí

Dvě lineárně pružné konstrukce (jedna s indexací  $m$ , druhá s indexací  $s$ ) jsou zaměnitelné tehdy, platí-li ve stejných místech střednic konstrukcí:

$$E_m I_m = E_s I_s, \quad (23a)$$

$$E_m F_m = E_s F_s. \quad (23b)$$

$E$  je modul pružnosti,  $I$  moment setrvačnosti průřezu a  $F$  plocha průřezu. Jsou-li dvě lineárně pružné konstrukce zaměnitelné, pak ve stejných místech jejich střednic platí ( $M = M_m = M_s$  a  $N = N_m = N_s$ ):

- pro křivosti  $\rho_m$  a  $\rho_s$

$$\rho_m = 1/r_m = M/(E_m I_m) = M/(E_s I_s) = 1/r_s = \rho_s \quad (24)$$

- pro střední poměrné přetvoření, definované jako  $\varepsilon_{stř} = (\int_F \varepsilon dF) / F$

$$(\varepsilon_{stř})_m = (\int_F \varepsilon_m dF_m) / F_m = N / (E_m F_m) = N / (E_s F_s) = (\int_F \varepsilon_s dF_s) / F_s = (\varepsilon_{stř})_s \quad (25)$$

KOEFCIENT $\lambda$ COEFFICIENT $\lambda$ NÁHRADNÍ VÝŠKA TAŽENÉ ARMATURY $x_a$ TRANSFORMED DEPTH OF TENSION REINFORCEMENT $x_a$		
BETON CONCRETE		
VE STAVU PRUŽNÉM IN ELASTIC STATE		
VE STAVU PLASTICKÉM IN PLASTIC STATE		
OCEL STEEL REINFORCEMENT	VE STAVU PRUŽNÉM IN ELASTIC STATE	$\lambda = \frac{E_a}{E_b}$
		$x_a = \frac{E_a}{E_b} * \frac{f_a}{b}$
	VE STAVU PLASTICKÉM IN PLASTIC STATE	$\lambda = \frac{R_a}{\sigma_b} * \frac{x}{h_0 - x}$ $\sigma_b \in (0, R_b); x_2 = x$
		$x_a = \frac{R_a}{\sigma_b} * \frac{x}{h_0 - x} * \frac{f_a}{b}$
		VE STAVU PRUŽNÉM IN ELASTIC STATE
		VE STAVU PLASTICKÉM IN PLASTIC STATE
		$\lambda = \frac{E_a}{E_b}$
		$x_a = \frac{E_a}{E_b} * \frac{f_a}{b}$
		$\lambda = \frac{R_a}{R_b} * \frac{x_2}{h_0 - x}$
		$x_a = \frac{R_a}{R_b} * \frac{x_2}{h_0 - x} * \frac{f_a}{b}$

Tabulka 1 / Table 1

### 2.3.3. Zaměnitelnost lineární a nelineární konstrukce

Nelineární konstrukcí je nadále míněna betonová konstrukce, na které je v některých průřezích překročena mez trhlin a která se nalézá v libovolném stupni plastifikace, takže její průřezy mohou být ve stavu pružném, popř. částečně plastifikovaném, popř. mezním.

Lineární konstrukci (s indexací  $m$ ) pokládáme za zaměnitelnou s nelineární konstrukcí (s indexací  $s$ ), když pro  $M = M_m = M_s$  a  $N = N_m = N_s$  ve stejných bodech střednic těchto konstrukcí platí:

$$\rho_m = 1/r_m = M/(E_m I_m) = 1/r_s = \rho_s, \quad \rho_s \neq M/(E_s I_s) \quad (26)$$

$$(\varepsilon_{stř})_m = N/(E_m F_m) = (\varepsilon_{stř})_s, \quad (\varepsilon_{stř})_s \neq N/(E_s F_s) \quad (27)$$

Nelineární konstrukci dokážeme zaměnit konstrukcí lineární, dokážeme-li nahradit prasklý, libovolně plastifikovaný průřez průřezem pružným a neporušeným, takovým, aby platily vztahy (26) a (27).

## 3. VZTAHY ZAMĚNITELNOSTI PRŮŘEZŮ PRO ŽELEZOBETON

Neporušený lineárně pružný obdélníkový průřez  $b \times h_m$  budeme nazývat zaměnitelným s prasklým, libovolně zplastifikovaným, jednostranně vyztuženým železobetonovým obdélníkovým průřezem  $b \times h_s$ , bude-li při zatížení průřezů stejnou kombinací vnitřních sil  $M = M_m = M_s$  a  $N = N_m = N_s$  platit:

$$St_{x1}^{n1} = \frac{x_1^2}{2}, \quad (18)$$

therefore

$$x_1 x_2 = St_{x1+x2}^{n1} - St_{x1}^{n1}. \quad (19)$$

Because, further,

$$St_{x1+x2}^{n2} = \frac{x_2^2}{2} \quad (20)$$

is the static moment of the part of compression zone area of depth  $x_2$  and unit width  $b=1$ , to the zero line, we can write an equation (16) in the form

$$\frac{N * x_2}{\sigma_s * b} + St_{x1}^{n1} = St_{x1+x2}^{n1} + St_{x1+x2}^{n2} - (h_0 - x) * \lambda * \frac{f_a}{b} = St_{x1+x2}^{n1} - (h_0 - x) * \lambda * \frac{f_a}{b} = St \quad (21)$$

where  $(h_0 - x) * \lambda * \frac{f_a}{b}$  is the static moment of the transformed reinforcement area  $\lambda * f_a$  of the unit width and the transformed depth

$$x_a = \lambda * \frac{f_a}{b} = \frac{\sigma_s}{\sigma_b} * \frac{f_a}{b} \quad (22)$$

to the zero line.  $St_{x1+x2}^{n1}$  is the static moment of the entire compression zone area to the zero line, and  $St$  is the static moment of the entire effective area with the unit width  $b=1$  to the same axis.

The coefficient  $\lambda$  assumes various values, depending on the current plastification state of the section. The formulas for calculation of  $\lambda$  and  $x_a$  are available in Table 3, where  $E_a$  is the elastic modulus of steel reinforcement, and  $R_a$  is the steel reinforcement strength.

## 2.3. Interchangeability of the structures

### 2.3.1. Interchangeability of plane beam structures

Two plane beam structures with the identical centre line geometry and identical supporting system (hereinafter referred to as the structure) is termed interchangeable if identical loading induces identical strain  $w = \{w_x, w_y\}$  and identical internal forces  $M, N, Q$  (= a moment, normal force, shear force) in the structures.

### 2.3.2. Interchangeability of linear structures

Two linearly elastic structures (one with indexation  $m$ , the other with indexation  $s$ ) are interchangeable if the following equations are true in the corresponding points of the central lines of the structures:

$$E_m I_m = E_s I_s, \quad (23a)$$

$$E_m F_m = E_s F_s. \quad (23b)$$

In the equations  $E$  is the elastic modulus,  $I$  is the moment of inertia and  $F$  is the area of the section.

If two linearly elastic structures are interchangeable, it can be stated, in two corresponding points of the centre lines, that ( $M = M_m = M_s$  and  $N = N_m = N_s$ ):

- for curvatures  $\rho_m$  and  $\rho_s$

$$\rho_m = 1/r_m = M/(E_m I_m) = M/(E_s I_s) = 1/r_s = \rho_s \quad (24)$$

- for a mean strain, which is defined as  $\varepsilon_{stř} = (\int_F \varepsilon dF) / F$

$$(\varepsilon_{stř})_m = (\int_F \varepsilon_m dF_m) / F_m = N / (E_m F_m) = N / (E_s F_s) = (\int_F \varepsilon_s dF_s) / F_s = (\varepsilon_{stř})_s \quad (25)$$

### 2.3.3. Interchangeability of a linear and non-linear structure

The term "non-linear structure" further means a concrete structure where the limit of cracking has been exceeded in some sections and which is in any stage of plastification, i.e. the sections can be in the elastic state, or partly plasticized state, or in the ultimate limit state.

We will consider a linear structure (with an indexation  $m$ ) interchangeable with a non-linear structure (with an indexation  $s$ ), if it is true for  $M = M_m = M_s$  and  $N = N_m = N_s$  in corresponding points of the centre lines of the structures that:

$$\rho_m = 1/r_m = M/(E_m I_m) = 1/r_s = \rho_s, \quad \rho_s \neq M/(E_s I_s) \quad (26)$$

$$(\varepsilon_{stř})_m = N/(E_m F_m) = (\varepsilon_{stř})_s, \quad (\varepsilon_{stř})_s \neq N/(E_s F_s) \quad (27)$$

We can substitute a non-linear structure for a linear structure if we are able to substitute an elastic and undisturbed cross

$$\rho_m = \rho_s, \quad (28a)$$

$$(\varepsilon_{stř})_m = (\varepsilon_{stř})_s. \quad (28b)$$

Na neporušeném průřezu je

$$\rho_m = M/(E_m I_m), \quad (29)$$

$$(\varepsilon_{stř})_m = N/(E_m F_m). \quad (30)$$

Na prasklém průřezu obdržíme (obr. 4):

• pro křivost:  $\rho_s = (\varepsilon_a + \varepsilon_b) / h_o,$  (31)

$$\varepsilon_a = \varepsilon_b * (h_o - x) / x, \quad (32)$$

$$\varepsilon_b = \varepsilon_a * x / (h_o - x), \quad (33)$$

takže

$$\rho_s = \varepsilon_b / x = \varepsilon_a / (h_o - x). \quad (34)$$

• pro střední poměrnou deformaci:

$$(\varepsilon_{stř})_s = (\varepsilon_b * x/2 - \varepsilon_a * x_a) / (x + x_a) =$$

$$= \varepsilon_a * (x^2 - 2x_a(h_o - x)) / (2(h_o - x)(x + x_a)) =$$

$$= \varepsilon_b * (x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x) / (2x(x + x_a)). \quad (35)$$

Do rovnice (26) dosadíme z rovnice (34) a upravíme, přičemž  $I_m = b * (h_m)^3 / 12$ . Obdržíme buď

$$(h_m)^3 = \frac{12(h_o - x) * M}{E_m * b} * \frac{1}{\varepsilon_a} = \frac{12 * x * M}{E_m * b} * \frac{1}{\varepsilon_b} \quad (36)$$

nebo

$$E_m = \frac{12 * (h_o - x) * M}{b * h_m^3} * \frac{1}{\varepsilon_a} = \frac{12 * x * M}{b * h_m^3} * \frac{1}{\varepsilon_b}. \quad (37)$$

Do rovnice (27) dosadíme z rovnice (35) a upravíme, přičemž  $F_m = b * h_m$ . Pracujeme-li s  $\varepsilon_b$ , obdržíme buď

$$h_m = N * \frac{2x^2 + 2xx_a}{x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x} * \frac{1}{b E_m \varepsilon_b} \quad (38)$$

nebo

$$E_m = N * \frac{2x^2 + 2xx_a}{x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x} * \frac{1}{b h_m \varepsilon_b}. \quad (39)$$

Pracujeme-li s  $\varepsilon_a$ , obdržíme buď

$$h_m = N * \frac{2h_o x + 2h_o x_a - 2x^2 - 2x_a x}{x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x} * \frac{1}{b E_m \varepsilon_a} \quad (40)$$

nebo

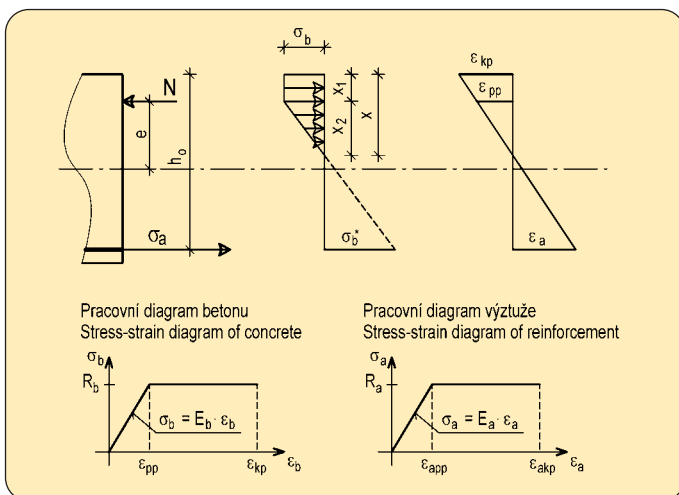
$$E_m = N * \frac{2(h_o x + h_o x_a - x^2 - x_a x)}{x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x} * \frac{1}{b h_m \varepsilon_a}. \quad (41)$$

Do rovnice (36) dosadíme ze (39), upravíme a označíme jako  $e = M/N$  excentricitu normálové síly. Pro výšku neporušeného lineárně pružného průřezu zaměnitelného s průřezem prasklým, libovolně plastifikovaným nalezneme:

$$h_m^2 = 6 * \frac{x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x}{x + x_a} * e = 12 * e * \frac{St}{F}, \quad (42)$$

takže

$$h_m = \sqrt{6 * \frac{(x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x) * e}{x + x_a}} = \sqrt{12 * e * \frac{St}{F}}. \quad (43)$$



Obr. 3 Předpoklady o napětí a deformacích v průřezu  
Fig. 3 Assumptions for stress and strain in the section

section for a cracked, arbitrarily plasticized section, so that the relationships (26) and (27) are applicable.

### 3. INTERCHANGEABILITY OF SECTIONS - RELATIONSHIPS APPLICABLE TO REINFORCED CONCRETE

We will term an undisturbed linearly elastic rectangular section  $b \times h_m$  interchangeable with an arbitrarily plasticized, one side reinforced rectangular concrete cross section  $b \times h_s$  if it is possible to state, under the condition of identical internal forces combination (i.e.  $M = M_m = M_s$  a  $N = N_m = N_s$ ), that:

$$\rho_m = \rho_s, \quad (28a)$$

$$(\varepsilon_{stř})_m = (\varepsilon_{stř})_s. \quad (28b)$$

In the case of an undisturbed section:

$$\rho_m = M/(E_m I_m), \quad (29)$$

$$(\varepsilon_{stř})_m = N/(E_m F_m). \quad (30)$$

In the case of a cracked section, we obtain (see Fig.4):

• for a curvature:

$$\rho_s = (\varepsilon_a + \varepsilon_b) / h_o, \quad (31)$$

$$\varepsilon_a = \varepsilon_b * (h_o - x) / x, \quad (32)$$

$$\varepsilon_b = \varepsilon_a * x / (h_o - x), \quad (33)$$

therefore,

$$\rho_s = \varepsilon_b / x = \varepsilon_a / (h_o - x). \quad (34)$$

• for a mean strain:

$$(\varepsilon_{stř})_s = (\varepsilon_b * x/2 - \varepsilon_a * x_a) / (x + x_a) =$$

$$= \varepsilon_a * (x^2 - 2x_a(h_o - x)) / (2(h_o - x)(x + x_a)) =$$

$$= \varepsilon_b * (x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x) / (2x(x + x_a)). \quad (35)$$

We will insert the expression from the equation (34) into the equation (26) and rearrange it, with  $I_m = b * (h_m)^3 / 12$ . We will obtain either

$$(h_m)^3 = \frac{12(h_o - x) * M}{E_m * b} * \frac{1}{\varepsilon_a} = \frac{12 * x * M}{E_m * b} * \frac{1}{\varepsilon_b} \quad (36)$$

or

$$E_m = \frac{12 * (h_o - x) * M}{b * h_m^3} * \frac{1}{\varepsilon_a} = \frac{12 * x * M}{b * h_m^3} * \frac{1}{\varepsilon_b}. \quad (37)$$

We will insert the expression from the equation (35) into the equation (27) and rearrange it, with  $F_m = b * h_m$ . Operating with  $\varepsilon_b$ , we will get either

$$h_m = N * \frac{2x^2 + 2xx_a}{x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x} * \frac{1}{b E_m \varepsilon_b} \quad (38)$$

or

$$E_m = N * \frac{2x^2 + 2xx_a}{x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x} * \frac{1}{b h_m \varepsilon_b}. \quad (39)$$

Operating with  $\varepsilon_a$ , we will get either

$$h_m = N * \frac{2h_o x + 2h_o x_a - 2x^2 - 2x_a x}{x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x} * \frac{1}{b E_m \varepsilon_a} \quad (40)$$

or

$$E_m = N * \frac{2(h_o x + h_o x_a - x^2 - x_a x)}{x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x} * \frac{1}{b h_m \varepsilon_a}. \quad (41)$$

We will insert the expression from the equation (39) into the equation (36) and rearrange it, denoting the eccentricity of the normal force as  $e = M/N$ . For the depth of the undisturbed linearly elastic section interchangeable with a cracked, arbitrarily plasticized section, we will find:

$$h_m^2 = 6 * \frac{x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x}{x + x_a} * e = 12 * e * \frac{St}{F}, \quad (42)$$

therefore,

$$h_m = \sqrt{6 * \frac{(x^2 - 2x_a h_o + 2x_a x) * e}{x + x_a}} = \sqrt{12 * e * \frac{St}{F}}. \quad (43)$$

In the equations (42) and (43),  $F = x + x_a$  is the effective area of a cracked section with unit width  $b=1$  and  $St = x^2/2 - x_a * (h_o - x)$  is the



V rovnicích (42), (43) je  $F = x + x_a$  účinná plocha prasklého průřezu o jednotkové šířce  $b=1$  a  $St = x^2/2 - x_a * (h_0 - x)$  je statický moment účinné plochy o jednotkové šířce  $b=1$  k neutrálné ose.

Z rovnice (43) vypočteme  $h_m$  a dosadíme do (39), resp. (41).

Rovnice (39), resp. (41) však ještě neumožňují výpočet modulu pružnosti  $E_m$ , protože obsahují zatím neznámé poměrné přetvoření prasklého průřezu  $\varepsilon_b$ , resp.  $\varepsilon_a$ . Vztahy, platné pro tyto veličiny, odvodíme v následující kapitole.

#### 4. POMĚRNÁ DEFORMACE KRAJNÍCH VLÁKEN BETONU $\varepsilon_b$ A TAŽENÉ VÝZTUŽE $\varepsilon_a$

Podle obr. 3 můžeme po záměně symbolu  $\varepsilon_{kp}$  za symbol  $\varepsilon_b$  odvodit následující obecné formule:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b * x}{E_b * x_2}, \quad (44)$$

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_b * h_0 - x}{E_b * x_2}, \quad (45)$$

kteří lze konkretizovat pro jednotlivé typy stavu napjatosti průřezu takto:

a) Když  $\sigma_b \leq R_b$  a  $x_1 = 0$ , takže  $x_2 = x$ , je

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b}, \quad (46)$$

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_b * h_0 - x}{E_b * x}. \quad (47)$$

b) Když  $\sigma_b = R_b$  a  $x_1 \neq 0$ , je

$$\varepsilon_b = \frac{R_b * x}{E_b * x_2}, \quad (48)$$

$$\varepsilon_a = \frac{R_b * h_0 - x}{E_b * x_2}. \quad (49)$$

Musí být:  $\varepsilon_b \leq \varepsilon_{kp}$  a  $\varepsilon_a \leq \varepsilon_{akp}$ .

Z rovnice (44), resp. (46) nebo (45), resp. (47) dosadíme do rovnice (39) nebo (41). Poté kterákoliv z nich umožňuje výpočet  $E_m$ .

#### 5. VZTAHY ZAMĚNITELNOSTI PRŮŘEZŮ PRO PROSTÝ BETON

Vztahy zaměnitelnosti pro prostý beton získáme, když do vztahů zaměnitelnosti pro železobeton (39) a (43) dosadíme za  $x_a=0$ . Obdržíme:

$$h_m = \sqrt{6 * e * x}, \quad (50)$$

$$E_m = \frac{2N}{\varepsilon_b * b * h_m}. \quad (51)$$

#### 6. ZÁVĚR

Odvodili jsme vztahy zaměnitelnosti mezi průřezem prasklým, libovolně plastifikovaným a neporušeným průřezem pružným.

Tyto vztahy umožňují vytvoření pružného výpočetního modelu ostění, jehož vnitřní síly a deformace od daného zatížení odpovídají vnitřním silám a deformacím stejně zatíženého, popraskaného a libovolně plastifikovaného ostění skutečného. Prut  $i$ , resp.  $j$  výpočetního modelu má výšku  $h_{mi}$ , resp.  $h_{mj}$  a modul pružnosti  $E_{mi}$ , resp.  $E_{mj}$ , přičemž obecně platí  $h_{mi} \neq h_{mj} \neq h$  a  $E_{mi} \neq E_{mj} \neq E_b$ .

Modelové ostění vytvoříme pomocí iteračního procesu. Při něm je vyhledán výpočetní model, jehož vnitřní síly, aplikovány na skutečné ostění, model reprodukuje. Podrobněji řečeno, iterační proces je ukončen poté, co parametry *skutečného ostění* (tedy např.  $x$ ,  $x_a$ ,  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_b$ ), popraskaného a plastifikovaného od účinku *modelových sil*  $M$ ,  $N$ , dosazený do rovnic (43) a (39), resp. (50) a (51) poskytnou tentýž model (stejná  $h_{mi}$  a  $E_{mi}$ ), jako předchozí iterační cyklus.

Považujeme za vhodné doplnit předchozí text několika poznámkami:

##### 6.1. K rovnicím (43)

Aby rovnice (43) vracela reálné hodnoty  $h_m$ , musí být výraz  $(x^2 - 2x_a h_0 + 2x_a x) = 2 * St \geq 0$ , takže  $St \geq 0$ . Rovnicí (21) je to zaručeno.

##### 6.2. K rovnicím (43), (39), (41)

6.2.1. Jestliže  $e \rightarrow 0$  (= přechod k centrickému tlaku), pak podle (43)  $h_m \rightarrow 0$  a podle (39) resp. (41)  $E_m \rightarrow \infty$ .

static moment of the effective area of the unit width  $b=1$ , to the zero line.

We will calculate  $h_m$  from the equation (43) and insert it in the equation (39), possibly (41).

However, the equations (39) and (41) do not allow yet the calculation of the elastic modulus  $E_m$  because they include the cracked section strains  $\varepsilon_b$  and  $\varepsilon_a$  which have been still unknown. The relationships valid for these quantities will be derived in the next chapter.

#### 4. STRAIN IN OUTERMOST FIBRES OF CONCRETE $\varepsilon_b$ AND IN TENSION REINFORCEMENT $\varepsilon_a$

According to Fig.3, we can derive the generally valid formulas after replacement of the symbol  $\varepsilon_{kp}$  with symbol  $\varepsilon_b$ , as follows:

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b * x}{E_b * x_2}, \quad (44)$$

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_b * h_0 - x}{E_b * x_2}. \quad (45)$$

The formulas can be individually specified for the particular types of the stress state in the section, as follows:

a) If  $\sigma_b \leq R_b$  and  $x_1 = 0$ , therefore  $x_2 = x$ , then

$$\varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b}, \quad (46)$$

$$\varepsilon_a = \frac{\sigma_b * h_0 - x}{E_b * x}. \quad (47)$$

b) If  $\sigma_b = R_b$  and  $x_1 \neq 0$ , then

$$\varepsilon_b = \frac{R_b * x}{E_b * x_2}, \quad (48)$$

$$\varepsilon_a = \frac{R_b * h_0 - x}{E_b * x_2}. \quad (49)$$

The following relationships have to be true:  $\varepsilon_b \leq \varepsilon_{kp}$  and  $\varepsilon_a \leq \varepsilon_{akp}$ .

We will insert the expressions from the equation (44), possibly (46) or (45), possibly (47) into the equation (39) or (41). Then, any of these equations enables the calculation of  $E_m$  value.

#### 5. SECTION INTERCHANGEABILITY RELATIONSHIPS APPLICABLE TO UNREINFORCED CONCRETE

The interchangeability relationships applicable to unreinforced concrete will be determined by insertion of  $x_a=0$  into the interchangeability relationships (39) and (43), derived for the reinforced concrete. Then, we get:

$$h_m = \sqrt{6 * e * x}, \quad (50)$$

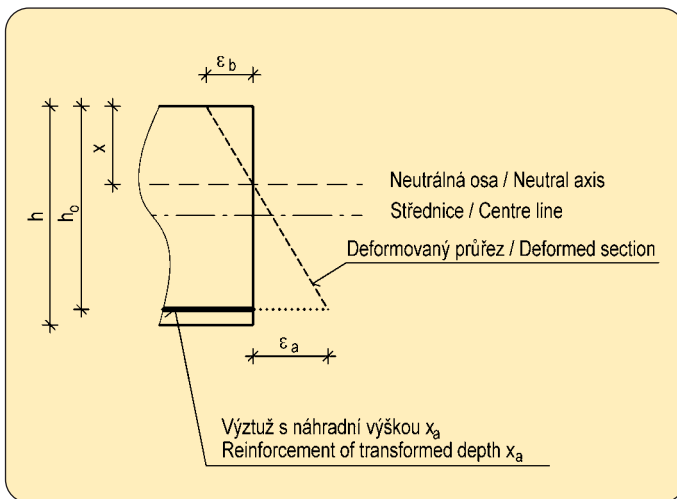
$$E_m = \frac{2N}{\varepsilon_b * b * h_m}. \quad (51)$$

#### 6. CONCLUSION

We have derived relationships of the interchangeability between a cracked, arbitrarily plasticized section and an undisturbed elastic section.

These relationships allow creation of an elastic calculation model of a lining where the internal forces and strain induced by the given loading correspond to the internal forces and strain in a real lining, which is identically loaded, cracked and arbitrarily plasticized. The beams  $i$  and  $j$  of the calculation model have the depths  $h_{mi}$  and  $h_{mj}$  and the elastic moduli  $E_{mi}$  and  $E_{mj}$ , while it is generally true that  $h_{mi} \neq h_{mj} \neq h$  and  $E_{mi} \neq E_{mj} \neq E_b$ .

The lining model will be created by means of the iteration process. During the process, such a calculation model is sought where the internal forces reproduce the model when applied to the real lining. In more detail, the iteration process is stopped when the parameters of the *real lining* (e.g.  $x$ ,  $x_a$ ,  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_b$ ), cracked and plasticized by the effect of the *model forces*  $M$ ,  $N$ , when inserted into the equations (43) and (39), possibly (50) and (51), produce the same



Obr. 4 Vztahy zaměnitelnosti – význam použité symboliky  
Fig. 4 Interchangeability relations – meaning of the used notation

Ve skutečnosti již předtím, nežli  $e = 0$ , stává se celý průřez tlačným, trhliny nemohou vzniknout a rovnice (43), (39), (41) ztrácejí svůj fyzikální smysl.

Ve stavu pružného namáhání je obdélníkový průřez z prostého betonu celý tlačěn, když  $e = h/6$ . Pro tyto poměry můžeme odvodit následující vztahy:

$$h_m = h, \quad (52)$$

$$E_m = E_b. \quad (53)$$

Plastifikace betonu posouvá neutrálnou osu z hrany průřezu směrem k jeho těžišti. Ve stavu mezní únosnosti je výška tlačené oblasti

$$x_u = \Xi * (h - 2e) * 2E_b \varepsilon_{kp} / (2E_b \varepsilon_{kp} - R_b). \quad (54)$$

Např. pro beton B30 (zde i dále ignorujeme veškeré součinitele s výjimkou součinitele působení betonu  $\gamma_{bs} = 0,8$ ) dostáváme ( $E_b = 32\,500\text{ MPa}$ )

$$h_m = 0,876h, \quad (55)$$

$$E_m = (2(h - 2e)R_b * b * \Xi) / (\varepsilon_{kp} * b * h_m) = 13676\text{ MPa} = 0,421E_b. \quad (56)$$

6.2.2. Největší přípustná excentricita na obdélníkovém průřezu z prostého betonu je  $e = 0,45h$  (viz ČSN 73 1201, čl.5.2.5.3).

Je-li tlačená část průřezu namáhána pružně, vypočteme nezávisle na třídě betonu:

$$h_m = 0,636h, \quad (57)$$

$$E_m = 0,236E_b, \quad (58)$$

zatímco v mezním stavu únosnosti a pro beton B30 je

$$h_m = 0,558h, \quad (59)$$

$$E_m = 0,099E_b. \quad (60)$$

6.2.3. Jestliže  $e \rightarrow \infty$  (= železobeton, přechod k čistému ohybu), pak  $h_m \rightarrow \infty$  a  $E_m \rightarrow 0 / \infty$ .

Tyto limity se nedají numericky zužitkovat a zaměnitelnost průřezů při čistém ohybu se musí formulovat jinak, pouze pomocí rovnice (26).

Pro nás je důležité, že tunel je konstrukce silně tlačená, nikoliv silně ohýbaná. Proto zaměňujeme skutečné nelineární ostění lineárním ostěním modelovým v těch oblastech interakčního diagramu, které jsou od nebezpečné zóny kolem čistého ohybu dostatečně vzdáleny, takže problémy numerické povahy nám z tohoto titulu nehrozí.

ING. ALEŠ ZAPLETAL, DrSc., zapletal@metrostav.cz,  
METROSTAV a. s.

ING. JIŘÍ HOŘEJŠÍ, jiri.horejsi@ikpce.com,  
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

model ( $h_{mi}$  and  $E_{mi}$  are identical) as that obtained in the preceding iteration cycle.

We believe that several notes added to the above text will be helpful:

### 6.1. As to the equation (43)

The expression  $(x^2 - 2x_d h_0 + 2x_a x) = 2 * S t \geq 0$ , and therefore  $S t \geq 0$ , has to be fulfilled, so that we can get the real values  $h_m$  from the equation (43). This condition is guaranteed by the equation (21).

### 6.2. As to the equations (43), (39), (41)

6.2.1. If  $e \rightarrow 0$  (= transition to centric compression), then, according to (43),  $h_m \rightarrow 0$  and, according to (39), possibly (41)  $E_m \rightarrow \infty$ .

In fact, the entire section become compressed even before  $e = 0$ , thus the cracking cannot occur, and the equations (43), (39) and (41) lose their physical meaning.

In the elastic state of stress, the entire rectangular unreinforced concrete section is under compression when  $e = h/6$ . We can derive the following relationships for these conditions:

$$h_m = h, \quad (52)$$

$$E_m = E_b. \quad (53)$$

The plastification of concrete moves the zero line from the edge of the section toward its centre. In the ultimate limit state, the depth of the compression zone is

$$x_u = \Xi * (h - 2e) * 2E_b \varepsilon_{kp} / (2E_b \varepsilon_{kp} - R_b). \quad (54)$$

For example, for the concrete class B30 (here and further we ignore all coefficients, excepting the concrete action coefficient  $\gamma_{bs} = 0,8$ ), we obtain ( $E_b = 32\,500\text{ MPa}$ )

$$h_m = 0,876h, \quad (55)$$

$$E_m = (2(h - 2e)R_b * b * \Xi) / (\varepsilon_{kp} * b * h_m) = 13676\text{ MPa} = 0,421E_b. \quad (56)$$

6.2.2. The highest allowable eccentricity in a rectangular unreinforced concrete section is  $e = 0,45h$  (see ČSN 73 1201, paragraph 5.2.5.3).

If the compression zone of the section is in the elastic state, we will calculate independently of the concrete class:

$$h_m = 0,636h, \quad (57)$$

$$E_m = 0,236E_b, \quad (58)$$

while in the ultimate limit state and for concrete class B30

$$h_m = 0,558h, \quad (59)$$

$$E_m = 0,099E_b. \quad (60)$$

6.2.3. If  $e \rightarrow \infty$  (= reinforced concrete, transition to pure bending), then  $h_m \rightarrow \infty$  and  $E_m \rightarrow 0 / \infty$ .

These limits are numerically inexplotable; therefore, the interchangeability of sections at pure bending has to be formulated in another way, using only the equation (26).

Important for us is the fact that a tunnel is a largely compressed, not largely bent structure. For that reason we substitute a real non-linear lining for a model linear lining only in those areas of the  $M-N$  interaction diagram which are at a sufficient distance from the dangerous zone close to the pure bending so that we prevent from problems of a numerical character.

ING. ALEŠ ZAPLETAL, DrSc., zapletal@metrostav.cz,  
METROSTAV a. s.

ING. JIŘÍ HOŘEJŠÍ, jiri.horejsi@ikpce.com,  
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] ČSN 73 1201 Navrhování betonových konstrukcí  
[2] ČSN P ENV 1992-1-1 Navrhování betonových konstrukcí

# ÚNIKOVÁ ŠACHTA TUNELU BŘEZNO

## EMERGENCY ESCAPE SHAFT OF THE BŘEZNO TUNNEL

TOMÁŠ PARÁK, ERMÍN STEHLÍK

### ÚVOD

Jednokolejný tunel Březno, délky cca 1,8 km, je součástí přeložky tratě Březno u Chomutova – Chomutov, jejíž výstavba začala v květnu 2000. Důvodem přeložky byla pokračující těžba v dole DNT Tušimice, Severočeských dolů Chomutov, a. s., která postupuje do prostoru stávající tratě.

Financující organizací jsou Severočeské doly, investorskou činností je pověřena SŽDC Plzeň, s. o., dodavatelem celé přeložky je Sdružení Březno, jehož členy jsou Metrostav a. s., SSŽ, a. s., a Energie Kladno, a. s. Generálním projektantem přeložky je firma SUDOP Praha, a. s. Projektantem únikové šachty je firma IKP Consulting Engineers, s. r. o. (IKP CE).

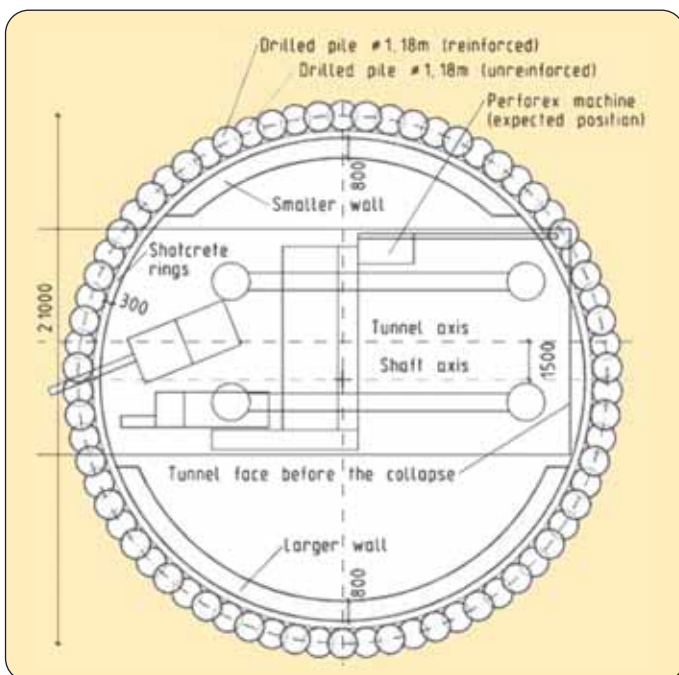
### POSTUP VÝSTAVBY

Po přípravných pracích a výstavbě příportálových úseků byla ražba zahájena v březnu 2002, a to metodou obvodového vrubu s použitím stroje firmy Perforex, který postupoval od portálu u obce Březno. Po vyražení cca 800 m tunelu, který byl vystrojen primárním ostěním z prostého stříkaného betonu aplikovaného do vrubu vyřezaného strojem Perforex, došlo v březnu 2003 k zavalení stroje na čelbě tunelu s následným kolapsem primárního ostění v úseku cca 100 m od čelby. Na povrchu se nad zavaleným úsekem tunelu vytvořila rozsáhlá poklesová kotlina.

Výstavba byla přerušena až do října 2004, kdy začala protiražba od portálu u obce Droužkovice, která byla prováděna tzv. sekvenční metodou s použitím primárního ostění ze stříkaného betonu vyztuženého sítěmi a příhradovými oblouky.

### ZMÁHÁNÍ ZÁVALU

Zával byl rozdělen na 2 části, na část mimo oblast zavaleného stroje Perforex a na část v oblasti zavaleného vrubovacího stroje. Pro zmáhání první části závalu byla navržena technologie, při které



Obr. 1 Příčný řez šachtou s očekávanou polohou stroje Perforex  
Fig. 1 Shaft Cross Section

### INTRODUCTION

Single track railway tunnel Březno, 1.8 km in length, is a part of the relocation of the railway line Březno u Chomutova–Chomutov, the construction of which started in May 2005. The reason for the relocation is the continuous mining activity in the open mine DNT Tušimice–Severočeské doly (SD) Chomutov a.s., which is interfering with the existing railway line. The financing organisation is SD, client role is performed by SŽDC Plzeň s.o., and the contractor is JV Sdružení Březno, consisting of Metrostav a.s. Praha, SSŽ a.s. and Energie Kladno a.s. The general designer is SUDOP Praha a.s., the designer of the emergency escape shaft is IKP Consulting Engineers s.r.o. Praha (IKP CE).

### HISTORY OF THE CONSTRUCTION

After the preparatory works and the construction of open cut portal sections, tunnelling started in March 2002, using the pre-cut method with a Perforex machine, which started tunnelling from the tunnel portal located near the village Březno. After completing approximately 800 m of the tunnel in March 2003, with the primary lining consisting of non-reinforced shotcrete applied into the slot pre-cut by the Perforex machine, the Perforex machine was buried by a tunnel collapse, which immediately spread to the section of primary lining to approx. 100 m behind the tunnel face. The collapse created a large settlement through on the surface. The construction process was interrupted until October 2004, when tunnelling started from the other portal located near the village Droužkovice. The method applied was the so-called "Sequential Method", using primary lining consisting of shotcrete with steel meshes and lattice girders.

### RECOVERING OF THE COLLAPSE AREA

The collapse area was divided into two parts; the part outside the buried machine and the part with the buried machine. For the first part the method with temporary piled bulkheads 9 m apart was designed; between the bulkheads tunnelling was performed with the help of steel pipe umbrellas, jet grouting, temporary top heading invert and other additional measures enabling the rebuilding of the collapsed tunnel. This part was designed by SUDOP Praha a.s.



Foto 1 Ověřovací vrt délky 60 m  
Photo 1 Drill rig for core borehole

se pomocí přepážek z pilotových stěn celý úsek rozdělil na úseky délky cca 9 m, mezi kterými byl navržen postup s pomocí mikropilotových deštníků, tryskových injektáží, provizorní spodní klenby v kalotě a dalších opatření, umožňujících opětovně vyražení tunelu v zavaleném úseku. Tuto část řešil generální projektant tunelu SUDOP Praha, a. s.

Druhou část závalu řešila firma IKP CE výstavbou kruhové šachty z převrtávaných pilot nad zavaleným strojem Perforex.

### POTŘEBA ÚNIKOVÉ ŠACHTY

Zpracování přípravné dokumentace pro výstavbu tunelu Březno začalo v druhé polovině devadesátých let minulého století. Podle v té době platných bezpečnostních předpisů nebyla pro tunel Březno potřebná žádná úniková šachta. Za dobu, která uplynula od zahájení přípravy projektové dokumentace, došlo k výrazným změnám v platných bezpečnostních předpisech. V době zpracování dokumentace na zmáhání závalu již bylo zřejmé, že pro tunel délky 1,8 km je kromě portálů tunelu potřebný další únikový východ. Účastníci výstavby proto přijali řešení, které umožňuje předat dokončenou stavbu tak, aby byla v souladu s platnou legislativou. K tomuto účelu posloužil návrh IKP CE na realizaci šachty, který byl modifikován společně s pracovníky Metrostavu a investora. Výsledkem byl návrh šachty průměru 21 m (měřeno na osu pilot), hloubky 35 m, se středem odsazeným o 1,5 m od osy tunelu, do které byl umístěn požadovaný únikový východ. Šachta současně posloužila pro postupné obnažení a demontáž vrubovacího stroje Perforex a jeho vytažení na povrch.

### GEOLOGICKÉ A HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Šachta byla situována přímo nad zavalený stroj a tak kromě výskytu zemin ovlivněných vlastním závalem bylo nutné počítat zejména s existencí zavaleného stroje Perforex a s výskytem zbytku zříceného primárního ostění. Značné obavy byly ohledně možnosti výskytu podzemní vody v eventuálních dutinách pod ostěním a kolem stroje.

Po závalu v roce 2003 byl v oblasti závalu proveden geologický průzkum a stanoveny charakteristické parametry, které byly používány pro výpočty ostění tunelu v oblasti závalu.

Protože od okamžiku závalu do období zahájení prací v oblasti ovlivněné závalem uplynuly více než dva roky, byl v prostoru budoucí šachty navržen a realizován jeden jádrový vrt hloubky 60 m (foto 1). Hlavním úkolem vrtu bylo ověřit výskyt větších dutin a podzemní vody v okolí zavaleného stroje. Dalším úkolem vrtu bylo objasnit, zda horní a střední uhelná sloj nacházející se pode dnem tunelu není zasažena hornickou činností a nemohla tak přispět ke kolapsu tunelu.

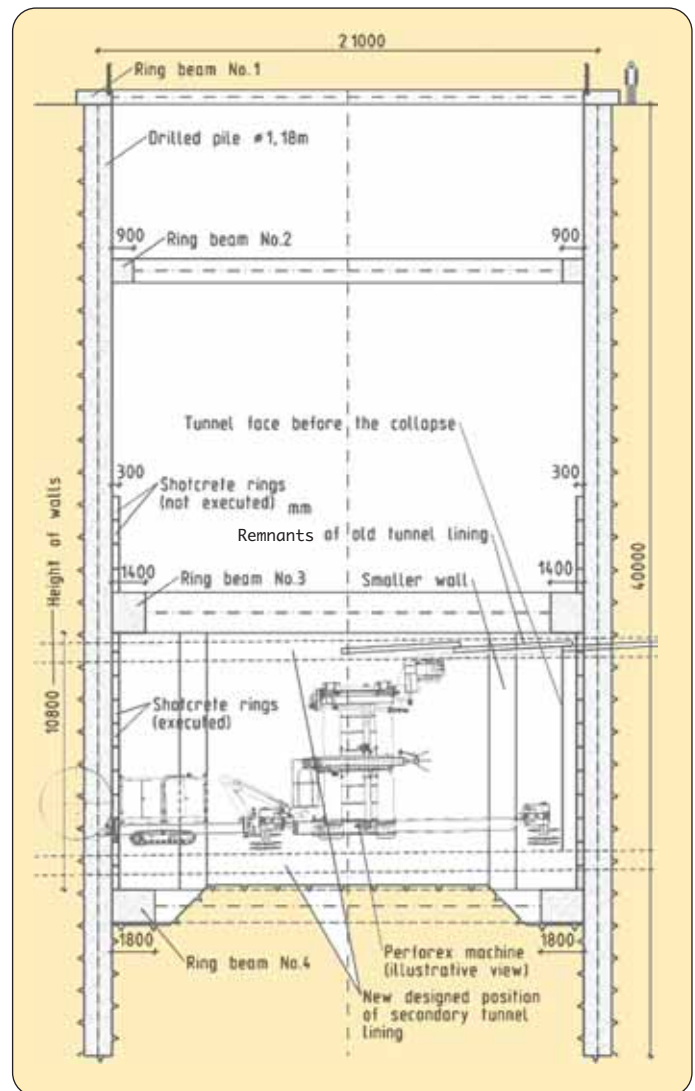
Vrt prokázal, že není třeba se obávat výskytu velkých dutin ani rozmáčených poloh závalového materiálu v důsledku podzemní vody. Také se ukázalo, že uhelné sloje pode dnem tunelu nejsou postižené hornickou činností ani vyhořením.

### OSTĚNÍ ŠACHTY

Kruhová šachta z převrtávaných pilot (příčný řez viz obr. 1) byla navržena o průměru 21 m, měřeno na osu pilot. Vzdálenost pilot



Foto 2 Ukázka výsledku vrtání pilot – pohled ze dna šachty  
Photo 2 Completed piles – view from the bottom of the shaft



Obr. 2 Podélný řez šachtou  
Fig. 2 Shaft Longitudinal Section

The second part of the collapse area was solved by the construction of a circular shaft with lining consisting of secant piles, this part designed by IKP CE.

### EMERGENCY ESCAPE

Work on the preliminary design of the Březno Tunnel started in the second half of the 1990s, when the safety regulations did not require an additional emergency escape. However, during the period since the preliminary design, significant changes to the safety regulations were introduced. When design for the collapse recovery started it was obvious-given the tunnel length of 1.8 km-that an additional emergency escape is required. All the participants of the construction process accepted the need for the emergency escape; as a result the completed structure conforms to the latest safety and other regulations.

The solution was the IKP CE proposal for shaft construction, which was modified in cooperation with the Contractor's and the Client's staff. The final solution was the proposal of a circular shaft, 21 m in diameter (measured to the piles' axes), 35 m deep, with the vertical axis set off by 1.5 m of the tunnel axis, allowing the location of the emergency access. At the same time the shaft served the step-by-step recovery, dismantling and lifting of the Perforex machine to the surface.

### GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL CONDITIONS

The shaft was located directly above the buried machine and therefore, except for the occurrence of ground directly affected by the collapse, it was necessary to take into account the existence of the



Foto 3 Počátek zřizování ztužujících prstenců 3 m pod převázkou 3  
Photo 3 Reinforcing rings below Ring Beam 3

byla 0,942 m, jejich délka 40 m. Celkem bylo navrženo 70 kusů pilot z betonu B 30. Primární piloty byly nevyztužené, sekundární piloty byly navrženy jako vyztužené s výztuží průměru až R32.

Rozhodujícím hlediskem při návrhu šachty byla přesnost vrtání pilot. Příslušná norma stanovuje odchylku pro svislost vrtání 2 % z délky piloty. Pokud by byly piloty vrtány s touto přesností, byly by s bezpečným návrhem šachty značné problémy. Proto byla pro povolené odchylky při vrtání pilot stanovena maximální odchylka 1 %. Tato podmínka byla uvedena i ve smlouvě se zhotovitelem. Podrobněji je o této problematice pojednáno v odstavci o statickém výpočtu.

### ZTUŽUJÍCÍ PRVKY

Kromě přesnosti vrtání pilot byl při návrhu šachty rozhodující stav, kdy byly v ostění šachty probourány dva protilehlé otvory pro napojení vlastního tunelu. Přesnost vrtání pilot a vybourání otvorů si vyžádaly návrh následujících ztužujících prvků (obr. 2):

Čtyři masivní železobetonové převázky. Převázka 1 (1,5 x 0,6 m) navržena na hlavách pilot; mezilehlé převázky 2 (1,0 x 0,9 m) a 3 (1,4 x 1,7 m) betonované během hloubení, kdy dno šachty dosáhne úrovně jejich základové spáry; převázka 4 (1,8 x 1,4 m) pod dnem šachty. Převázky byly navrženy s vysokým stupněm vyztužení s použitými profily hlavní výztuže  $\varnothing$  R32.

Patnáct ztužujících železobetonových prstenců ze stříkaného betonu tloušťky 0,3 m, vysokých 1 m. Jejich provádění bylo v realizační dokumentaci navrženo od úrovně 4 m nad převázkou 3 s tím, že konečné rozhodnutí o započetí provádění ztužujících prstenců bude provedeno až na základě skutečné polohy pilot. Jak se později ukázalo (viz dále), došlo k vynechání 7 ztužujících prstenců.

Železobetonové ztužující stěny A, B, které byly navrženy mezi převázkami 3 a 4 v prostoru po stranách budoucích otvorů pro tunel. Stěny byly vysoké 10,8 m a byly vetknuty do obou převázek.



Foto 4 Hloubení šachty v oblasti zavaleného stroje Perforex  
Photo 4 Excavation in the vicinity of the buried Perforex machine

Perforex machine and the collapsed tunnel lining. A serious concern was also the possibility of ground water collected in potential cavities under the lining and around the machine.

After the collapse in 2003 a geological investigation in the collapse area was performed and characteristic parameters used for the lining calculation were determined. During the more than two years that passed between the collapse and the restart of work, a single core borehole 60 m deep was drilled in the area of the shaft (Photo 1). The main task of the borehole was to verify the occurrence of large voids and underground water in the vicinity of the machine. Another aim was to clarify if the upper and middle coal seam, which is under the tunnel, was not affected by previous mining activities and therefore did not contribute to the tunnel collapse. The results showed that there is no reason for concern with regard to large cavities or water-logged materials, and confirmed that the coal seams are not affected by previous burnup.

### SHAFT LINING

Circular shaft with secant piles (the cross section is shown in Fig. 1) was designed with a 21 m diameter measured to the piles axes. The piles distance is 0.942 m, the length is 40 m. In total 70 piles made of concrete B 30 were designed. The primary piles are not reinforced; the secondary piles are reinforced with rebars of up to 32 mm in diameter.

The decisive aspect for the piles design was the accuracy of the pile drilling. The relevant standard prescribes a 2% tolerance for the verticality of the pile drilling. Providing the piles are drilled with this tolerance, there would be serious problems with the shaft design. Therefore the maximum tolerance was set at 1%. This condition was also stated in the agreement with the contractor. The issue of tolerances is described in more detail in the paragraph dealing with the design calculation.

### STRUCTURAL ELEMENTS

For the shaft design, besides the drilling accuracy, the decisive phase was the moment when two openings connecting the tunnel to the shaft were created. The drilling accuracy and the demolition of shaft lining for the tunnel openings demanded design of following structural elements (see Fig. 2):

Four massive reinforced concrete ring beams: Ring Beam 1 (1,5 x 0,6 m) located on the top of the piles; intermediate Ring Beams 2 (1,0 x 0,9 m) and 3 (1,4 x 1,7 m), cast during the shaft excavation, when the shaft bottom reaches their foundation level, and Ring Beam 4 (1,8 x 1,4 m) under the definitive shaft bottom. The ring beams were designed with a high degree of reinforcement, the main rebars used were  $\varnothing$  R32.

Fifteen reinforced shotcrete rings, 0,3 m thick and 1,0 m high. Their installation was designed to start from a level 4,0 m above Ring Beam 3, the design stipulated that the start of their application depends on the factual position of the piles. As showed up during the construction, it was possible to omit 7 rings.

Reinforced concrete walls A and B, located between Ring Beams 3 and 4 and in the space on the sides of the future tunnel openings. The walls are 10,8 m high and are fixed into both ring beams.

### DESIGN CALCULATION

With hindsight it could be stated that the design calculation was the most difficult part of the whole shaft design process. Besides the unique structure, complicated geological conditions of the previous collapse and unsuitability of anchoring, the design required consideration of many load cases on particular parts of the shaft (piles, ring beams, reinforcing rings and walls). Another unknown feature was the piles' position, which differs for each level. The knowledge of this position was a key to determining particular load cases. To define the position, we used probability calculation of the piles position in different levels. Based on this probability calculation the maximum deviation of the piles from the vertical position was defined to be 1%.

Check calculation of piles and single structural elements was different for the phase of the shaft excavation and for the phase of demolishing the shaft lining to create the two tunnel openings. Complexity of the design calculation was not only in defining the load

## STATICKÝ VÝPOČET

S odstupem času je možno říci, že statický výpočet byl nejsložitější částí celého procesu návrhu šachty. Vzhledem k unikátnosti konstrukce, složité geologické skladbě prostředí závalu a nevhodnosti použití kotvení, bylo třeba posoudit celou řadu zatěžovacích případů na jednotlivé části konstrukce šachty (piloty, převázky, ztužující prstence, ztužující stěny). Další velkou neznámou byla poloha pilot, která se různí pro každou výškovou úroveň. Znalost této polohy byla klíčová pro určení jednotlivých zatěžovacích případů. Pro určení této polohy jsme nakonec použili pravděpodobnostní výpočet poloh pilot v jednotlivých úrovních. Z tohoto pravděpodobnostního výpočtu vyplynula nutnost dodržení maximálního odklonu pilot od svislice 1 %.

Samotné posouzení pilot a jednotlivých ztužujících prvků bylo rozdílné pro fázi hloubení šachty a pro fázi po probourání tunelu do šachty. Složitost celého statického výpočtu spočívala nejen ve správném určení zatížení na jednotlivé konstrukce a pro jejich jednotlivé zatěžovací stavy, ale i v nalezení takového způsobu posouzení, které by mělo dostatečnou vypovídající hodnotu při dodržení bezpečnosti celé konstrukce. Vše se podařilo za vydatného přispění ing. A. Zapletala, DrSc. a doc. ing. J. Masopusta, CSc., za což jim tímto velice děkujeme.

Flexibilita výpočtu umožnila v průběhu realizace podstatně zjednodušit postup hloubení a vynechat sedm ztužujících prstenců. Obě tyto úpravy byly umožněny díky dosažení přesnosti vrtání pilot pod 1 % a z důvodu lepších geologických podmínek, než se původně předpokládalo.

Z důvodu složitosti a obsáhlosti celého statického výpočtu připravují o něm autoři samostatný článek do některého z dalších vydání časopisu Tunel.

## VÝPLŇOVÉ INJEKTÁŽE

Při betonáži pilot pilotových přepážek nad tunelem došlo v několika případech ke značně zvýšené spotřebě betonové směsi, která unikla do volných dutin v oblasti závalu. Aby se podobné situaci zabránilo v případě pilot šachty (i přes výsledek z jádrového vrtu), a také z důvodu bezpečnosti při hloubení šachty, bylo v prostoru budoucí šachty navrženo a realizováno 29 svislých injektážních vrtů v rastru 4 x 4 m, vyrobených PVC trubkami průměru 50 mm, délky 35 m, tj. 3 m pod dnem tunelu. Toto rozhodnutí se ukázalo jako opodstatněné, neboť těmito vrtu bylo zainjektováno celkem 750 m<sup>3</sup> injektážní směsi.

## VRTÁNÍ PILOT

Provádění šachty Metrostav zadal firmě Zakládání staveb Praha, a. s. Ta použila na vrtání pilot soupravu AU BG25 se zapažovacími zařízeními VRM 150 KL s vložkami na průměr 1180 mm od firmy Leffer. Výška vodících zídek 1,2 m spolu s použitím speciálních pažnic řady Hard od firmy Leffer vedla k dosažení větší přesnosti při vrtání pilot. Vrtání proběhlo v únoru a březnu 2006.

Přesnost provedení pilot byla velmi dobrá (foto 2) a dosažené odchylky byly v hodnotách pod 1 % z délky pilot, což byl striktní požadavek v realizační dokumentaci. Při betonáži pilot nedošlo k žádným větším spotřebám betonové směsi, což lze přičíst provedeným výplňovým injektážím.

Již při návrhu pilot bylo zřejmé, že piloty, pod kterými budou zastíženy ocelové součásti zavaleného stroje Perforex, nebudou dovtřeny na plnou hloubku. Při vrtání k tomu došlo ve třech případech a volný prostor pod nedovrtanou pilotou byl po vyhloubení šachty rozepřen ocelovými válcovanými profily a vyplněn stříkaným betonem.

## HLOUBENÍ ŠACHTY A REALIZACE ZTUŽUJÍCÍCH PRVKŮ

Hloubení šachty a související práce na zřízení převázek a stěn byly zahájeny v dubnu 2006. Po provedení převázky 1 na hlavách pilot se hloubilo po záběrech 5 m až na úroveň převázky 2. Po jejím vybetonování se opět po záběrech 2 m pokračovalo k převázce 3. Vzhledem k dobré dosažené přesnosti vrtání pilot nebylo nutné mezi převázkami 2 a 3 realizovat ztužující prstence ze stříkaného betonu původně předpokládané od úrovně 4 m nad převázkou 3. Jejich realizace začala až v úrovni 3 m pod převázkou 3 a pokračovala až na dno šachty, k horní úrovni převázky 4 (foto 3).



Foto 5 Betonáž ztužující stěny B samohutnícím betonem  
Photo 5 Casting of wall B by self-compacted concrete mix

on particular structure elements and for their different load cases, but also in finding a method of check calculation which gives sufficient evidence and maintains satisfactory safety margins. This was achieved with a substantial help from A. Zapletal and J. Masopust; we express our thanks to them.

The calculation's flexibility simplified the construction, made the excavation sequence much simpler and allowed the omission of seven reinforcing rings. Both these changes were possible thanks to the achieved accuracy of pile installation, which was within 1% of tolerance, and also due to the better-than-expected geological conditions. Because of the complexity and voluminosity of the design calculation the authors are preparing a separate paper to be published in a future issue of the magazine Tunel.

## GROUTING

During the concreting of piles in bulkheads, there was in a few cases a considerably higher volume of concrete used, which filled the free cavities in the collapse area. To prevent such a situation for shaft pile drilling (despite the results of the core borehole) and also for safety reasons during the shaft excavation, there were designed and executed 29 vertical grouting boreholes in a 4 x 4 m grid with PVC pipes 50 mm in diameter and 35 m long, going 3 m under the tunnel invert. This decision proved to be well-founded; 750 m<sup>3</sup> of grout was injected through these boreholes.

## PILES DRILLING

The shaft construction was subcontracted by Metrostav to Zakládání staveb Praha a.s. For pile drilling a drill rig AU BG25 with casing oscillator VRM 150 KL, with inserts for 1180 mm diameter from Leffer Company was used. The 1.2 m high guiding walls together with the application of special casing of Hard series from Leffer Company have led to a higher accuracy of pile drilling. The drilling took place in February and March 2006.

The drilling accuracy was very good (see Photo 2) and tolerances achieved were in values below 1% of the pile length, which was a strict condition of the design. During pile concreting no large overconsumption of concrete was reported, which could be attributed to the grouting.



Foto 6 Počátek prorážky tunelu do šachty  
Photo 6 Start of the piles demolition for the tunnel opening

Hloubení pod převázkou 3 bylo komplikováno přítomností zavaleného stroje Perforex a zříceného primárního ostění. Bylo nutné postupovat pomalu a nebylo možné použít větší mechanizaci (foto 4).

Po dokončení převázky 4 pode dnem šachty byly zahájeny práce na betonáži stěn A a B. Jednalo se o technicky zajímavé a náročné práce, protože jednostranným bedněním bylo potřeba zabetonovat stěny vysoké 10,8 m. Projektant požadoval betonáž bez vodorovných pracovních spár. Pro menší stěnu A byla povolena jedna pracovní spára uprostřed výšky stěny. U každé stěny byla použita různá technologie betonáže:

U větší stěny B (foto 5) byla použita technologie samohutnění betonu a stěna byla vybetonována najednou na celou výšku. Bylo nutné pečlivě navrhnout betonovou směs s potřebnými přísadami tak, aby beton v jednotlivých pracovních záběrech (vrstvách) ve stanoveném čase dosáhl určité pevnosti, která by zaručila požadovaný maximální tlak betonové směsi na bednění. Zároveň však nesmělo dojít k vytvoření pracovní spáry. Po pečlivých přípravách betonáž stěny proběhla bez větších problémů.

Menší stěna A byla vybetonována s pomocí jednostranného bednění s jednou vodorovnou pracovní spárou a s použitím klasické betonové směsi B 30.

Po dokončení betonáže stěn došlo v červenci 2006 k vybourání pilot v prostoru tunelu raženého závalem od portálu u Března (foto 6), druhý otvor pro tunel ražený sekvenční metodou od portálu u Droužkovic byl realizován v říjnu 2006.

## GEOTECHNICKÝ MONITORING

Během výstavby šachty probíhal geotechnický monitoring, který prováděla firma SG Geotechnika, a. s. Bylo osazeno 6 inklinometrů do pilot a 8 geodetických bodů v pěti výškových úrovních, které byly instalovány na převázkách a pilotách. V závislosti na postupu výstavby byl prováděn pravidelný monitoring, jehož výsledky byly průběžně vyhodnocovány a předkládány na kontrolních dnech stavby konaných každý týden.

Naměřené hodnoty deformací během všech fází výstavby byly malé a nedosáhly ani prvního varovného stavu, což potvrdilo správnost návrhu konstrukce šachty.

## ZÁVĚR

Návrh unikátní konstrukce únikové šachty tunelu Březno v prostoru předchozího závalu přinesl řadu nových problémů, při jejichž řešení bylo potřeba použít neobvyklých postupů.

Flexibilita návrhu umožnila během výstavby reagovat na skutečně dosaženou přesnost vrtaných pilot i na zastížené geologické podmínky. Tím bylo možné radikálně zjednodušit postupy hloubení a vynechat sedm ztužujících prstenců ze stříkaného betonu. Dobrou spoluprací partnerů výstavby došlo oproti schválenému harmonogramu výstavby ke zkrácení doby výstavby šachty o 2,5 měsíce.

ING. TOMÁŠ PARÁK, [tomas.parak@ikpce.com](mailto:tomas.parak@ikpce.com),  
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

ING. ERMÍN STEHLÍK, [ermin.stehlik@seznam.cz](mailto:ermin.stehlik@seznam.cz), konzultant

Already during the design phase it was clear that the piles, which are above the steel parts of the buried Perforex machine, will not be drilled to the full length. During pile drilling this happened three times and the free space under the uncompleted pile was braced by steel beams and filled with shotcrete.

## SHAFT EXCAVATION AND STRUCTURAL ELEMENTS

Shaft excavation and related works started in April 2006. After the completion of Ring Beam 1 on the piles' heads the excavation in 5.0 m rounds started, up to the Ring Beam 2 level. After casting the ring beam, the excavation in 2.0 m rounds continued to Ring Beam 3. Thanks to the achieved pile drilling accuracy it was not necessary to install reinforcing shotcrete rings between Ring Beams 2 and 3, originally designed from a level 4.0 m above Ring Beam 3. Reinforcing rings were applied starting from a level 3.0 m below Ring Beam 3 and continued up to the bottom level of the shaft, to the upper level of Ring Beam 4 (see Photo 3).

The excavation below Ring Beam 3 was complicated by the existence of the buried Perforex machine and collapsed lining. It was inevitable to progress slowly and it was not possible to use larger equipment (see Photo 4).

After the completion of Ring Beam 4, under the shaft bottom, the works on casting the walls A and B started. These works were technically interesting and demanding at the same time, because it was required to board the 1.8 m high walls by one-sided formwork. The designer originally required casting without horizontal cold joints, but for the smaller wall A one cold joint was allowed in the middle of the wall. For each wall a different method of concrete technology was used:

For the larger wall B (Photo 5) the technology of self-compacting concrete was used and the wall was cast completely for the whole height. It was important to design the concrete mix with the required additives very carefully in such a way that the concrete strength in prescribed time in particular work rounds (layers) reached the required value, which guaranteed the maximum load of concrete to the formwork. At the same time the occurrence of a cold joint was not allowed. After careful preparatory works the casting passed without major problems.

The smaller wall A was cast with one horizontal cold joint with the help of one-sided formwork and application of the classic concrete mix B 30.

After the completion of the wall casting in July 2006, the demolition of the piles for the tunnel mined from the Březno portal through the collapse was executed (Photo 6); the second opening in the shaft for the tunnel mined by the sequential method from the Droužkoviče portal was executed in October 2006.

## GEOTECHNICAL MONITORING

During the shaft construction, SG Geotechnika a.s. performed geotechnical monitoring. Six inclinometers were fit into the piles and eight geodetical measurement points in five levels were fixed to ring beams and piles. Depending on the construction progress, regular monitoring was performed and its results were continuously submitted and assessed on weekly meetings.

The measured deformations during all construction phases were small and not even the first warning level was reached, validating the accuracy of the design.

## CONCLUSION

The design of the unique structure of the Březno Tunnel shaft in the area of a previous tunnel collapse brought a number of new problems, which required an application of atypical design and calculation methods.

The design flexibility enabled the Contractor to react to the accuracy of the drilled piles installation and to the actual geological conditions. This led to a radical simplification of the excavation sequences and the omission of seven reinforcing shotcrete rings. Good cooperation of all parties resulted in a shortening of the shaft construction period by 2.5 months.

ING. TOMÁŠ PARÁK, [tomas.parak@ikpce.com](mailto:tomas.parak@ikpce.com),  
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

ING. ERMÍN STEHLÍK, [ermin.stehlik@seznam.cz](mailto:ermin.stehlik@seznam.cz), consultant

# TUNEL LIBOUCHEC NA DÁLNICI D8 – REKAPITULACE TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ PŘI UVEDENÍ DO PROVOZU

## THE LIBOUCHEC TUNNEL ON THE D8 MOTORWAY – AN OVERVIEW OF THE ENGINEERING SOLUTION ON THE OCCASION OF THE TUNNEL INAUGURATION

LIBOR MAŘÍK

### ÚVOD

Uvedení dálničního tunelu do provozu je vždy slavnostním okamžikem nejen pro všechny účastníky výstavby, ale zejména pro řidiče, kterým nově otevřená trasa dálnice zkrátí a urychlí cestu. Pro projektanta realizační dokumentace je ukončení výstavby dobrým důvodem k rekapitulaci průběhu projektu, porovnání předpokladů se skutečně zastiženými podmínkami a ke zhodnocení optimalizace technického řešení. Nově otevřený úsek dálnice D8 vedoucí od Ústí nad Labem až na státní hranici se SRN prochází hřebenem Krušných hor. Vzhledem k reliéfu terénu se na trase kromě mnoha mostních objektů nacházejí i dva tunely. Tunel Libouchec, o kterém článek pojednává, navazuje od jihu na knínickou estakádu délky 1080 m, na severu přechází tunel do galerie navazující na západní tunelovou troubu a po krátkém úseku dálnice na další mostní objekt Libouchec převádějící trasu dálnice do tunelu Panenská. Vlastní tunel Libouchec tvoří dvě tunelové trouby, každá o dvou jízdních pružích. Východní tunelová trouba o celkové délce 520 m je určena pro směr Praha – Drážďany, západní tunelová trouba o délce 670 m včetně galerie pro směr opačný.

Při výstavbě tunelů hraje stále větší roli bezpečnost provozu a zajištění požadované požární bezpečnosti. Proto kromě mnoha stavebních úprav doznalo určitých změn i technologické vybavení tunelu, zvyšující bezpečnost a jízdní pohodu řidiče při průjezdu tunelem.

Detailní popis stavební části se zaměřením na ražbu tunelu a primární a definitivní ostění byl předmětem samostatného článku v časopise Tunel 1/2006. Následující text se proto zaměřuje na další etapu v životě tunelu, kterou představuje technologické vybavení tunelu, stavební úpravy spojené s bezpečností provozu a ekologické aspekty výstavby tunelu.

### TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ TUNELU

Doby, kdy k hlavním činnostem tuneláře patřilo vyrazení tunelu a zajištění požadované stability výrubu, jsou dávno minulostí. Moderní tunelová stavba vyžaduje pro zajištění provozního i bezpečnostního standardu instalaci složitých technologických celků centrálně ovládaných pomocí řídicího systému tunelu. Veškeré informace jsou z bezobslužného řídicího centra přenášeny optickým kabelem do dispečinku tunelu v nedalekých Řehlovičích a Petrovičích, kde nad bezpečným chodem systému a provozem v tunelu bdí stálá služba. I když délka tunelu Libouchec jen málo překračuje 500 m, tunel disponuje poměrně složitým technologickým vybavením. Cílem montáže



Obr. 1 Jižní portál, příprava území – 8/2004  
Fig. 1 Southern portal, site preparation – 08/2004

### INTRODUCTION

The act of opening of any motorway tunnel to traffic is always a solemn moment for all parties to the project, but first of all for drivers, who will enjoy the shorter and faster travel along the new stretch of the motorway. Completion of a construction is a good moment for the designer to overview the course of the works, compare the assumptions with the actually encountered conditions, and assess the results of optimisation of the engineering solution. The newly opened stretch of the D8 motorway running from Ústí nad Labem up to the border with the BRG, passes across a crest of the Krušné Hory Mountains. There are two tunnels on the motorway route in addition to numerous bridges, which were necessary to cope with the undulated terrain configuration. The Libouchec tunnel, which is the topic of this paper, links the 1080m-long Knínice viaduct on the south. On the northern side, the western tube passes to a gallery (a snow shed-type structure), and to a short at-grade section, which connects to another bridge structure, the Libouchec Bridge. This bridge carries the motorway route to the Panenská tunnel. The Libouchec tunnel itself is a twin-tube, two-lane structure. The 520m-long eastern tunnel tube is designed for the Prague-Dresden traffic direction, while the 670m-long western tunnel tube (including the gallery) carries the opposite direction traffic.

The importance of the role of operational safety and requirements for the fire safety level continuously grows in the construction process. This is why the tunnel equipment, similarly to the tunnel structures, was a subject of certain changes, which improved the safety and driving comfort during the travel through the tunnel.

A detailed description of the structural part of the engineering solution, which was focused on the tunnel excavation, primary lining and final lining, was the topic of a separate paper published in Tunel 1/2006. The following text is therefore focused on another phase of the tunnel life, on the tunnel equipment, structural details associated with the operational safety, and environmental aspects of the tunnel construction.

### TUNNEL EQUIPMENT

The times when the task to excavate a tunnel and guarantee the required degree of stability of the excavated opening was the only task of tunnellers have been over for a long time. The modern Libouchec tunnel construction requires installation of complex equipment packages controlled centrally through a tunnel management system so that operating and safety standards are maintained. All information is transmitted from an unmanned control centre to the tunnel control centre nearby Řehlovice and Petrovice via a fibre-optic cable. There is a continuous service



Obr. 2 Ražba kaloty od jižního portálu – 4/2005  
Fig. 2 Top heading drive from the southern portal – 04/2005





Obr. 3 Betonáž základových pasů hloubených tunelů – severní portál 09/2005  
Fig. 3 Casting of the cut-and-cover tunnel strip foundation – northern portal 09/2005

technologických celků je zajištění plynulého provozu, včasné zjištění a odstranění potenciálních příčin nebezpečných situací a vytvoření podmínek pro celkovou pohodu řidiče při průjezdu tunelem. Vznik havárie nebo dokonce požáru v tunelu automaticky spouští zvláštní režim, předem naprogramovaný pro konkrétní krizovou situaci.

Technologické vybavení tunelu tvoří kromě silnoproudých a slaboproudých rozvodů systém tunelového větrání a osvětlení, čidla pro měření fyzikálních veličin, elektrická požární a zabezpečovací signalizace, systém tísňového volání SOS, uzavřený televizní okruh, zařízení pro rádiové volání, evakuační rozhlas a vlastní řídicí systém tunelu, do kterého se veškeré informace sbíhají a jsou analyzovány. Proti výpadku energie celý systém chrání jako záložní zdroj dieselaagregát, situovaný u provozně technologické budovy na jižním portálu tunelu.

Z hlediska řidiče hraje důležitou roli osvětlení tunelu, které tvoří dvě osvětlovací soustavy. Hlavní soustava zahrnuje akomodační a průjezdní osvětlení. Vedlejší soustava osvětluje tunelové propojky a slouží pro nasvětlení skříní SOS s cílem opticky zvýraznit jejich polohu v tunelu. Akomodační osvětlení slouží pro zlepšení pohody řidiče, který vjíždí z oblasti před tunelem. Pomáhá překlenout nedostatečnou schopnost očí zvyknout si v krátkém čase na zcela odlišné světelné poměry uvnitř tunelu. Vzhledem k malé délce tunelu probíhá akomodační osvětlení po celé jeho délce a z hlediska intenzity osvětlení je rozděleno do několika pásem. Regulaci akomodačního osvětlení zajišťuje řídicí systém tunelu v závislosti na jasových poměrech měřených vnějším jasoměrem před vjezdovými portály. Kromě těchto dvou osvětlovacích soustav je pro případ výjimečných stavů v tunelu nainstalováno nouzové osvětlení. Umístění diodových svítidel ve výšce 0,9 m nad úrovní chodníku po obou stranách tunelu zlepšuje orientaci osob v případě, kdy je již vrchní část tunelu vyplněna kouřem. Funkčnost svítidla signalizuje modrá LED dioda umístěná ve středu světelného zdroje. V případě poplachu signalizovaného elektrickou požární signalizací se kromě nouzového osvětlení zapíná na plný výkon i hlavní osvětlovací soustava.

V případě výpadku elektrické energie během normálního provozu v tunelu přechází režim osvětlení tunelu do náhradního osvětlení tunelu, zajišťovaného vybranými sekcemi akomodačního osvětlení. Dodávku energie zajišťuje náhradní zdroj a maximální povolená rychlost v tunelu je snížena z 80 km/h na 60 km/hod.

K dalšímu velmi významnému bloku technologických zařízení, který již z pohledu řidiče stojí v pozadí, patří měření fyzikálních a chemických veličin a elektrická požární signalizace. Jednotlivá čidla umístěná v tunelu, v provozně-technologickém objektu i před oběma portály, sledují např. hodnoty koncentrace CO a opacity v tunelových troubách, hodnoty teploty vzduchu v tunelu, teploty potrubí požárního vodovodu a v provozně-technologickém objektu, detekci mlhy na vjezdových portálech, výšku hladiny vody v požární nádrži a bezodtokové jímce znečištěných vod, měření rychlosti proudění vzduchu, nebo otáček a vibrací ventilátorů vдуchotechniky tunelu. Další čidla sledují stav zařízení v úpravně pH drenážních vod. Spolu s již zmíněnými jasoměry poskytují tato zařízení řídicímu systému potřebné informace, které vyhodnocuje, a na základě zjištěných hodnot ovládá další zařízení (ventilátory, osvětlení, ohřívání požárního vodovodu apod.).

Měření koncentrace CO a opacity v tunelu je umístěno poblíž portálů. Celkem jsou osazeny čtyři páry infračervených senzorů. Vstupní data potřebná pro optimální funkci vдуchotechniky doplňují čtyři páry čidel pro měření rychlosti proudění vzduchu v tunelu a čidla sledující teplotu vzduchu.

V souvislosti se změnou polohy požárního vodovodu z původního umístění pod vozovkou do prostoru pod chodníkem vznikl požadavek na temperování potrubí v případě, kdy teplota klesne pod přípustnou mez. Potrubí

present in the control centre. Even though the Libouhec tunnel length is only slightly higher than 500m, the tunnel is provided with relatively complex equipment. The objective of installation of the equipment packages is to secure uninterrupted traffic, timely detection and removal of potential causes of dangerous situations, and creation of suitable conditions for driver comfort during the passage through the tunnel. Any incident or even a fire inside the tunnel automatically sets in motion a special regime, which is pre-programmed for the particular critical situation.

Apart from a heavy-current and weak-current distribution system, tunnel equipment consists of tunnel ventilation and illumination systems, sensors measuring physical quantities, a fire alarm and detection system, emergency announcement system, CCTV cameras, a wireless communication system, public address and the tunnel control system itself, which collects and analyses all information. The entire system is protected against a power failure by a stand-by source, a diesel generating set, which is located next to the technical services building, at the southern portal of the tunnel.

From the driver's point of view, an important role is played by the tunnel illumination. The tunnel illumination consists of two lighting systems. The main system consists of the accommodation and interior tunnel lighting. A secondary system illuminates tunnel cross passages and serves for highlighting of SOS boxes with the aim of emphasizing their position in the tunnel. The accommodation lighting is intended to improve drivers' visual comfort when they enter the tunnel from the zone in front of the tunnel. It helps them to cope with the insufficient capability of eyes to accommodate in a short time to totally differing lighting conditions inside the tunnel. Because of the short length of the tunnel, the accommodation lighting system is installed throughout the length of the tunnel. In terms of the intensity of the light, the accommodation lighting is divided into several zones. The intensity of the accommodation lighting is controlled by the tunnel management system, depending on the luminance conditions in front of the entrance portals, which are measured by external luminance metres. Apart from the above-mentioned two lighting systems, an emergency lighting system is installed in the tunnel in case of extraordinary states. Orientation of persons in case of smoke filling the upper part of the tunnel profile is facilitated by LED-type luminaries installed at a level of 0.9m above the walkways, on both sides of the tunnel. The functionality of the luminary is signalled by a blue LED installed in the centre of the light source. When an alarm is signalled by the fire alarm and detection system, the main lighting system is activated at full capacity, concurrently with the emergency lighting.

When the power failure occurs during normal tunnel operation, the tunnel lighting regime is switched to the stand-by tunnel lighting regime, which is provided by selected sections of the accommodation lighting system. The power supply is provided by a stand-by source, and the maximum permissible speed in the tunnel is reduced from 80 km/h to 60 km/h.

Another very interesting equipment block, which is considered unimportant from driver's point of view, is the system of measurement of physical and chemical quantities and the fire alarm and detection system. Individual sensors, which are installed inside the tunnel, in the technical services building and in front of both portals, follow, for instance, the values of the Carbon Monoxide concentration and opacity in the tunnel tubes, the temperature of air in the tunnel, on the fire pipeline and in the technical services building, fog in front of the exit portals, the level of water in the fire protection reservoir and in the polluted water collecting drainless sump, measurement of the airflow rate or the speed of rotation and vibrations of the tunnel ventilators. Other sensors monitor the state of the equipment conditioning the pH in the water which is discharged from the tunnel drainage. Together with the above-mentioned opacity metres, these facilities provide information necessary for the control system, which assesses the information and controls other equipment (fans, lighting, fire main heating etc.) on the basis of the quantities determined.

The sensors measuring the Carbon Monoxide concentration and opacity in the tunnel are installed near the portals. A total of four pairs of infrared sensors are installed. The input data required for optimum functioning of the ventilation system is provided by four pairs of sensors measuring the airflow rate in the tunnel and sensors monitoring the air temperature.

A requirement for heating of the fire main pipeline in case of the temperature dropping under an allowable limit appeared in the context of a change in the position of the fire main, from the original place under the roadway to the space under the walkway. A trace heating system is used for the fire main protection, with the heating cables installed between the pipeline external surface and thermal insulation. The heating system is activated by the control system in the case of temperature in the tunnel and on the pipeline surface dropping. This system is in common use in tunnels abroad, but it is the first application in the Czech Republic.

The objective of the monitoring of the level of water in the 170m<sup>3</sup>-volume fire protection reservoir is to inform whether the volume of water in the reservoir is sufficient for a fire fighting intervention in case of a fire in the tunnel. The drainless sump collects polluted water from the roadway surface discharging from slotted drainage ducts. This water cannot be treated by the equipment available, therefore it must be transported by tankers to a sewage treatment plant. The water level monitoring system signals the state at which the water must be pumped from the sump to prevent inundation of the inflow pipeline and a total collapse of the roadway drainage system.

In recent years, strong emphasis has been placed on fire safety in tunnels, in the context of accidents in tunnels abroad. Detection of signs of a fire in the Libouhec tunnel is provided by sensors of the fire alarm and detection system. Whereas the



Obr. 4 Hloubené tunely na jižním portále  
Fig. 4 Cut-and-cover tunnels at the southern portal

požárního vodovodu je kontaktně ohříváno pomocí topných kabelů instalovaných mezi lícem trubky vodovodu a tepelnou izolací. Při poklesu teploty v tunelu a na líci potrubí vodovodu aktivuje řídicí systém v tunelu otáčení potrubí. Jedná se o systém, který je v zahraničních tunelech běžně používán, v České republice je použit v dálničním tunelu poprvé.

Sledování úrovně hladiny vody v požární nádrži o objemu 170 m<sup>3</sup> má za cíl informovat o dostatečné rezervě vody v nádrži pro provedení zásahu v případě požáru v tunelu. Do bezodtokové jímky znečištěných vod proudí voda ze šterbinových žlabů pro odvodnění vozovky. Vodu z jímky nelze pomocí instalovaných zařízení efektivně vyčistit a je nutné kontaminované vody odvézt cisternami do čistírny odpadních vod. Sledování hladiny v jímce signalizuje stav, kdy je voda z jímky třeba vyčerpávat, aby nedošlo ke zpětnému zatopení potrubí a úplnému kolapsu systému odvodnění vozovky.

V posledních letech je v souvislosti s haváriemi v zahraničních tunelech kladen velký důraz na zajištění požární bezpečnosti v tunelu. K detekci projevů požáru jsou v tunelu Libouchec instalována čidla elektrické požární signalizace. Zatímco provozně-technologický objekt s řídicím systémem tunelu a bezpečnost záložního zdroje energie střeží bodové hlásiče požáru, obě tunelové trouby sleduje lineární teplotní kabel FibroLaser II., který je schopen detekovat místo požáru s přesností na 3 m. Systém je aktivován při překročení maximální přípustné teploty ve sledované zóně 58 °C, zvyšování teploty rychlostí 12 °C/min. nebo rozdíl teploty v místě měření vůči průměrné teplotě v zóně překročí 10 °C, přičemž postačuje nesplnění jediného z kritérií. Kromě liniového sledování teploty v tunelu jsou v místě SOS kabin a v ústí tunelových propojek instalovány tlačítkové hlásiče požáru.

Počet SOS kabin vzrostl s ohledem na požadavky novelizovaného předpisu TP98 Technologické vybavení tunelů a vzhledem k prodloužení západní tunelové trouby o objekt galerie z původních 8 ks na 11 ks. Vzdálenost SOS kabin nesmí podle nových předpisů překročit 150 m.

Funkci očí řídicího systému tunelu zajišťuje systém videodohledu, který monitoruje celou oblast obou tunelů a provozně-technologického objektu. Z celkového počtu 42 kamer monitoruje 7 ks SOS hlásky v tunelu, 2 ks tunelové propojky a 4 ks ústí tunelových propojek. Před jižním a severním portálem jsou instalovány vždy 2 otočné videokamery. Videosignál z jednotlivých kamer je veden přes řídicí systém tunelu do obslužného dispečinku v Řehlovicích a Petrovicích.

Požadavky na informování řidičů v případě mimořádné události plní evakuační rozhlas. Ve výšce 3,2 m nad úrovní chodníku jsou ve vzdálenosti 25 m instalovány tlakové reproduktory, kterými vydávají příslušníci jednotek hasičského záchranného sboru, nebo Policie České republiky pokyny při evakuaci osob z tunelu. Vstup do systému evakuačního rozhlasu je možný jak z lokálního velínu v provozně-technologickém objektu na jižním portálu tunelu, tak ze vzdáleného dispečinku v Petrovicích nebo Řehlovicích.

Za běžného provozu i v případě požáru v tunelu hraje klíčovou roli správně fungující systém vzduchotechniky. Tunel Libouchec podélně odvětrávají v každé tunelové trubce tři páry proudových ventilátorů firmy Howden Power. Pro zajištění větrání v tunelu a dosažení požadované rychlosti proudění při vzniku požáru 3 m/s postačují pouze dva páry ventilátorů, třetí pár je nasazen jako záložní pro případ, že by ohnisko požáru leželo v blízkosti ventilátoru a vlivem extrémní teploty nebo jiné poruchy došlo k jeho vyřazení z provozu. Další ventilátory zajišťují odvětrání tunelových propojek a umožňují v případě požáru v jedné tunelové trubce zajistit potřebný přetlak vzduchu tak, aby kouř nevnikal do propojky a druhé tunelové trouby, sloužící jako

technical services building with the tunnel management system and the stand-by power source are guarded by point fire detectors, both tunnel tubes are monitored by the FibroLaser II linear heat detection system, which is capable of detecting a fire location with the accuracy within 3m. The system is activated when the maximum allowable temperature of 58 °C is exceeded, or the rate of the temperature growth crosses 12 °C/minute, or the difference between the temperature at the measurement location and the average temperature within the zone is higher than 10 °C; the fact that even a single criterion is met is sufficient for triggering the signal.

The number of SOS cabins grew from the original 8 to 11 with respect to requirements of reviewed technical specifications TS98 Tunnel Equipment and with a view to the extended length of the western tunnel tube by the addition of the gallery structure. According to the new specifications, the spacing of SOS cabins must not exceed 150m.

The role of eyes of the tunnel control system is played by the television surveillance system, which monitors the entire area of both tunnel tubes and the technical services building. Of the total number of 42 cameras, seven cameras monitor the emergency call stations in the tunnel, two cameras oversee the cross passages, and four watch the entries to the cross passages. Two revolving cameras are installed in front of each of the southern and northern portals. The video signal from individual cameras is transmitted through the tunnel control system to the service control centres in Řehlovice and Petrovice.

Requirements for a system providing drivers with information in case of an emergency are fulfilled by the public address system. Pressure loudspeakers are installed every 25m at a height of 3.2m above the walkways. They are used by Fire Rescue Service personnel and the Police of the Czech Republic for instructing persons during the tunnel evacuation. The entry to the public address system is possible both from the local control room in the technical services building at the southern portal of the tunnel, and from the remote control centres in Petrovice or Řehlovice.

The proper function of the ventilation system is important both during the common operation and in the case of a fire in the tunnel. The Libouchec tunnel is provided with a longitudinal ventilation system using three pairs of Howden Power jet fans in each tube. Two pairs of fans capable of producing the required 3m/s airflow rate in case of a fire are sufficient for the tunnel ventilation. The third pair is installed in the tunnel tube as a stand-by in case of a failure of a fan, which may be damaged by extreme temperature if the seat of fire is in its proximity, or fail due to any other cause. Other fans ventilate the cross passages and make creation of a required positive pressure possible in case of a fire in one tunnel tube so that smoke is prevented from entering the cross passage and the other tunnel tube which is used as an escape route. Escaping persons always proceed against the fresh air flow.



Obr. 5 Stísněné poměry při betonáži vozovky  
Fig. 5 Constrained conditions during the roadway casting



Obr. 6 Ochrana požárního vodovodu před promrzáním  
Fig. 6 Frost protection of the fire main

úniková cesta. Unikající osoby tak vždy postupují proti proudu čerstvého vzduchu.

### STAVEBNÍ ÚPRAVY PRO ZAJIŠTĚNÍ BEZPEČNOSTI V TUNELU

K zajištění bezpečnosti v tunelu nepřispívá jen složité technologické vybavení, ale i řada stavebních úprav. Jedná se především o tunelové propojky, které umožňují zejména v případě požáru únik osob z jedné tunelové trouby postupně plněné zplodinami z požáru do druhé tunelové trouby. Na délku tunelu 520 m připadají dvě tunelové propojky, čímž je trasa úniku rozdělena na úseky o maximální délce 190 m. Jedná se o nejefektivnější způsob záchran osob – samoevakuaci. V ústí každé propojky, jejíž poloha je kromě stále svítící značky odlišena i barvou ostění tunelu, je umístěn hydrant a únikovou cestu chrání před účinky požáru protipožární dveře.

Pro usnadnění orientace unikajících osob slouží speciální značení s fotoluminescenčním povrchem, které udává směr a vzdálenost k nejbližší únikové cestě, tj. k tunelové propojce, nebo k portálu. Obdobně jsou značena místa požárních hydrantů nebo skříní SOS.

Hydranty požárního vodovodu jsou stejně jako šachty na čištění boční tunelové drenáže umístěny ve výklencích, jejichž hrany jsou zkoseny ve směru jízdy. Toto opatření omezuje možnost přímého nárazu do hrany výklenku v situaci, kdy řidič vozidlo neovládá. Šikmá plocha výklenku odradí vozidlo zpět na vozovku. Energie nárazu je tím snížena, stejně jako riziko zranění osádky vozu. Kromě ústí tunelových propojek jsou hydranty umístěny v blízkosti skříní SOS. Podél obou boků každé tunelové trouby vedou kabelové trasy umístěné do kabelovodů. Prostor kabelovodu je na povrchu upraven jako pochozí stezka a slouží jako úniková cesta.

Do prostoru pod únikovou cestou se podařilo v rámci změn během výstavby umístit i požární vodovod, původně situovaný pod vozovkou tunelu. Změna polohy požárního vodovodu odpovídá koncepci vedení potrubí v mnoha zahraničních tunelech a přináší mnoho výhod. Pro vodovodní potrubí tohoto typu platí podle platné normy nezáměrná hloubka 1,5 m. Při dodržení nezáměrné hloubky a nutnosti křížení potrubí s dalším trubním vedením v tunelu by došlo k liniovému podkopání patek definitivního ostění, což je ze statického hlediska nepřijatelné. Kromě statického hlediska má změna pozitivní dopad i do hlediska provozního a bezpečnostního. V případě poruchy na potrubí by bylo nutné povést opravu přímo ve vrstvách betonového krytu vozovky. To by způsobilo značný nárůst provozních nákladů, spojených s údržbou poškozeného místa. Zúžení vozovky v opravované části tunelu zvyšuje riziko nehody se všemi důsledky, které tato skutečnost přináší.

Samostatnou kapitolou bezpečnosti v tunelu tvoří zajištění požadované požární odolnosti konstrukcí a minimalizace negativních vlivů při požáru. Dalším bezpečnostním prvkem je proto samotný povrch vozovky. Velké nebezpečí při požáru v tunelu představují zplodiny hoření, přičemž teplota dosahuje v epicentru požáru ve velmi krátké době až 1300 °C (např. křivka požáru dle RABT). Z tohoto důvodu tvoří konstrukci vozovky betonová deska, i když v přilehlých úsecích tunelu a v navazující galerii je navržen povrch živičný.

Šíření požáru v tunelu zamezuje i použití šterbinových žlabů. Hořící kapalina stéká z povrchu vozovky a šterbinovým žlabem odtéká směrem k portálu. Již samotný šterbinový žlab omezuje přístup vzduchu k hořící kapalině. Součástí trasy šterbinového žlabu jsou samozhášecí kusy umístěné v rastru 60 m. Jedná se o sifony naplněné vodou. Při průchodu hořící kapaliny sifonem dojde k uhašení plamene a požár se dále nešíří do dosud nezasazených úseků tunelu. Obdobnou funkci mají i protipožární ucpávky kabelovodů, které zabráňují šíření požáru chráničkami kabelů propojujícími jednotlivé požární úseky tunelu.

### TUNNEL SAFETY STRUCTURES

The tunnel equipment is not the only element which contributes to the safety in the tunnel. The safety is also improved by numerous items of construction work. First and foremost, there are cross passages there, which allow escape of people from one tunnel tube to the other in the case of a fire while the affected tube is gradually being filled with combustion products. Two cross passages come to the tunnel length of 520m, thus the escape route is divided into sections at a maximum length of 190m. It is the most effective way of rescuing people, the so-called "self-evacuation". The entry to each cross passage, which is provided with a fire resisting door protecting the escape route against the effects of fire, is marked by a permanently lighting sign and is distinguished in colour within the tunnel lining. There is a fire hydrant at each entrance.

Orientation of escaping persons is facilitated by special photo-luminescent-surface signs showing the direction and distance of the nearest escape route, i.e. of an escape route or a portal. The positions of fire hydrants or SOS boxes are marked in a similar way.

The fire hydrants, as well as the manholes which allow clearing of the tunnel side drainage, are located in sidewall recesses. The edges of the recesses are chamfered in the direction of traffic so that the possibility of a direct impact into the edge of the recess in a situation when a driver loses control over the vehicle is prevented. The angling wall of the recess bounces the vehicle back to the roadway. Thus the impact energy as well as the risk of injury of the passengers is reduced. The hydrants are installed not only at the entries to the cross passages, but also at the SOS boxes. Cable runs lead through cableways along both sides of each tunnel tube. The surface above the cableways is provided with pavement and is used as a walkway and an escape route.

The fire main design, which had been originally placed under the roadway, was successfully changed in the process of the design modifications; the pipeline was also installed under the escape way. The change in the position of the fire main was made in compliance with the concept of pipeline routes in many tunnels abroad; it is beneficial in many respects. The respective standard valid for water pipelines of this type requires placement of the pipeline at a minimum depth of 1.5m to ensure the frost protection. However, if this depth is maintained in the situation where another pipeline is to be crossed in the tunnel, the trench to be dug along the final lining base would threaten stability of the lining, which is inadmissible. Apart from the structural aspect, the change has a positive impact also in terms of the tunnel operation and safety. A repair of a contingent pipe defect would have to be carried out directly in the concrete courses of the roadway surface. It would cause a significant increase in the operating costs which would be associated with the maintenance of the damaged surface. The reduced width of the roadway in the tunnel section under repair would increase the risk of an incident, with all consequences which are associated with this situation.

Provision of the required level of fire resistance of structures and minimisation of negative effects during a fire is a separate chapter of safety in the tunnel. The roadway surface itself is, therefore, a separate safety element. Combustion products pose a significant threat during a fire. Because the temperature in the fire epicentre reaches in a very short time up to 1300 °C (e.g. the RABT Fire Curve), the roadway structure is a reinforced concrete slab, even though a bituminous roadway surface has been designed for the adjacent tunnel sections and the gallery.

A fire in the tunnel is prevented from spreading even by installation of slotted drainage ducts. Burning liquid runs down from the roadway surface and continues through the slotted duct toward the portal. The slotted drainage duct itself prevents access of air to the burning liquid. Self-extinguishing pieces, which are installed every 60m, are parts of the slotted drainage duct route. The self-extinguishing piece is a siphon filled with water. The flame is extinguished during the passage of the burning liquid through the siphon, thus the fire does not spread to the tunnel sections which have not been affected by the fire yet. Fire stop sleeves on cables have a similar function, i.e. to prevent a fire from spreading through the cableways, which connect individual fire compartments of the tunnel complex.



Obr. 7 Přejít z tunelu do galerie  
Fig. 7 Transition of the tunnel to the gallery



Obr. 8 Sdružený výklenek požárního hydrantu a skříně SOS  
Fig. 8 An SOS niche with a fire hydrant

## Ekologické aspekty a ochrana životního prostředí

Lokalita, ve které se tunel Libouchec nachází, vyžaduje zodpovědný přístup k ochraně životního prostředí. Obecně lze říci, že vedení trasy komunikace v tunelu je v porovnání s vedením v hlubokém zářezu vždy šetrnějším řešením. V krajíně nevzniká jizva, tvořící překážku při migraci zvěře, nedochází ke zvýšené erozi obnažených svahů zářezů a tunelové portály obložené v případě tunelu Libouchec přírodním kamenem citlivě zapadají do krajinného rázu Krušných hor.

Určité nebezpečí mohou u tunelových staveb představovat exhalace, které se na rozdíl od volné trasy v tunelu koncentrují a vystupují z tunelu v jediném místě – u tunelových portálů. V případě tunelu Libouchec však vzhledem k malé délce tunelu, podélnému sklonu trasy 4,5 % a výraznému komínovému efektu nepředstavují koncentrace škodlivin zásadní problém.

Možným zdrojem znečištění však může být voda, resp. kapaliny vytékající z tunelu. Proto došlo během provádění tunelu k modifikaci původního řešení a po provedení koncepčních úprav lze hovořit o třech nezávislých systémech odvodnění tunelu.

Prvním, nejméně rizikovým zdrojem znečištění jsou vody protékající dešťovou kanalizací z předportálových zářezů položených nad tunelem. Vlastním úsekem tunelu voda pouze protéká, do potrubí však nejsou zaústěny žádné další zdroje potenciálního znečištění. V původním řešení ústila do kanalizačního potrubí pomocí příčných propojek i boční tunelová drenáž. V rámci realizace stavby však došlo k oddělení obou systémů. Nebezpečí kontaminace kanalizačních vod je proto totožné s rizikem kontaminace kdekoli na dálničním tělese a existence tunelu riziko nijak neovlivňuje. Oddělení obou systémů má ještě jeden pozitivní konstrukční dopad. Dešťová kanalizace původně umístěná v obou tunelových troubach probíhá nyní pouze východní tunelovou troubou. Kromě úspory investičních nákladů tato skutečnost příznivě ovlivňuje i konstrukční hledisko provádění podkladních vrstev betonové vozovky. Na jižním portálu tunelu voda protéká sedimentačními jámkami a odlučovačem ropných produktů, aby následně dotovala požární nádrž o objemu 170 m<sup>3</sup>. Kapacita nádrže postačuje na provedení požárního zásahu v době trvání 2 hodiny.

Druhý rizikový zdroj znečištění představují vody drenážní, které prosakují puklinami v horninovém masivu, protékají primárním ostěním a po zachycení mezilehlou fóliovou izolací stékají do podélných bočních drenáží. Určitá část podzemní vody prosakuje i počvou tunelu do střední tunelové drenáže, neboť tunel prováděný bez spodní klenby není po celém obvodu uzavřen izolačním pláštěm. Jedná se o takzvaný deštníkový systém izolace. V původním řešení drenážní vody vtekaly do kanalizační stoky a spolu se srážkovými vodami z předportálových zářezů zásobovaly požární nádrž před jižním portálem tunelu. Při zpracování prováděcího projektu došlo k úpravě systému odvodnění oddělením srážkových vod od vod drenážních. Jak se později ukázalo, jednalo se o prozíravé opatření. Již během výstavby vykazovala podzemní a technologická voda vytékající z tunelu zvýšené pH, které v extrémním případě dosahovalo až hodnoty 12. Proto bylo nutné vodu před vypouštěním do vodoteče upravovat a hodnotu pH snížit na přípustnou mez. Zhoršení kvality zapříčinil průtok podzemní vody primárním ostěním ze stříkaného betonu. Situace se nezlepšila ani v období před uvedením tunelu do provozu, a tak nezbývalo, než do technologického vybavení tunelu zařadit i úpravnu pH, přes kterou veškeré drenážní vody dosud protékají. Lze očekávat, že v průběhu času dojde ke snižování výluhů z primárního ostění a kvalita podzemní vody dosáhne původních parametrů. Pak bude možné úpravnu odstranit. Do té doby se však bez úpravy vody tunel neobejde.

Ke zdroji s největším rizikem kontaminace patří voda stékající z povrchu vozovky. I když při běžném provozu riziko kontaminace nepřevyšuje riziko



Obr. 9 Nouzové osvětlení a další vybavení tunelu  
Fig. 9 Emergency lighting and other tunnel equipment

## Ecological aspects and environmental protection

The location in which the Libouchec tunnel is found requires a responsible attitude towards environmental protection. It is possible to generally state that the setting of a road to a tunnel is always more environmentally friendly than a route running in a deep open cut. The landscape is not hurt by a scar in its surface, which becomes an obstacle for migration of game; aggravated erosion of the uncovered slopes of the open cut is not the threat, and tunnel portals, which are in the case of the Libouchec tunnel clad in natural stone, sensitively fit in the Krušné Mountains landscape.

As opposed to an open surface alignment, exhaust emissions, which are concentrated in the tunnel and are let out of the tunnel in one location, at the portals, may be a certain threat. However, regarding the Libouchec tunnel, the concentration of pollutants is not a significant problem if we consider the short length of the tunnel, the longitudinal gradient of 4.5% and the profound chimney effect.

On the other hand, water or liquids flowing from the tunnel may be a source of pollution. For that reason the original design was modified in the course of the tunnel construction. After implementation of conceptual changes, we can speak about three independent drainage systems.

The first source of pollution, the least risky one, is the water flowing through the storm-water drainage from the pre-portal open cuts, which are in a higher elevation than the tunnel. The water only passes through the tunnel; no other sources of potential pollution are connected to this drainage. The original design contained connections to this drain from the tunnel side drains. The two systems were separated during the construction. The risk of contamination of the water in the storm-water drainage is identical with the risk of contamination in any place along the motorway route; the existence of the tunnel does not affect this risk. The act of separation of the two systems has another positive impact on the tunnel structure. The storm-water drainage, which was originally designed for both tunnel tubes, is now installed only in the eastern tunnel tube. This fact positively affects not only the cost, but also the construction work on the roadway bedding layers. At the southern portal, the water flows through sedimentation tanks and an oil separator, to be subsequently used for supplying a fire protection reservoir with the capacity of 170m<sup>3</sup>. This capacity is sufficient for a two-hour fire intervention.

The second potential source of pollution is ground water collected by tunnel drains. Ground water seeps through fissures in the rock mass, leaks through the primary lining and is directed by the intermediate waterproofing membrane down to the longitudinal side drains. Because the waterproofing is not closed to cover the tunnel bottom (the so-called 'umbrella' type of waterproofing), certain portion of ground water seeps through the tunnel invert to the central drain. According to the original design, drainage water was discharged to a sewer and, together with storm water from the pre-portal open cuts, supplied to the fire protection reservoir in front of the southern portal of the tunnel. The drainage system was changed in the detailed design phase; storm water was separated from drainage water. It was subsequently proven that this measure had been very far-sighted. Ground water and process water flowing from the tunnel exhibited increased pH values as early as the construction phase. Extreme values of 12 were reached. For that reason it was necessary to start the pH conditioning and reduce the value to a permissible level. The quality deteriorated as a result of the fact that the water flew in contact with the primary shotcrete lining. The situation remained unimproved even in the phase before the tunnel commissioning. The contractor was left with no choice but to add a pH-conditioning facility. The facility, which treats all drainage water flowing from the tunnel, has been in service till now. It can be expected that the intensity of the primary lining leaching will be gradually diminished and quality of ground water will reach the original parameters. Then it will be possible to remove the treatment facility. Till that time, however, the tunnel cannot cope without it.

Water flowing from the roadway surface is the source posing the greatest risk of contamination. Even though the risk of contamination during common operation is not higher than the risk in open-surface motorway sections outside the tunnel, water used for washing of the tunnel walls is provably contaminated and cannot be



Obr. 10 Celkový pohled na jižní portál před dokončením  
Fig. 10 Overall view of the southern portal before completion

na volných úsecích dálnice mimo tunel, v případě mytí stěn tunelu je voda prokazatelně kontaminována a nelze ji bez další úpravy vypouštět do vodoteče. Obdobná situace panuje např. při havárii cisterny nebo v případě zmáhání požáru. V tomto případě poskytuje systém odvodnění tunelu vyšší standard ochrany životního prostředí, než je tomu na volné trase. Jednostranný příčný sklon vozovky 4,5 % odvádí vodu z povrchu komunikace do šterbinového žlabu a jednostranným spádem k jižnímu portálu, kde je voda jímána do bezodtokové jímky. V případě zaplnění jímky cisterny vodu dopraví do nejbližší čistírně odpadních vod, kde jsou nečistoty odstraněny a ekologicky zlikvidovány.

Navržené technické řešení počítá s jednotlivými alternativami možného rizika znečištění a oproti volné trase dálnice nadstandardně řeší případné krizové situace.

## ZÁVĚR

Během výstavby tunelu došlo z iniciativy projektanta realizační dokumentace i zhotovitele k celé řadě změn, které vycházejí ze zahraničních směrnic a předpisů i zkušeností z již realizovaných tunelů mimo území České republiky. Další změny si vynutily složité geotechnické poměry v oblasti portálů, související s úpatní polohou tunelů, malou výškou nadloží a větší mocností pokrývných útvarů. Úpravy technologického vybavení tunelu souvisejí se změnou norem a předpisů v souvislosti s tragickými haváriemi v zahraničních tunelech a směrnicí 2004/54/ES Evropského parlamentu a Rady o minimálních bezpečnostních požadavcích na tunely na transevropské dálniční síti. Na rozdíl od příportálových úseků mimořádně příznivé geotechnické podmínky zastížené v trase tunelu během výstavby umožnily použít ve větší části raženého úseku tunelu nevyztužené definitivní ostění. Ke změnám došlo i v mnoha dalších konstrukčních detailech, které zlepšily funkčnost systému, zjednodušily způsob provádění, a tím i výrazně eliminovaly vznik chyb při vlastní realizaci. Projednávání navrhovaných změn bylo mnohdy zdlouhavé, ale po předložení potřebných průkazů technické nebo ekonomické výhodnosti navrženého řešení bylo možné změn dosáhnout. Komplikace přinesly hned po zahájení stavby na podzim roku 2004 i několik měsíců trvající obstrukce ekologických aktivistů, které zahájení výstavby posunuly do zimních měsíců a vzhledem ke klimatickým podmínkám v horské oblasti dočasně znemožnily pokračování prací na odtěžování stavební jámy. Dodržení termínu otevření dálničního úseku se podařilo jen s mimořádným nasazením všech účastníků výstavby a v neposlední řadě i díky příznivým klimatickým podmínkám výstavby v závěru roku 2006.

Investorem stavby je Ředitelství silnic a dálnic ČR, financování stavby probíhalo z 50 % z programu ISPA. Stavbu prováděly ve sdružení firmy Metrostav a Skanska. Realizační dokumentaci zpracovávala firma IKP Consulting Engineers. Na projektech technologického vybavení tunelu spolupracovaly firmy Eltodo, Elpring a Satra.

Nově otevřený úsek dálnice délky 23,3 km vedoucí z Ústí nad Labem na státní hranici SRN vytváří spojnicí Praha – Dráždany – Berlín a je díky koordinaci prací s německými kolegy při výstavbě dálnice A17 stavbou evropského významu. Navržené technické řešení, použité technologické postupy, vybavenost tunelů i zajištění bezpečnosti provozu tomu plně odpovídají.

ING. LIBOR MAŘÍK, [libor.marik@ikpce.com](mailto:libor.marik@ikpce.com),  
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

discharged to a watercourse. Similar situation occurs, for example, in the case of a tanker accident or when a fire is being extinguished. In this case, the tunnel drainage system provides a higher standard of environmental protection than that on the open-surface route. The 4.5% single-sided transverse gradient of the roadway surface drives water from the road surface to a slotted duct. The single-sided longitudinal gradient gets water down to the southern portal, where it is collected in the drainless sump. When the sump is full, the water is transported by tankers to the closest sewage treatment plant, where the pollutants are extracted and liquidated by environmentally friendly methods.

The designed engineering solution allows for individual alternatives of the possible pollution risk and solves contingent critical situations in a manner which is above-standard compared with that on an open-surface motorway route.

## CONCLUSION

The author of the detailed design and the contractor initiated and implemented numerous changes during the course of the construction, which were based on foreign directives and regulations, as well as experience from the previously completed tunnel constructions outside the Czech Republic. Other changes were necessary because of complex geotechnical conditions in the portal areas, which were associated with the position of the tunnels at the foot of a hill, small height of the overburden and greater thickness of surface sediments. Changes in the tunnel equipment resulted from changes in standards and regulations relating to the tragic accidents in foreign tunnels and to the Directive 2004/54/ES of the European Parliament and of the Council on minimum safety requirements for tunnels in the Trans – European road network. As opposed to the portal sections of the tunnels, extremely favourable geotechnical conditions were encountered throughout the remaining tunnel length. They made the application of unreinforced concrete final lining possible within a major part of the route. Changes were also made in many other structural details. They improved the functionality of the particular system, simplified the construction process, thus significantly eliminating occurrence of errors during the construction work. The process of approving changes was often lengthy, but it was possible to achieve the approvals when the required proofs of technical or economic profitability of the proposed solution had been submitted. Complications were caused at the beginning of the construction in the autumn 2004 by obstructions by ecologists, which even lasted for several months. They shifted the commencement of the works to the winter season and, with respect to the climatic conditions existing in the mountainous area, they temporarily made the work on the excavation of the construction trench impossible. The deadline for the opening of the given motorway section to traffic was met only owing to the extraordinary efforts made by all parties to the project and, at last but not least, thanks to favourable climatic conditions in the end of 2006.

The project owner is the Directorate of Roads and Motorways of the Czech Republic; 50% of the project funding was from the ISPA. The tunnel was built by a group of companies consisting of Metrostav a. s. and Skanska a. s. The detailed design was carried out by IKP Consulting Engineers, with Eltodo, Elpring and Satra collaborating on the tunnel equipment design.

The newly opened 23.3km-long section of the motorway leading from Ústí nad Labem to the border with Germany forms a connection between Prague, Dresden and Berlin. Owing to the co-operation with German colleagues on the construction of the A17 motorway it has become a construction of European importance. The design, construction techniques, tunnel equipment and operational safety fully correspond to this status.

ING. LIBOR MAŘÍK, [libor.marik@ikpce.com](mailto:libor.marik@ikpce.com),  
IKP CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

# ALTERNATIVY PROTIPOŽÁRNÍ OCHRANY BETONOVÉHO OSTĚNÍ TUNELŮ

## FIRE PROTECTION OPTIONS FOR CONCRETE TUNNEL LININGS

FRANK CLEMENT, MICHAL ZÁMEČNÍK

**Klíčová slova:** stříkané teplotní bariéry, pasivní požární ochrana, množství uvolněného tepla, odstřelování betonu, požáry v tunelech.

**Anotace:** V důsledku nových předpisů Evropské unie a očekávané legislativy musí být všechny hlavní stávající tunely upraveny podle nejnovějších bezpečnostních požadavků. Vyšší nároky na protipožární ochranu se vyžadují nejen kvůli splnění příslušných požadavků, ale také pro zajištění nejspornějšího a trvanlivějšího řešení existujících rizik v tunelech. Investoři a projektanti musí zvolit optimální řešení pro danou situaci.

**Keywords:** spray applied thermal barriers, passive fire protection, heat release rate, spalling, tunnel fires.

**Annotation:** Due to the new EU directives and up-coming legislation all the major existing road tunnels have to be upgraded to the latest safety requirements. Higher demands on fire protection products are required to fulfil not only the fire protection requirements but also provide the most economical and durable solution for the given risks in the tunnel. Owners and designers have to choose their optimum solution for the given circumstances.

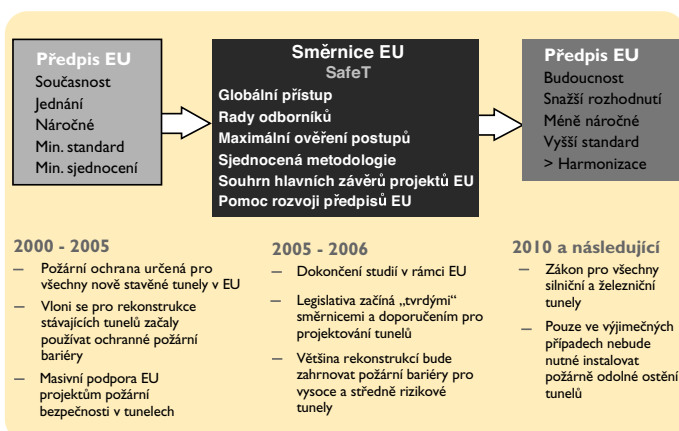
### ÚVOD

V evropských tunelech již došlo k několika velmi závažným požárům, při kterých došlo také ke ztrátám na lidských životech, k vážným poškozením konstrukcí a tím k dlouhodobým odstávkám provozu prováděním oprav. Proto v současnosti četné organizace v Evropě zkoumají metody požární ochrany konstrukcí a bezpečnost provozu tunelů. Jak pasivní, tak aktivní systémy požární ochrany jsou považovány za nezbytnou součást požární bezpečnosti tunelů v komplexním přístupu k účinnému boji proti ničivým účinkům požárů. Ve světle pokračujících studií a výzkumů vstupuje do tunelářského odvětví velké množství systémů. Je zjevné, že ve světě chybí porozumění pro úlohy těchto systémů používaných v tunelech.

Tento článek pojednává v souvislosti s požární ochranou konstrukce betonového ostění o roli pasivních a aktivních ochranných systémů, dále ukazuje příklady provedení ochrany a hodnotí použití betonů vyztužených vlákny a stříkané teplotní bariéry. Názory vyjádřené v tomto článku jsou založené na aktuálně známých problémech a požadavcích na požární ochranu v tunelářském odvětví a jsou to závěry autorů. Autoři si jsou vědomi té skutečnosti, že další vývojové studie budou vedeny jak ve směru vláknů vyztužených betonů, tak po linii teplotních bariér, a tento vývoj přinese možná technologická zlepšení.

### SOUČASNÝ STAV POŽÁRNÍ OCHRANY TUNELŮ

Z důvodu několika význačných požárů, včetně jednoho z posledních v silničním tunelu Frejus na jihu Francie (2005), se v Evropě dramaticky zvýšila úroveň znalosti problematiky bezpečnosti tunelů. Brzy po roce 2000 bylo zahájeno mnoho výzkumných programů (Khoury 2003) a v současné době se prostřednictvím projektu SafeT podporovaného Evropskou unií dokončují jejich závěry, které budou převedeny do závazných národních a zemských požadavků v rámci směrnice EU se značným přínosem pro provozovatele tunelů a cestující veřejnost. Shrnutí vývoje norem v Evropě je patrné z obrázku 1.



Obr. 1 Program evropských směrnic a předpisů – Projekt SafeT (Khoury 2005)

Navzdory tomu, že lokálně (např. Francie a Itálie) existuje několik konceptů požární ochrany, nejsou v současné době v Evropě na

### INTRODUCTION

Following a number of notable traffic tunnel fires in Europe that have led to loss in human life, severe structural damage and extended periods of loss in service due to repair, the methods of structural fire protection and tunnel user safety have been investigated by numerous agencies in Europe in recent years. Both passive and active fire protection systems are seen as necessary elements of a tunnel fire safety system in a holistic approach to effectively combat the devastating effects of fires. In light of ongoing studies and research a great number of systems are entering the industry. It is apparent that worldwide there is a lack of understanding of the role of these systems employed in tunnels.

With respect to fire protection of structural concrete tunnel linings, the paper establishes the roles of passive and active systems, then examines the protection performance and merits of fibre modified concrete and spray applied thermal barriers. The views expressed in this document are those based on currently known issues and requirements in tunnel fire protection industry and are the views of the author. The author is aware that further research studies are being conducted in both fibre-modified concrete and thermal barriers, resulting in possible further technology improvements.

### CURRENT STATUS OF TUNNEL FIRE PROTECTION

As a consequence of several notable fires, including the latest one in the Frejus road tunnel, South of France last year, the European understanding of the problems associated with the safety of tunnels in fires has improved dramatically. A number of research programmes have been started soon after the year 2000 (Khoury 2003), and are now finalising their findings through the EU funded SafeT project, which will translate into mandatory national and regional requirements under the EU Directive platform that will be of considerable benefit to the tunnel operators and travelling public. A summary of the development of standards in European is indicated in Figure 1.

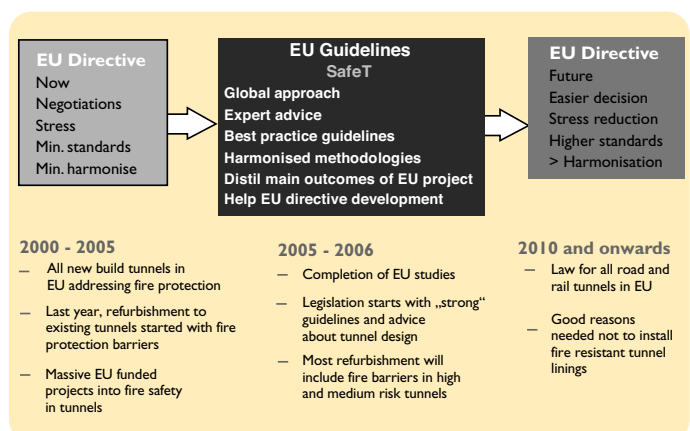
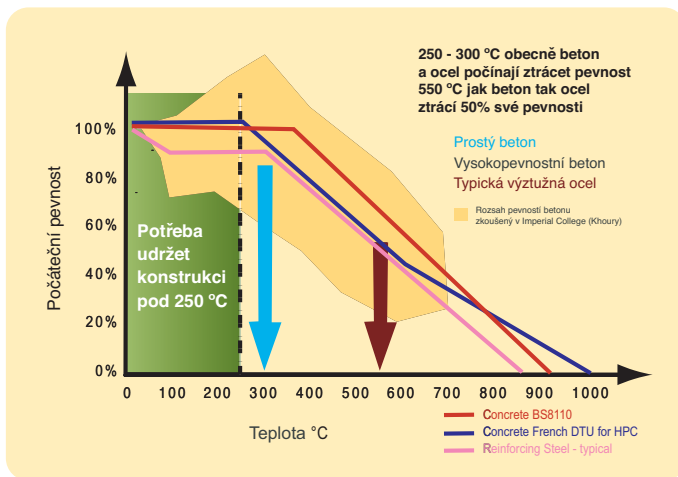


Fig. 1 European Guidelines and Directive Programme-SafeT Project (Khoury 2005)

Currently in Europe there are no national requirements adopted, although there are some draft requirements in place (e.g. France and Italy). Despite this



Obr. 2 Vliv teploty na beton a ocelovou výztuž (upraveno podle ITA 2004 a Khoury 2005)

národní úrovni přijaty žádné takovéto normy či předpisy. I přesto však obsahuje většina projektů nových tunelů jasnou definici některých forem tepelné ochrany pro případ požáru. Kromě toho požadují projekty rekonstrukcí hlavních silničních tunelů v Evropě z roku 2005 instalaci systémů teplotních bariér a celkové zvýšení bezpečnostních prvků v tunelech (nouzové osvětlení, únikové cesty, výstražné systémy, systémy aktivní požární ochrany, apod.). Tento trend bude pokračovat nejen letos, ale i v příštích letech.

S výjimkou Japonska, Austrálie a Singapuru, kde je situace ohledně nařízení, specifikací a požadavků pro projektování tunelů podobná jako v Evropě, je v ostatních oblastech světa tato oblast jen velmi málo rozvinutá. V Severní Americe je zvýšený zájem o roli pasivní požární ochrany, z části vlivem množství evropských projekčních týmů pracujících na zakázkách výstavby tunelů společně s evropskými dodavateli sdruženými s americkými společnostmi do společných podniků.

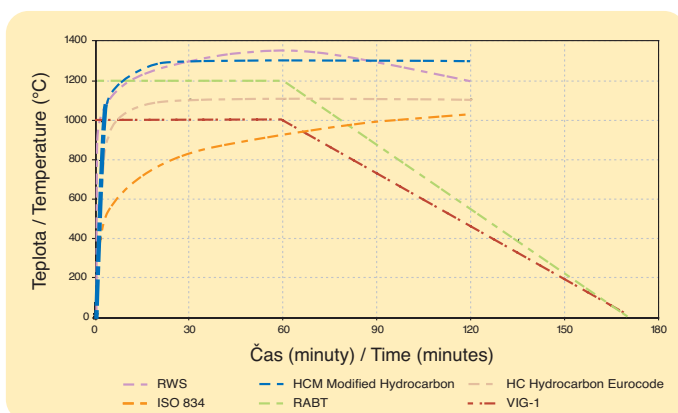
V současné době v tunelářském odvětví platí, že za návrh a zhodnocení požárního rizika zodpovídají dodavatelé systémů nebo výrobků. Současně je dána specifikace výrobků pro dodávky a zhotovitel nemá žádný užitek ze svobodného přístupu k výsledkům provozních zkušeností.

## ÚVOD DO STAVEBNÍ PROBLEMATIKY POŽÁRU BETONOVÉHO OSTĚNÍ TUNELŮ

Je ironií, že čím kvalitnější je beton, tím hůře se chová při požáru. Od projektantů se stále více vyžaduje vysoce trvanlivý beton, který umožní dosáhnout životnosti konstrukce 50 či dokonce až 100 let. Ve snaze vyhovět požadavkům vyšší trvanlivosti se navrhuje betony s malou propustností. Ovšem takový velmi trvanlivý beton s malou propustností bude náchylnější k povrchovému odštělování. Tento jev se markantně projevil při požáru v tunelu pod Lamanšským průlivem v listopadu roku 1996, kdy došlo takřka k úplné destrukci části betonového ostění následkem požáru vlaku.

Vystavíme-li betonové ostění tunelu požáru, musí být vzaty v úvahu následující stavební aspekty:

1. Typickou reakcí betonu je explozivní odštělování, které trvá tak dlouho, dokud se beton nerozpadne nebo dokud požár nezeslábně.
2. Beton se zahřívá na vysokou teplotu a ztrácí konstrukční pevnost.
3. Obsahuje-li konstrukce aktivní ocelovou výztuž, projeví se ztráta pevnosti v tahu vlivem vysokých teplot.



Obr. 4 Různé typy návrhových křivek používaných v průmyslu  
Fig. 4 Different types of design curves used in the industry

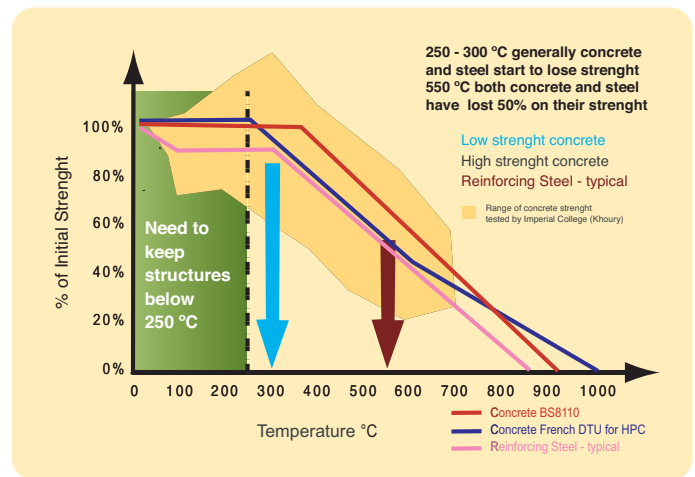


Fig. 2 Effect of temperature on concrete and steel reinforcement (modified from ITA 2004 and Khoury 2005)

situation, most new tunnel infrastructure projects clearly specify some form of thermal protection in the event of fire. Furthermore in 2005, recent refurbishment projects of major road tunnels in Europe have required the installation of a thermal barrier system, and wholesale upgrade of the safety features in the tunnel (emergency lighting, escape routes, warning systems, active fire protection systems etc). This is clearly set to continue this year, and the coming years.

In other regions of the world the picture is less developed, except for Japan, Australia and Singapore which are similar to Europe in terms of project driven specifications and requirements. North America interest in the role of passive fire protection is increasing, particularly in part being due to the number of European design teams working on tunnel contracts, coupled with established European contractors who are in joint ventures with American companies.

Currently in the tunnelling industry, the design and risk of passive fire protection systems are typically the responsibility of system/product suppliers. Consequently, product specific contract specifications are the norm, and the tunnel contractor does not benefit from the freedom of a performance based approach.

## INSIGHT INTO THE STRUCTURAL ISSUES OF FIRE ON CONCRETE TUNNEL LININGS

Ironically, the better the quality of concrete, the worse it performs under fire. Designers are asking more and more for high durable concrete in order to have a structure with a life time of 50 or even 100 years. In order to achieve this high durability requirement, concretes are designed to have a low permeability. But this high durable concrete with a low permeability will have a higher risk of spalling. This was dramatically evident with the Channel Tunnel fire in November 1996, with almost complete loss in concrete lining section from a train fire.

When concrete tunnel linings are exposed to fire there are structural issues to be considered:

1. The concrete typically undergoes explosive spalling, and will continue to do so until there is no concrete left, or the fire diminishes
2. The concrete is heated to high temperatures and loses structural strength
3. If the structure contains active steel reinforcement, then loss in tensile strength occurs at high temperatures
4. Due to the temperature gradient and different expansion rate of the constituents of the concrete, deformation cracks and fissure will appear in the concrete.

To demonstrate the structural loss in strength of concrete and reinforcement steel, see Figure 2 (adapted from ITA 2004 & Khoury 2005).

Clearly, the role of a passive fire protection system is to ultimately protect the concrete from all the three issues described above. As can be seen from Figure 2, maintaining the structural concrete below 300°C in the event of hydrocarbon or cellulose fires prevents all negative structural issues from occurring.

Finally, to conclude this brief insight, the rate of heating is also crucial, and has a dramatic effect on the spalling mechanism. Thermal shock can cause quite spectacular explosive events, as the water vapour generation and thermal expansion of aggregates in the exposed surface of the concrete can be rapid.

## FIRE LOADS IN REALITY

Over the last years there have been a number of serious underground fire incidents in tunnels. These fires have caused extensive loss of life and severe

4. Vlivem nárůstu teploty a rozdílné rozpínivosti složek betonu se na betonové konstrukci objeví poruchové praskliny a pukliny.

Znázornění ztráty konstrukční pevnosti betonu a výztužné oceli viz obrázek 2 (převzato z ITA 2004 & Khoury 2005).

Nesporným úkolem pasivní požární ochrany je chránit beton před všemi čtyřmi výše popsanými aspekty. Jak je patrné z obrázku 2, uchránění konstrukčního betonu pod teplotu 300 °C v případě požáru uhlovodíků nebo celulózy je dostatečnou ochranou před projevem negativních konstrukčních aspektů.

A konečně na závěr tohoto stručného úvodu je třeba zmínit, že rozhodující je také rychlost nárůstu teploty, která má významný vliv na mechanismus odstřelování. Teplotní šok může být příčinou velmi působivě podfvané na exploze, které se projeví v povrchové vrstvě betonu vystavené požáru vlivem rychlé tvorby vodní páry a teplotní rozpínivosti kameniva.

## SKUTEČNÉ POŽÁRNÍ ZATÍŽENÍ

Jak již bylo zmíněno v úvodu, v posledních letech došlo k několika vážným podzemním požárům v tunelech. Při těchto požárech zahynulo mnoho lidí a přímým důsledkem požáru byly vážné ztráty v infrastruktuře (viz obrázek 3).

TUNEL	OBĚTI
1978 Velsen (Holandsko) 770 m silniční tunel	5 mrtvých a 5 zraněných
1979 Nihonzaka (Japonsko) 2 km obousměrný silniční tunel	9 mrtvých
1982 Caldecott (USA) 1 km silniční tunel	7 mrtvých a 2 zranění
1983 Pecorile (poblíž Janova, Itálie) 600 m silniční tunel	8 mrtvých a 22 zraněných
1989 Brenner (Rakousko) 412 m dvoutrubní silniční tunel	2 mrtví a 5 zraněných
1995 Pfänder (Rakousko) 6,8 km obousměrný silniční tunel	3 mrtví následkem havárie vozidel
1995 Baku (Azerbajdžán) železniční tunel	velice vážné následky pro cestující
1996 Channel tunnel (Velká Británie-Francie) železniční tunel	několik cestujících zraněno (otrava)
1996 Isola delle Femmine (Itálie) 148 m silniční tunel	5 mrtvých a 10 zraněných
1999 Mont-Blanc (Francie-Itálie) 11,6 km obousměrný silniční tunel	39 mrtvých a 25 požárních posláno do nemocnice
1999 Tauern (Rakousko) 6 km obousměrný silniční tunel	12 obětí (7 následkem havárie)
2000 Kaprun (Rakousko) Kitzsteinhornbahn	155 obětí
2001 Gleinalm (Rakousko) 8,8 km obousměrný silniční tunel	5 mrtvých následkem havárie vozidel
2002 St. Gothard (Švýcarsko) 12,6 km obousměrný silniční tunel	11 mrtvých kvůli havárii kamionu a jeho požáru

Obr. 3 Oběti požárů (zdroj: <http://www.safetunnel.net/>)

Kromě těchto tragických ztrát lidských životů je nutné vzít v úvahu také finanční dopad na místní infrastrukturu a ztrátu důvěry veřejnosti v bezpečné používání tunelů.



Obr. 5 Aplikace stříkané protipožární malty pomocí automatických robotů  
Fig. 5 Robotic application of spray applied fire protection mortar

collateral loss to the infrastructure, (see Figure 3). Aside from the tragic loss of life, there is also a financial effect to the local infrastructure and the loss of public confidence in the safe use of tunnels.

During a fire the fire protection system has to provide a stable structure in order to:

- allow the users to safely evacuate,
- allow the rescue personnel to enter the scene,
- effectively perform their required duties and to limit damage to the tunnel.

Concrete has been used in civil works as a fire resistant material and if designed properly it can withstand a fire for a long period. The design load in order to simulate the fire in civil works is based on the ISO834 curve.

TUNNEL	CASUALTIES
1978 Velsen (Netherlands) 770 m road tunnel	5 deaths and 5 injured
1979 Nihonzaka (Japan) 2 km one tube tunnel	9 deaths
1982 Caldecott (USA) 1 km road tunnel	7 deaths and 2 injured
1983 Pecorile (near Genova, Italy) 600 m road tunnel	8 deaths and 22 injured
1989 Brenner (Austria) 412 m two tubes road tunnel	2 deaths and 5 injured
1995 Pfänder (Austria) 6,8 km single tube road tunnel	3 deaths due to car crash itself
1995 Baku (Azerbaijan) trail tunnel	Very serious human consequences
1996 Channel tunnel (UK-France) trail tunnel	Several injured (intoxication)
1996 Isola delle Femmine (Italy) 148 m road tunnel	5 deaths and 10 injured
1999 Mont-Blanc (France-Italy) 11,6 km single tube road tunnel	39 deaths and 25 firemen sent to hospital
1999 Tauern (Austria) 6 km single tube road tunnel	12 fatalities (7 deaths due to car crash)
2000 Kaprun (Austria) Kitzsteinhornbahn	155 fatalities
2001 Gleinalm (Austria) 8,8 km single tube road tunnel	5 deaths due to car crash
2002 St. Gothard (Švýcarsko) 12,6 km bi-directional road tunnel	11 deaths due to HGV collision with fire

Fig. 3 Sacrificies made by fire (source : <http://www.safetunnel.net/>)

In road tunnels the situation is complete different compared to civil works, due to the HGV (Heavy Good Vehicles) entering the tunnels. These HGV often transport combustible products, which can cause a severe fire in case of an accident, meaning a higher fire load, higher maximum temperatures and a faster heating rate. It is evident that concrete behaves different in these kinds of conditions.

Assessment methods are constantly being developed to demonstrate the ability of materials and fire protection systems to prevent concrete spalling and steel and metal elements from heating and melting due to rapid heating under fire exposure conditions and to mitigate both structural and economic consequences of fire.

In the past designers have been using different kind of time temperature curves in order to design a safe tunnel, (see Figure 4). These curves, compared to the ISO834, are reaching their maximum temperature already after 5 to 10 minutes.

Part of the European funded programs on safety in tunnels was the investigation of HRR (Heat Release Rates) during a real tunnel fire in order to provide designers appropriate and more realistic design curves. In the frame of Swedish national and European research programs on tunnel safety, comprehensive large scale fire tests have been conducted. One of a large real scale fire was the Runehammer test in Norway in September 2003 in the abandoned road tunnel in south-western Norway.

The Swedish National Testing and Research Institute (SP) have carried out the tests in collaboration with other UPTUN partners from TNO Building and Construction Research in the Netherlands and the Norwegian Fire Research Laboratory (SINTEF/NBL). Four large-scale tests with different type of combustible loads on semi-trailer where carried out. These loads were not registered as dangerous good or flammable liquids but consisting of normal wooden pallets or plastic cups. The outcome was that some of the design curves used until now underestimated the real HRR during these fires. It was



Během požáru by měl proto systém požární ochrany zajistit stabilitu konstrukce, aby bylo možné:

- umožnit uživatelům tunelu bezpečnou evakuaci,
- umožnit přístup záchranným týmům do postižené oblasti,
- účinně provést všechny zásahy, které jsou od nich vyžadovány a omezit poškození tunelu.

Beton se používá na stavbách občanské vybavenosti jako ohnivzdorný materiál a je-li navržen správně, může odolávat ohni poměrně dlouhou dobu. Navržené zatížení imitující požár na těchto stavbách odpovídá křivce dle ISO834.

Ve srovnání se stavbami občanské vybavenosti je situace v silničních tunelech zcela odlišná, zejména kvůli přítomnosti vozidel těžké nákladní dopravy, které do tunelů vjíždějí. Tato vozidla často přepravují hořlavé produkty, které mohou v případě havárie způsobit požár, což představuje vyšší požární zatížení, vyšší maximální teploty a rychlejší šíření požáru. Je tedy zřejmé, že v takovýchto podmínkách se beton bude chovat odlišně.

Metody posouzení se soustavně vyvíjejí, aby prokázaly schopnost materiálů a systémů požární ochrany chránit beton před odstřelováním a ocelové a kovové prvky před zahřátím a tavením v důsledku rychlého nárůstu teploty v podmínkách vystavení požáru a zmírnit jak konstrukční, tak ekonomické důsledky požáru.

V minulosti používali projektanti rozdílné typy teplotních časových křivek při návrhu bezpečného tunelu (viz obrázky 4). U těchto křivek se ve srovnání s normou ISO834 dosáhne maximální teploty už po 5 až 10 minutách.

Jedním z evropských finančních programů je výzkum HRR (Heat Release Rates = Rychlost uvolňovaného tepla, během skutečného požáru v tunelu), který by měl projektantům zajistit přijatelné a skutečnosti bližší návrhové křivky. V rámci švédského národního programu a evropských výzkumných programů bezpečnosti tunelů byla provedena komplexní škála požárních zkoušek. Jeden z velkých testovacích požárů se uskutečnil v září 2003 v opuštěném silničním tunelu na jihozápadě Norska jako tzv. Runehammer test.

Švédský národní zkušební a výzkumný ústav (SP) provedl zkoušky ve spolupráci s dalšími partnery sdruženými pod UPTUN, tedy Výzkum staveb a konstrukcí (TNO) v Nizozemsku a Výzkumný ústav požárů (SINTEF/NBL) v Norsku. Byly provedeny zkoušky se čtyřmi požáry velkého rozsahu s rozdílnými typy nákladů na návěsu. Nejednalo se o náklady označené jako nebezpečné ani hořlavé kapaliny, byly to běžné dřevěné palety nebo plastické pohárky. Výsledkem bylo, že některé návrhové křivky používané do té doby neodpovídaly skutečné hodnotě rychlosti uvolňovaného tepla HRR zjištěné během těchto požárů. Ta byla vyšší než 200 MW a teplota plynů v okolí požáru byla vyšší než 1350 °C.

Výsledkem těchto zkoušek bude publikování směrnice a předpisů stanovujících podmínky, které mohou projektanti využít pro návrh požární ochrany nově stavěných nebo rekonstruovaných stávajících tunelů. Jako příklad výstupu sdružení UPTUN WP2 můžeme uvést doporučení, že norma ISO 834 může být použita v případě, že tunelem projíždí buď prázdná těžká nákladní vozidla, nebo jím neprojíždí nákladní vozidla vůbec. Pak se dá maximální hodnota HRR stanovit od 5 do 50 MW. V případě projíždění těžkých nákladních vozidel může pochopitelně požární zatížení být o dost větší a dosáhnout hodnoty od 50 do 250 MW. V závislosti na množství hořlavých materiálů je doporučeno použít křivku HC nebo křivku RWS.

## OCHRANA KONSTRUKČNÍHO BETONU PŘED POŽÁREM

### PASIVNÍ VERSUS AKTIVNÍ SYSTÉMY

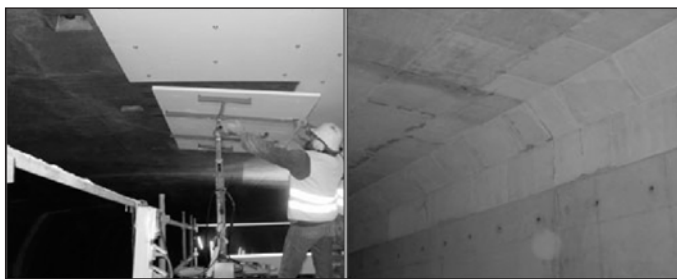
V tunelářském oboru dochází velmi často u těchto termínů k jejich nesprávnému výkladu. Systémy aktivní požární ochrany zahrnují vodní rozstříkovače, vodní mlžení a pěnotvorné systémy. Všechny tyto systémy jsou včas aktivovány v případě požáru výstražnými čidly. Teoreticky by měly zamezit nekontrolovatelnému rozšíření požáru. Většina stávajících tunelů na celém světě zcela spoléhá na tyto aktivní systémy, že je jimi požární bezpečnost tunelu zajištěna. Jedná se o tzv. Booleovy systémy, jinými slovy jsou buď funkční, nebo v případě mechanického nebo elektrického selhání nejsou. Mají také několik vážných negativních dopadů, jako např. smíchání média s toxickými výparů, které se kumulují v koruně tunelu a jsou zde strhávány dolů do úrovně evakuované veřejnosti.

Pasivní požární ochrana se navrhuje jako instalovaný štít chránící konstrukci před požárem po celou dobu. Není založena na žádném iniciačním systému a je funkční vždy. Pasivní systémy požár nehasí, nýbrž jsou poslední linií ochrany a udržují stabilitu konstrukce tunelu, aby mohl být umožněn bezpečný únik veřejnosti a bezpečný přístup zásahových požárních jednotek. Udržují větrací systémy, které jsou odděleny od dopravní části vnitřními betonovými konstrukcemi a také chrání před katastrofálním poškozením majetku cizích osob a jejich životů tým, že chrání tunely před zřícením.

V současné době v Evropě se pro nové tunely v budoucnosti jeví jako důležité koordinované použití jak systému pasivní, tak systému aktivní ochrany.

### PASIVNÍ SYSTÉMY

Rozlišujeme tři základní typy pasivní požární ochrany tunelů:



Obr. 6 Instalace prefabrikovaných desek protipožární ochrany  
Fig. 6 Pre-fabricated thermal barrier boards installation

higher than 200 MW and the gas temperatures in the vicinity of the fire were registered above 1350 °C.

As results of these tests, guidelines and directives will be published and giving criteria which designers can use for the fire protection of new built or existing tunnels. As an example the UPTUN WP2 is recommending that the ISO834 can be used if there are no or only empty HGV passing in the tunnel. The maximum HRR can be estimated on 5 – 50 MW. In case of HGV of course the fire loads can be much higher and will generate a HRR of 50 – 250 MW. Depending on the amount of combustible materials, the HC or the RWS curve is recommended.

## PROTECTING STRUCTURAL CONCRETE FROM FIRE

### PASSIVE VERSUS ACTIVE SYSTEMS

Quite often there is confusion about these terms in the tunnelling industry, amongst other things! Active fire protection systems include water sprinklers, water mists and foam deluge systems, all of which are activated by early warning sensors in the event of a fire. The theory is they reduce the fire before it becomes out of control. The majority of existing tunnels worldwide rely wholly on these active systems to ensure tunnel fire safety. These are Boolean systems, in other words, they work, or they don't due to mechanical or electrical failure. They also may have some serious negative effects such as mixing with toxic fumes that are otherwise confined to the crown of the tunnel, and drawing them down to the level of the evacuating public.

Passive fire protection is designed to be installed as a shield to protect the structure from fire at any time. They are not reliant on any initiation system as with active systems, and they always work. Passive systems do not put the fire out; but are the last line of defence and maintain the stability of the tunnel structure to allow the safe escape of the public and safe access of fire department crews. They maintain ventilation systems that are separated from the traffic by internal concrete structures, and also protect against catastrophic damage to third party property and life by preventing tunnels from collapsing.

Currently in Europe, both active and passive systems employed together are seen to be necessary for new tunnels in the future.

### PASSIVE SYSTEMS

There are essentially three main types of passive fire protection for tunnels:

#### SPRAYED MORTARS

These historically have been vermiculite-cement based products applied by hand spraying with the technology being transferred to tunnel applications from the petrochemical industry. Vermiculite based systems are relatively weak products (2.5MPa compressive strength) and may not offer adequate mechanical properties in light of increasing client demands for more durable solutions where cyclic loading resistance is required. Vermiculite systems need to be mechanically bonded to the tunnel structure with stainless steel mesh.

It is vital for sprayed systems to have adequate durability to resist both physical and chemical attack during the normal service life of the tunnel. The new development in fire protection products are combining high durability with excellent fire protection. These products are typically based on light weight concrete technology giving a compressive strength of 15 MPa minimum.

These products are designed for application with the well know shotcrete technology and the modern methods of robotic spray application, allowing application rates of between 150 and 250m<sup>2</sup>/hr depending on the protection thickness required (Figure 5). The tolerance of applications is normally +/- 4mm, which cannot be achieved by hand application methods at these rates. The thickness of spray applied thermal mortars is determined by the size and duration of the anticipated fire.

## STRÍKANÉ MALTY

Jedná se o produkty na bázi vermikulitových cementů ručně nanášených, které se do tunelářského odvětví dostaly z petrochemického průmyslu. Systémy na bázi vermikulitu jsou produkty o relativně nízkých pevnostech (pevnost v tlaku 2,5 MPa) a nemohou nabídnout odpovídající mechanické vlastnosti ve světle vyšších nároků investorů na trvanlivější řešení, u kterých je vyžadována odolnost vůči cyklickému zatížení. Tyto vermikulitové systémy musí být mechanicky vázány ke konstrukci tunelu pomocí roštů z nerezové oceli.

Pro stříkané systémy je nezbytné, aby svou trvanlivostí odolávaly jak fyzikálnímu zatížení, tak chemickému napadání během obvyklé životnosti tunelu. Nový vývoj v oblasti požární ochrany představuje kombinaci vysoké trvanlivosti a vynikající protipožární ochrany. Výrobky jsou na bázi technologie vylehčených betonů dosahujících pevnosti v tlaku minimálně 15 MPa.

K jejich aplikaci se používá velice známé technologie torkretovaného betonu nebo moderní metody stříkání pomocí automatických robotů, čímž je dosaženo výkonu pohybujícího se mezi 150 a 250 m<sup>3</sup>/hod v závislosti na požadované tloušťce protipožární ochrany (obrázek 5).

Tolerance při těchto aplikacích je běžně 1–4 mm. Takovýchto hodnot přesnosti nelze při ruční aplikaci docílit. Tloušťka stříkaných protipožárních malt je dána velikostí a trváním předpokládaného požáru.

Hlavní nevýhodou stříkaných systémů je jejich výsledný povrch, neboť někteří investoři požadují vysoký odraz světla zejména z důvodu velké frekvence dopravy v silničních tunelech. Zahmlení omítky je sice možné stejně jako vrchní nátěr, ovšem je to velmi pracné. Požadavky u železničních tunelů jsou obecně méně náročné a ukončení stříkaných omítek je přijatelné, což se dá provést zvláště při aplikaci stříkaných protipožárních ochrany.

## PREFABRIKOVANÉ PANELE

Prefabrikované protipožární panely představují zřetelnou výhodu pro hranaté profily tunelů, kde není žádné zakřivení zdí a stropů nebo složitá geometrie profilu, takže je možné sestavit, položit a pokrýt tunelový profil, jak je vidět na obrázku 6. Kromě toho je to pro vlastníky přijatelnější povrchová úprava. Avšak toto řešení není nejvhodnější pro zakřivené tunely a obecně je 1,5 až 2krát dražší než stříkané systémy, což může být z hlediska nákladů stavby nepřijatelné. Kromě těchto vyšších nákladů je dále nutné počítat s častými opravami poškození v důsledku havárie vozidel, což vyžaduje problematickou údržbu silničních tunelů používajících protipožární systémy z prefabrikovaných desek.

## BETON MODIFIKOVANÝ POLYPROPYLENOVÝMI VLÁKNY

V posledních letech uvedli výrobci vláken na trh multi- a monofilamentní polypropylenová vlákna (vlákna o průměru 32 až 18 mikronů, viz obrázek 7) pro dodavatele a projektanty s tím, že přidání 1 až 3 kg vláken do betonové směsi přináší nesmírně úsporné řešení betonů pro "protipožární ochranu". Podle výsledků zkoušek bude vlákno modifikovaný beton vykazovat menší povrchové odstřelování betonu a v některých případech se odstřelování neprojevuje vůbec. Jak je dobře doloženo, spočívá mechanismus odolnosti v tavení vláken při teplotě cca 160 °C, což umožňuje vodní páře přítomné v betonovém pojivu, aby unikala bez toho, že by vytvářela vnitřní tlak a tak se zabránilo explozivnímu odstřelování. Pro konkrétní návrhové požáry se množství potřebných vláken používá dle přímé úměry – čím větší návrhový požár, tím více vláken musí být požadováno. Ku příkladu, pro návrhový požár dle ISO834 je požadováno cca 1 kg/m<sup>3</sup> vláken, zatímco pro návrhový požár dle křivky RWS může požadované množství vrstů až na cca 3 kg/m<sup>3</sup>. Betonová směs s vysokým obsahem vláken se ale hůře čerpá, proto je třeba pečlivě navrhnout směs s použitím technologie přísad, které pomohou tento problém překonat.

Ačkoli použití vláken nabízí "anti-odstřelovací" systém, nechrání betonovou konstrukci před škodlivými účinky vysoké teploty (viz obrázek 2), ani nechrání žádné vyztužení konstrukce betonového ostění tunelů vystaveného vysoké teplotě. Z tohoto důvodu by mělo být pečlivě zváženo použití vláken vyztuženého betonu pro konstrukčně vyztužené betonové ostění tunelů.

Účinnost protipožární ochrany u betonů vyztužených polypropylenovými vlákny je různá a ne vždy předvídatelná. Dle současných poznatků může být spojena s některými z následujících faktorů:

- Typ vláken, průměr a délka;
- Množství vláken na kubický metr;
- Typ kameniva;
- Návrh betonové směsi;
- Propustnost betonu s nízkým w/c;
- Teplotní nárust a maximální teploty;
- Vysoký stupeň ztráty betonové hmoty v místě ocelové vyztuže, možný díky efektu vyboulení kroucené ocelové vyztuže v důsledku zahřátí;
- Vlhkost obsažená v betonu;
- Zatížení betonové konstrukce.

The main disadvantage with sprayed systems is the resultant sprayed surface finish, as some clients require a high level of reflectance, particularly for highly trafficked road tunnels. Float finishing and over painting is possible, but labour intensive. Rail tunnel surface finish requirements are less onerous in general, and an "as sprayed" finish is acceptable, making the use of sprayed fire protection mortars particularly viable.

## PRE-FABRICATED BOARDS

Pre-fabricated fire protection boards offer a clear advantage for box shaped tunnels where there are no curved tunnel walls or complex geometries e.g. cut and cover and immersed tube tunnels as shown in Figure 6. Furthermore, the surface finish of the board systems is appealing to clients. However, they are not well suited to curved profile tunnels and are generally 1.5 to 2 times more expensive than sprayed systems, which can prove cost prohibitive. Apart from their high cost, vehicle collision damage is often considered a maintenance problem in road tunnels using pre-fabricated board protection systems.

## POLYPROPYLENE FIBRE MODIFIED CONCRETE

In recent years, fibre manufacturers have promoted multi- and monofilament polypropylene fibres (32 to 18 micron diameter fibres – Figure 7) to contractors and design teams, detailing that the addition of 1 to 3 kg of fibres added to the concrete mix gives an extremely economical solution to concrete "fire protection".

From testing, fibre modified concrete will exhibit less spalling, and in some cases no spalling whatsoever. As is well documented, the mechanism involves the melting of fibres at approximately 160 °C and allows water vapour inherent in the concrete matrix to escape without generating internal pressure, thereby preventing explosive spalling. For specific design fires, the quantity of fibres required will alter accordingly – the larger the design fire, the greater the quantity of fibres required. As an example, for an ISO834 cellulose design fire, approximately 1 kg/m<sup>3</sup> of fibres are required, whereas for RWS hydrocarbon design fires, the quantity may increase to approximately 3 kg/m<sup>3</sup> as indicated. Concrete mixes with high fibre contents tend to be difficult to pump and place, and careful mix designs using admixture technology to overcome these problems is required.

Although the fibres offer an anti-spalling system, they do not protect the structural concrete from the detrimental effects of high temperature (see Figure 2) and also do not protect any structural reinforcement at the heat exposed concrete tunnel lining. Consequently, the use of fibre modified concrete should be considered carefully for use in structurally reinforced concrete tunnel linings.

The fire protection performance of polypropylene fibre modified concrete is variable and not always predictable. From current knowledge this may be attributed to any of the following factors:

- Fibre type, diameter and length
- Fibre quantity per cubic metre
- Aggregate type
- Concrete mix design
- Permeability of concrete with low w/c's
- Heating rates and maximum temperatures
- High degree of loss in concrete section in the presence of steel reinforcement, possible due to torsion buckling effects of the steel cages due to heat
- Moisture content of concrete
- Loads on the concrete structure.



Obr. 7 Monofilamentní polypropylenová vlákna a stupeň povrchového odstřelování se zvýšením dávky na metr kubický betonu (s laskavým svolením ADFIL UK Ltd.)

Fig. 7 Monofilament polypropylene fibres and degree of surface spalling with increasing dose of fibres per cubic metre of concrete (Courtesy ADFIL UK Ltd.)

## ZÁVĚR

Množství evropských přepravních tunelů v každodenním provozu bez jakékoli formy protipožární ochrany je znepokojující. Je samozřejmé, že na základě zhodnocení rizik by velká většina z nich nepotřebovala protipožární ochranu, avšak podle nových požadavků Evropské směrnice číslo 2004/54 a chystaných dalších nových směrnic, které mají vstoupit v platnost v této oblasti v roce 2006 a 2007, bude pro hodně tunelů potřeba zdokonalit stávající systémy protipožární ochrany. Tyto kroky byly již zaznamenány v roce 2005, kdy ve Švýcarsku, ve Spojeném království, ve Francii a ve Švédsku byly silniční tunely vylepšeny pasivní protipožární ochranou.

Tunely v Evropě					
Silniční	Délka (km)	Železniční	Délka (km)	Metro	Délka (km)
Norsko	522	Itálie	734	Španělsko	837
Itálie	340	Německo	382	Spojené království	519
Rakousko	177	Švýcarsko	366	Rusko	400
Švýcarsko	162	Francie	256	Německo	367
Francie	133	Rakousko	246	Francie	304
Německo	69	Norsko	126	Norsko	119
Španělsko	58	Spojené království	114	Švédsko	108
Spojené království	13	Španělsko	110	Itálie	106

Obr. 8 Nechráněné přepravní tunely v Evropě (SafeT European Project, Khoury 2005)

Pro mnoho z těchto tunelů budou požadovány velmi tenké stříkané teplotní bariéry (méně než 45 mm) pro zachování požadovaného světlého provozního průřezu. Použití betonu modifikovaného polypropylenovými vlákny není vhodnou volbou pro mnoho stávajících tunelů, protože mají omezený vnitřní prostor. Ovšem tam, kde vnitřní prostor tunelu umožní aplikaci minimální tloušťky vrstvy cca 80 mm, bude možné použít stříkané betony s polypropylenovými vlákny.

Budíž poznamenáno, že obecný trend ve zvětšování velikosti vozidel a vlaků a také zvyšování tolerance konstrukčního ostění z důvodu zamezení srážkám (např. v pruzích s vyšší rychlostí) klade zvýšený tlak na tunelářské odvětví, aby se vyvinulo velmi tenké řešení protipožární ochrany. Právě takové řešení nabízí produkt MEYCO® Fix Fireshield 1350.

Je nutné zhodnotit riziko zřícení konstrukce ostění tunelu a jeho účinek na uživatele, aby bylo možné určit, který systém je vhodný pro konkrétní tunel. Když je převládající míra rizika buď vyšší, nebo nižší, pak to ovlivňuje charakter pasivní protipožární ochrany, která může být pro takový projekt vhodná. Jednoduše, když je stanoveno riziko, cenný přínos analýzy může být v tom, že respektuje více aspektů, které by měly být zváženy.

Poškození/zřícení konstrukce vyústí v poškození majetku sousedních objektů a/nebo ke ztrátě lidských životů

FRANK CLEMENT, frank.clement@basf.com,  
UGC INTERNATIONAL,

Division of BASF Construction Chemicals, Switzerland  
MICHAL ZÁMEČNÍK, michal.zamecnik@basf.com,  
BASF STAVEBNÍ HMOTY Česká republika, s. r. o.

NÍZKÁ	MÍRA RIZIKA	VYSOKÁ
Beton modifikovaný polypropylenovými vlákny	<b>Konstrukční/uživatelské aspekty – novostavby</b>	Stříkané teplotní bariéry
	Velikost očekávaného požáru v tunelu (male riziko 5 až 50MW, vysoké riziko 50 až 300MW)	
	Kvůli umístění požární jednotky není možné mít včas a náležitě požár pod kontrolou, aby se zamezilo poškození tunelu	
	Poškození/zřícení konstrukce tunelu ovlivní větrání nebo únikové cesty pro uživatele tunelu	
	Poškození/zřícení konstrukce má za následek zaplavení prostoru vodou nebo zeminou	
	Poškození/zřícení konstrukce překáží/brání přístupu požární jednotky	
	Poškození konstrukce vede k výraznému omezení provozu tunelu a uzávěra má významný vliv na místní oblastní ekonomiku	
	Poškození/zřícení konstrukce vyústí v poškození majetku sousedních objektů a/nebo ke ztrátě lidských životů	

## CONCLUSION

The amount of European transport tunnels in daily use without any form of fire protection is of concern. Of course, following risk assessments a great majority of these tunnels would not need fire protection, but certainly under the new requirements of the European Directive No.2004/54, and perceived new directives set to enter the industry in 2006/07, there are many tunnels that will require retrofit fire protection systems to be installed. This has already been observed in 2005, with Switzerland, UK, France and Sweden retrofitting road tunnels with passive fire protection.

Tunnels in Europe					
Road	Lenght (km)	Rail	Lenght (km)	Metro	Lenght (km)
Norway	522	Italy	734	Spain	837
Italy	340	Germany	382	UK	519
Austria	177	Switzerland	366	Russia	400
Switzerland	162	France	256	Germany	367
France	133	Austria	246	France	304
Germany	69	Norway	126	Norway	119
Spain	58	UK	114	Sweden	108
UK	13	Spain	110	Italy	106

Fig. 8 Unprotected transport tunnels in Europe (SafeT European Project, Khoury 2005)

Very thin spray applied thermal barriers (less than 45mm) will be required for many of these tunnels if clashes with operational envelopes are to be prevented. The use of polypropylene fibre modified concrete is not considered an option for many existing tunnels due to the limited operating space. However, consideration may be given to sprayed concrete with polypropylene fibres if the space profile permits a minimum layer thickness of approximately 80mm.

It should be noted that the general trend in increasing vehicle and train sizes and also increasing the tolerance to the structural lining to avoid clashes (at higher line speeds for example) puts additional pressure on the industry to develop very thin fire protection solutions.

In order to determine which system is appropriate for specific tunnels, consideration of the risk of structural collapse of the tunnel linings, and the effect it will have on 3rd parties is required. When the predominant level of risk is either high or low, then this dictates the nature of the passive fire protection that may be suitable for the project. Clearly, when the risks are established, the cost benefit analysis may raise more issues to be considered.

FRANK CLEMENT, frank.clement@basf.com,  
UGC INTERNATIONAL,

Division of BASF Construction Chemicals, Switzerland  
MICHAL ZÁMEČNÍK, michal.zamecnik@basf.com,  
BASF STAVEBNÍ HMOTY Česká republika, s. r. o.

LOW	RISK LEVEL	HIGH
POLYPROPYLENE Fibre Modified Concrete	<b>Structural/3<sup>rd</sup> Party Issue - New Build</b>	Spray Applied Thermal Barriers
	Size of expected tunnel fire (Low risk 5 to 50MW, High risk 50 to 300MW)	
	Due to location of fire department unable to deal with tunnel fire adequately and timely to prevent damage to tunnel	
	Structural deterioration/collapse of tunnel effects ventilation or safe egress of tunnel users	
	Structural deterioration/collapse hinders/prevents access of fire department	
	Structural deterioration/collapse results in inundation by water or soils	
	Structural damage leads to significant operational downtime of tunnel and closure significantly effects local/regional economy	
	Structural deterioration/collapse results in damage to adjacent 3 <sup>rd</sup> party property and/or loss of life	

## LITERATURA / REFERENCES

- ADFIL UK. Ignis Passive Fire Protection System. Product brochure for monofilament polypropylene fibres. Published by ADFIL UK Ltd.
- ITA (2004). "Guidelines For Structural Fire Resistance For Road Tunnels". Working Group 6 Report. Published by the International Tunnelling Association, 2004.
- Khoury, G.A. (2003). "EU Tunnel Fire Safety Action". Tunnels and Tunnelling International. February 2005. pp 20-23.
- Khoury, G.A. (2005). "EU Tunnel Safety Update". Tunnels and Tunnelling International. February 2005. pp 41-43.
- Khoury, G.A. (2005). Personal written communications on SafeT findings and concrete strength change on elevated temperatures – research work undertaken by Imperial College, London.
- Munich Re. (2003). "Risk management for Tunnels". Published by the Munich Re Group, Munich, Germany. Order No. 302-03083.
- Shuttleworth, P. (2002). Technical Paper – "Fire protection of concrete tunnel linings". Written communication based on Rail Link Engineering tests for Channel Tunnel rail Link, UK.
- Haukur Ingason (2006) Paper "Design fires in Tunnels", Safe & reliable tunnels Lausanne 2006, SP Swedish National Testing and Research Institute

# PROBLÉMY RAŽEB TUNELU AYAS V PODMÍNKÁCH TLAČIVÝCH A TEKOUČÍCH HORNIN

## TUNNELLING DIFFICULTIES UNDER SQUEEZING AND FLOWING CONDITIONS AT AYAS TUNNEL

YILMAZ MAHMUTOGLU, MAHIR VARDAR, CENK KOÇAK, GÖKHAN SANS

Tlačivost hornin se při ražbách tunelů v horách často projevuje nadměrnými horninovými tlaky a deformacemi. Tečení rozvolněných a zvodnělých usazenin do výrubu je dalším problémem, který se vyskytuje při stavbě tunelů. Oba případy vyžadují zvláštní preventivní opatření nebo provedení těžkého vyztužení výrubu. U velkých profilů může být stabilizace obtížná a opravy a dodatečné úpravy profilu (přeprofilování) mohou být časově velmi náročné a nevyhnutelně spojené s vysokými náklady. Tento článek se zabývá dvěma různými problémy způsobovanými zvláštními horninovými poměry na stavbě tunelu Ayas, který je nejdelším tunelem na budované trase rychlodráhy Istanbul – Ankara v Turecku. Zabývá se i preventivními opatřeními přijatými k řešení těchto problémů

Tlačivost hornin, se kterou se tuneláři setkávají na mnoha stavbách v různých částech světa, způsobuje velké obtíže při dokončování podzemních staveb a je již po dlouhá léta předmětem zájmu odborníků. V Evropě je známo několik podobných, obzvláště zajímavých, případů výskytu jevu tlačivosti hornin, které umožnily proniknutí do podstaty průběhu reakce horniny na ražbu. Typickými příklady jsou tunel Cristina v Itálii, Gotthardský tunel ve Švýcarsku a Simplonský tunel na italsko-švýcarských hranicích. Nejnovějšími příklady staveb, kde se v posledních desítkách let takové problémy vyskytly, byly stavby tunelů Bolu a Ayas v Turecku. V tomto článku chceme vyzdvihnout zkušenosti a výsledky dosažené na stavbě železničního tunelu Ayas.

Tunel Ayas je nejdelším z 15 tunelů na železniční trati Arifiye – Sincan. Tento 10064 m dlouhý tunel má plochu kolem 100 m<sup>2</sup>. Stavba byla zahájena v roce 1974 a její dokončení bylo plánováno na rok 1984. Stavební práce byly ale přerušeny, když se na východní straně tunelu narazilo na tekoucí rozvolněný zvodnělý materiál. Na západní straně zase došlo k větším deformacím, které souvisely s tlačivostí horniny. Problémy ražeb, související s nadměrnými konvergencemi, na této straně vzrůstaly, a kvůli velkým radiálním deformacím bylo nemožné dodržet požadovaný profil tunelu, i když se profil několikrát opravoval a byla přijata mimořádná preventivní opatření včetně zvláštních systémů zajištění výrubu. Z těchto důvodů byly všechny razičské práce na začátku roku 1993 zastaveny.

### TECHNOLOGIE A METODA VÝSTAVBY TUNELU

Ražby byly zahájeny z obou portálů, východního (ve směru k městu Erkeksu) a západního (k městu Ayas), současně. V průběhu prací se začaly projevovat velké rozdíly mezi postupy ražeb na obou stranách tunelu. Při průchodu ražeb silným souvrstvím jílu došlo ve vzdálenosti 770 m od východního portálu k náhlému průvalu zvodnělých rozvolněných sedimentů, kvůli kterému byly práce na dlouhou dobu zastaveny. Na západní straně práce relativně hladce dospěly do vzdálenosti 6475 m od portálu. Od tohoto místa ražby vstoupily do tlačivé horniny složené z masku, chloritu a sericitických břidlic erenlerského souvrství (obr. 1), a postoupily pouze o 240 m.

Na straně k Ayas byla ražba prováděna se členěním na kalotu, opět rozdělené do dvou fází a na výrub pro betonové ostění protiklenby. Odstup čelby kaloty od opěrky byl 120 až 130 m a odstup opěrky od protiklenby byl 30 až 40 m. Kalota byla 5 m vysoká a 12 m široká. Typické zajištění se skládalo ze stříkaného betonu, 5 až 6 m dlouhých kotev, výztužných sítí, ocelových oblouků (TH profily, 21 kg/m) osazovaných ve vzdálenostech 0,8 m. Celková délka kotev byla více než 200 m na jeden metr tunelu. Definitivní ostění je z prostého betonu a spolu se spodní klenbou vytváří uzavřený prstenec. Tunelové konvergence dosahovaly až 300 cm i při použití těžké výstroje. Výška nadloží se pohybuje od 350 do 400 m. I když kvůli kompenzaci konvergencí se profil výrubu úmyslně značně zvětšoval, bylo hlavním problémem dodatečné přeprofilování.

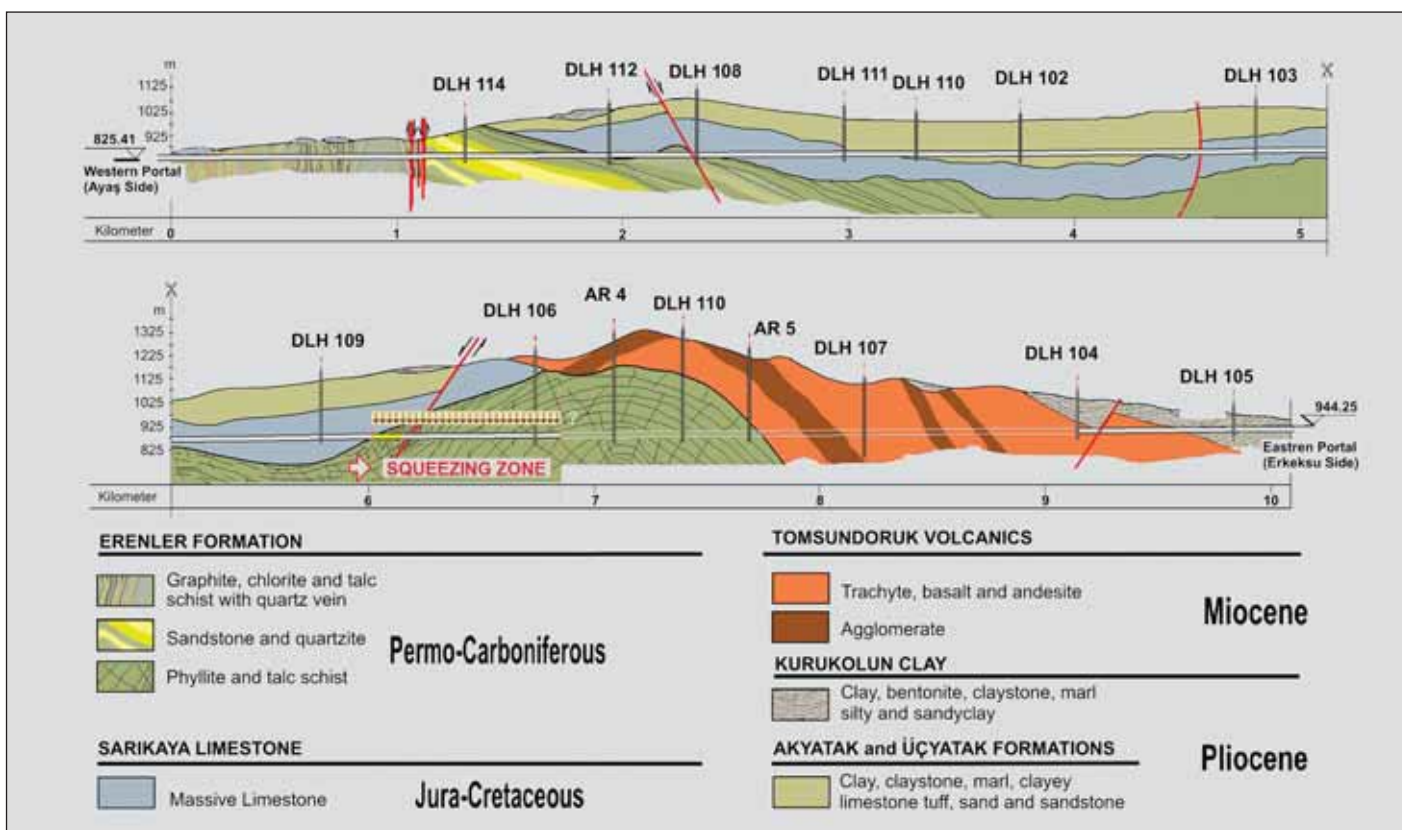
Squeezing ground condition frequently results in excessive rock pressure and large deformation when it is encountered in tunnel excavation through the mountains. Flowing of loose and saturated deposits into opening is another problem in tunnel engineering. Both cases require special precautions or heavy support systems. The stabilization process may be difficult where the cross section is large. Consequently, in such a tunnel some repair and reshaping works become time consuming and high cost can not be avoided. This paper discusses two different problems which were caused by special ground conditions in the Ayas Tunnel, the longest tunnel on the route of Istanbul-Ankara Speed Railway Project in Turkey. The precautions and methods of tunnelling to tackle with these problems are also discussed.

The squeezing behaviour encountered at numerous tunnel excavations in different parts of the world has led to great difficulties for completing underground works and intrigued experts for years. There are similar cases of particular interest in Europe where squeezing phenomena have occurred, providing some insights into the ground response during excavation. The Cristina tunnel in Italy, the Gotthard tunnel in Switzerland, the Simplon tunnel crossing at the Italian-Swiss border are typical examples. The latest examples of tunnelling problems have been observed at the Bolu and Ayas tunnels during the last decades in Turkey. This paper intends to emphasise the experience and results made at the Ayas railway tunnel.

The Ayas Tunnel is the longest among 15 tunnels on the Arifiye-Sincan Railway route. The 10 064 m long tunnel has got a cross section of approximately 100 m<sup>2</sup>. The project started in 1974 and was scheduled to be completed by 1984. However, the construction works have been halted due to flow of loose and saturated material at the eastern side of tunnel. Larger deformations associated with squeezing behaviour have taken place at the western side. Tunnelling difficulties related with excessive convergence



Obr. 1 Úprava profilu v problémovém úseku erenlerských souvrství  
Fig. 1 The reshaping processes in problematic section of the Erenler Formation



Obr. 2 Geologický podélný řez a problémové úseky tunelu Ayas  
Fig. 2 Geological longitudinal cross section and the problematical parts of the Ayas Tunnel

V oblasti tlačivých hornin na západní straně bylo pozorováno zdvihání dna a poškozování konstrukce spodní klenby.

Na východní straně se metoda ražeb také několikrát změnila. V době, kdy došlo k zastavení ražeb, tj. v roce 1993, se zde používala trysková injektáž. Tunel se razí ve středně tuhých jílech a silitických jílech. Rentgenovou difrakcí byly jako převažující jílové materiály určeny montmorillonit a illit. Tunel byl v předstihu zajištěn dvojitou řadou sloupů tryskové injektáže, prováděných po obou stranách oblasti ražeb. Kromě toho byla podzemní voda odváděná dvěma odvodňovacími štolami, vyraženými po obou stranách pod úrovní dna tunelu. Údaje, týkající se trvalého a dočasného zajištění a definitivního ostění, jsou podobné jako na západní straně.

### STRANA VE SMĚRU K MĚSTU AYAS

Problémový úsek se nachází v erenlerských permsko-karbonských souvrstvích, která jsou nejstarší geologickou formací na trase tunelu (obr. 2). Výchozy této formace pokrývají oblast na západní straně tunelu. Souvrství jsou tvořena slabě metamorfovanými, nazelenalými, tmavošedými a částečně narůžovělými chloritickými břidlicemi, seritickými břidlicemi, fylity a tmavě zbarvenými rekrystalizovanými vápenci. V těchto souvrstvích nebyly nalezeny žádné fosilie.

Území této oblasti je také tektonicky aktivní. Nachází se v blízkosti severoanatolského zlomového pásma, které má souvislost s posledními zemětřeseními v severní Anatolii. Na geologickém podélném řezu na obrázku č. 2 je vidět, že geologické útvary na trase tunelu vytvářejí antiklinálu, která ve svém jádru obsahuje grafitické a chloritické břidlice s křemcovými žilami erenlerské formace. Ve fázi průzkumu trasy předvídal Weiss (1), že zbytková napětí, vzniklá v těchto souvrstvích v průběhu minulých geologických procesů, povedou k objemovému rozpínání horniny po provedení ražeb. Na straně tunelu ve směru k Ayas se vyskytly problémy a podrobný průzkum ukázal, že problémový úsek mezi stanicemi km 6,475 a km 6,890 se nachází uvnitř erenlerských souvrstev. Velké radiální deformace, ke kterým došlo, měly za následek škody na ostění a spodní klenbě, které nemohly být zvládnuty žádnými z preventivních opatření. Po 28 týdnech byly vodorovné deformace v některých částech tunelu větší než svislé (obr. 3). Poměr mezi těmito deformacemi ale není ve všech měřičských profilech stejný. Za hlavní příčinu problémů se považuje tlačivost horniny, vznikající v důsledku vysokých primárních napětí a vysokého nadloží, které přesahuje časově závislou pevnost nekvalitní horniny (2). K dalším pohybům ale došlo v důsledku dlouhých přestávek

arose at this side and cross section for the tunnel could not be obtained due to large radial deformations in spite of several trimmings, extra precautions and special support systems. As a result, all tunnelling activities have been stopped by the beginning of 1993.

### TECHNOLOGY AND METHOD OF TUNNEL CONSTRUCTION

Excavation works started from two portals simultaneously, namely the eastern (Erkeksu) and western (Ayas) portals. As work progressed, a big and significant difference came out in advances between the two sides of the tunnel. While excavating the tunnel through a thick clay formation, a sudden collapse of saturated and loose sediment at 770 m from the east portal halted the works for a long time. The excavation work relatively smoothly reached to 6 475 m at the west side. From this point, excavation work advanced only for 240 m in squeezing rock, comprising talcum, chlorite and sericitic schist belonging to the Erenler Formation (Figure 1).

Excavation was carried out at the Ayas side by top heading followed by two-stage excavation of the bench and final excavation for the placement of the invert concrete lining. The distances from the heading face to the lower bench and lower bench to invert are 120 to 130 m and 30 to 40 m respectively. The top heading has a height of 5 m and is 12 m wide. Typical support elements comprised shotcrete, 5 to 6 m long anchors, wire mesh, steel arch liners (TH profile, 21 kg/m) installed at 0.8 m spacing. The total length of anchors is over 200 m per tunnel metre. The final lining is heavy concrete and forms a full ring together with the invert concrete. The convergence in the tunnel reached up to 300 cm even with heavy support. The overburden thickness varies from 350 to 400 m. Although considerable over-excavation was done to account for the convergence, reshaping was the main problem. Floor heave and damage of the invert lining was observed within the squeezing region at the western side.

The tunnelling method was also modified several times at the eastern side. Jet grouting method was used at this side while the heading was stopped in 1993. The tunnel is excavated in clay and silty-clay with moderate stiffness. Predominant clay minerals were determined by X-ray diffraction as montmorillonite and illite. The tunnel was pre-supported by a double row of jetgrouted dowels (early installation) surrounding the excavation area. Moreover, two drainage galleries at both sides below the tunnel floor drained ground water. The permanent and temporary supports and final concrete lining characteristics are similar to those of the western side.

ražby velkého profilu tunelu, ale i ledabylého řízení a špatné kvality prací. V lednu 1993 provedla Středovýchodní technická univerzita zkoušky grafitických a chloritických břidlic jak laboratorní, tak i na stavbě (3). Pokusy o provedení jádrových vrtů v grafitické břidlici v tunelu selhaly. Proto se musely laboratorní zkoušky provádět na masivnějších kusech horniny, odebraných na čelbě. Na těchto vzorcích se provedly zkoušky pórovitosti, hustoty a celkem 89 zkoušek bodovým zatížením. Kromě toho se v tunelu provedly dvě zkoušky únosnosti zatěžovací deskou, aby se stanovily deformační vlastnosti horninového masivu. Výsledky těchto zkoušek se dají shrnout takto:

- Objemová hmotnost suchého vzorku: 26,6 MN/m<sup>3</sup>,
- Průměrná pevnost v tlaku: 1,18 MPa,
- Průměrný modul pružnosti: 250 MPa.

Z analýz a posouzení, vycházejících z vlastností hornin a radiálních deformací, byly odvozeny následující závěry:

Tunel se raží ve výjimečně obtížných horninových poměrech, které je možno považovat za jedinečné. Vlastnosti, kvalita a stav hornin byly vyšetřeny a byly označeny jako vhodné pro stavbu. Metoda ražby, pracovní postupy a vzájemná působení závisla na preventivních opatřeních jsou velmi dobře známy. Zdá se, že již bylo získáno dostatečné množství údajů pro to, aby bylo možno dělat správná rozhodnutí.

Faktem je, že horninového masivu v okolí tunelu se musí dát dostatek času na uvolnění a přerozdělení napětí, aby se v určité vzdálenosti od líce výrubu vytvořila únosná horninová klenba.

Po provedení výrubu tunelu dochází k extrémním časově závislým deformacím v důsledku uvolňování napětí a druhotného napětí, které je vyšší než pevnost horniny. Jednou z hlavních příčin nadměrných deformací je špatná kvalita horninového masivu, který je ovlivňován metamorfózou a aktivními tektonickými procesy. V okolí výrubu, tzv. „relaxační oblasti“, dochází ke vzniku časově závislé plasticity horniny a jejímu dotvarování. Tato oblast se s časem zvětšuje. Přístup, podle kterého těmto deformacím nelze v daném profilu tunelu a při použití běžných metod vyztužení zabránit, je realistický. Kromě toho tyto deformace závisí na prostorových účincích. Prudký nárůst deformací a neúčinnost systémů vystrojení výrubu související s rostoucí vzdáleností mezi čelbou kaloty a místem, kde je profil tunelu kompletně uzavřen ostěním (včetně spodní klenby), již byly v praxi prokázány. Je to jasně vidět z výsledků pečlivých průběžných měření a jejich vyhodnocování jako funkce času a vzdálenosti spodní klenby od čela výrubu. Z vyhodnocení záznamů o konvergencích je vidět, že svislé konvergence (mezi vrcholem klenby a dnem) dosahují 1850 mm a vodorovné konvergence (mezi boky klenby) až 1300 mm. Poměr mezi vodorovnou a svislou deformací jasně

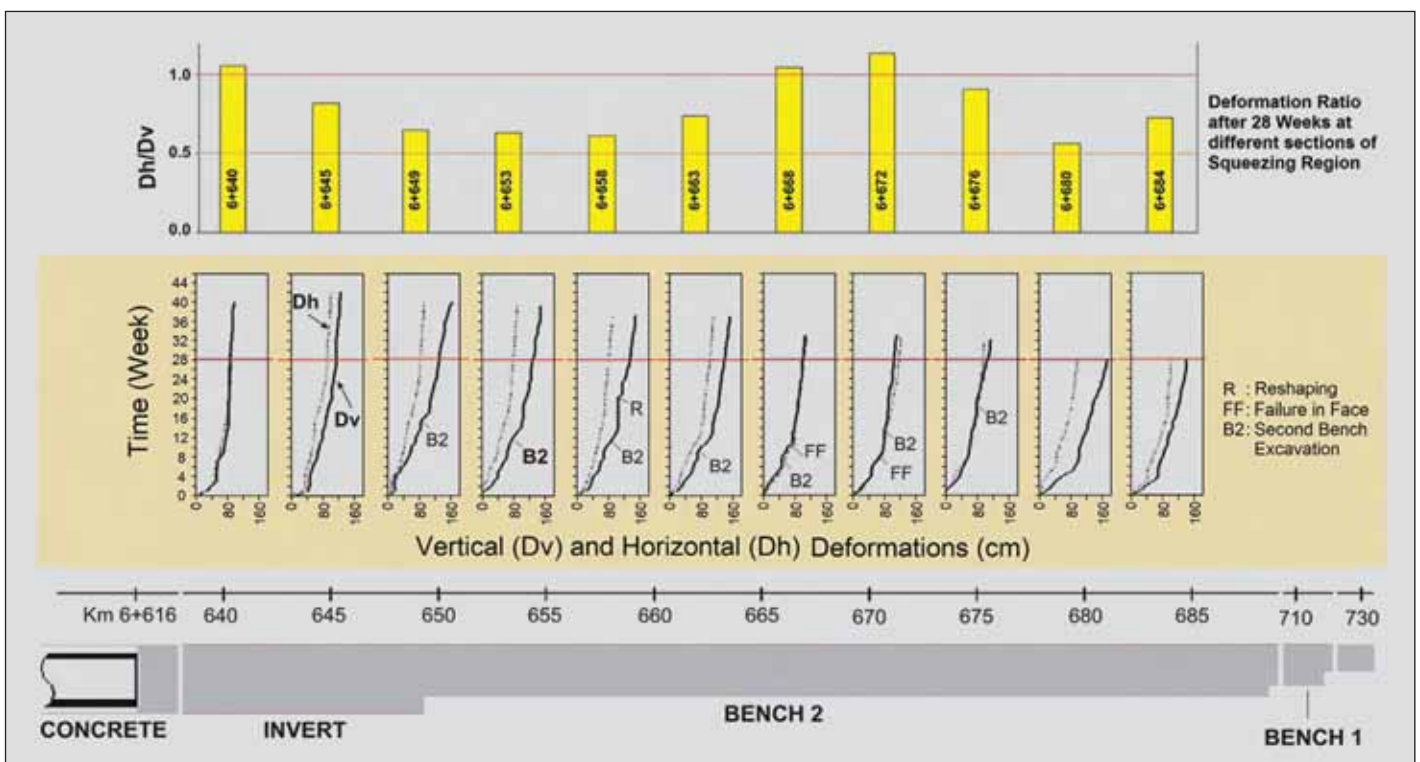
## THE AYAS SIDE

The section causing difficulties is inside the Permo-Carboniferous Erenler formation, which is the oldest geological formation along the tunnel route (Figure 2). The outcrops of this formation cover an area at the western side of the tunnel. It comprises slightly metamorphosed greenish, dark grey, dark green and partly pinkish chlorite-schist, sericite-schist, phyllite and dark coloured recrystallised limestone. No fossils were encountered in this formation.

The area is also a tectonically active region and it is very close to the North Anatolian Fault Zone which controls the recent earthquakes in Northern Anatolia. As seen from the geological section in Figure 2, geological units along the tunnel route form an anticline which contains graphite and chlorite schist with quartz veins of Erenler formation in its core. At the route investigation stage Weiss (1) had foreseen that the residual stresses stored in this formation during geological processes in the past would lead to volumetric expansion after tunnel excavation. At the Ayas side of the tunnel, problems were encountered and detailed investigations showed that the problematic section was between km 6+475 to 6+890 within the Erenler formation. Large radial deformations led to damage of the lining and invert that could not be controlled despite all precautions. In some parts of the tunnel, horizontal deformations were higher than vertical deformations after 28 weeks (Figure 3). However, the ratio between these deformations is not the same over all the measurement stations. The squeezing behaviour as a result of high primary stresses and overburden exceeding the time dependent strength of poor rock is considered as the main cause of the problems (2). However, long pauses, the large cross section of the tunnel, as well as negligent construction practice and poor workmanship resulted in additional movement. The results of laboratory and in-situ tests on graphite and chlorite schist were performed by the Middle East Technical University in January 1993 (3). Attempts of core drilling in the tunnel failed in graphite schist. Therefore laboratory tests could be performed on more solid pieces of rock samples collected at the excavation face. Porosity, density and totally 89 point load tests were carried out on these samples. In addition two plate loading tests were performed in the tunnel to determine the deformation characteristics of rock mass. The result of these tests can be summarized as follows:

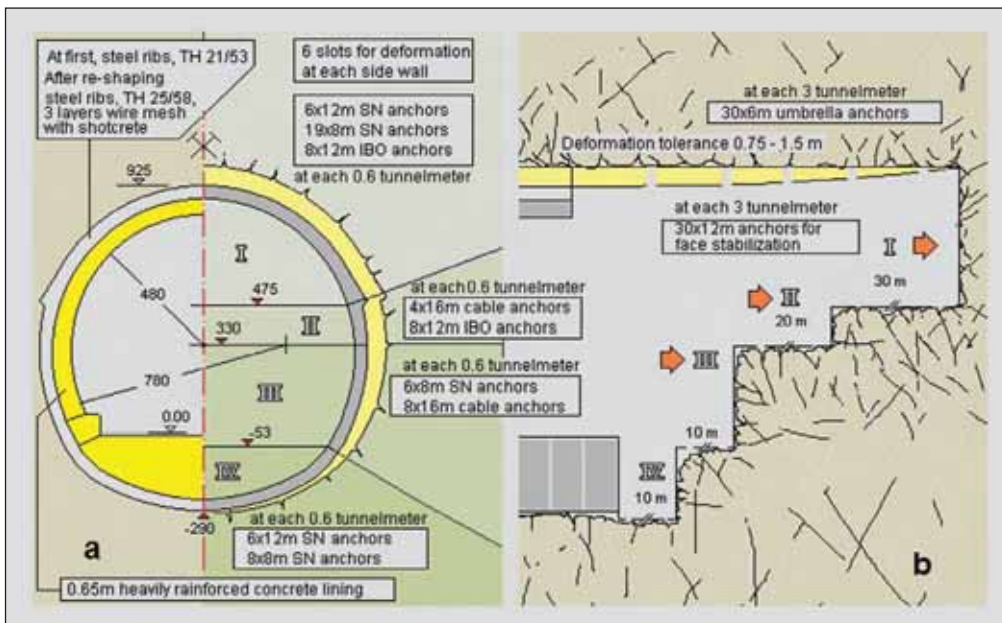
- Dry unit weight: 26.6 MN/m<sup>3</sup>,
- Average compressive strength: 1.18 MPa,
- Average modulus of elasticity: 250 MPa.

The following results were deduced from analyses and assessments based on rock properties and radial deformations in tunnel:



Obr. 3 Průběh vodorovných a svislých deformací v různých měřících profilech v oblasti tlačivých hornin

Fig. 3 The time dependent development of the horizontal and vertical deformations at different measurement sections of the squeezing regions



Obr. 4 Technická preventivní opatření k zajištění výrubu v prostředí tlačivých hornin a) v příčném řezu b) členění výrubu a výstroj v podélném řezu

Fig. 4 The technical precautions of the support system at squeezing rock conditions a) in cross section b) partial excavation and supporting at longitudinal section

ukazuje na existenci tlačivosti horniny (obr. 3). Dále vyhodnocení závislosti naměřených konvergencí na čase ukazuje, že při stávajícím systému vyztužení výrubu se deformace ustálí během 100 až 150 dnů, a že rychlost deformace klesne na 2 mm/den (2).

Na druhou stranu je známo, že provedení definitivního betonového ostění je vhodné jen v případech, kdy rychlost deformací klesne pod 10 mm/měsíc. Měli bychom poznamenat, že co největší zmenšení odstu- pu uzavření ostění včetně spodní klenby od čela výrubu kaloty by bylo účinným způsobem jak tento problém zmírnit (obr. 4).

S přihlédnutím k horninovým poměrům a špatné kvalitě horninového masivu, spolu s přerozdělováním druhotných napětí a s měřeními napětí mezi ostěním a límcem výrubu je jasné, že trvalé stability by se dosáhlo při malých konvergencích, které jsou možné v případě, že se rychle osadí všechny prvky zajištění výrubu, které začnou spolupůsobit s horninovým prostředím. V tomto případě by ale mělo být vnitřní ostění chráněno po dobu tuhnutí cementu před postupujícími, na čase závislejšími deformacemi okolního masivu. Z toho důvodu bylo navrženo vložení deformačního „polštáře“ mezi dočasnou výstroj a definitivní ostění a ocelové rámy byly opatřeny pohyblivými spojkami, díky kterým se rámy staly poddajnými (obr. 4 a 5). Tento návrh byl realizován ve vybraném úseku, avšak úspěšných výsledků se dosáhlo pouze v krátkém dílu.

Předmětem diskusí tedy byly hlavně dvě koncepce ražby, které měly řešit problémy, na které se v této oblasti narazilo:

Problémový úsek na straně k Ayas mohl být vyrazen pouze metodou úpravy vyraženého profilu. Každý druh horniny, kterou tunel prochází, může být hospodárně stabilizován vytvořením horninové klenby, která vzniká v důsledku pseudoplasticity. V geologických podmínkách měkkých hornin je nevyhnutelné, aby se uvolnila napětí tím, že se umožní konvergence a provedou se nutné úpravy profilu (reprofilace). Vliv zvětšování vzdálenosti mezi čelbou a plně uzavřeným ostěním byl negativní. Opakované úpravy profilu neovlivňují chování horniny negativně, spíše naopak, pomáhají zastavit deformace zvyšováním pseudoplasticity. Proto je možno razit tunel s opakováním úprav profilu tam, kde se očekává, že lokální konvergence nepřekročí tři metry (podle existujících poměrů a metody ražby) (4). Tunel se stavěl touto metodou. Ostění tunelu se uzavíralo v odstu- pu 180 až 200 m od čelby kaloty.

Tunel lze razit i metodou „řízené deformace“, která nevyžaduje dodatečné úpravy profilu. Deformace v tunelu jsou závislé na čase, horninových poměrech, velikosti profilu a technologických postupech ražby. Deformacím se nedá zabránit. Musí být umožněny, aby se snížily radiální tlaky na ostění. Existuje však optimální tolerance pro deformace. Skutečné deformace mohou tuto toleranci překročit, pokud se razí metodou řízené deformace. Při této metodě se s očekávanou velkou deformací počítá a teoretický příčný řez výrubu se zvětší nejméně o 75 až 150 cm (obr. 4b). Tato metoda zahrnuje činnosti omezující deformace, ke kterým při jejím použití dochází, tj. vhodná preventivní opatření vč. zkrácení odstupů mezi čelbou, opěřím I, opěřím II a zabetonovanou protiklenbou a tím zkrácení vzdálenosti uzavřeného prstence ostění od čelby kaloty. Jinými slovy, deformace se dají řídit tak, že se udržuje co nejkratší nezajištěný výrub, volí se vhodná preventivní opatření v daném úseku a práce se provádějí v krátké době. Ostění musí být uzavřeno do 28 až 30 dnů, během kterých

The tunnel is being excavated in extremely difficult ground conditions, which can be considered unique. The properties, quality and conditions of the ground were investigated and they were determined to be sufficient enough to direct the project. The method of excavation, procedures and interactions dependent on precautions are very well known. It is felt that sufficient data and relevant knowledge have been collected to make the right decisions.

It is a fact that the rock mass around the tunnel has to be given sufficient time for relaxation and stress re-arrangement and to form a load bearing arch at some distance from the border of tunnel.

Following the tunnel excavation, extreme time-dependent deformations occur due to stress release and secondary stress exceeding the rock strength. One of the main causes of these extreme deformations is poor quality rock mass which is affected by metamorphism and active tectonic processes. The tunnel periphery or “the relaxation zone” shows time-dependent plasticity and creep behaviour. This zone enlarges with time. It is a realistic approach to assess that these deformations as “unpreventable” within the given cross section of the tunnel and common reinforcement methods. Moreover, these deformations are dependent on three-dimensional effects. As a matter of fact, the rapid increase in deformation and inefficiency of supporting systems with increasing distance between the excavation face and full ring closure with invert support are already proven. This is clearly seen by careful and step-by-step measurements and their evaluation as a function of time and distance from the heading face to the invert. The assessment of convergence records shows that vertical (roof-to-floor) and horizontal (wall-to-wall) deformations reach up to 1 850 mm and 1 300 mm respectively. The ratio between horizontal and vertical deformation clearly shows the squeezing behaviour (see Figure 3). Furthermore, the assessment of convergence measurements versus time indicates that the deformations become stable in 100 to 150 days with the existing supporting system, and the rate of deformation declines to 2 mm/d (2).

On the other hand, it is a known fact that placement of final inner lining of concrete is only suitable for cases of deformations that decline below 10 mm/month. It should be noted that reducing the distance between full ring with invert support and excavation face as much as possible would be an effective way to mitigate the problem (Figure 4).

Considering the ground conditions and poor quality of rock mass together with secondary stress redistribution and stress measurements between linings and contact surfaces, it has been understood that the permanent stability would be obtained by smaller convergence in case of fast installation and concurrent action of retainment and containment supports. But, in this case, the inner lining should be protected from progressing time dependent deformations of the surrounding rock within the setting time of the cement. For this reason, placement of a deformation cushion between temporary supports and final lining and steel ribs with movable connection were suggested (Figures 4 and 5), and this suggestion was practiced in a selected section but successful results could only be obtained in a short section.

Thus, mainly two different tunnelling concepts were discussed to solve the problems encountered in this region.

The problematic section of the Ayas side can only be excavated by reshaping method. Any type of ground in a tunnel is suitable for an economical stabilization by creating an arch as a result of pseudo-plasticity. Therefore,

se rychlost deformací zmenšuje a vzdálenost mezi čelbou a definitivním ostěním by neměla přesáhnout 30 m (5), jelikož horninový masiv vykazuje v problémovém úseku časově závislou plasticitu. Nejehospodárnějším řešením je přenesení části napětí z okolního horninového masivu do vnitřního ostění tunelu. Opakované upravování profilu výrubu má za následek nárůst objemu horniny, který vede k „fyzikálnímu uvolnění“ a dalšímu snižování primární pevnosti horniny. Upravování profilu výrubu bychom se tudíž měli z velké míry vyhnout.

Po realizaci změn, vyprojektovaných pro úsek mezi staničeními km 6,560 a km 6,610, byl v úseku od km 6,624 do km 6,172 prováděn větší výrub, aby se zvětšila tolerance pro deformace, byla zvýšena kvalita betonu spodní klenby a bylo zvýšeno množství prvků zajištění výrubu (obr. 4). První vrstva stříkaného betonu, která byla průřezována podélnými mezerami, byla 20 cm silná. Tato vrstva byla vyztužena ocelovou sítí. Bylo doporučeno provedení čtyř mezer v kalotě a dvou mezer v opěři I (po jedné na každé straně). Ocelové obloukové rámy, které se osazovaly, byly poddajné, přerušené, s poddajnými/klužnými spojovacími prvky v místě přerušování. Ty umožňovaly řízení konvergencí. Základem pro schválení tohoto projektu je druhé přiblížení znázorněné na obr. 5.

Kromě toho byl předložen návrh aktivovat potenciální radiální deformace provedením předstihových vrubů po obvodu výrubu (6). Účelem vrubu bylo předstihové vyvolání radiálních posunů již v předpolí ražby (v oblasti přístropí). Úspěšnost vrubů byla zvýšena tím, že měly průměr 15 cm, byly prováděny současně, a to tak, aby se vytvořila klenba sledující obvod čelby.

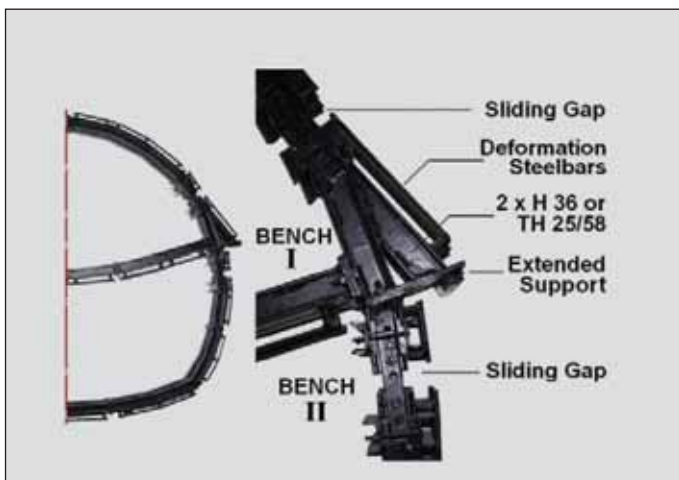
Naopak, vzdálenost mezi čelem výrubu a spodní klenbou byla větší. Z hlediska preventivních opatření, technologického postupu, okamžiku provedení a délky záběru se použil první z výše popsaných přístupů. S ohledem na konečná měření, získaná pomocí tlakoměrných podušek instalovaných na hlavách horninových svorníků, se zjišťuje, že větší část jejich únosnosti se s časem ztratila. Přes všechna preventivní opatření a úsilí nemohly být konvergence, vyžadující dodatečné úpravy profilu, stávající metodou zmenšeny.

## STRANA VE SMĚRU K MĚSTU ERKEKSU

Problémy na straně k Erkeksu a na straně k Ayas se podobají v tom, že se jedná o extrémní radiální deformace, ale liší se z hlediska geomechaniky.

V portálové části procházela ražba vyvěřelými hominami. Na problémy se narazilo až v oblasti tektonické poruchy ve vzdálenosti 0,770 km od východního portálu. Tato poruchová oblast se nachází na styku vulkanického masivu s rozvolněnými sedimenty, nazývanými kurukolunské jíly, které zahrnují rozvolněný zvodnělý jíl, silit, písek a štěrky s vlastnostmi tekoucí zeminy. Existující problém velmi krátké doby samonosnosti výrubu byl neúspěšně řešen od roku 1985.

Od začátku ražeb v problémovém úseku byly použity čtyři metody, které byly nahrazeny kvůli potížím s horninou jádrovou metodou s několika štolami po obvodu. Při této metodě se začíná vyražením průzkumné štoly. Dne 21. ledna 1985, v okamžiku, kdy pevné čelo štoly o rozměrech 2,2 m x 0,9 m dospělo do vzdálenosti 19,61 m, došlo k vniknutí tlakové vody, po kterém následovalo vytečení zeminy do štoly. Asi 150 až 200 m<sup>3</sup> materiálu vyplnilo tunel a zastavilo ražbu.



Obr. 5 Zvláštní tvar ocelového oblouku s kluznými třecími spojkami a přidání ocelovými prvky pro řízení časově závislé konvergence

Fig. 5 The special shape of the steel arch with sliding frictional connections and extra steel bars for controlling the time dependent convergence

in weak geological conditions it is inevitable to unload stresses by allowing convergence and carry out necessary trimming. The effect of the distance between excavation face and full ring closure on deformations was negative. Repeated trimmings do not affect the behaviour of the rock negatively, quite the opposite help to stop deformation by increasing pseudo-plasticity. Hence, the tunnel can be excavated by repeated trimming where local convergence is expected to be no more than three metres, according to existing conditions and tunnelling method (4). The tunnel was constructed with this concept, and the distance between face and closed ring was kept at 180 to 200 m.

The tunnel can also be excavated by deformation controlled method but without trimming. Deformations existing in the tunnel are dependent on time, ground conditions, size of cross section and tunnelling procedures. They are unpreventable. Allowing deformations is necessary to decrease radial stresses on the lining. However, there is an optimal deformation tolerance and exceeding deformations beyond this tolerance is possible by "deformation controlled tunnelling techniques". The theoretical excavation profile has to be enlarged by at least 75 to 150 cm in order to allow for the expected large deformation (see Figure 4b). This technique involves the limitation of deformations resulting from application, the selection of appropriate precautions, shortening of distances between excavation face, bench I, bench II and invert concrete to reduce the ring closure distance. In other words, the control of deformations can be obtained by keeping the unsupported span small, choosing proper precautions at section and implementation of procedures in a short time. The ring must be closed within 28 to 30 days, while the deformation rates are decreasing and the distance between excavation face and final lining should be not more than 30 m (5), since the rock mass shows a time dependent plasticity at problematic section. The most economical solution is to transmit some portion of the field stress to the inner lining of the tunnel. Repeated trimming causes volumetric increase of rock, which results in "physical relaxation" and continuous decrease of primary rock strength. Consequently, trimming should be avoided to a great extent.

Following the application of project for amendment purposes at between km 6+560 and km 6+610, the section from km 6+624 to km 6+172 excavated was larger to increase the deformation tolerance, the quality of the invert concrete was improved and the supporting quantity was increased (see Figure 4). The first layer of shotcrete had a thickness of 20 cm and was interrupted by longitudinal slots. This layer was reinforced by wire mesh. It was recommended to make four slots in the top heading and two in bench I (one at each side) and the slots were 30 to 40 cm wide. Steel arches with sliding gaps were installed in order to control convergence. The approval basis of this project is the second approximation depicted above (see Figure 5).

Additionally, a suggestion was put forward for pre-activation of potential radial deformations by opening slots around the periphery of the excavation prior to advance (6). This slot had the purpose to activate radial displacements ahead of the face around the roof area. The success of slot openings was emphasized to be 15 cm in diameter, concurrent and arch shaped surrounding the excavation face.

Conversely, the distance of excavation face to invert arch was kept longer in application and first approach depicted above was put into practice from the viewpoints of precaution, procedure and application time, and advancement length. Considering the final readings obtained from load cells installed on bolt anchor heads, it is found that most of their bearing capacity were lost with time. In spite of all precautions and efforts, trimming requiring convergence could not be reduced by the existing method.

## THE ERKEKSU SIDE

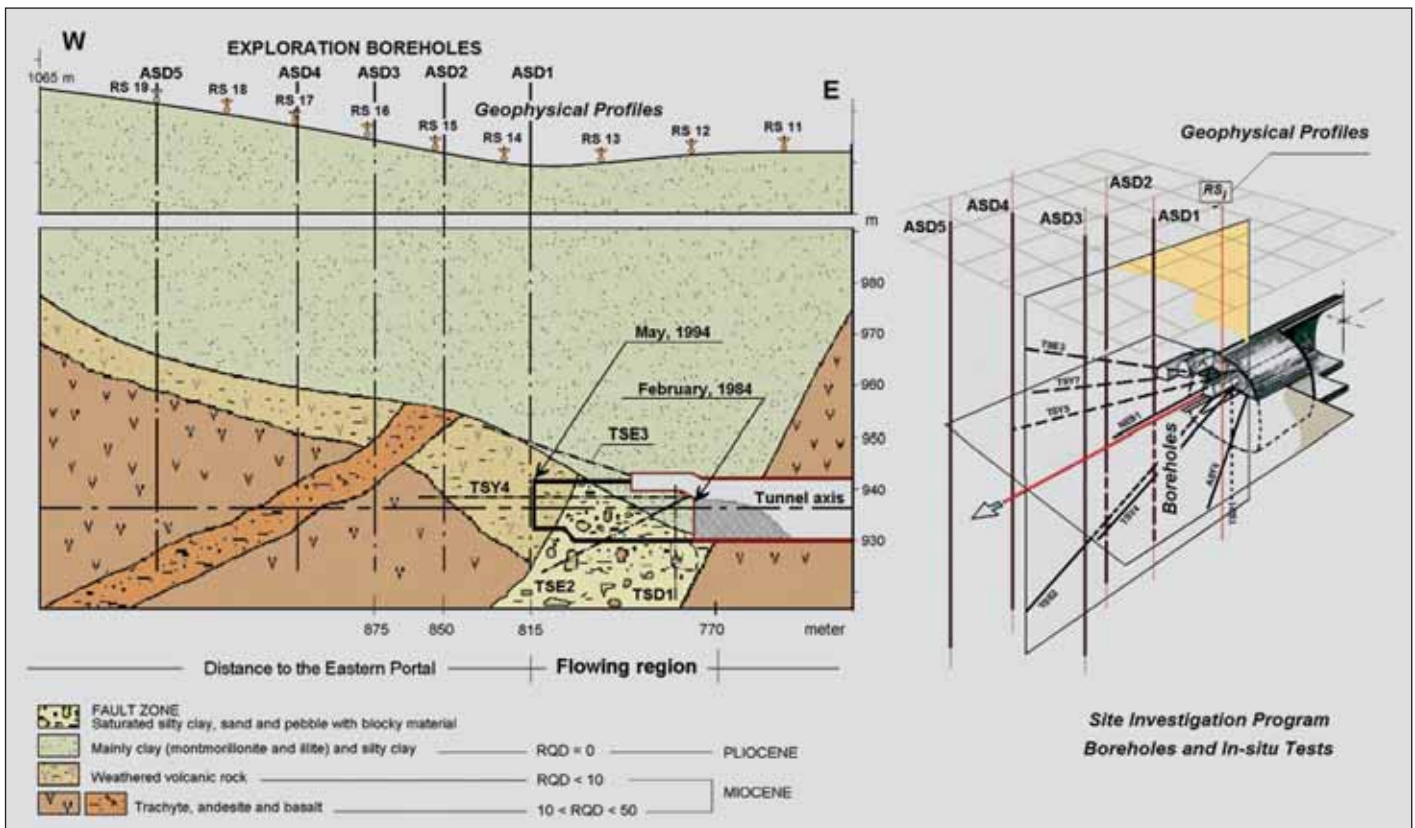
The problem of the Erkeksu side is similar to that of the Ayas side in terms of extreme radial deformations, but differs in geomechanical point of view.

Volcanic rocks were excavated close to the portal, but problems were encountered when the tunnel met a fault zone at km 0+770 from the east portal. This fault zone is in the contact between volcanic and loose sedimentary rock called the Kurukolun clay comprising loose and water saturated clay, silt, sand and gravel with flowing ground characteristics. The existing problem with very short stand-up time could not be subdued since 1985.

The quadruple tunnelling method was applied until the problematic section and then replaced with multiple-drift excavation method due to ground difficulties. This method starts with an exploration adit. At 19.61 m of the rigid adit face having dimensions of 2.2 m x 0.9 m, inflow of pressurized water followed by flow of ground happened on January 21, 1985. Approximately 150 to 200 m<sup>3</sup> of material filled the tunnel and halted tunnelling works.

The following investigations were targeted on the cave-in zone. The dimensions of the problem were examined along the tunnel axis by





Obr. 6 Geologie a detail programu průzkumu na stavbě pro zjišťování horninových poměrů v problémové části úseku, raženého z portálu Erkeksu  
 Fig. 6 Geology and detail of in-situ exploration programme to determine the rock conditions at problematical part of Erkeksu portal

Následná šetření byla zaměřena na oblast závalu. Rozměry problému byly zkoumány podél trasy tunelu observačními a zkušebními vrti, které byly provedeny uvnitř i vně profilu tunelu s různou délkou a v různých místech. Kromě toho se podzemní voda odváděla dvěma 20 metrů dlouhými štolami, vyraženými na obou stranách ve výši dna tunelu. Celkem bylo po obvodu čela výrubu provedeno sedm průzkumných a odvodňovacích vrtů o celkové délce 370 m. Kromě toho se provedlo pět 140 až 150 m dlouhých vrtů z povrchu, sloužících pro odvodňování a zjišťování situace (obr. 6).

Při laboratorních zkouškách na neporušených vzorcích jílu byly rentgenovou diffrakcí určeny jako převládající jílové materiály montmorillonit a illit. Mez tekutosti vzorků jílu byla 64 až 68 % a mez plasticity 30 až 34 %. Vlhkost v přirozeném stavu byla vyšší než mez plasticity (7).

Tekoucí zemina složená z rozvolněného jílu, silitu a písku vyžadovala úpravu metody ražby a zajištění výrubu. Předpolí ražby proto bylo v předstihu zajištěno dvěma řadami sloupů tryskové injektáže, prováděných ve stropě kaloty v odklonu 10° až 20° od osy ražeb. Tímto způsobem se vytvořil jakýsi druh ochranného deštníku (8). Budování ochranného deštníku pomocí tryskové injektáže se s drobnými úpravami používalo ve všech fázích ražby. Tato metoda se užívala i pro vyztužení spodních částí klenby. Ke svislým i vodorovným deformacím docházelo, i když byla metoda využívající tryskové injektáže několikrát měněna podle nabytých zkušeností (tab. 1).

## ZÁVĚRY

Šetření, zaměřená na popis problémů, se kterými se setkala ražba tunelu Ayas, jsou dostatečně podrobná na to, aby bylo možno řídit postupy a projekty pro zbývající ražby. Z hlediska geomechaniky je zřejmé, že hlavní problém spočívá v kvalitě horniny, se kterou se ražby setkaly. Nejvyšší výsledné konvergence byly tak velké, že je těžké nalézt ve světě podobný příklad. Je známo, že v obtížném úseku na straně k Ayas zbytková napětí, spojená s druhotnými napětími vznikajícími po provedení výrubu, byly vyšší než pevnost horniny. Typ horniny je další příčinou velkých radiálních deformací. Následně úpravy profilu výrubu a časově závislé deformace, vznikající v důsledku uvolnění zbytkových napětí, která vznikla během geotektonického vývoje horninového masivu, by mohly být základní příčinou škod na betonech spodní klenby po uzavření celého profilu. Toto se dá vykládat i tak, že v určitých úsecích tunelu nebylo možné překonat trvalé stabilitní problémy ani zvyšováním tloušťky betonové protiklenby.

observation and test holes drilled inside and outside the tunnel profile in various lengths and positions. Moreover, ground water was drained by two drainage galleries at both sides of the tunnel floor, each 20 m in length. In total, seven holes with a length of 370 m were drilled around the face for investigation and drainage purposes. Additionally, five holes with depths of 140 to 150 m were drilled from the surface for drainage and determination of the situation (Figure 6).

By the laboratory tests on undisturbed clay samples, the predominant clay minerals were determined by x-ray diffraction as montmorillonite and illite. The liquid and plastic limits of clay samples were 64 to 68 % and 30 to 34 % respectively. The moisture content in natural state was higher than the plastic limit (7).

The flowing ground containing loose clay, silt and sand required a modification of the excavation and support method. Thus, the upcoming excavation area was pre-supported by preplacement of double rows of jet-grouted reinforcing dowels 10° to 20° angled outwards the excavation line of the heading roof. By the application of this method a kind of "protective umbrella" was provided (8). Jet-grouted umbrella application has been used in all stages with some minor modifications. This method was also used for reinforcement of haunches. Vertical and horizontal deformations occurred even though the jet-grout technique was modified several times in the light of experiences gained (Table 1).

## CONCLUSIONS

The investigations aiming to describe the problems encountered at the Ayas tunnel are detailed enough to direct procedures and projects for the remainder of tunnel excavation. From geomechanical point of view it is clear that the main problem is the quality of the ground encountered in the tunnel. Resulting extreme convergences are so large that it is difficult to find a similar example anywhere else in the world. At the difficult section of the Ayas side, it is known that residual stresses associated with secondary stresses following the excavation exceed the rock stress. The type of rock is an additional cause of the large radial deformations. Post-excavation and time-dependent deformation due to relaxation of residual stresses originated from geotectonic evolution of the rocks could be the basis of damages of the invert concrete after completing the ring closure. This could be interpreted, as permanent stability problems could not be overcome in certain parts of the tunnel despite the thickness of the invert concrete.

The problems faced at both sides of the tunnel still exist. Supports and opinions of prominent specialists and institutions were requested and some

Vzdálenost od portálu Distance to Portal	Celkové deformace [mm] Total Deformations [mm]		Čas [dny] Time [d]	Rychlost deformací [mm/den] Rate of Deformations [mm/d]	
	Svislé Horizontal	Vodorovné Vertical		Vodorovné Horizontal	Svislé Vertical
772	196	143	100	1,96	1,43
774	186	269	98	1,89	2,74
774,2	275	279	96	2,86	2,90
775,4	363	289	95	3,82	3,04
776,4	438	303	94	4,65	3,22
777,4	452	295	93	4,86	3,17
780	1006	301	73	13,78	4,11
781,1	972	302	72	13,50	4,19
781,9	667	313	71	9,39	4,40
782,8	1058	135	68	15,55	1,98
783,7	659	294	67	9,83	4,38
784,9	402	250	66	6,09	3,78
785,7	457	207	57	8,01	3,63
786,5	457	274	56	8,16	4,89
787,6	224	176	56	4,00	3,14
788,6	298	137	54	5,52	2,53
789,6	699	139	54	1,83	2,57

**Tabulka 1** Hodnoty svislých a vodorovných deformací a jejich rychlosti v tunelu ve směru od Erkeksu  
**Table 1** Vertical and horizontal deformations and their rates at Erkeksu side of the tunnel

Problémy, se kterými se stavba setkala na obou stranách tunelu, stále existují. Byly vyžadány podpora a názory významných odborníků a institucí, a některá doporučení byla realizována. V roce 1994 byly práce na ražbách přerušeny, jelikož se stability nedosáhlo ani po třikrát opakovaných úpravách profilu, které značně zvýšily náklady na ražby. Navíc začalo docházet k praskání a odpráskání povrchu definitivního betonového ostění tam, kde již bylo vybudováno. Podle našeho názoru je hlavním problémem na straně k Ayas tlačivost měkkého horninového masivu a velká vzdálenost mezi čelem výrubu kaloty a uzavřeným definitivním betonovým ostěním. Problém na straně k Erkeksu je obdobný, co se týče extrémních radiálních deformací, ale liší se z hlediska geomechaniky. Na straně k Erkeksu bylo zajištěno odvodnění zvodnělé a tekoucí zeminy. Problémová tektonicky porušená oblast má omezenou délku 40 až 50 metrů podél trasy tunelu.

Podle názoru autorů existují tři důvody, proč nemohl být tunel Ayas dosud dokončen: 1) Nevzaly se včas v úvahu rozdílné názory zhotovitele stavby a objednatele na koncepci ražeb a na zvláštní preventivní opatření a metody ražby, které mají vyřešit problémy práce v podmínkách tlačivé horniny. 2) Politická a finanční podpora je nedostatečná. Některé tunelářské práce se mohly provádět pouze 1 až 1,5 měsíce v roce, zatímco ve zbytku roku byly tunelářské práce zastaveny. Z těchto důvodů nebylo možné budovat tunel plynule. 3) Ze smluvních důvodů nebylo ani možné změnit uspořádání tunelu v problémovém úseku na tunel se dvěma troubami s menším profilem.

Z výše uvedeného je vidět, že tlačivost hornin není hlavním z důvodů, které způsobily zastavení ražeb. Tunel Ayas je možno dokončit kdykoli.

**DR. YILMAZ MAHMUTOGLU, e-mail: yilmazm@itu.edu.tr**

**PROF. DR. MAHIR VARDAR, e-mail: vardar@itu.edu.tr**

**RES. ASIST. CENK KOÇAK, e-mail: kocak@itu.edu.tr**

**RES. ASIST. GÖKHAN SANS, e-mail: sansg@itu.edu.tr**

*ITU Faculty Of Mines, ITU Maden Fakultesi, Maslak, Istanbul, Turkey*

Článek byl publikován v časopise Felsbau 5/2006 a je přetištěn s laskavým svolením VGE Verlag GmbH a kolektivu autor

of their suggestions were implemented. Tunnelling activities were interrupted in 1994, because stability could not be obtained in spite of trimmings performed three times, which increased tunnelling costs considerably. Moreover, cracks and spalling developed in the final concrete lining, where already installed. In our opinion, the main problem at the Ayas Side is the squeezing behaviour of the weak rock mass and the long distance between the excavation face of the top heading and final concrete lining. The problem at the Erkeksu Side is similar to that of the Ayas side in terms of extreme radial deformations, but differs in geomechanical point of view. Drainage of saturated and flowing ground was secured at the Erkeksu Side. The problematic fault zone has a restricted length of 40 to 50 m along the tunnel route.

In the opinion of the authors there are three reasons why the Ayas tunnel could not be completed so far: 1) The different opinions of the Contractor and Owner on tunnelling concepts and special precautions and methods of tunnelling to tackle the problems under squeezing conditions was not taken into account in time. 2) The political and financial supports are not sufficient; some tunnelling works could be carried out only 1 to 1.5 months per year, while the rest of the year tunnelling works were halted. As a result, it was not possible to construct the tunnel continuously. 3) Because of contractual reasons it was also not possible to change the tunnel layout to two single track tubes with smaller cross section in the problematic section.

As seen from these reasons, the main reason is not the squeezing conditions which stopped tunnelling. It is possible to finish Ayas tunnel at any time.

**DR. YILMAZ MAHMUTOGLU, e-mail: yilmazm@itu.edu.tr**

**PROF. DR. MAHIR VARDAR, e-mail: vardar@itu.edu.tr**

**RES. ASIST. CENK KOÇAK, e-mail: kocak@itu.edu.tr**

**RES. ASIST. GÖKHAN SANS, e-mail: sansg@itu.edu.tr**

*ITU Faculty Of Mines, ITU Maden Fakultesi, Maslak, Istanbul, Turkey*

The paper was published by kind permission of VGE Verlag GmbH and the team of authors

## LITERATURA / REFERENCES

1. Weiss, E.H.: *Baugeologischer Langenschnitt Prognose für den Eisenbahntunnel Sincan-Ayas*. Nepublikovaná zpráva, 1978.
2. Mahmutoglu, Y.; Vardar, M.; Yuzer, E.: *Tunnelling Problems in Squeezing Condition at Ayas Tunnel*. Erguvanli Colloquium, Bulletin of Engineering Geology, Vol. 17 (1999), str. 79-91.
3. Tutluoglu, T.: *Rock Mechanics Laboratory and Field Tests for Ayas Entry of Ayas Tunnel*. (Report in Turkish). Middle East Technical University, Ankara, 1993.
4. Daller, J.: *Ayas Tunnel, Final Technical Report on Tunnelling in Graphite Schist*. Nepublikovaná zpráva. Geoconsult, Vienna, 1993.
5. Vardar, M.: *Tunnelling Approaches in Engineering Design and Application*. Prof. I. Turgan Sabis Symposium, str. 185-196. Istanbul, 1995.
6. Kovari, K.: *Ayas Tunnel, Final Report on Site Visit*. Nepublikovaná zpráva, 1993.
7. Tumer, U.; Turdu, E.: *Cell Method Solves Soft Ground Problems in Turkish Rail Tunnel*. Tunnels & Tunnelling, duben 1985, str. 14-16.
8. Yuzer, E.; Vardar, M.; Durgunoglu, T.: *Geotechnical Investigation and Tunnel Project for Problematic Section*. Závěrečná zpráva (v tureckém jazyce). Istanbul. 1989.

# TUNEL ČEBRAŤ NA ÚSEKU DIAĽNICE D1 HUBOVÁ – IVACHNOVÁ

## THE ČEBRAŤ TUNNEL IN THE HUBOVÁ – IVACHNOVÁ SECTION OF THE D1 MOTORWAY

MILOSLAV FRANKOVSKÝ, VIKTÓRIA CHOMOVÁ, JÁN SNOPKO, MÁRIA ŠAMOVÁ

### ÚVOD

Výstavba diaľničných stavieb sa na Slovensku v predošlej dekáde začala presúvať z rovín do hornatých oblastí severu Slovenska. Práve tam, kde si ani tí najväčší odporcovia tunelových stavieb nevedia predstaviť vedenie diaľnice bez tunelov. Sériu pripravovaných tunelov na trase diaľnice D1 spájajúcej Bratislavu a Košice (obr. 1) začína za Dolným Hričovom tunelmi Ovčiarisko (2367 m), Žilina (650 m), Višňové (7460 m). Po diaľničnom úseku Dubná Skala – Turany vedenom Turčianskou kotlinou nasleduje úsek Turany – Hubová s jedným hĺbeným – Šútovo (400 m) a tromi razenými tunelmi – Malá Fatra (280 m), Rojkov (1550 m), Havran (2702 m). Posledným chýbajúcim ohnívkom pre spojenie existujúcej „liptovskej“ diaľnice Ivachnová – Važec s pripravovanou D1 by mal byť úsek Hubová – Ivachnová, vedený náročným terénom na okraji Veľkej Fatry a Chočských vrchov. Súčasťou úseku je tunel prekonávajúci vrch Čebrať výšky 1054 m n. m. nad mestom Ružomberok dvomi rúrami dĺžky viac ako 2 km. Spracovateľom dokumentácie na stavebné povolenie a súťažných podkladov sa na základe verejnej súťaže stalo v prvej polovici roku 2006 Združenie Hubová – Ivachnová, ktorého členmi sú Dopravoprojekt, Terraprojekt a ILF Consulting Engineers.

### DIAĽNIČNÝ ÚSEK D1 HUBOVÁ – IVACHNOVÁ

V súčasnosti využíva tranzitná doprava v smere západ – východ štátnu cestu I/18 prechádzajúcu mestom Ružomberok, kde sa križuje s cestou I/59 smerom na Dolný Kubín. V roku 2005 tu priemerná denná intenzita dopravy dosahovala viac ako 17 tisíc vozidiel. Pri každoročnom vysokom náraste dopravy sa môže postupne stať prejazd Ružomberkom s niekoľkými svetelnými križovatkami podobnou nočnou morou motoristov a prepravcov akou je dnes Považská Bystrica.

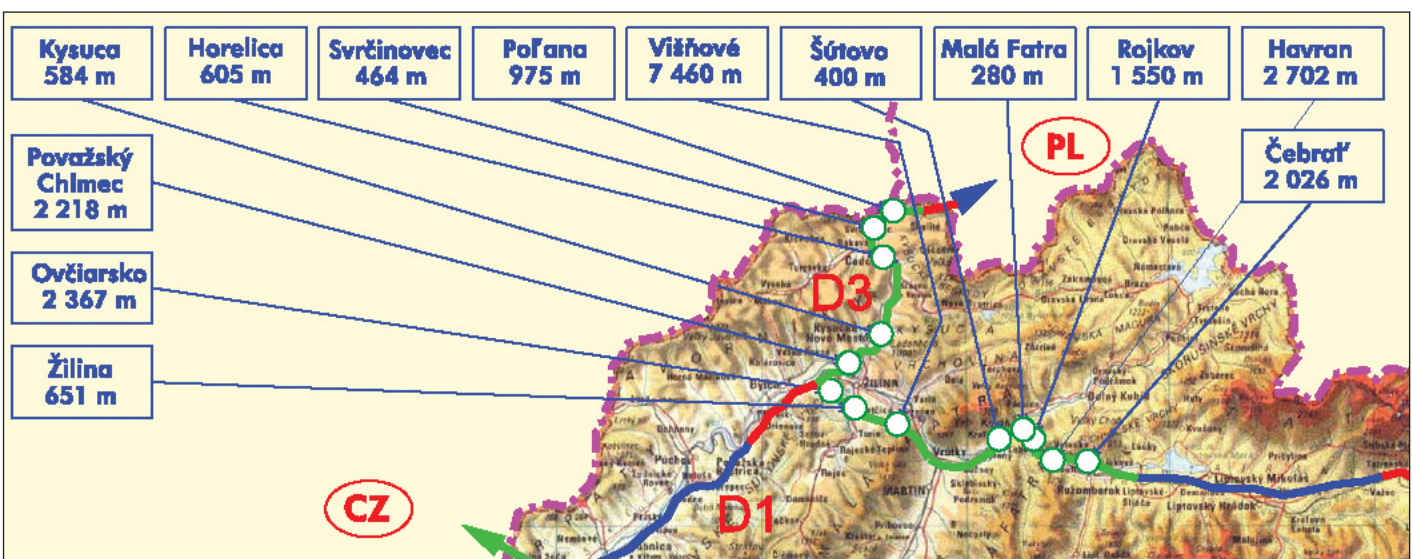
Diaľničný úsek Hubová – Ivachnová s celkovou dĺžkou 15,3 km sa radí k technicky i investične najnáročnejším častiam diaľnice D1

### INTRODUCTION

The development of motorways in Slovakia started to be shifted in the last decade from plains to mountainous areas of northern Slovakia, where even the main opponents of tunnel structures cannot imagine motorway routes without tunnels. A series of tunnels which are being prepared for the D1 motorway route section between Bratislava and Košice (see Fig. 1) starts beyond Dolný Hričov by the Ovčiarisko tunnel (2367m-long), Žilina tunnel (650m) and Višňové tunnel (7460m). The next section between Dubná Skala and Turany passes across the Turčians Basin. It is followed by the Turany – Hubová motorway section, which contains one cut-and-cover tunnel, the 400m-long Šútovo tunnel, and three mined tunnels, namely the Malá Fatra (280m), Rojkov (1550m) and Havran (2702m) tunnels. The last section missing to the connection of the existing Ivachnová Važec (Liptov) motorway with the D1, which is being prepared, should be the Hubová – Ivachnová section, which leads through a difficult terrain on the edge of the Veľká Fatra mountains and Choč uplands. A 2km-long twin-tube tunnel passing under Čebrať hill (1054m a.s.l.) above the town of Ružomberok is part of the section. Združenie Hubová – Ivachnová, a group of companies consisting of Dopravoprojekt, Terraprojekt and ILF Consulting Engineers, won a public competition and was awarded the contract for the final design and tender documentation in the first half of 2006.

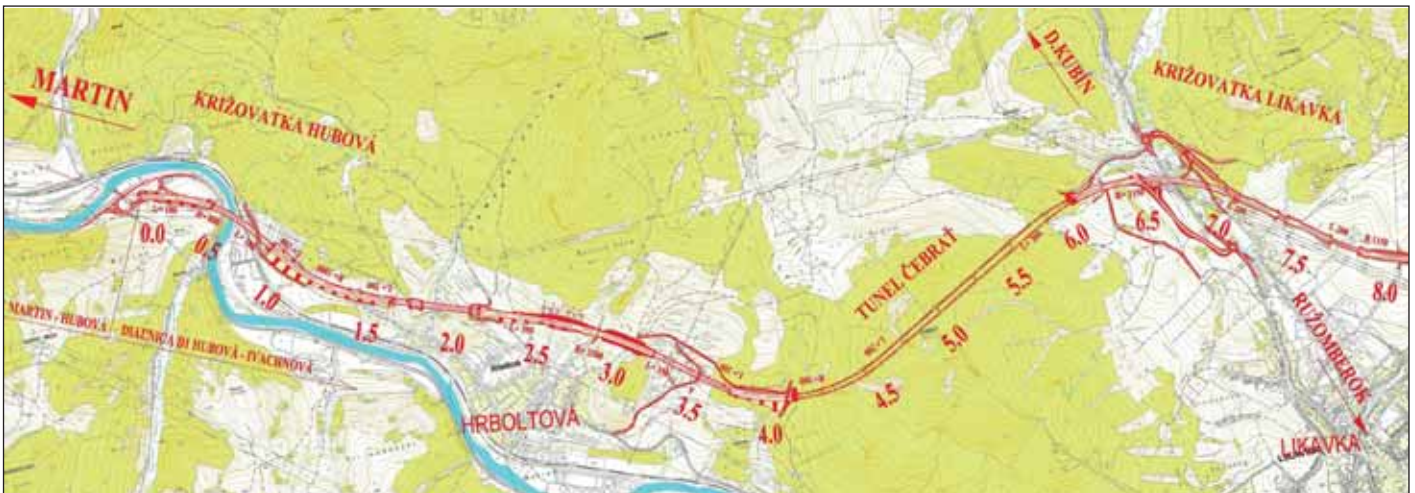
### THE HUBOVÁ – IVACHNOVÁ SECTION OF THE D1 MOTORWAY

The west-eastern transit traffic currently uses the I/18 national road running through the town of Ružomberok, where it crosses the I/59 road toward Dolný Kubín. The average traffic flow along this route exceeded 17 thousand of vehicles per day in 2005. At the existing rate of growth in the traffic volume, the passage through Ružomberok with its several signalised intersections may gradually become a nightmare for motorists and transporters similar to that experienced today in Banská Bystrica.



Obr. 1 Pripravované tunely na diaľniciach D1 a D3 na severe Slovenska

Fig. 1 The tunnels planned for construction on the D1 and D3 motorways in the north of Slovakia



Obr. 2 Situácia časti úseku Hubová – Ivachnová s tunelom Čebrať  
Fig. 2 The situation of a part of the Hubová – Ivachnová section with the Čebrať tunnel

(obr. 2). Náročný terén s členitým reliéfom a zložitými geologickými pomermi, v ktorých sa diaľnica nachádza, významnou mierou ovplyvnili priestorový návrh diaľnice. Neustála možnosť zosuvov či lokálna nízka únosnosť podložia kladú veľké nároky na vhodné vedenie trasy a na návrh komplikovaných a náročných sanačných opatrení ako pri zakladaní mostných objektov, oporných múrov, tak aj pri stabilizácii cestného telesa.

Úsek sa na západe začína križovatkou s cestou I/18 v oblúku meandru rieky Váh za obcou Hubová. Za križovatkou Hubová trasa diaľnice prechádza mostným objektom ponad cestu I/18, rieku Váh a železničnú trať. Trasa sa dostáva na terén a je vedená súbežne so železničnou traťou a pravým brehom rieky Váh. V nasledujúcom úseku dĺžky 3 km trasa prebieha zvlneným terénom so striedaním dlhých mostných objektov s vysokými zárezmi až k západnému portálu tunela. V ďalšom úseku diaľnica prekonáva vrch Čebrať rovnomenným tunelom dĺžky cca 2 km. Za východným portálom tunela pokračuje diaľnica križovatkou Likavka s cestou I/59, ktorá umožní prepojenie na región Oravy. Za križovatkou Likavka sa trasa opäť dostáva na terén a pokračuje v koridore medzi severnou časťou obce Likavka a zrúcaninou Likavského hradu. Sériu mostných objektov prechádza okrajom Národnej prírodnej rezervácie Choč, ďalej cez chránené nálezisko Mohylky okolo chráneného prírodného útvaru Liskovská jaskyňa. Diaľnica v týchto miestach prechádza jedným z najznámejších aktívnych zosuvov na Slovensku – Liskovským zosuvom. Po prechode mostným objektom cez prírodnú rezerváciu Ivachnovský luh, nasleduje ďalší mostný objekt, ktorý prekračuje železnica a cestu I/18 tak, aby sa v katastri obce Ivachnová napojil na jestvujúcu diaľnicu D1 Ivachnová – Hybe.

## GEOLOGICKÉ PODMIENKY V TRASE TUNELA

Projektovaná trasa tunela prechádza popod masív Čebrať (1054 m n. m.) s maximálnou hĺbkou nadložja 400 m. Geologicko-tektonická stavba masívu je zložitá, vo vrchnej časti masívu sa nachádzajú triasové horniny chočského príkrovu z vápencov a ramsauských dolomitov, ktoré ležia na kriedovom súvrství križňanského príkrovu s mierne antiklinálnym priebehom. Podložný kriedový komplex pozostáva z vápňitých ílovcov, prachovcov a pieskocov porubského súvrstvia, ďalej z prachovcov a bridličnatých slieňovcov tzv. párnických bridlíc a nakoniec zo slienitých vápencov a slieňovcov tzv. neokómskeho súvrstvia. Tektonické pomery územia i celého okolia sú podmienené príkravovou stavbou s výrazným nasunutím chočskej tektonickej jednotky vo viacerých fázach na križňanskú jednotku.

Tunel bude okrem krátkych priportálových úsekov razený výlučne v slieňovcovo-vápencových horninách neokómskeho súvrstvia premenlivej kvality prevažne s paralelnou vrstevnatosťou k osi i smeru razenia. Mocnosť neokómskeho súvrstvia pod násunovou zónou chočskej príkravovej jednotky dosahuje hodnoty od 52 do 150 m. Poruchové a tektonické línie zistené geofyzikálnym prieskumom v nadložných triasových horninách chočskej jednotky môžu siahať až do úrovne tunela, kde sa ale dosah subvertikálnych tektonických porúch môže, ale aj nemusí prejaviť. V horninovom prostredí

The Hubová – Ivachnová motorway section with the total length of 15.3 km ranks among the most demanding parts of the D1 motorway (see Fig. 2) in terms of the design and cost. The difficult terrain with undulated configuration and complex geological conditions in which the motorway is found significantly affected the spatial design of the motorway route. Permanent potential landslides or locally low load-bearing capacity of the sub-grade put heavy demands on the design of the alignment and design of complicated and demanding saving measures, for example those designed for the foundation of bridge structures or retaining walls, as well as for stabilisation of the road bed.

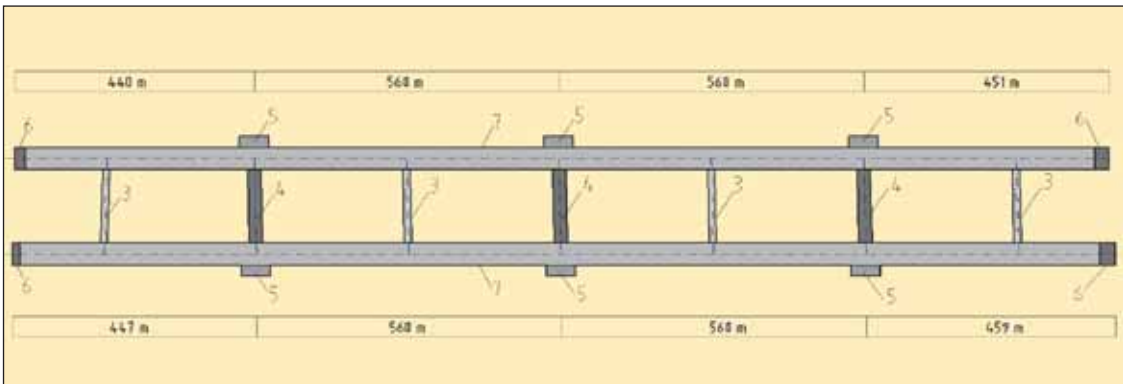
The section starts on the west by an intersection with the I/18 road, in a curve formed by a meander of the Váh River beyond the village of Hubová. Behind the Hubová intersection, the motorway crosses over the I/18 road, the Váh River and a railway line on a bridge. The route gets to the ground level and runs in parallel with the railway track, along the Váh riverbank. The following 3 km-long section of the route passes through an undulated terrain where long bridge structures alternate with deep open cuts, up to the western portal of a tunnel.

The next section passes under Čebrať Hill via the about 2 km-long tunnel of the same name. The motorway continues beyond the tunnel by the Likavka intersection (crossing the I/59 road), which will make the connection to the Orava Region possible. Behind the Likavka intersection, the route again gets to the ground level and continues along the corridor between the northern part of the village of Likavka and ruins of Likavka castle. It runs through the northern part of the Choč National Nature Reserve on a series of bridge structures; further through the Mohylky protected deposit site, past the Protected Natural Monument of the Lisková cave. In this location, the motorway runs across one of the most famous active landslides in Slovakia, the Lisková Landslide. Behind the bridge which spans the Nature Reserve of Ivachnov Mead there is another bridge structure, which crosses a railway line and the I/18 road. It connects to the existing D1 motorway section between Ivachnová and Hybe in the cadastral area of the village of Ivachnová.

## GEOLOGICAL CONDITIONS ALONG THE TUNNEL ROUTE

The tunnel route is designed to pass under the massif of Čebrať Hill (1054 m a.s.l.), with the maximum overburden height of 400 m. The geological-tektonic structure of the massif is complicated; in the upper part of the massif, there are Triassic rocks of the Choč Nappe comprising limestone and Ramsau dolomite, which are found in the slightly anticlinal series of Cretaceous measures of the Križňany Nappe. The Cretaceous bedrock complex consists of calcareous claystone, siltstone and sandstone of the Poruby Measure; further of siltstone and schistose marlstone (so-called Párnica shale) and finally of marly limestone and marlstone of the so-called Neocomian series of measures. The tectonic conditions within the area and its surroundings are conditioned by the thrust structure, where the Choč Sheet was intensely thrust over the Križňany Sheet in several phases.

Excepting short sections at the portals, the tunnel will be driven only through the variable-quality marlstone-limestone rocks of the Neocomian series of measures; the layers will be parallel with the centre line of the tunnel and the direction of the excavation. The thickness of the Neocomian series of measures, which is found under the Choč overthrust sheet, varies from 52 m to 150 m. The fault and tectonic lines identified by the geophysical survey in the overlying Triassic rocks of the Choč Member may extend to the tunnel level, where the sub-vertical tectonic disturbances may, but do not have to, be encountered.



Obr. 3 Schéma bezpečnostných stavebných úprav: 1 – južná tunelová rúra, 2 – severná tunelová rúra, 3 – priečne prepojenie priechodné, 4 – priečne prepojenie pre záchrannú jednotku, 5 – núdzový záliv, 6 – hĺbená časť, 7 – razená časť

Fig. 3 A layout of structural elements of the safety system: 1 – southern tunnel tube, 2 – northern tunnel tube, 3 – cross passage, 4 – cross passage for rescue units, 5 – emergency lay-by, 6 – cut-and-cover section, 7 – mined section

s výskytom poruchových zón a oblastí bude premenlivá aj pevnosť hornín, ktorá by nemala poklesnúť ani v oblastiach so zlou kvalitou hornín v priemere pod hodnotu  $\sigma_c = 25$  MPa pri strednom až krehkom procese pretvárania.

Výskyt podzemnej vody je viazaný predovšetkým na kvartérne deluviálne uloženiny sutového charakteru nad málo priepustným kriedovým podložíom. Vo vrchnej časti svahov, pozostávajúcich z vápencov a dolomitov chočského príkrovu, sú priaznivé podmienky pre obeh i akumuláciu podzemných vôd, pretože tento komplex sa vyznačuje puklinovo-krasovou priepustnosťou. Podložný kriedový komplex slienitých hornín neokómskeho súvrstvia sa okrem poruchových a tektonických zón javí ako prevažne nepriepustný.

## TECHNICKÉ RIEŠENIE TUNELA

Tunel Čebrať je tvorený dvomi tunelovými rúrami, ktoré budú v štandardnom prevádzkovom režime prevádzkované jednosmerne. Obe tunelové rúry sú rozdelené na úseky budované razením a hĺbené úseky budované v otvorenej stavebnej jame na oboch portáloch, ktoré budú následne zasypané. Dĺžky jednotlivých úsekov a celkové dĺžky tunelových rúr sú uvedené v tabuľke 1.

Vzhľadom na dĺžku tunela a podmienky horninového masívu sa predpokladá cyklický spôsob razenia (Nová rakúska tunelovacia metóda) s rozpojaním trhacími prácami a mechanickým rozpojaním. Z technológie výstavby vyplýva navrhnutá konštrukcia tunela s dvojplášťovým ostením nekruhového tvaru.

Trasa tunela je tvorená dvomi nezávislými trasami smerových pásov diaľnice, každý pre jednu tunelovú rúru. Smerovo je trasa vedená v tvare predĺženého „S“, zloženého z kruhových oblúkov s prechodnicami a priamej v strednej časti tunela. Vzájomná vzdialenosť osí tunelových rúr je premenlivá, pričom minimálne hodnoty sú 24, resp. 25 m na oboch portáloch a maximálna 40 m v strednej časti trasy tunela.

	Južná tunelová rúra	Severná tunelová rúra
celková dĺžka tunela	2026 m	2011 m
razená časť	1985 m	1966 m
hĺbená časť		
východ	29 m	26 m
západ	12 m	19 m
pozdĺžny sklon	1,09 %	1,07 %
priechný prierez	4,8 x 7,5 m	

Tab. 1 Základné údaje tunela Čebrať

Tunelové rúry budú vzájomne prepojené siedmymi priečnymi prepojeniami, ktorých vzájomná vzdialenosť je maximálne 280 m (obr. 3). Tri prepojenia sú umiestnené v núdzových zálivoch a budú slúžiť ako prejazdne prepojenia pre záchrannú jednotku v zmysle európskej smernice č. 2004/54/EC. Zostávajúce štyri prepojenia sú priechodné. V tuneli Čebrať je navrhnutých šesť jednostranných núdzových zálivov (v každej tunelovej rúre tri)

The strength of the rocks in the rock environment where weakness zones occur will be variable; the average value should not be less than  $\sigma_c = 25$  MPa even in the areas with poor rock quality (at a medium to rigid deformation process).

The occurrence of ground water is primarily bound to the Quaternary diluvial deposits with the character of debris, which are found above the little permeable Cretaceous bedrock. The conditions in the upper part of the slopes, which consists of limestone and dolomites of the Choč Nappe, are favourable for circulation and accumulation of ground water because a specific feature of this complex is fissure-karstic permeability. The underlying Cretaceous complex of marly rocks of the Neocomian series of measures is considered to be mostly impermeable, with the exception of weakness zones and faulted zones.

The strength of the rocks in the rock environment where weakness zones occur will be variable; the average value should not be less than  $\sigma_c = 25$  MPa even in the areas with poor rock quality (at a medium to rigid deformation process).

## TECHNICAL DESIGN OF THE TUNNEL

The Čebrať tunnel consists of two tunnel tubes, which will carry unidirectional traffic during a standard operation. Both tunnel tubes are divided into sections which will be built by mining methods and cut-and-cover sections at both portals. The lengths of the individual sections and the total lengths of the tunnel tubes are shown in Table 1. A cyclical excavation process (the New Austrian Tunnelling Method) is expected to be used with respect to the tunnel length and the geological conditions. The rock will be broken using the drill-and-blast technique or mechanically. The non-circular shape of the double-shell tunnel lining was designed considering the utilisation of the above-mentioned excavation technique.

The tunnel route consists of two separate routes of the motorway carriageways, each passing through one tunnel tube. The horizontal alignment has a shape of an elongated 'S' consisting of circular curves with transition curves and a straight section in the central part of the tunnel. The distance between the centres of the tunnel tubes is variable, with the minimum values of 24/25m (at both portals) and the maximum value of 40m (in the central part of the tunnel route).

	Southern Tunnel Tube	Northern Tunnel Tube
Total tunnel length	2026 m	2011 m
mined part	1985 m	1966 m
cut-and-cover part		
east	29 m	26 m
west	12 m	19 m
Longitudinal gradient	1.09 %	1.07 %
Clearance profile	4.8 x 7.5 m	

Table 1 The basic data on the Čebrať tunnel

The tunnel tubes will be interconnected by seven cross passages, which will be built at maximum intervals of 280m (see Fig. 3). Three cross passages are located at emergency lay-bys; they will be used as connections passable for vehicles of rescue units, in the meaning of the European Directive No. 2004/54/EC. The remaining four cross passages will be available for pedestrians. The Čebrať tunnel design comprises six one-sided emergency lay-bys (three in each tunnel tube), provided at a maximum spacing of 560m. The emergency lay-bys have been designed in compliance with the STN 73 7507 Slovakian standard, which prescribes the length of a lay-by of 40m and the width of 3.5m. The upper limit of the clearance profile is at a height of 4.2m. The length of the emergency lay-bys is extended to 50m with respect to a need for installation of electrical equipment in the tunnel tubes; the 10-metre length provides a space for heavy-current and weak-current equipment. At the same time, this space contains an SOS cabin, which

vo vzájomných vzdialenostiach maximálne 560 m. Núdzové zálivy sú navrhnuté v zmysle STN 73 7507, ktorá predpisuje dĺžku 40 m a šírku odstavného pruhu 3,5 m. Horné ohraničenie priechodného prierezu je vo výške 4,2 m. Vzhľadom na potrebu umiestnenia elektrických zariadení v tunelových rúrach sú zálivy predĺžené na dĺžku 50 m, pričom v úseku dĺžky cca 10 m je vytvorený priestor pre silnoprúdové a slaboprúdové zariadenia. Zároveň je v tomto priestore umiestnená SOS kabína, ktoré bude oddelená od miestnosti pre elektrozařízení požiarou deliacou konštrukciou.

Ďalším navrhnutým bezpečnostným prvkom v tuneli sú núdzové a protipožiarne výklenky. Núdzové výklenky sú štandardne vytvorené v sekundárnom ostení tunela po pravej strane profilu v smere jazdy. V núdzovom zálive je SOS kabína umiestnená v priestore vytvorenom vertikálnymi betónovými priečkami. Svetlý rozmer výklenkov je šírka 1,8 m, výška 2,3 m a hĺbka 1,5 m. Vzájomná vzdialenosť núdzových výklenkov je maximálne 150 m. Celkový počet výklenkov je 14 v každej tunelovej rúre. Protipožiarne výklenky sú vytvorené v sekundárnom ostení tunela po ľavej strane profilu v smere jazdy. Svetlý rozmer výklenkov je šírka 2,2 m, výška 2,3 m a hĺbka 1,0 m. Šírka čelnej steny výklenku je zvolená tak, aby umožnila fixáciu otvorených dvojkrídlových dverí výklenku v uhle 180°. Vzájomná vzdialenosť protipožiarnych výklenkov je maximálne 150 m. Celkový počet výklenkov je 15 v každej tunelovej rúre.

Priečný profil tunela (obr. 4) je na líci sekundárneho ostenia definovaný kruhovým oblúkom okolo priechodného prierezu. Zároveň sú medzi lícom a priechodným prierezom vytvorené priestory pre umiestnenie technologického vybavenia tunela (dopravné značky, ventilátory, svietidlá atď.). Spolu s preklápaním sklonu vozovky sa natáča celý profil tunela, čím je optimalizovaná plocha výrubu.

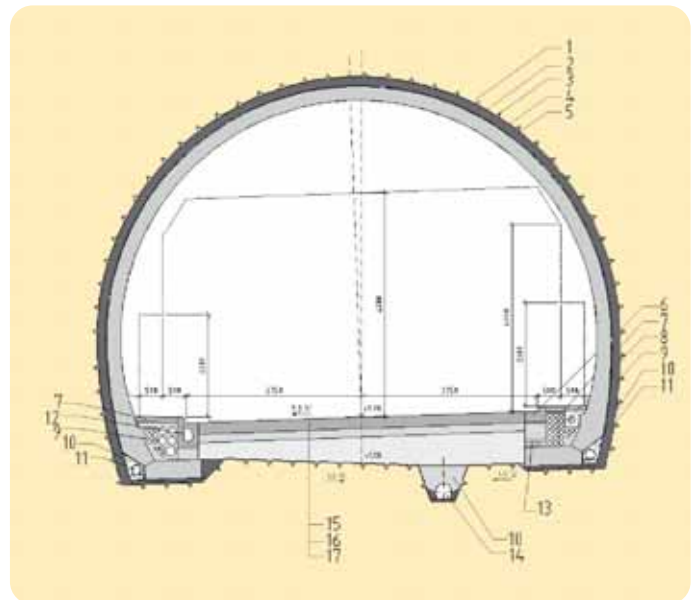
Pre raziene a vystrojenie tunela sa predpokladá rozdelenie horninového masívu do tried II až VI. Výrub tunela bude horizontálne rozdelený na kalotu a stupeň, v triede V a VI aj na spodnú klenbu. Výška kaloty je cca 5,4 m. Pre jednotlivé triedy sú navrhnuté nasledovné prvky vystrojenia:

- Striekací betón hr. 100 – 250 mm
- Oceleové výstužné siete 1 alebo 2 vrstvy
- Oceleové priehradové skruže h 100 – 180 mm
- Kotvy hydraulicky upínateľné, maltované dĺžky 3 až 6 m a samozavrtávateľné
- Predzaistenie výrubu: oceleové ihly 25 mm, IBO kotvy dl. 3 – 4 m
- Mikropilotový dáždňik 114 mm dl. 12 m

Sekundárne ostenie je navrhnuté ako konštrukcia z prostého betónu triedy C25/30, resp. zo železobetónu v mieste zálivov, napojenia únikových ciest a tiež výklenkov. Ostenie tunela bude vystužené aj v úsekoch s nízkym nadložíom (priportálových úsekoch), prípadne aj v úsekoch geologických porúch a nadmerných nameraniach, resp. neustálych deformácií výrubu počas raziene. Minimálna hrúbka sekundárneho ostenia je 300 mm v štandardnom priereze a 350 mm v núdzovom zálive. Základové pásy sú zo železobetónu šírky 1260 mm a výšky 400 mm. V priereze so spodnou klenbou hrúbky 500 mm je táto tvorená železobetónom. Vzhľadom na technológiu výstavby sekundárneho ostenia tunela sa predpokladá štandardná dĺžka bloku 10 m.

Ochrana tunela pred podzemnou vodou je navrhnutá ako tzv. dáždňik, tj. kombináciou plošnej hydroizolácie a pozdĺžnych drenáží za rubom sekundárneho ostenia. Voda je z bočných drenáží odvádzaná priečnymi zvodmi cez revízne šachty do hlavného zberača. Výklenky pre čistenie drenáže sú situované spravidla každých 50 m. Hlavný zberač je tvorený potrubím profilu 350 mm, s perforáciou v hornej časti uloženým pod vozovkou v strede jazdného pruhu. Hlavný zberač zároveň slúži ako odvodnenie drenážnej vrstvy vozovky. Revízne šachty sú prefabrikované situované spravidla každých 50 m, s liatinovým pokloпом uloženým v cementobetónovom kryte vozovky.

Vzhľadom na požiaru bezpečnosť ako aj trvanlivosť konštrukcie je v tuneli navrhnutá vozovka s cementobetónovým krytom. Predpokladá sa nevystužený kryt s rezanými škárami, do ktorých



Obr. 4 Vzorový priečný rez tunela – bez spodnej klenby: 1 – teoretická hrana výrubu, 2 – primárne ostenie (striekaný betón), 3 – geotextília, 4 – plošná izolácia z fólie min. 2mm, 5 – sekundárne ostenie (B30), 6 – obrubník, 7 – cementobetónový kryt 120 mm, 8 – tlakové potrubie pre požiaru vodu, 9 – kanál pre káble, 10 – filtračný betón, 11 – drenáž medziľahlej izolácie pvc DN200, 12 – odvodňovací žľab, 13 – chráničky pre optokáble 14 x DN 40, 14 – hlavné odvodnenie tunela DN 350 mm, 15 – cementobetónový kryt 240 mm, 16 – kamenivo stmelené cementom 180 mm, 17 – drenážna a protimrazová vrstva, 0 – 32 min. 360 mm

Fig. 4 Typical cross section through the tunnel – without an invert: 1 – theoretical line of excavation, 2 – primary lining (shotcrete), 3 – geotextile, 4 – waterproofing membrane, 2mm, 5 – secondary lining (C30), 6 – kerb, 7 – concrete road pavement, 120 mm, 8 – pressure pipeline for fire water, 9 – cable duct, 10 – porous concrete, 11 – DN200 PVC drainage pipe of the intermediate PVC waterproofing, 12 – drainage trough, 13 – 14 x DN 40 casing pipes for fibre-optical cables, 14 – main tunnel drainage, DN 350 mm, 15 – concrete pavement, 240 mm, 16 – aggregates bound with cement, 180 mm, 17 – drainage and frost blanket course, 0 – 32mm grain size, min. 360 mm thick

will be separated from the room for electrical equipment by a fire-resisting bulkhead.

Another safety element designed for the tunnel are emergency and fire safety niches. The emergency niches are uniformly created in the secondary lining of the tunnel, on the right side of the profile (viewed in the direction of traffic). The net dimensions of the niches is 1.8m wide, 2.3m high and 1.5m deep. The width of the front wall of the niche has been chosen so that the open double door of the niche can be fixed at an angle of 180°. The fire safety niches are provided at maximum intervals of 150m. The total number of the niches is fifteen in each tube.

The tunnel cross section (see Fig. 4) is defined by the internal contour of the secondary lining by a circular curve drawn around the clearance profile. At the same time, there are spaces for tunnel equipment (traffic signs, fans, lighting fixtures etc.) between the surface of the lining and the clearance profile. The entire tunnel profile is rotated simultaneously with the changing transverse gradient of the roadway to optimise the area of the excavated cross section. The rock mass is anticipated to be categorised as excavation support classes II to VI. The excavation face will be divided horizontally into the top heading and bench; the invert sequence will be added for classes V and VI. The top heading is about 5.4m high. The following support elements have been designed for the individual classes:

- Shotcrete 100 – 250mm thick
- Welded mesh 1 or 2 layers
- Lattice girders 100 – 180mm high
- Water-expanded bolts, grouted and self-drilling anchors 3 – 6m long
- Face advance support IBO anchors 3 – 4m long
- Canopy tube pre-support 114mm-diameter pipes, 12m long

The secondary lining has been designed as an unreinforced concrete structure (C25/30-grade concrete) or reinforced concrete (in the locations of the emergency lay-bys, connection points of escape routes and the



Obr. 5 Vizualizácia východného portálu tunela  
Fig. 5 Visualisation of the eastern tunnel portal

budú počas betonáže vložené klzné trne a kotvy. Navrhnutá skladba vozovky v razenom tuneli je nasledovná:

- Cementobetónový kryt dvojvrstvový 70/180mm CB I 250 mm
- Kamenivo spevnené cementom KSC 180 mm
- Drenážna a protimrazová vrstva ŠD. 0 – 32 min. 360 mm

Uvedená skladba bude modifikovaná v hĺbených úsekoch tunelových rúr a v núdzových záľivoch, kde je vynechaná drenážna vrstva. Odvodnenie vozovky je zabezpečené odvodňovacími žľabmi.

Chodníky v tuneli majú vyhotovený pochôdzny cementobetónový kryt hrúbky 120 mm. V chodníkoch oboch tunelových rúrach sú vložené chráničky priemerov 90, 160 a 200 mm určené pre silnoprúdové a slaboprúdové káblové vedenia. Vo vnútorných chodníkoch je v žľabe uložené potrubie požiarneho vodovodu profilu 150 mm. Potrubie bude zabezpečené proti zamŕzaniu vyhrievaním a izoláciou po celej dĺžke tunela.

## HĽBENÉ TUNELY A PORTÁLOVÉ ÚSEKY

Východný portál pre razenie tunela je situovaný v svahovom úpätí, so vzájomne posunutou polohou pre tunelové rúry. Hĺbený tunel bude budovaný vo výkope, ktorý bude zabezpečovaný striekaným betónom, sieťovinou a klincami dĺžky 8 až 12 m. Hĺbená časť tunela na západnom portáli je osadená do pomerne nepriaznivej oblasti v dôsledku tektonického porušenia, najnižšej úrovni násunovej zóny chošskej jednotky a tiež s dôvodu výskytu svahových zosuvných a blokových porúch. Z toho dôvodu je zaistenie svahovej jamy pre hĺbenú časť tunela na západnom portáli navrhnuté pomocou kotevných prahov a štvorpramencových lanových kotiev dĺžky 25 m. Oba hĺbené úseky tunelových rúr budú založené na základových doskách.

Pre napájanie elektrickou energiou a technologické vybavenie tunela je na každom portáli zriadený obslužný technologický objekt, ktorý je umiestnený vždy vedľa severnej tunelovej rúry. Objekt na východnom portáli je navrhnutý ako dvojpodlažná podzemná budova, ktorá bude sčasti zasypaná. V spodnom podlaží sa nachádzajú akumulčné komory vodojemu s celkovým objemom 150 m<sup>3</sup> a strojnotechnologická komora, z ktorej bude čerpadlami zabezpečovaný výtlak požiarnej vody do oboch tunelových rúr. V hornom podlaží objektu sa budú nachádzať miestnosť záložného zdroja, NN, VN rozvodne, trafokobky, a ostatne technologické zariadenia zabezpečujúce bezpečnú prevádzku tunela. Priestory vodojemu a elektrotechnickej časti sú fyzicky oddelené a každý má svoj vlastný vstup. Privedenie káblových trás z hĺbených častí tunela do technologického objektu bude zabezpečené pomocou bloku chráničiek zaústených do priestoru pod zdvojenú podlahu technologického objektu. Technologický objekt na západnom portáli je navrhnutý ako jednopodlažná, ododatočne zasypaná budova. V objekte sa budú nachádzať miestnosti záložného zdroja, NN, VN rozvodne, trafokobky, a ostatne technologické zariadenia zabezpečujúce bezpečnú prevádzku tunela.

niches). Reinforced concrete tunnel lining will be also used in the sections with shallow rock cover (the portal sections) or in sections passing through geological faults and sections where excessive deformations or the deformation does not cease to further develop during the primary lining support phase. The minimum thickness of the secondary lining is 300mm for the standard cross section and 350mm for the emergency lay-by section. The strip foundation is 1260mm wide and 400mm high. In the sections provided with the invert, the 500mm-thick invert structure is made of reinforced concrete. With respect to the secondary lining casting technique, the standard length of the casting blocks is expected to be 10m.

An umbrella-type waterproofing system has been designed for the tunnel structure, i.e. a combination of a waterproofing membrane cover and longitudinal drains behind the outer surface of the secondary lining. Water is directed from the side drains via transverse drains, through manholes to the main drainage duct. Niches for the manholes, which allow the clearing of the drains, are usually provided every 50m. The main collecting duct is a 350mm-diameter pipe, which is perforated on the top. It is embedded under the roadway, in its centre. The main drainage duct also collects water from the drainage layer of the roadway drainage course. The prefabricated manholes are usually installed every 50m; they are provided with cast-iron covers, which are embedded in the concrete road pavement.

Concrete pavement of the roadway has been designed with respect to the requirements for fire safety and durability of the structure. Unreinforced concrete pavement with cut joints is expected to be carried out, with dowels and anchors inserted to the joints during the casting operations. The following structure of the roadway has been designed for the mined tunnel sections:

- Concrete pavement – two layers - 70/180mm CBI 250mm
- Cement-bonded aggregates KSC 180mm
- Drainage and frost blanket course SD. 0 – 32 min. 360mm

The above structure will be modified for the cut-and-cover sections of the tunnel tubes and for emergency lay-bys, where the drainage layer is left out. The roadway drainage is provided by drainage ducts. The tunnel walkways are paved by a 120mm-thick concrete layer. Casing pipes 90mm, 160mm and 200mm in diameter are embedded in the walkways in both tunnel tubes to allow installation of heavy current and weak current cables. A trough containing a fire main 150mm in diameter is laid in both inner walkways. The pipeline will be heated and thermally insulated to be protected against freezing.

## CUT-AND-COVER TUNNELS AND PORTAL SECTIONS

The eastern portals of the mined tunnel tubes are found at the foot of a slope; the positions of the portals are therefore shifted against one another. The mined tunnel will be built in an open cut with the slopes stabilised by shotcrete, mesh and 8 – 12m-long dowels. The cut-and-cover section on the western side of the tunnel is located in an area which is relatively unfavourable due to faulting (as a part of the lowest level of the overthrust zone of the Choč Member) and because of an occurrence of slope slides and block failures. For the above reason, the sides of the open trench for the cut-and-cover section of the tunnel at the western portal will be supported by concrete beams anchored with 25m-long four-strand cable anchors. Both cut-and-cover sections of the tunnel tubes will be founded on rafts.

Technical services buildings (power supply, tunnel equipment control) will be built at each portal, next to the northern tunnel tube. The building designed for the eastern portal will be a double-level structure, partially covered with earth. The basement of the building will contain accumulation water tanks with the aggregate volume of 150m<sup>3</sup> and a mechanical equipment chamber from which fire water will be pumped to both tunnel tubes. On the upper floor of the building, there will be room for a stand-by power source, low voltage and high voltage substations, transformer cells and other equipment related to the safe tunnel operation. The spaces for the water reservoir and the part housing the electrical equipment are physically separated; each of them has its own entrance. The cables between the cut-and-cover tunnel sections and the technical services buildings will pass through a block of multiple ducts ending under an elevated floor in the technical services building. The technical services building at the western portal has been designed as a single-floor structure, which is

Jednotný architektonický výraz poskytne obom portálovým úsekom masívny gravitačný múr obložený lomovým kameňom, do ktorého sú vsadené objekty hĺbených časti tunelových rúr a obslužné objekty na portáloch. Sklon pohľadového líca múru je 4:1 a je totožný so sklonom čela koncových blokov tunela. Celý priestor stavebných jám za gravitačným oporným múrom bude späť vyplnený zásypovým materiálom, povrch bude zatrávnený s výsadbou nízkych kríkov.

## BEZPEČNOSŤ TUNELA A TECHNOLOGICKÉ VYBAVENIE

Požiadavky na bezpečnosť tunela formulované v európskej smernici č. 2004/54/EC o minimálnych bezpečnostných požiadavkách na tunely transeurópskej cestnej siete sa do slovenského právneho poriadku premietli vo forme Nariadenia vlády č. 344/2006 Z.z. Stavebné i technologické vybavenie tunela Čebrať je navrhnuté v súlade s požiadavkami tejto smernice, ako aj s požiadavkami revidovaného technického predpisu Požiarne bezpečnosť tunelov platného od 1. 12. 2006.

Záväznými predpismi pre návrh technologické vybavenia tunela sa podľa rozhodnutia investora stali nasledovné smernice:

- Vetranie cestných tunelov, Astra, vydanie z roku 2004, pre vetranie tunela
- CIE 88 Smernica pre osvetlenie cestných tunelov a podjazdov, vydanie z roku 2004 pre osvetlenie tunela
- TP 98 Technologické vybavení tunelu pozemných komunikácií, vydanie z roku 2004 pre ďalšie technologické objekty

Vetranie v tuneli je navrhnuté pozdĺžne, s piatimi, resp. šiestimi párami prúdových ventilátorov v tunelovej rúre. Okrem bežnej prevádzky a požiarneho prípadu je vetranie navrhnuté aj na dočasnú obojsmernú premávku v jednej rúre. Tomuto zodpovedajú aj ďalšie prvky vybavenia, napríklad dopravné značenie a osvetlenie. Koncepty pre vetranie a osvetlenia tunela spracované ILF Consulting Engineers Innsbruck sa následne stali podkladom pre dopracovanie dokumentácie projektantom technologického vybavenia Metroprojektom, a. s., Praha.

Štandardnými prvkami vybavenia tunela sú dopravné zariadenia (premenlivé dopravné značky a svetelné návěstidlá), videodohľad s automatickou detekciou incidentov, SOS kabíny, rádiové spojenie, EPS, meracie zariadenia, centrálny riadiaci systém a energetické napájanie tunela.

V zmysle smernice 2004/54/EC je pre tunel Čebrať v súčasnosti spracovávaná bezpečnostná dokumentácia vrátane analýzy rizík, ktorej obsah a rozsah zodpovedá požiadavkám na tunel v štádiu projektovania.

## ZÁVER

Diaľničný úsek Hubová – Ivachnová by po svojom vybudovaní mal predĺžiť jestvujúcu liptovskú diaľnicu. V ďalšom kroku by sa naň mala napojiť pripravovaná diaľnica Turany – Hubová vedená úzkym údolím Váhu. Tunelom Čebrať by sa mala začať séria piatich tunelov v smere od Liptovského Mikuláša do Žiliny, ktoré by mali byť v budúcnosti riadené z jedného prevádzkového centra. Ak sa podarí naplniť harmonogram Národnej diaľničnej spoločnosti, ktorý počíta so spojadením úseku Hubová – Ivachnová v roku 2012, bude to prínos nielen pre životné prostredie dotknutého regiónu, ale tiež pre komfort motoristickej verejnosti a najmä pre bezpečnosť premávky.

ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, [frankovsky@terraprojekt.sk](mailto:frankovsky@terraprojekt.sk),  
 ING. JÁN SNOPKO, [snopko@terraprojekt.sk](mailto:snopko@terraprojekt.sk),  
 ING. MÁRIA ŠAMOVÁ, Ph.D., [samova@terraprojekt.sk](mailto:samova@terraprojekt.sk),  
 TERRAPROJEKT, a. s., Bratislava  
 ING. VIKTÓRIA CHOMOVÁ, DOPRAVOPROJEKT, a. s.,  
 Bratislava

subsequently covered with earth. The building will contain rooms for a stand-by power source, low voltage and high voltage substations, transformer cells and other equipment related to the safe tunnel operation.

A unified architectural design of both portal sections will be provided by a massive retaining wall clad in rubble stone. The walls will embrace not only the ends of the cut-and-cover tunnel tubes, but also the technical services buildings. The 4:1 incline of the wall face is identical with the inclination of the front ends of the tunnel tubes. The entire space of the construction trenches behind the retaining wall will be backfilled, the surface will be covered with grass and low shrubs.

## TUNNEL SAFETY EQUIPMENT

The safety requirements formulated in the European Directive No. 2004/54/EC on minimum safety requirements for tunnels in the Trans – European road network have been translated to the Slovakian legislation in the form of the Statutory Order No. 344/2006 Coll. The Čebrať tunnel structure and equipment has been designed in compliance with the requirements of the above-mentioned directive and requirements of the reviewed technical specification „Fire Safety in Tunnels“, which has been in force since 1/12/2006.

The following directives have become binding for the tunnel equipment design according to the employer's decision:

- Road Tunnel Ventilation, Astra, the 2004 issue, for the tunnel ventilation
- The CIEE 88 Directive on Road Tunnel and Underpasses Lighting, the 2004 issue, for the tunnel lighting
- The TS 98 Technical Specifications on Tunnel Equipment, the 2004 issue, for other equipment

The tunnel ventilation is designed as a longitudinal system with five/six pairs of jet fans in one tunnel tube. In addition to a common operation and a fire event, the ventilation has been designed for temporary bi-directional traffic in one tube. The other items of equipment are also designed to conform to this system. The concepts for the tunnel ventilation and lighting which had been developed by ILF Consulting Engineers Innsbruck subsequently elaborated by Metroprojekt a.s. Praha, the equipment designer.

Standard elements of the tunnel equipment comprise traffic facilities (variable traffic signs and light signs), television surveillance with automatic detection of incidents, SOS cabins, wireless communication, a fire alarm and detection system, measurement facilities, a central control system and tunnel power supply system.

Safety documents including a risk analysis with the content and scope complying with requirements for a tunnel construction in the design phase are currently being developed for the Čebrať tunnel, in the meaning of the Directive No. 2004/54/EC.

## CONCLUSION

Once completed, the Hubová - Ivachnová motorway section should extend the existing Liptov motorway. In the next step, the Turany – Hubová motorway (under preparation), which leads along the narrow valley of the Váh River, should connect to this section. The Čebrať tunnel should be the first in the series of five tunnels in the direction from Liptovský Mikuláš toward Žilina, which are expected to be controlled from a single centre. If the National Motorway Society programme, which expects the Hubová – Ivachnová section to be opened to traffic in 2012 is successfully met, the new section will become a great contribution not only to the environment in the given region but also to the motoring public comfort and, primarily, for traffic safety.

ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, [frankovsky@terraprojekt.sk](mailto:frankovsky@terraprojekt.sk),  
 ING. JÁN SNOPKO, [snopko@terraprojekt.sk](mailto:snopko@terraprojekt.sk),  
 ING. MÁRIA ŠAMOVÁ, Ph.D., [samova@terraprojekt.sk](mailto:samova@terraprojekt.sk),  
 TERRAPROJEKT, a. s., Bratislava  
 ING. VIKTÓRIA CHOMOVÁ, DOPRAVOPROJEKT, a. s.,  
 Bratislava



# POŽÁRNÍ ZKOUŠKA V TUNELU MRÁZOVKA

## FIRE TEST IN THE MRÁZOVKA TUNNEL

JAN POŘÍZEK

### ÚVOD

Zařízení pro odvod kouře v případě požáru jsou nutná především u dlouhých tunelů. V městských tunelech může být počet uživatelů v tunelu během požáru zvýšený a je tedy nutné zajistit odvod kouře i u krátkých tunelů. Potenciálními zdroji požáru v tunelu jsou uvnitř přítomná vozidla, materiál a vybavení umístěné v dopravním prostoru nebo přilehlém technickém zázemí tunelu. Pro uživatele tunelu jsou nejvíce nebezpečné velké požáry vozidel.

K požáru může dojít u všech typů s různým nákladem a v jakémkoli místě tunelu. Charakteristiky požáru jsou velmi odlišné případ od případu. Tepelný výkon požáru se pohybuje od 2 do 200 (někdy i více) MW (obr. 1).

Cílem systému větrání musí být vždy zajištění takových podmínek při požáru v tunelu, při kterých bude v co nejvyšší míře umožněna evakuace osob během prvních minut od počátku vznícení ohně.

Pro dimenzování větracích systémů tunelů jsou nejčastěji definované charakteristiky požáru uvedeny v tabulce 1. Tyto požáry byly vybrány záměrně, neboť charakterizují obvyklé případy.

Pro stanovení velikosti potřeby odsávaného množství kouře z automobilového tunelu je asi nejzávažnější požár těžkého nákladního vozidla, který nemůže být uhašen uživateli tunelu a jehož výkon překračuje 20 MW [7].

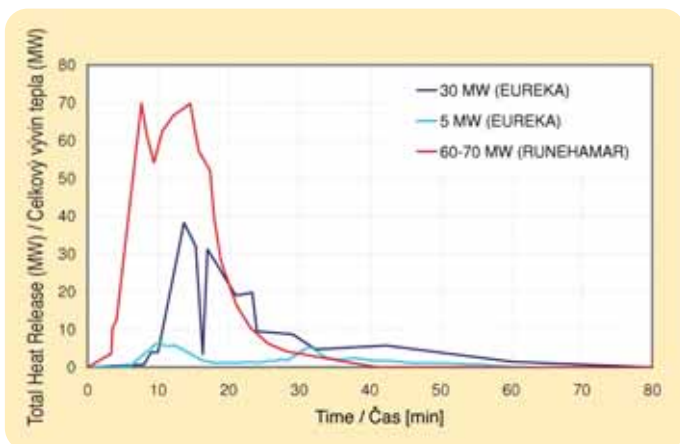
Pokud byl určen návrhový požár, nezbyvá než stanovit velikost odsávaného vzduchu (kouře) z tunelu během hoření.

Jedná se o stanovení velikosti odsávaného průtoku vzduchu (kouř + vzduch) z tunelu při vzniku požáru o tepelném výkonu 20 až 30 MW. Podklady vydávané asociací PIARC vycházejí z různých národnostních směrnic, přičemž se ukazuje, že optimálně řízený, nuceně koncentrovaný sací výkon lze určit jako třináásobek příčného profilu tunelu. U požáru s tepelným výkonem vyšším než 100 MW to může být až pětinaásobek.

Je nutné ještě upozornit na skutečnost, že se musí při návrhu větrání automobilového tunelu postupovat s rozvahou a zbytečně nepředimenzovat systém. Základními ukazateli pro stanovení výkonosti větracího systému a následné strategie řízení jsou: typ a délka tunelu, jeho situování do krajiny, hustota provozu a především navržená koncepce větracího systému v kombinaci s technickými možnostmi.

### STRUČNĚ O SYSTÉMU VĚTRÁNÍ TUNELU MRÁZOVKA

Při návrhu požárního větrání v tunelu Mrázovka se počítalo s vyloučením vozidel s nebezpečným nákladem a pro návrh sacího výkonu byl předpokládán požár jednoho nákladního vozidla. Dle tehdy použitých materiálů byla tepelná energie uvolněná hořícím nákladním automobilem s nákladem stanovena na 20–30 MW s množstvím vyvinutého kouře 60 m<sup>3</sup>/s [3]. V té době se již respektovaný požadovaný sací výkon 80 m<sup>3</sup>/s pro



Obr. 1 Průběh hoření reprezentovaný tepelným výkonem při skutečných požárních zkouškách projektu EUREKA a testů provedených v tunelu RUNEHAMAR  
Fig. 1 The course of burning represented by the heat release rate during real fire tests of the EUREKA project and tests conducted in the RUNEHAMAR tunnel

### INTRODUCTION

Equipment evacuating smoke in the case of a fire is necessary mainly in long tunnels. The number of users present in the tunnel during a fire in urban tunnels may be increased; the smoke evacuation equipment is therefore needed even in short tunnels. Potential fire sources in a tunnel comprise vehicles in the tunnel and material and equipment found in the communication area or in the adjacent technical areas. Conflagrations of big vehicles are the most dangerous for tunnel users.

All types of vehicles with various loads can start burning at any point of the tunnel route. Characteristics of fires differ case-by-case. The heat release rates vary from 2MW to 200MW, sometimes even more (see Fig. 1).

The objective of a ventilation system must always to create of such conditions during a tunnel fire which will allow evacuation of as many passengers as possible during initial minutes of the beginning of the fire ignition.

The characteristics defined most often for the design of tunnel ventilation systems are presented in Table 1. These fires were selected intentionally because they are characteristic of usual cases.

A heavy truck fire which cannot be contained by the tunnel users and the capacity of which exceeds 20MW [7] is probably the most serious in terms of determination of the amount of smoke which needs to be removed from a vehicular tunnel.

When the design fire has been defined, it is possible to determine the amount of the amount of air (smoke) to be extracted from the tunnel during the fire.

The task is to determine the rate of exhausting air (smoke + air) from the tunnel during a 20MW - 30MW heat release fire. The documents issued by the PIARC are based on various national standards; it becomes obvious that the optimally controlled, forcedly concentrated exhaust rate can be determined by multiplying an optimum flow rate of 3 – 5m/s by the tunnel cross-sectional area. It can be even five times in case of a fire with the heat release exceeding 100MW.

It must be noted that a design of an automobile tunnel ventilation system must be carried out with due consideration so that the system is not unnecessarily overdesigned. The following basic indicators are used for the determination of the performance of a ventilation system and the subsequent management strategy: the tunnel type, tunnel length, tunnel situation in the landscape, traffic flow, and, primarily, the proposed concept of the ventilation system in combination with technical viability.

### THE MRÁZOVKA TUNNEL VENTILATION SYSTEM

The fire ventilation design for the Mrázovka tunnel expected that passage of vehicles carrying hazardous goods would be excluded; therefore a single-lorry fire was assumed for the extraction rate design. According to the materials which were used then, a heat rate released by a fire of a loaded lorry was determined at 20 – 30MW, with the smoke production rate of 60 m<sup>3</sup>/s [3]. The extraction rate of 80 m<sup>3</sup>/s, which was required at that time, began to be considered insufficient for a double-lane tunnel [4]. Opinions as to how much the rate was to be increased varied between 110 m<sup>3</sup>/s and 190 m<sup>3</sup>/s, depending on the theories applied.

The transverse system of smoke extraction through openings in the tunnel vault was designed later to allow for a fire which takes place during congestion in the tunnel. A smoke layer keeps under the ceiling in the case of a low velocity of the longitudinal airflow (see Fig. 2) until the smoke cools down and sinks to the escape zone level. The principle of a transverse slot extraction system which was used (see Fig. 3) is that it extends the time for which the smoke keeps under the ceiling and for which persons can safely escape from the tunnel.

Local forced or natural transverse outlets of smoke from the cut-and-cover sections are other elements of the Mrázovka tunnel ventilation system improving the safety of people during a fire.

The transverse ventilation extraction rate was designed at 150 m<sup>3</sup>/throughout a length of 400m. This value was verified for the particular conditions in the Mrázovka tunnel using a 3D model, where various intensities and locations of the fires, at various operating states were simulated [2].

### THE FIRE TEST

The purpose of the fire test was to verify the designed ventilation system, swiftness of the response of the fire alarm and detection system, etc. The test was carried out in two locations of the eastern tunnel tube (ETT) with respect

dvoupruh [4] ukazoval jako nedostatečný. Názory na to, o kolik se tento výkon má navýšit, se pohybovaly podle různých teorií od 110–190 m<sup>3</sup>/s.

Požární systém příčného odvodu kouře otvory v klenbě tunelu byl navržen dodatečně pro případ vzniku požáru během kongesce. Při malých rychlostech podélného proudění se vrstva kouře drží pod stropem (obr. 2) až do chvíle, kdy dochází k ochlazení a poklesu kouře do únikové zóny. Princip použitého šterbinového systému (obr. 3) příčného odsávání spočívá v prodloužení doby, po kterou se kouř drží pod stropem a osobám v tunelu je tak umožněn bezpečný únik.

Dalšími prvky systému větrání tunelu Mrázovka, které zvyšují bezpečnost osob při požáru, jsou lokální nucené nebo přirozené příčné odvody kouře z hloubených úseků.

Sací výkon příčného větrání byl navržen na 150 m<sup>3</sup>/s po délce 400 m. Tato hodnota byla ověřena pro specifické podmínky tunelu Mrázovka na 3D počítačovém modelu, kde pomocí matematického modelování CFD byly simulovány různé intenzity a místa požáru při různých provozních stavech [2].

## POŽÁRNÍ ZKOUŠKA

Účelem požární zkoušky bylo ověření navrženého systému větrání, rychlosti detekce EPS atd. Zkouška byla provedena ve dvou místech východního tunelu (VTT) s ohledem na místo výfuku kouře a technologické vybavení vzduchotechnické cesty sloužící k odvodu kouře z tunelu.

Na základě požadavku HZS hlavního města Prahy vyplývajícího z jejich stanoviska k návrhu provozní dokumentace tunelu Mrázovka musela být v tunelu Mrázovka, před jeho zprovozněním, prověřena funkceschopnost požárního větrání kouřovou zkouškou za účasti zástupců HZS města Prahy. Názory na způsob a rozsah provedení reálné zkoušky se postupně v zemích EU sjednocují, o čemž svědčí realizace požárních zkoušek v nově budovaných nebo rekonstruovaných automobilových tunelech v posledních několika letech. Jako příklad můžeme uvést požární zkoušky v tunelu Mont Blanc (Francie – Itálie), tunelu Platsbush (Rakousko) a v tunelu Rennsteig (Německo). Ve všech těchto případech byly provedeny požární zkoušky „reálného požáru“ o výkonu 5 MW. Tohoto výkonu mělo být dosaženo zapálením cca 20 až 40 l benzínu v nádobách o ploše 2 až 4 m<sup>2</sup>.

Návrh způsobu provedení reálné požární zkoušky v tunelu Mrázovka vychází ze závěrů projektu EU COST č. OC G3.40 „ŠÍŘENÍ KOUŘE PŘI POŽÁRU V SILNIČNÍM TUNELU“, který v letech 1999 až 2003 zpracovala společnost SATRA, s. r. o., ve spolupráci s VUT v Brně.

Tento projekt byl zaměřen na problematiku šíření kouře bezprostředně při požáru v tunelovém tělese. Problematika byla zkoumána pomocí Eulerova-Lagrangeova modelu výpočtové dynamiky tekutin (CFD).

Návrh, který vycházel z výsledků a doporučení získaných z požárních zkoušek v tunelech Mont Blanc, Platsbush a Rennsteig [12], byl upraven a doplněn po konzultaci s firmou KRASO a Technickým ústavem požární ochrany, které se na provedených zkouškách podílely.

## PŘÍPRAVA ZKOUŠKY

Ve dnech 13. až 15. srpna 2004 byly provedeny v tunelu Mrázovka požární zkoušky chladným a zejména horkým kouřem. U všech zkoušek byl simulován požár osobního vozidla, což zhruba odpovídá tepelnému výkonu 2,5 – 5 MW. Pro vývin tepla bylo použito 40 l benzínu a pro zviditelnění (kouřem) teplotního pole a jeho šíření bylo použito 10 l nafty. Tato směs byla zapálena v plechové vaně, jejíž plocha byla zvolena 2 m<sup>2</sup>. Vana byla umístěna v ose profilu ve výšce cca 1,5 m nad vozovkou.

## OCHRANNÁ OPATŘENÍ

Ochrana povrchu komunikace v okolí nádrže do vzdálenosti cca 2 m na každou stranu (tj. cca 30 m<sup>2</sup>) byla provedena pomocí izolačního materiálu ROCKWOOL z minerální vlny ve formě desek. Ochrana rozvodů na stropě (osvětlení, EPS, anténa, kabelové rozvody) byla provedena v délce 25 m na každou stranu od nádrže lamelovou skružovatelnou rohoží firmy ROCKWOOL s ALS fólií typu LAROCK 65 ALS v tloušťce 120 mm.

## PRŮBĚH POŽÁRNÍ ZKOUŠKY

### POČÁTEČNÍ PODMÍNKY

Před zapálením ohně byl pomocí proudových ventilátorů uvnitř tunelu vytvořen stav podobný podmínkám za běžného provozu, kdy rychlost proudění dosahuje v průměru 2 a více m.s<sup>-1</sup>. Rychlost byla snímána čidlem kontinuálního měření rychlosti proudění typ FLOWSIC 200 (v třípruhové části –  $u_{VT}$ , v paralelně navazující vjezdové rampě –  $u_B$ ).

### POŽÁRNÍ ZKOUŠKA V TŘÍPRUHOVÉM TUNELU

Místo ohniska první zkoušky bylo zvoleno v klesající části třípruhového raženého tunelu (obr. 4 – požár v pravé části) ještě před úsekem s podélným sklonem vozovky 4,5 % ve směru stoupání. Tato zkouška měla ověřit



Obr. 2 Stratifikovaná vrstva kouře při požární zkoušce v tunelu Klimkovice  
Fig. 2 The stratified smoke layer at the fire testing in the Klimkovice tunnel

to the location of the smoke exhaust and the equipment of the ventilation route used for evacuation of smoke from the tunnel.

The function of the fire ventilation had to be verified before the opening of the tunnel to traffic, on the basis of the requirement of the Prague Fire Rescue Service (FRS) which followed from the FRS opinion on the draft Operating Documents for the Mrázovka tunnel. The verification was required to be carried out by means of a smoke test, in the presence of the Prague FRS representatives. Opinions on the method and extent of the in-situ testing have become gradually unified in the EU member countries. This fact is given evidence of by the fire tests which have been carried out in newly built or reconstructed automobile tunnels during several recent years. As an example, we can mention the fire tests in the Mont Blanc tunnel (France – Italy), Platsbush tunnel (Austria) and Rennsteig tunnel (Germany). In-situ tests using “real fires” with a capacity of 5MW were carried out in all of these tunnels. This fire capacity was to be achieved by igniting about 20l to 40l of petrol in fuel pools with a burning surface of 2m<sup>2</sup> to 4m<sup>2</sup>.

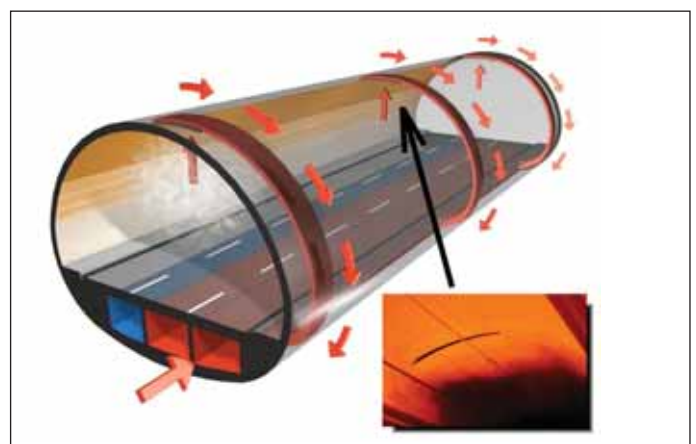
The design for the in-situ fire test in the Mrázovka tunnel has been based on the conclusions of the EU COST No. OC G3.40 project „SMOKE SPREADING DURING A FIRE IN A ROAD TUNNEL“, which was carried out by SATRA s.r.o. in collaboration with the Technical University in Brno in 1999 to 2003.

This project was focused on the issue of spreading of smoke immediately during a fire in a tunnel. The problem was studied using the Eulerian-Lagrangian Computational Fluid Dynamics (CFD) model.

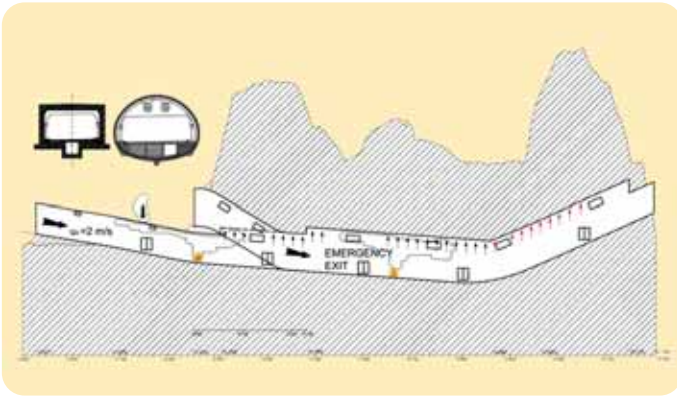
The design, which was based on the results and recommendations obtained from the fire tests in the Mont Blanc, Platsbush and Rennsteig tunnels [12] was modified and extended after consulting with KRASO and the Fire Protection Technical Institute, which participated in the testing.

## THE TESTING PREPARATION

Cold smoke tests and, primarily, hot smoke tests were carried out in the Mrázovka tunnel from 13 August to 15 August. A fire involving a car, which develops roughly 2.5 – 5MW, was simulated during all tests. The heat was released by 40 litres of petrol with an addition of 10 litres of diesel oil, which developed smoke making the heat field visible. The mixture was ignited in a metallic pool the area of which was selected at 2m<sup>2</sup>. The pool was located at the centre of the profile, at a height of about 1.5m above the roadway.



Obr. 3 Systém svodných kanálků se sacím otvorem mezi tunelem a vstupem do kanálku ve tvaru lichoběžníkové šterbiny (rozteč svodů: 20 m)  
Fig. 3 The system of extraction down ducts with suction openings between the tunnel and the entry to the duct in the form of a trapeze slot (spacing of the ducts: 20 m)



Obr. 4 Schéma požárních zkoušek (ohnisko vlevo – hloubený dvoupruh – velikost profilu 56 m<sup>2</sup>, ohnisko vpravo – ražený třípruh – velikost profilu 93 m<sup>2</sup>)  
Fig. 4 Fire testing chart (the fire seat on the left side: the cut-and-cover double-lane tunnel with the cross-sectional area of 56 m<sup>2</sup>; the fire seat on the right side: the mined three-lane tunnel with the cross-sectional area of 93 m<sup>2</sup>)

účinnost nasávacích šterbin v klenbě raženého tunelu při zajištění stratifikace kouře pod klenbou.

Šterbiny jsou koncovými prvky svodného kanálu vytvořeného v ostění tunelu, který je zaústěn do požárního vzduchovodu situovaného pod vozovkou (obr. 3). Každý svodný vzduchovod lze dálkově uzavřít/otevřít klapkou umístěnou v napojení na společný vzduchovod. Šterbiny jsou od sebe vzdáleny po 20 metrech. Při detekci požáru, v místě tunelu s příčným odvodem, dojde k otevření 20 klapek po délce 400 m a šterbinami v klenbě tunelu se odvádí 150 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> směsi horkého kouře a vzduchu.

Zkouška horkým kouřem (obr. 5) byla provedena vícekrát po sobě. Před vlastním zapálením ohně byla sací schopnost šterbin ještě několikrát testována pomocí chladného kouře (obr. 6). Chování chladného kouře bylo, je a vždy bude od chování horkého kouře rozdílné.

Chladný kouř ihned po "zapálení" začíná zaplňovat tunelový profil a klesá k vozovce, kdežto horký kouř ihned po zapálení stoupá vzhůru a vytváří stratifikovanou zónu kouřového "polštáře" pod stropem tunelu.

Chladný kouř se rozptýlil po celém profilu tunelu. Sací dosah šterbin je výrazný pouze v jejich blízkém okolí, a tedy téměř nedocházelo k nasávání chladného kouře. Při takovéto zavádějící zkoušce se může takto navržený systém jevit jako neúčinný. Na rozdíl od chladného kouře se horký kouř drží pod stropem a šterbiny koncentrovaně odsávají kouř.

## POŽÁRNÍ ZKOUŠKA VE DVOUPRUHOVÉM TUNELU

Druhá požární zkouška měla ověřit schopnost potlačit případné zpětné šíření kouře (backlayering) v klesajícím úseku při dodržení stratifikace kouře. Dále došlo k ověření funkčnosti přirozeného odvodu kouře komínkem na rozhraní hloubené a ražené části a ověření účinnosti řízeného nuceného příčného odvodu kouře pomocí šterbinových svodů v součinnosti s řízením podélného proudění. Ohnisko požáru bylo zvoleno ve dvoupruhové hloubené části VTT (obr. 4 – požár v levé části) s klesající vozovkou se sklonem -2 %.

## PROUDĚNÍ VZDUCHU V TUNELU

Na obr. 7 je zobrazen průběh rychlostí podélného proudění při požární zkoušce v třípruhové části. Směr a velikost podélné rychlosti proudění v jednosměrných tunelech je rozhodující pro zajištění podmínek bezpečného úniku osob ze zasaženého tunelu během první kritické fáze hoření. Je zde zobrazena rychlost ( $u_{VTS}$ ) v páteřním úseku, ve kterém hoří a rychlost v paralelně napojené vjezdové rampě ( $u_B$ ).

Naměřené průběhy rychlostí jsou doplněny závislostmi numericky vypočítaných rychlostí proudění při simulování požáru s tepelným výkonem 5 a 30 MW s plynulým nárůstem hoření. Trend a velikost rychlosti proudění 5 MW požáru s uspokojivou přesností odpovídá skutečně naměřeným rychlostem. Pokud dojde ve stoupajícím úseku ke vznícení nákladního vozidla (reprezentováno výpočtem 30 MW požáru), dojde k přibližně dvojnásobnému nárůstu rychlosti proudění. V případě tunelů s klesajícím podélným sklonem hrozí u jednosměrných tunelů nebezpečí zpětného šíření kouře nad stojící vozidla a unikající osoby.

Pro výpočet byl použit naměřený průběh skutečného požáru osobního vozidla v tunelu o tepelném výkonu cca 6 MW (dle výsledků požárních testů výzkumného projektu Eureka [3]) a nákladního vozidla s hořlavým materiálem o tepelném výkonu 30 MW např. dle [9] nebo modifikací výsledků požárních testů uskutečněných v tunelu Runehamar [14].

## PROTECTIVE MEASURES

The road surface was protected on both sides of the pool, up to the distance of about two metres (about 30m<sup>2</sup>) by means of an insulation material, ROCKWOOL mineral fibreboards. Electrical installations under the ceiling (lighting, fire alarm and detection system, leaky feeder cable for radio and mobile phone) were protected within an area extending 25m on each side of the pool, using ROCKWOOL rolls with a LAROCK 65 ALS membrane 120 mm thick.

## THE FIRE TESTING COURSE

### INITIAL CONDITIONS

The conditions which were created in the tunnel by means of jet fans prior to the fire ignition were similar to those existing during common traffic, where the average airflow velocity achieves 2m.s<sup>-1</sup> and more. The velocity was measured by a FLOWSIC 200 continually measuring sensor (uVTS – in the three-lane tunnel section; uB – in the parallel slip ramp).

### THE FIRE TESTING IN THE THREE-LANE TUNNEL

The location of the fire test was selected to be in the descending part of the three-lane tunnel (see Fig. 4 – the fire on the right side), before the section with the uphill gradient of 4.5%. This test was designed to verify the effectiveness of the exhaust slot openings in the vault of the mined tunnel in the process of ensuring the stratification of smoke under the tunnel crown.

The slot openings are terminal elements of a down duct, which is created in the tunnel lining and ends in a common fire ventilation duct located under the roadway (see Fig. 3). Each down duct can be remotely closed /opened by a damper, which is installed at the connection to the common ventilation duct. The slot openings are provided every 20m. When a fire is detected in the section provided with the transverse ventilation, 20 dampers are opened within a length of 400m of the tunnel; the mixture of hot smoke and air is sucked through openings in the tunnel crown at a rate of 150 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>.

The hot smoke test (see Fig. 5) was carried out several times consecutively. The suction capacity of the slot openings was several times tested by cold smoke before the ignition of the fire (see Fig. 6). The behaviour of cold smoke was, and always will be, different than the behaviour of hot smoke.

Cold smoke starts to fill the entire tunnel profile immediately after the fire has been 'ignited', and sinks to the road surface, whereas hot smoke rises up immediately after ignition and creates a stratified smoke zone, a smoke 'blanket', hovering below the tunnel ceiling.

The cold smoke permeated through the entire tunnel profile. The suction range of the slot openings is noticeable only in a close proximity of the openings; the cold smoke was virtually not sucked. The system designed in this manner may seem ineffective if such a misleading test is taken into consideration. Contrary to cold smoke, hot smoke keeps under the ceiling, and the slot openings suck it intensively.

### THE FIRE TESTING IN THE DOUBLE-LANE TUNNEL

The other fire test was designed to verify the ability of the system to suppress a contingent backlayering of smoke in the descending section without the smoke destratification. The testing further verified the functionality of natural removal of smoke through a small chimney found at the interface between the cut-and-cover and mined sections, and the effectiveness of controlled, forced transverse removal of smoke through the slot openings in combination with the control of the longitudinal flow. The fire seat was located in the double-lane cut-and-cover section of the ETT (see Fig. 4 – the fire on the left side), where the roadway gradient descends at 2%.

### THE AIR FLOW IN THE TUNNEL

The time-flow rate curve recorded during the fire test in the three-lane tunnel section is shown in Figure 7. The direction and rate of the longitudinal



Obr. 5 Zkouška horkým kouřem (ražený třípruh)  
Fig. 5 The hot smoke test (the mined three-lane tunnel)



Obr. 6 Zkouška chladným kouřem  
Fig. 6 The cold smoke test

Matematický výpočet je založen na řešení soustavy pohybových rovnic jednorozměrného nestacionárního proudění nestlačitelné tekutiny doplněných o rovnice kontinuity.

Při simulování požáru v tunelu je nutné také do výpočtu zahrnout tlakovou ztrátu (účinek) vyvolanou modelovaným požárem. Tato ztráta závisí na tepelném výkonu, tvaru příčného průřezu tunelu a mnoha dalších faktorech. Tuto ztrátu lze neobjektivněji stanovit pouze numerickým výpočtem trojrozměrných modelů za pomoci CFD. Analýzou výsledků mnoha studií prováděných v CETU (instituce ve Francii zabývající se výzkumem souvisejícím s tunely, do čehož spadá především bezpečnost a větrání), při kterých se rychlost pohybovala mezi 1,5 a 3,5 m.s<sup>-1</sup>, byl zjištěn následující přibližný vztah [7]:

$$\Delta p_F = c \cdot \frac{Q \cdot 10^6}{u \cdot D_H^2} \quad [\text{Pa}]$$

kde  $c = 9 \cdot 10^{-5}$

## ZHODNOCENÍ ZKOUŠKY

Ve všech případech došlo mezi 55. a 60. sekundou k automatické detekci požáru pomocí líniového teplotního kabelu Cerberus® FibroLaser II. Tímto byl ověřen požadavek projektu požadující rychlost detekce vzniku požáru v tunelu do 1 minuty. Ihned po detekci byla spuštěna příslušná havarijní sekvence, jejíž součástí je také požární větrání.

Ihned po detekci požáru dochází k zastavení všech technologických zařízení systému větrání, která jsou v chodu, a současně se spouští, v závislosti na místě vzniku ohniska, proudové ventilátory nebo ventilátory příčného odvodu kouře šterbinovým systémem. Možnost uzavírání nebo otevírání klapek šterbinových svodů umožnila koncentrovat sací výkon do míst, kam se šířil kouř, který by mohl potenciálně ohrozit unikající osoby.

Nejvyšší detekované teploty kouře teplotním kabelem se při zkoušce v třípruhu pohybovaly v rozmezí 60 – 70 °C a při zkoušce ve dvoupruhu v rozmezí 80 – 90 °C (v místě ohniska požáru na klenbě raženého třípruhového tunelu se předpokládala nejvyšší teplota kouře cca 150 °C a na stropě hloubeného dvoupruhového tunelu cca 250 °C). Kouř se při těchto podmínkách držel pod stropem tunelu.

V třípruhové ražené části došlo k výraznému vyplnění prostoru tunelu z důvodu nízkých teplot kouřové vlečky a rychlého chladnutí velice zředěného kouře v profilu tunelu (93 m<sup>2</sup>). Ve dvoupruhové hloubené části tunelu (profil cca 56 m<sup>2</sup>) kouř vytvořil pod stropem stratifikovanou vrstvu, která se po celou dobu hoření nikdy neochladila natolik, že by kouř začal vyplňovat prostor pod výškou 2 m, což představuje hranici únikové zóny.

Průběh těchto požárních zkoušek (obr. 8) je dostupný na internetových stránkách firmy SATRA (www.satrap.cz).

## ZÁVĚRY

Požár může být detekován již během 1 minuty, přičemž od doby vypnutí/spuštění dílčích zařízení dojde k ustálení proudění v tunelu většinou do 3–4 minut. Během této doby se kouř chová přirozeně a bezpečně se drží pod stropem tunelu.

Spolehlivost lineárního teplotního kabelu FiroLaser II je velice vysoká, přičemž systém VIDEODETEKCE je co do reakce ještě rychlejší a svými schopnostmi již v současné době systém teplotní detekce zastihuje.

Systém příčných svodů významně napomáhá prodloužení doby, po kterou se kouř drží pod klenbou tunelu.

Lze předpokládat, že při vyšších teplotách kouře a obdobných podmínkách bude docházet k pomalejšímu ochlazení kouřových zplodin, což zapříčiní delší setrvání kouřové vlečky o nebezpečné koncentraci kouře pod klenbou tunelu.

Pro udržení stratifikované vrstvy kouře po co nejdélejší dobu je nezbytné nutné zajistit koncentrovaným řízením doplněným případně plynulou

air flow in uni-directional tunnels is crucial for safe escape of persons from the tunnel affected by the fire during the initial critical phase of burning. The curves show the flow rate ( $u$  VTS) in the arterial section in which the fire is burning, and the flow rate in the parallel slip ramp ( $u$  B).

The recorded time-flow rate curves are supplemented by adding time-air flow rate curves numerically calculated for a simulated fire with the gradually increasing heat release rate of 5MW and 30MW. The trend and magnitude of the air flow rate in the case of the 5MW fire corresponds to the actually measured rates with a satisfactory accuracy. If a lorry ignition (represented by the 30MW fire in the calculation) occurs in the ascending section, the flow rate will approximately double. In the case of descending tunnels, there is a danger in uni-directional tunnels that the smoke will spread back, over the standing vehicles and escaping people.

The calculation was carried out using the curves measured during a real car fire in a tunnel, with the capacity of about 6MW (according to the results of the Eureka Project fire tests [3]) and a lorry with a flammable material with the capacity of 30MW, e.g. according to [9] or modified results of fire tests carried out in the Runehamar tunnel [14].

The mathematical calculation is based on the solution to a set of dynamic equations for unidirectional non-stationary flow of incompressible fluid, combined with continuity equations.

When a tunnel fire is being simulated, the pressure loss (effect) induced by the fire being modelled must also be introduced into the calculation. The loss depends on the heat release rate, the shape of the tunnel cross-section and many other factors. The loss can be the most objectively determined only by numerical computation from 3D CFD models. The following approximate relationship was determined by means of analysing results of many studies carried out in the CETU (a France-based institution dealing with research associated with tunnels, encompassing safety and ventilation as majors) during which the rate varied from 1.5m.s<sup>-1</sup> to 3.5m.s<sup>-1</sup> [7]:

$$\Delta p_F = c \cdot \frac{Q \cdot 10^6}{u \cdot D_H^2} \quad [\text{Pa}]$$

where  $c = 9 \cdot 10^{-5}$

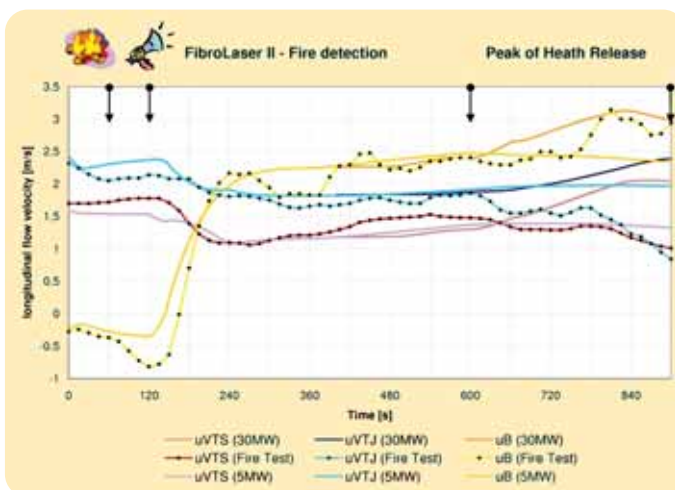
## THE SUMMARY OF THE TEST RESULTS

The fire was in all cases automatically detected by a Cerberus® FibroLaser II linear heat detection system within a 55 – 60-second interval. It meant confirmation that the design requirement for swiftness of detection of a fire initiation in the tunnel in one minute has been met. The respective emergency section which comprises, among other equipment, also the fire ventilation system was activated immediately after the detection.

All components of the ventilation system which are operating at the time of detection are immediately switched off and, concurrently, the jet fans or fans providing the transverse exhaust of smoke through the slot system are switched on, depending on the location of the originating fire. The possibility of closing or opening the dampers installed in the slotted ducts allowed the operators to concentrate the suction capacity to the locations to which the smoke was spreading, where escaping persons could potentially be threatened.

The highest temperatures detected by the heat detection cable during the testing in the three-lane tunnel ranged from 60°C to 70°C; in the double-lane tunnel they ranged from 80°C to 90°C (the highest temperature of smoke above the seat of fire in the mined three-lane tunnel arch was assessed at approximately 150°C, and 250°C temperature was guessed for the arch of the double-lane tunnel). In these conditions, the smoke kept under the tunnel roof.

In the three-lane part, the tunnel space was substantially filled with smoke as a result of low temperatures of the smoke layer and rapid process of cooling of the smoke, which got significantly thinned in the tunnel profile (93m<sup>2</sup>). In the



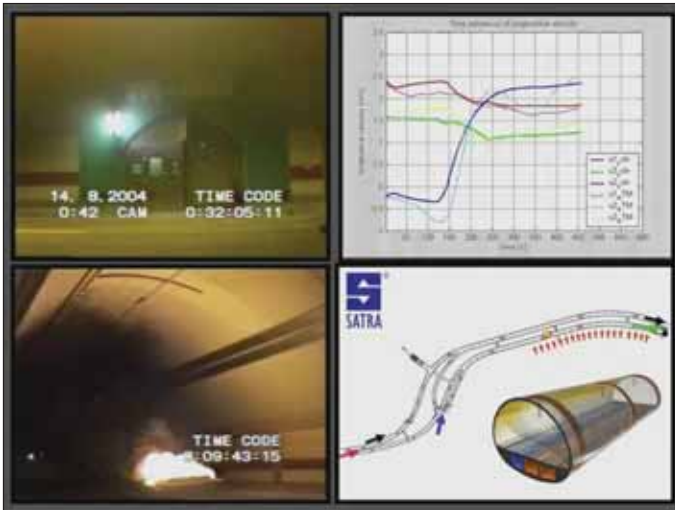
Obr. 7 Průběh rychlosti podélného proudění v první fázi evakuace  
Fig. 7 The time-flow rate curve in the initial phase of evacuation

druh vozidla	tepelný výkon [MW]	produkce kouře [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
1 osobní vůz	5	≤ 20
2 až 3 osobní vozidla	8	≤ 30
těžký nákladní vůz bez nebezpečného nákladu	20 – 30	60 - 80
nákladní vozidlo s pohonnými hmotami (cisterna)	≥ 200	> 300

TABULKA: Nejčastěji používané návrhové parametry požáru

Vehicle type	Heat release [MW]	Smoke Production [m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> ]
1 Passenger car	5	≤ 20
2 to 3 Passenger cars	8	≤ 30
Heavy lorry (bus) without dangerous goods	20 – 30	60 - 80
HGV with fuel and oil (petrol tanker)	≥ 200	> 300

TABLE: The most frequently applied fire design parameters

Obr. 8 Náznorné zobrazení průběhu požární zkoušky  
Fig. 8 Pictorial representation of the fire testing process

regulací rychlosti proudění jedním směrem, přičemž by její velikost neměla v první fázi evakuace překročit 1,5 m/s.

Je velice důležité rozlišovat mezi fází evakuace a časem, ve kterém bude proveden vlastní hasební zásah. Během evakuace je větrání provozováno automaticky, a teprve až při hasební fázi může být na pokyn velitele HZS provozováno ručně.

ING. JAN POŘÍZEK, jan.porizek@satra.cz, SATRA, s. r. o.

#### POUŽITÉ ZKRATKY A SYMBOLY:

VTT	označení východního tunelu
EPS	elektronická požární signalizace
u	rychlost podélného proudění [m/s]
u <sub>VTS</sub>	rychlost proudění v tří pruhu VTS [m/s]
u <sub>B</sub>	rychlost proudění v paralelním úseku vjezdové rampy B [m/s]
Δp <sub>F</sub>	tlakový rozdíl vyvolaný požárem [Pa]
Q	tepelný výkon požáru v tunelu předaný konvekcí [MW]
D <sub>H</sub>	hydraulický průměr průtočné plochy tunelu [m]

double-lane part of the tunnel (56m<sup>2</sup> cross-sectional area), the airflow was stratified, with the smoke layer keeping under the tunnel roof. The layer never cooled down during the burning so much as to allow the smoke to fill the space under the level of 2m above the road surface, which is the limit of the escape zone.

The course of the above fire tests (see Fig. 8) is available on the Satra company web pages at [www.satra.cz](http://www.satra.cz).

#### CONCLUSIONS

A fire can be detected as early as the first minute, whereas the flow rate steadies in the tunnel mostly in 3 – 4 minutes. During this period, smoke behaves naturally and safely keeps under the tunnel roof.

Reliability of the FibroLaser II linear heat detection system is very high, although the VIDEO DETECTION system responds even faster and its capabilities today overshadow the heat detection system.

The system of transverse suction ducts significantly helps to extend the time period during which smoke keeps under the tunnel vault.

It can be expected that the process of cooling of smoke will be slower at higher temperatures of smoke and in similar conditions; as a result, the dangerous high concentration smoke layer will stay longer under the tunnel vault.

To prevent smoke destratification for as long time as possible, it is necessary to ensure that the air flows in the tunnel in one direction, at a rate not exceeding 1,5m/s in the initial phase of evacuation. It must be achieved by concentrating the flow in one direction and by continuous regulation of the flow rate; the rate should not exceed 1,5m/s.

It is very important for the ventilation control to distinguish between the evacuation phase and the phase during which the fire intervention takes place. The ventilation system is operated automatically during the evacuation phase. It may be controlled manually only during the fire fighting phase, if instructed so by the FRS commander.

ING. JAN POŘÍZEK, jan.porizek@satra.cz, SATRA, s. r. o.

#### ABBREVIATIONS AND SYMBOLS:

ETT	the eastern tunnel tube
u	longitudinal flow rate [m/s]
u <sub>VTS</sub>	flow rate in the three-lane tunnel VTS [m/s]
u <sub>B</sub>	flow rate in the parallel section of the slip ramp B [m/s]
Δp <sub>F</sub>	loss of pressure due to the fire [Pa]
Q	heat capacity of the tunnel fire transmitted through convection [MW]
D <sub>H</sub>	hydraulic diameter of the tunnel area of passage [m]

#### LITERATURA / REFERENCES

- [1] Sbomník – Ventilation Report from Permanent International Association of Road Congresses (PIARC); Marrakesh 1991
- [2] Jícha, Katolický; Modelování šíření ohně v automobilovém tunelu Mrázovka a návrh odsávacích vyústek; Brno květen 1999
- [3] Fire and smoke control in road tunnels; PIARC Committee on Road Tunnels; August 1998
- [4] Lacroix D.; Révue Générale des Routes et des Aéroports. Le désenfumage des tunnels rotiers en cas d'incendie; CETU listopad 1994
- [5] COST – průmyslové větrání; Modelování šíření kouře v automobilovém tunelu; Brno prosinec 2002
- [6] TP98/2004 Technologické vybavení tunelů pozemních komunikací – Technické podmínky; Ministerstvo dopravy a spojů; Odbor pozemních komunikací;
- [7] Dossier pilote des tunnels equipments, section 4.1, Ventilation; CETU; novembre 2003
- [8] ASTRA; Lüftung der Strassentunnel – Richtlinie; 2001
- [9] ASTRA; Lüftung der Strassentunnel – Richtlinie; 2004; Bern
- [10] Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Strassentunneln (RABT), 2003; Bonn
- [11] Österreichische Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Straßenwesen, Projektierungsrichtlinien Lüftungsanlagen, Grundlagen RVS 9.261
- [12] Andräss S., Mayr R., Rudolf A., Seitz P., Fire Test and Safety Concepts in the Rennsteig Tunnel. Tunnel Safety and Ventilation – 2nd Symposium edited by Sturm P., Minarik. S., Verlag Gratz University of Technology; 2004, s.149-156, ISBN 3-901351-95-7
- [13] Presentation compact disk of company Tempest Technology; Mobile ventilation unit ver. 1.0
- [14] UPTUN, TNO, Promat; Summary of Large Scale Fire Tests in the RUNEHAMAR Tunnel in Norway, conducted in association with the UPTUN Research Program; September 2003
- [15] Federal Highway Administration: Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program, November 1995

# TUNELY NA SILNICI NH-1A Z JAMMU DO SRINAGARU – KAŠMÍR, INDIE

## TUNNELS ON THE ROAD NH-1A FROM JAMMU TO SRINAGAR – KASHMIR, INDIA

PETR SVOBODA, MARTIN SRB

### ÚVOD

Provozovaná silniční komunikace z Jammu do Srinagaru prochází v podhůří Himaláje velmi složitým terénem. Silnice vede po úbočí strmých svahů, oblastmi častých sesuvů a na cestě do centrálního kašmířského údolí překonává mnoho hřebenů. Popisovaný úsek z Udhampuru do Banihalu nejdříve stoupá cca 1000 výškových metrů z Udhampuru úbočím řeky Tawi až na hřeben Patnitop ve výšce 2030 m. Po překonání horského hřebene pokračuje cesta do údolí řeky Chenab a poté proti proudu řeky Bighlari směrem na Banihal a dále Srinagar.

Původně se jednalo o starou obchodní cestu mezi kašmířským údolím a nížinami na indickém subkontinentu. Směrové a výškové vedení dostala komunikace v roce 1914, kdy byla upravena na jednopruhovou silnici.

V dubnu 1954 byla deklarována jako státní silnice NH – 1A (National Highway – 1A). V téže roce byl uveden do provozu tunel Jawaharlal Nehru u města Banihal, který podchází hřeben Pir Panjal ve výšce cca 2500 m n. m. V padesátých a šedesátých letech minulého století byla silnice postupně „vylepšována“, až došlo v roce 1968 k přestavbě komunikace na dvoupruhovou (stále však s původním směrovým vedením). Obr. 1.

V posledních desetiletích prožívá Indie velký hospodářský růst. S tím jsou spojeny i zvýšené nároky na dopravní infrastrukturu země. V rámci mohutné výstavby infrastruktury bylo rozhodnuto o zkapacitnění komunikace NH – 1A, která prochází celou Indií od jihu na sever. Do budoucna by silnice měla mít dva dvoupruhové, směrově oddělené jízdní pásy. Projekt je začleněn do „severo jižního koridoru“ spojujícího města Srinagar (stát Jammu and Kashmir) a Kanyakumari (stát Tamilnadu na jihu Indie).

Firma D2 Consult se podílela na projektu jako tunelový konzultant americké firmy Louis Berger Inc. Činnost zahrnovala variantní identifikaci míst možných tunelů při návrzích směrového vedení trasy. Následně pak firma D2 Consult zpracovala úvodní a zadávací projekt sedmi krátkých (do 1 km délky) tunelů na úseku Udhampur – Banihal (km 66 – km 188).

### PROJEKTOVÁ PŘÍPRAVA A POSTUP PRACÍ

Projekt zvýšení kapacity silnice z Udhampuru do Banihalu je jeden z mnoha infrastrukturních projektů, které jsou v současnosti v Indii realizovány. Jedná se však o jeden z nejnáročnějších projektů z pohledu množství rekonstruovaných nebo nově budovaných inženýrských objektů včetně tunelů. Délka popisovaného úseku je 122 km.

Dokumentace pro investora je zpracovávána ve dvou stupních. Nejprve byla na začátku roku 2005 zpracována vstupní studie, spojená s vyhledáváním tras tunelů a řešení portálů. Po jejím schválení bylo zahájeno zpracování zadávací dokumentace, která byla odevzdána na konci roku 2005 a během roku 2006 doplňována a upravována. V současné době (12/2006) se připravuje vypsání obchodní soutěže na zhotovitele první části komunikace včetně tunelu. Celý proces od prvního záměru až po zahájení výběrového řízení tedy proběhl zhruba během dvou let.

Mezinárodně uznané území státu Jammu and Kashmir patří formálně Indii, fakticky je však rozděleno mezi Indii, Pakistan a Čínu. V indické části je oblast částečně uzavřená a silně obsazená armádou. Během zpracování projektu se proto postupně objevila celá řada problémů od administrativních zdržení (povolení ke vstupu na území státu) po nemožnost získat kvalitní mapové podklady zájmové oblasti.

### INTRODUCTION

An operated road from Jammu to Srinagar is located in a very complicated terrain of Himalaya foothills. The road runs on steep slopes, through areas of frequent landslides, and crosses many ridges on its way to the central Kashmir valley. A described section Udhampur to Banihal originally goes up about 1000m from Udhampur through the Tawi river valley hillside up to the Patnitop ridge in altitude 2030m. After the mountain ridge crossing the road continues to the Chenab river valley and against the Bighlari river stream to Banihal and further to Srinagar.

Originally it was an old trading way between Kashmir valley and India subcontinent lowlands. Horizontal and vertical alignment of the road was determined in 1914, when the road was modified to a one-lane road.

The road was declared as a National Highway NH-1A in April 1954. The Jawaharlal Nehru tunnel undergoing Pir Panjal (2500m) was commissioned in the same year. In fifties and sixties the road was continually improved till its reconstruction into two-lane communication (with its original alignment). Figure 1.

There is a significant commercial boom in India during recent decades. This also brings higher demands for traffic infrastructure of the country. Decision about four-laning of the road NH – 1A (running across the whole India from the south to the north) has been made as a part of this massive infrastructure development. The road should be transformed into a dual carriageway in future. The project falls under „North-south corridor“ connecting towns Srinagar (state Jammu and Kashmir) and Kanyakumari (state Tamilnadu on the south of India).

Company D2 consult cooperated on the project as a tunnel consultant under the American company Louis Berger Inc. Work load included proposals for feasible locations of tunnels as a part of the road alignment design. Consequently company D2 Consult completed initial and tender documentation of 7 short tunnels (length up to 1km) on the section Udhampur – Banihal (km 66 – km 188).



Obr. 1 Silnice NH – 1A Udhampur – Srinagar u severního portálu budoucího tunelu Chanderkot

Fig. 1 Road NH – 1A Udhampur – Srinagar by north portal of the Chanderkot tunnel

Vzhledem k tomu, že se vlastně jedná o téměř první moderní silniční tunelové projekty v Indii, prakticky neexistuje žádná normová základna pro projektování a realizaci silničních tunelů. Proto je součástí přípravy i pravidelné vysvětlování a zdůvodňování navržených řešení investorovi. Výhodou je velká volnost (a s ní spojená zodpovědnost) projektanta, který se v podstatě spolupodílí na vytváření standardních řešení pro silniční tunely. Tato řešení mohou ovlivnit indické silniční tunelářství na dlouhou dobu.

## POPIS A ROZDĚLENÍ PROJEKTU

Cílem projektu je zvýšit propustnost komunikace a zároveň zvýšit bezpečnost provozu. K tomu by mělo napomoci směrové rozdělení silnice. Komunikace je tedy navržena jako směrově rozdělená čtyřpruhová (2 x 2 pruhy) s návrhovou rychlostí 50 km/h (dle indických standardů pro indické horské komunikace).

Celý projekt je rozdělen na tři dílčí úseky. V prvním úseku (Jammu – Udhampur) není navržen žádný tunel. Ve druhém (Udhampur – Banihal) je navrženo celkem 8 tunelů (úsek účasti firmy D2 Consult). Ve třetím úseku (Banihal – Srinagar) jsou navrženy tunely dva.

Druhý úsek je dále podrobněji členěn na 5 částí. V první části není navržen žádný tunel. Druhá část je určena pouze pro tunel Patnitop (délka cca 9 km, 1 km nadloží, t. č. nejdelší připravovaný silniční tunel v jihovýchodní Asii). Zpracování tohoto úseku prováděné také firmou D2 Consult probíhá a nebylo zatím dokončeno. Ve třetí a páté části je vždy navržen jeden tunel, ve čtvrté části je tunelů pět.

Celkem se tedy jedná o sedm kratších tunelů různých délek. Nejkratší tunel (km 155) má délku 195 m, nejdelším tunelem je Chanderkot s délkou 888 m.

Jednotlivé tunely vznikaly na místech, kde nebylo možno projít terémem pomocí terénních úprav, budováním opěrných nebo zárubních zdí, popřípadě vybudováním estakád.

I když je zřejmě možné konstatovat, že i pouhé napřímení komunikace, úprava směrového vedení a případně stoupací pruhy by výrazně zvýšily současnou úroveň komunikace, rozhodl se investor komunikaci budovat celkově jako čtyřpruhovou, směrově oddělenou. Toto uspořádání vedlo k návrhu tunelů i v místech, kde by dvoupruhová komunikace prošla bez problémů. Okolí komunikace vedené na většině míst ve skalním odřezu znamená velmi stísněné prostorové podmínky, ve kterých je velmi obtížné budovat druhý směrově oddělený jízdní pás tak, aby nedocházelo k omezení provozu na komunikaci stávající. Na většině budoucích tunelových portálů je obtížné umístit i zařízení staveniště. Obr. 2.

## GEOLOGIE

Geologická skladba podél trasy komunikace sestává z dvou základních typů. V jižní části úseku převládají horniny sedimentárního původu tzv. „Murree formation“, ve střední a severní části úseků převládají horniny vyvřelé a horniny metamorfované z vyvřelin, „Panjal formation“.

„Murree“ je tvořen formacemi ze spodního až středního miocénu. Jedná se převážně o temně červené, nachové a šedivé pískovce, slínovce, jílovce a křehké jílové břidlice a různé konglomeráty.

„Panjal“ tvoří horniny z eocenu (břidlice z obsahem uhlíku, vápence, křemence), vyvřeliny a metamorfity, nejčastěji fylity.

Tunel Chanderkot prochází u jižního portálu formací střídajících se vrstev sedimentárních hornin (jílovce, pískovce a siltovce). Tato geologie je charakteristická i pro tunel Patnitop. Přibližně v první třetině tunelu Chanderkot se nachází tektonický zlom, kde dochází ke změně/kontaktu formací. Ve zbývajících dvou třetinách tunelu Chanderkot se vyskytují polohy čedičů a fylitů s vysokým obsahem křemene.

Tunely v km 154 a km 155 protínají dva skalní výběžky tvořené fylity s hustou vrstevnatostí až břidličnatostí.

Všechny tři tunely u vesnice Kooni Nallah prochází vrstvami křemenců, rul a fylitů. Jedná se o tzv. „Rambanskou formaci“.

Hřbet protínající tunel Ramsu tvoří křemence přecházející směrem od povrchu k niveletě tunelu ve vrstvu břidličnatých fylitů s jemnou výplní puklin.

Pro potřeby projektu byl horninový masiv rozdělen na kvazi homogenní celky tak, aby bylo možno navrhnout základní technologické třídy výrubu pro jednotlivé tunely.



Obr. 2 Portálový svah budoucích tunelů v km 166; vpravo síť chránící most před padajícími kamenům

Fig. 2 Portal slope of proposed tunnels at km 166. A net protecting against falling stones is on the right hand side

## DESIGN AND WORK PROGRESS

Four-laning of the road from Udhampur to Banihal is one of many infrastructural projects undergoing in India. But it is one of the most complicated projects with regard to the number of reconstructed or new engineering objects including tunnels. The described section is 122km long. Documentation for client is prepared in two stages. First of all an initial study was prepared in the start of 2005. The study considered alternatives of tunnel alignment and solution of portals. After its approval the work on a tender documentation started. The tender documentation was submitted at the end of 2005 and it was supplemented and altered during 2006. In these days (12/2006) preparation of tender for contractor for the first section of the road (including tunnel 1) is ongoing. Whole process (from the first intention to start of the tender) was realised approximately during two years.

Internationally recognised area of the state Jammu and Kashmir is formally under India, however in practice it is divided among India, Pakistan, and China. The Indian part of the area is partly closed and massively occupied by the army. Many problems occurred during project processing: from administrative problems (entrance to the state area permission) to impossibility to get good-quality maps of the area of interest.

The tunnels considered in the project will be one of the first modern road tunnels in India, thus almost no standards and specifications were available for design and construction of the road tunnels. Therefore regular explanations and justifications of designed solutions to the client was a part of job. Significant freedom (and associated responsibility) of designer is an advantage. The designer participates on the development of the standard solutions for the road tunnels which can affect an Indian road tunnelling for a long period.

## DESCRIPTION AND DISTRIBUTION OF THE PROJECT

The road capacity increment and also a traffic safety increase were the main aims of project. Separation of the opposite direction should assist to the safety, thus the road is designed as a dual carriageway (2 x 2 lanes) with the design speed 50kph (according the Indian Standards for the mountain communications).

Whole project is separated into three sections. The first section (Jammu – Udhampur) does not consider a tunnel. The second section (Udhampur – Banihal) includes 8 tunnels (section of D2 Consult participation). The third section (Banihal – Srinagar) includes two tunnels.

The second section is further divided into 5 parts. The first part does not consider any tunnel. The second part is just for the Patnitop tunnel (length 9km, overburden 1km, currently the longest prepared road tunnel in the southeast Asia). Design of this part is also provided by D2 Consult and has not been completed so far. The third part and fifth part include one tunnel each; the fourth part includes five tunnels. All together it means seven shorter tunnels of

## TUNELY

Všechny tunely jsou koncipované jako dvoupruhové tubusy s jedno-  
směrným provozem. Tomuto uspořádání odpovídá i technologické  
vybavení jednotlivých tunelů. V první fázi budou tunely vybaveny jen  
nejnutnějšími technologiemi pro provoz, ale budou stavebně připraveny pro  
případné budoucí dovybavení (technologické „upgradování“). Vzhle-  
dem k dnešnímu stavu komunikace a provozu je možno označit jaké-  
koliv zlepšení směrového vedení a oddělení směrů jízdy za výrazné  
zvýšení bezpečnosti komunikace. Proto byla bezpečnostní analýza pro-  
vozu a z ní vyplývající nároky na technologické vybavení tunelů při-  
způsobena místním poměrům. Z celkem sedmi nových tunelů je pět  
tunelů provozováno ve směru sever – jih (od Banihalu do Udhampuru)  
a dva tunely provozované ve směru jih – sever (od Udhampuru do  
Banihalu). Přehled všech krátkých tunelů je uveden níže:

severní směr	TU Chanderkot (km 137) – 888 m
	TU km 166 (u vesnice Kooni Nallah) – 585 m
jižní směr	TU km 154 – 322,5 m
	TU km 155 – 195 m
	TU km 166 (u vesnice Kooni Nallah) – 610 m
	TU km 167 (u vesnice Kooni Nallah) – 870 m
	TU Ramsu – (km 171) – 385 m

## TECHNOLOGICKÉ TŘÍDY VÝRUBU

Návrh způsobu ražby a zajišťování výrubu vycházel z analýz stavu  
tunelářského stavebnictví v Indii, místních podmínek a dostupných  
informací o geologických podmínkách. Hlavním podkladem pro návrh  
technologických tříd výrubu bylo geologické mapování, informace zís-  
kané z výchozů hornin a v archívech geologických podkladů. Důraz byl  
však kladen především na informace získané přímo na místě. Během  
zpracování projektu probíhaly práce na vrtném geologickém průzkumu,  
který skončil po odevzdání zadávací dokumentace a bude sloužit až pro  
realizaci. Obr. 3.

K určení schémat vystrojení výrubu jednotlivých tříd byla využita  
rakouská norma ÖNORM B 2203 „Untertagebeurbeiten, Werkvert-  
ragsnorm“ z roku 1994. Toto vydání obsahuje popis a určení typů  
chování horninových masivů pro cyklickou ražbu. Pro přehlednost



Obr. 3 Vrtání průzkumného vrtu u města Ramban  
Fig. 3 Exploratory borehole drilling by the Ramban town

various distances. The shortest (km 155) is 195m long; the longest  
(Chanderkot) is 888m long.

Individual tunnels were designed in areas, where road crossing  
using ground shaping, retaining wall construction or elevated road  
constrained was not possible. Although pure road straightening  
(alignment rectification with possible ascending lanes) would signifi-  
cantly increase a current standard of the road, the client decided to  
build a dual carriageway. This adjustment led to tunnel design also in  
places, where two-lane road would pass through without problems.  
Vicinity of the road running mostly in the rock cutting means very  
constrained conditions. Therefore a construction of the second direc-  
tionally separated road without current road traffic restrictions would  
be very complicated. Even location of a site plant in majority tunnel  
portal areas is difficult. Figure 2

## GEOLOGY

Geology along the road alignment is composed from two basic  
types. Sedimentary rocks (so called „Murree formation“) are predo-  
minant in the south section. Volcanic rocks and rocks metamorphed  
from volcanic rocks (so called „Panjal formation“) is prevailing in  
the central and north section. „Murree“ is formed by lower to middle  
Miocene formation. It considers mainly dark red, purple and gray  
sandstones, siltstones, brittle shales, and various conglomerates.

„Panjal“ is formed by eocen rocks (shales containing carbon,  
limestones, quartzities), volcanic rocks, metamorphosed rocks,  
mostly phyllites.

The Chanderkot tunnel runs through formation of alternating lay-  
ers of sedimentary rocks (claystones, sandstones, and siltstones) in  
area of the south portal. This geology is also characteristic for the  
Patnitop tunnel. There is a tectonic fault approximately in the one  
third of the Chanderkot tunnel, where is located contact of two for-  
mations. Basalts and phyllites with a high content of quartzities are  
characteristic for the remaining two thirds of the Chanderkot tunnel.

Tunnels km154 and km155 cross two rock outcrops formed by  
phyllites with close lamination up to foliation. All three tunnels by  
the Kooni Nallah village are composed by layers of quartzities,  
gneisses and phyllites. This is called „Ramban formation“.

Ridge crossed by the Ramsu tunnel is formed by quartzites follo-  
wed in direction from surface to the tunnel level by a layer of folia-  
ted phyllites with fine filling of joints

The rock mass was divided into quasihomogeneous units for the  
design purpose, to allow the design of basic technological classes for  
individual tunnels.

## TUNNELS

All tunnels were designed as two-lane tubes with one-way traffic.  
M&E equipment corresponds with the arrangement of tunnels. In the  
first stage the tunnels will be fitted only by the essential equipment  
required for traffic, but they will be prepared for further improve-  
ment (upgrade of technologies). Every improvement of the road  
alignment and separation of two directions means significant improve-  
ment of the road safety due to its current status and operation. There-  
fore safety analysis of operation and consequent M&E equipment  
requirements were accommodated to the local conditions. Five from  
seven new tunnels are operated in direction north-south (from Bani-  
hal to Udampur), two new tunnels are operated in direction south-  
north (from Udampur to Banihal). List of all short tunnels is shown  
below:

North direction	TU Chanderkot (km 137) – 888 m
	TU km 166 (by the Kooni Nallah village) – 585 m
South direction	TU km 154 – 322,5 m
	TU km 155 – 195 m
	TU km 166 (by the Kooni Nallah village) – 610 m
	TU km 167 (by the Kooni Nallah village) – 870 m
	TU Ramsu – (km 171) – 385 m

## EXCAVATION AND SUPPORT CLASSES

Excavation sequence and support classes design was based from  
analysis of the Indian tunnelling industry status, local conditions and  
available information about geological conditions. Geological map-  
ping, information from rock outcrops and geological archives were  
the major sources for the excavation and support classes design.



a snadnou pochopitelnost byly technologické třídy označeny podle jednotlivých typů chování horninového masivu. Odhad rozdělení do jednotlivých technologických tříd slouží hlavně k přehledu objemů a odhadu nákladů.

Pro vystrojení výrubu všech tunelů jsou použity tři základní technologické třídy:

Třída „A“ se záběrem 3 m (150 mm stříkaného betonu s jednou vrstvou výztužné sítě, kotvy délky 3 m) pro horninový typ „A“ (hornina stabilní).

Třída „B“ se záběrem 2 m (200 mm stříkaného betonu se dvěma vrstvami výztužné sítě, kotvy délky 4 m, v případě nutnosti doplněné v přístropí jehlováním a stabilizačním nástříkem čelby) pro horninový typ „B“ (hornina omezeně stabilní).

Třída „C“ se záběrem 1 m (300 mm stříkaného betonu se dvěma vrstvami výztužné sítě, kotvy délky 6 a 8 m, provádění jehlování a stabilizačního nástříku čelby, v případě nutnosti ponechání opěrného klínu na čelbě, výrub se spodní klenbou) pro horninový typ „C“ (tlačivá hornina). Obr. 4.

Podle technologické třídy se plocha výrubu pohybuje od 83 m<sup>2</sup> – 101 m<sup>2</sup>.

U jednotlivých tunelů bylo rozděleno vystrojení výrubu podle jednotlivých tříd v podélném řezu. Nejdříve podle existujících podkladů. Po dokončení vrtného průzkumu bylo navrženo rozdělení ověřeno a upřesněno.

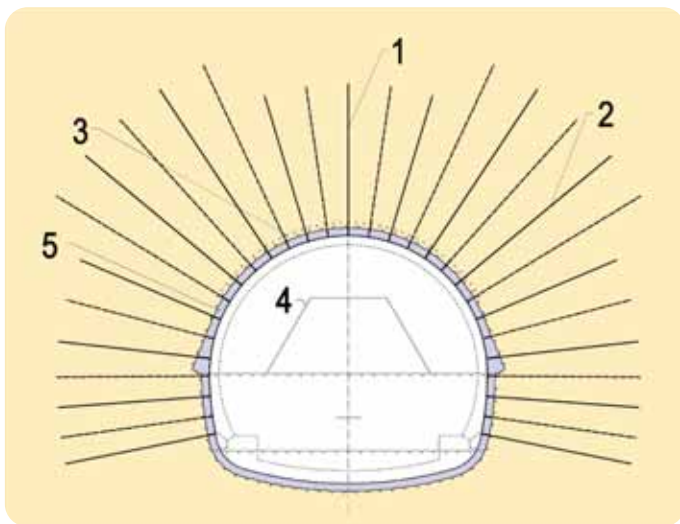
Celý systém je koncipován tak, aby umožnil efektivní spolupráci odpovědného zástupce investora na stavbě („ENGINEER“) a zhotovitele jako dvou zástupců rozhodujících o geotechnickém zařazení, systému vystrojení a o způsobu postupu ražby.

## PŘÍČNÝ ŘEZ

Pro návrh příčného řezu byl rozhodující, investorem zvolený průjezdní průřez. Velikost průjezdního průřezu byla dlouze diskutována. Investor se při rozhodování snažil vyhovět velikostí obrysu často přetěžovaných nákladních vozidel. Šířka průjezdního průřezu byla nakonec zvolena 7,5 m, výška 5 m, minimální šířka chodníku vedle vozovky 1 m. Skutečná šířka chodníku odpovídá skutečnému převýšení vozovky v daném místě tunelu. U všech krátkých tunelů byl použit stejný vzorový příčný řez.

Vnitřní líc definitivního ostění tunelu tvoří kružnice o poloměru 5,1 m se středem 1,75 m nad vozovkou v ose tunelu. Minimální tloušťka ostění ve vrcholu klenby je 350 mm. Světla výška profilu je 6,85 m nad niveletou vozovky.

Příčný řez raženého tunelu má dvě varianty: se spodní klenbou a na patkách bez spodní klenby. Výška patek je 500 mm. Minimální tloušťka spodní klenby je 500 mm. Spodní hrana protiklenby je v úrovni -2,60 m pod úrovní nivelety komunikace. Podle předběžného statického



Obr. 4 Technologická třída výrubu „C“ – Legenda: 1 – kotvy délky 6 m, 2 – kotvy délky 8 m, 3 – jehlování, 4 – opěrný čelbový klín, 5 – primární ostění ze stříkaného betonu 300 mm

Fig. 4 Excavation and support class „C“ – Legend: 1 – 6m long rockbolts, 2 – 8m long rockbolts, 3 – spiling, 4 – face supporting wedge, 5 – 300mm thick shotcrete primary lining

Impact was put mainly on the information received directly on site. Activities on boring site investigation were ongoing in parallel with the design and were completed after tender documentation submission, thus it will serve during a construction (Figure 3).

The Austrian Standard ÖNORM B 2203 „Untertagebearbeiten, Werkvertragsnorm“ from 1994 was used for the determination of individual support classes. This edition contains description and determination of rock mass behaviour types for a cyclic excavation. Excavation and support classes were marked according various rock mass behaviour types to improve clearness and comprehension. Splitting into various excavation and support classes serves namely for bill of quantities and cost estimate.

Three basic excavation and support classes were used for all tunnels:

Class „A“ with advance 3m (150mm of shotcrete with one layer of steel mesh, 3m long rockbolts) for rock type „A“ (stable rock).

Class „B“ with advance 2m (200mm of shotcrete with two layers of steel mesh, 4m long rockbolts, in case of need supplemented by spiling and tunnel face shotcreting) for rock type „B“ (partly stable rock).

Class „C“ with advance 1m (300mm of shotcrete with two layers of steel mesh, 6 and 8m long rockbolts, spiling and tunnel face shotcreting, in case of need with face supporting wedge, excavation with invert) for rock type „C“ (squeezing rock). Figure 4

Excavation area with regard to excavation and support class is from 83 m<sup>2</sup> to 101 m<sup>2</sup>.

Excavation support was divided in longitudinal direction according various classes for each tunnel.

Originally this was done according available information. The designed distribution was verified and corrected after boring site investigation completion. Whole system is designed to allow effective cooperation between client's representative („ENGINEER“) and contractor's representative as people making decisions about geotechnical classification, support to be used and further excavation procedure.

## CROSS SECTION

Clearance determined by client was a crucial factor for cross-section determination. Clearance area was a topic of long discussions. Client wanted to consider an area of frequently overloaded trucks. Finally clearance was determined 7.5m wide and 5.0m high, minimum pavement width was determined 1.0m. A real pavement width corresponds to real superelevation of a road in a tunnel cross-section. Typical tunnel cross-section was the same for all short tunnels.

Internal profile of a secondary tunnel lining is formed by a circle with the radius 5.1m and centre 1.75m above a road on the tunnel axis. Minimum lining thickness in crown is 350mm. Internal profile is 6.85m high (distance above a road level).

Driven tunnel cross-section has two variants: with invert and without invert on footings. Footings are 500mm high. Minimum invert thickness is 500mm. An external edge of the invert is -2.61m below a road level. The lining on the footings is designed for a plain concrete, the lining with invert is designed as reinforced. Volume of maximum required reinforcement was estimated as 100 kg/m<sup>3</sup>. Figure 5

A sheet waterproof membrane was designed only in area of crown (with a permeable invert). Longitudinal drainage pipes Ø 200mm are situated behind the footings. Drainages are embedded in a lacunary concrete.

Cut and Cover section is (with regards to a terrain topography) designed only in a south portal area of the Chanderkot tunnel. Cut and Cover section length is 25m. Internal profile geometry within a Cut and Cover section stays the same as in a driven section. Crown thickness is 700mm, invert thickness is 800mm. An external edge of the invert is -2.90m below a road level. Two covered trenches are located under both pavements. The trenches are ready for placement of electric cables or for fire mains.

The discussion about possibility to omit internal lining and sheet membrane is currently ongoing between the designer and client's checking experts. The reason is an effort to minimise construction cost and to avoid increase of a road comfort in tunnel section in comparison with the rest of the road. Frequent simple Scandinavian road tunnels serve as an example.

posouzení je ostění profilu na patkách navrženo z prostého betonu a ostění profilu se spodní klenbou je navrženo jako vyztužené. Odhad max. množství výztuže je  $100 \text{ kg/m}^3$  (Obr. 5).

Isolace je navržena jako deštníková (tj. pouze v prostoru horní klenby tunelu). Za patkami jsou uloženy podélné drenáže  $\varnothing 200 \text{ mm}$ . Drenáže jsou obsypány mezerovitým betonem.

Hloubený úsek je vzhledem k topografii terénu navržen pouze na jižním portálu tunelu Chanderkot. Délka hloubeného úseku je 25 m. Geometrie vnitřního líce ostění zůstává v hloubeném tunelu stejná jako u tunelu raženého. Tloušťka klenby je 700 mm, spodní klenba má tloušťku 800 mm. Protiklenba profilu má spodní hranu v úrovni -2,90 m pod úrovní nivelety vozovky.

Pod oběma chodníky jsou připraveny dva zakryté žlaby, připravené pro uložení kabelů elektrického vedení a rozvodů nebo pro uložení požárního vodovodu.

V současné době probíhá diskuse mezi projektantem a kontrolními experty investora o možnosti neprovádění vnitřního ostění a izolace. Důvodem je snaha minimalizovat stavební náklady a nezvyšovat komfort komunikace v tunelových úsecích ve srovnání s ostatními úseci. Jako referenční příklad slouží především mnohé jednoduché skandinávské silniční tunely.

## TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ A STAVEBNÍ ÚPRAVY

V první fázi výstavby jsou tunely navrženy pouze osvětlené. Vzhledem k délkám tunelů (cca 150 – 900 m) a jejich dopravnímu uspořádání bylo již od počátku předpokládáno podélné větrání nebo větrání přirozené. Všechny tunely jsou provozovány pouze jednosměrně. Výpočty větrání neprokázaly nutnost instalace nucené ventilace, tunely tak zůstávají větrané pouze pístovým efektem a přirozeným prouděním.

Tunely budou stavebně připraveny na doplnění dalších technologických zařízení podle skutečných potřeb provozu nebo požadavků provozovatele. Pod chodníkem jsou navrženy kabelové kanály (viz. odst. „Příčný řez“). V definitivním ostění jsou navrženy radiální kabelové kanály určené pro převod kabelů v ostění v příčném směru.

V rámci stavebních úprav jsou v tunelech připraveny výklenky pro namontování SOS kabiněk a umístění požárních hydrantů. Všechny výklenky jsou sdružené. Výklenky SOS a výklenky s požárním hydrantem jsou navrženy pouze u tunelů delších než 500 m tak, aby byla vždy zaručena minimální vzdálenost 300 m mezi SOS hláskami a hydranty.

Výklenky pro čištění bočních podélných drenáží jsou rozmístěny podle navržené blokované skladby v maximální osové vzdálenosti 60 m.

## POŽADOVANÉ DOKUMENTY

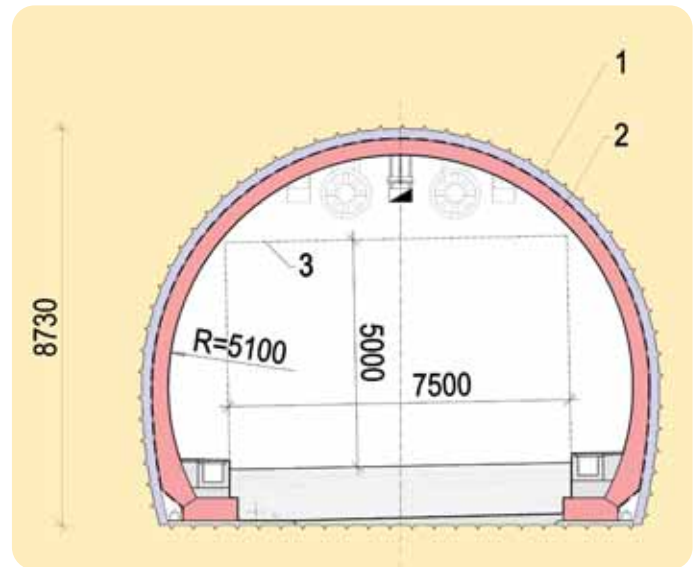
V rámci projektu jsou zpracovávány následující dokumenty:

- Výkresová dokumentace stavební části tunelů
- Technické zprávy
- Technické specifikace
- Statické výpočty (numerické modelování)
- Výkazy výměr a odhady nákladů
- Návrhy sestav strojů a mechanismů pro ražbu tunelů

## ZÁVĚR

Evropské tunelářské zkušenosti a řešení se v modifikované podobě pravděpodobně stanou standardem pro Indické ředitelství silnic a dálnic (National Highway Authority of India), investora státních silnic. Objemem tunelářských stavebních prací se projekt zkapacitnění silnice z Jammu do Srinagaru řadí k největším současným silničním tunelářským projektům v Indii. Postupné uvedení nových tunelů do provozu výrazně zvýší kapacitu komunikace a bezpečnost státní silnice NH – 1A v celé oblasti indického Kašmíru a přispěje k lepší dostupnosti hlavního Kašmířského údolí.

ING. PETR SVOBODA, [svoboda@d2-consult.cz](mailto:svoboda@d2-consult.cz),  
ING. MARTIN SRB, [srb@d2-consult.cz](mailto:srb@d2-consult.cz),  
D2 CONSTULT PRAGUE s. r. o.



Obr. 5 Typický příčný řez s patkami – Legenda: 1 – primární ostění (stříkaný beton s výztužnou sítí), 2 – sekundární ostění (prostý beton)

Fig. 5 Typical cross-section with footings – Legend: 1 – primary lining (shotcrete with reinforcing mesh), 2 – secondary lining (plain concrete)

## M&E EQUIPMENT AND RENOVATION

The tunnels are designed only with lighting in the first stage of a construction. Longitudinal or natural ventilation was anticipated from the beginning with regards to tunnel lengths (about 150 – 900m). All tunnels operate for traffic only in one direction. Ventilation calculations did not demonstrate a need for mechanical ventilation, thus tunnels stay ventilated by a piston effect and by a natural air flow.

The tunnels will be prepared for installation of further M&E services based on real requirements of traffic or requirements of operator. Cable trenches were designed below pavements (see chapter "Cross section"). Radial cable channels determined for cable transfer in cross direction were designed in the permanent lining.

Niches for emergency calls and for fire-fighting equipment were considered in design. All niches are combined. Emergency call niches and fire-fighting niches were designed only for tunnel longer than 500m to assure minimum distance 300m between emergency calls and water hydrants. Niches for rodding eyes (to clean longitudinal drainage) are situated with maximum axial spacing 60m (according a composition of blocks).

## DOCUMENTS REQUIRED

The following documents are completed as a part of the project:

- Drawings of civil part of tunnels
- Technical reports
- Specifications
- Static calculations
- Bills of Quantities
- Tunnel excavation machinery proposal

## CONCLUSION

European tunnelling experience and solutions in a modified version will probably become standard for the National Highway Authority of India (stakeholder of national highways). Four-laning of the road from Jammu to Srinagar is one of the biggest road tunnelling projects in India due to amount of tunnelling works. Gradual commissioning of new tunnels will significantly increase capacity and safety of the road NH 1A in whole Kashmir area and will assist to better accessibility of the main Kashmir valley.

ING. PETR SVOBODA, [svoboda@d2-consult.cz](mailto:svoboda@d2-consult.cz),  
ING. MARTIN SRB, [srb@d2-consult.cz](mailto:srb@d2-consult.cz),  
D2 CONSTULT PRAGUE s. r. o.

# TUNEL KLIMKOVICE – KABELOVÁ ŠACHTA

## KLIMKOVICE TUNNEL – CABLE SHAFT

JIŘÍ TVARDEK, MIROSLAV JANKŮ, LUBOMÍR KOSÍK

### ÚVOD

Jedním ze stavebních objektů budovaného tunelu Klimkovice je i objekt – Kabelová šachta. Projektantem objektu byl Amberg Engineering Brno, a. s., vlastní realizaci prováděly společně firmy VOKD, a. s., a OKD, DPB, a. s.

Kabelová šachta bude využívána pro přívod el. energie z trafostanice do tunelu a také jako větrací šachta pro přívod čerstvého vzduchu do technologických prostor v tunelových propojkách.

Bylo navrženo technické řešení provedení šachty – vrt 2360 mm, vystrojení ocelovou rourou 2020 mm, stěny 20 mm, povrchová úprava dle požadavků ZTKP ŘSD ČR, č. j. 111/03-22040, tj. ochranný povlakový systém 8 (zároveň stříkaný povlak Zn, epoxidové nátery, celkové tloušťky 550  $\mu\text{m}$ ), zajištění roury cementovou záplivkou.

### GEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

V místě kabelové šachty je kvartérní pokryv tvořen převážně deluviálními sedimenty jílovitopísčitých hlín s příměsí úlomků matečných hornin. Obsah a velikost úlomků s hloubkou narůstá, nejhlubší vrstvy pokrývají až charakteru hlinitých štěrků s ostrohrannými úlomky a sutí. Celková mocnost kvartérních pokryvů je zhruba 1,50 – 1,60 m.

Skalní podloží celé lokality tunelu je tvořeno sedimentárními horninami, které náležejí ke kyjovickým vrstvám neproduktivního karbonu – kulmu. V předmětné lokalitě kabelové šachty se nacházejí pelitické sedimenty – jílovce a prachovce. Zpravidla jsou tmavě šedé barvy, tenčí destičkovitě vrstevnaté, místy i masivní.

Na základě průzkumných prací bylo zjištěno, že stavba hominového masivu je velmi stálá. Směr sklonu vrstev je poměrně jednotný a kolísá jen



Obr. 1 Usazené rozšiřovací těleso v tunelové spoje  
Fig. 1 The back-reaming head installed in the cross passage

### INTRODUCTION

One of the structural parts of the Klimkovice tunnel, which is currently under construction, is the Cable Shaft. It was designed by Amberg Engineering Brno, a. s., and built jointly by VOKD, a. s. and OKD, DPB, a. s.

The cable shaft will be used for supply of power from a transformer station to the tunnel, and also as a ventilation shaft supplying fresh air to equipment rooms found in the cross passages.

The shaft design consisted of a borehole 2360mm in diameter, a steel casing pipe 2020mm in diameter (20mm wall thickness) with the surface finish meeting the requirements of Specification ZTKP No. 111/03-22040 issued by ŘSD ČR (the Directorate of Roads and Highways of the Czech Republic), i.e. the protective coating system No. 8 (plasma sprayed zinc coating, epoxy coats; 550 $\mu\text{m}$  thick in total), and cement grout fixing the pipe in the borehole.

### GEOLOGICAL AND HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

The Quaternary nappe in the location of the cable shaft consists of diluvial sediments, namely clayey-sandy loams with fragments of native rocks. The content and size of the fragments grow with the growing depth; the deepest layers of the nappe are assumed to have the properties of loamy gravels with sharp-edged fragments and debris. The total thickness of the Quaternary nappe is about 1.50 – 1.60m.

The bedrock in the entire tunnel location consists of sedimentary rock types of the Kyjovice Member of Culm (the non-productive Carboniferous period). The particular location of the shaft is found in pelitic sediments – claystone and siltstone. They are usually grey, thinly laminated, and locally even massive.

The geological survey results proved that the rock mass composition is very stable. The direction of the dip of the layers is relatively uniform, and it slightly fluctuates about 280°. The value of the dip exhibits a higher degree of variability; the most frequent dip is flat, up to 30°, but even a very steep dip was identified by the boreholes. Considering the character of the changes in the dipping, there is a guessing that there are flexures there rather than folds.

Transverse discontinuities are another important property of the massif. The direction of their dip is perpendicular to their trend direction, about 70°-90°. The Polančice and Rakovce rivers are based on the transverse faults. The water table is, in essence, wedged into the rock massif. The water table was encountered in most cases as deep as in the weathered surface layer of the bedrock. The circulation of ground water is uniform within a major part of the location, in the form of a fissure-interstitial aquifer.

### STRUCTURAL ANALYSIS

Several partial calculations were carried out during the structural analysis for the cable shaft, following the construction procedures and structural design. The structure consists of several blocks. The reinforced concrete foundation slab was designed for the load imposed by the drilling set and for the punching shear induced by micropiles supporting the slab, which, at the same time, supported the walls of the borehole in the upper series of strata.

Further, the calculation of stability of the borehole itself was carried out, as well as the calculation of the load-bearing capacity of the primary lining of the cross passage, which was affected by the opening for the shaft, and verification of the internal and external load-bearing capacity of the system consisting of the steel pipe, cement grout and the borehole wall. At last but not least, all steel components of the shaft, all welded joints and bolted joints were assessed.

The problem of the stability of the borehole itself showed to be most significant; the borehole was loaded in certain phases on the surface by the vertical load imposed by the drilling rig, which reached a total value of 190kN. The stability of the borehole was verified by a calculation carried out using the PLAXIS 8.2 geotechnical software. Reduction of the 3D problem to a 2D



Obr. 2 Hlava stroje po dokončení rozšíření  
Fig. 2 The back-reaming head after the reaming completion

málo kolem směru 280°. Velikost sklonu vykazuje větší variabilitu, kdy nejčastěji je plochý sklon do 30°, ale ve vrtech byl zjištěn i velmi strmý sklon. Vzhledem k charakteru změn sklonu je odhadováno, že se jedná spíše o flexury než vrásky.

Dalším významným prvkem masivu jsou příčné nespojitosti. Směr jejich sklonu je kolmý ke směru vrstev a jejich sklon je cca 70° až 90°. Na příčných zlomech jsou založena údolí říčky Polančice a potoka Rakovce. Hladina podzemní vody je v podstatě zakleslá do horninového masivu.

Ve většině případů byla hladina podzemních vod zastížena až ve zvětřalé povrchové vrstvě skalního masivu. Oběh podzemních vod je v podstatě částí lokality jednotný – v průlinové puklinovém kolektoru.

## STATICKÝ VÝPOČET

Při návrhu a statickém výpočtu kabelové šachty bylo provedeno několik dílčích výpočtů, dle postupu výstavby a konstrukčního návrhu. Stavba se dělí na jednotlivé celky. Byl proveden návrh železobetonového základu na zatížení vrtnou soupravou a na protlačení mikropilotami, které jej nesly a zároveň sloužily jako pažení vrtu v horních souvrstvích.

Dále byl proveden výpočet stability samotného vrtu, výpočet únosnosti primárního ostění tunelové propojky oslabené otvorem pro šachtu a ověření vnitřní a vnější únosnosti systému: ocelová roura – cementová zálivka – ostění vrtu. V neposlední řadě byly posouzeny všechny ocelové prvky šachty, veškeré svarové a šroubové spoje.

Jako nejvýznamnější se ukázala otázka stability samotného vrtu, který byl z povrchu přitížen v určitých fázích výstavby svislým zatížením od vrtné soupravy, které dosahovalo až celkové hodnoty 190 kN. Byla ověřena stabilita vrtu výpočtem pomocí geotechnického softwaru PLAXIS 8.2. Redukcí prostorové úlohy na 2D problém bylo dosaženo možnosti charakterizovat geometrii šachty a působícího zatížení jako rotačně symetrické při použití výpočtu „Axisymmetric model“. Tento typ výpočtu je možno použít pro konstrukce s jednotným kruhovým průřezem a zatížením kolem centrální osy, kde lze očekávat stejná napětí a deformace v jakémkoli radiálním směru.

Dalším výpočtem bylo prokázání vnitřní a vnější únosnosti celého systému vzhledem k ostění šachty – ocelová roura o průměru 2020 mm a tl. stěny 20 mm. Vnitřní únosnost systému, tj. soudržnost ocelové roury s cementovou zálivkou, je zajištěna přírubami jednotlivých spojů dílců roury. Po délce vrtu je navrženo šest přírubových spojů. S praktickou využitelností pro přenesení svislého zatížení lze počítat u čtyř. Výpočtem, při zanedbání pláštového tření, bylo prokázáno, že napětí pod jednotlivými přírubami nedosahuje očekávané pevnosti v tlaku cementového kamene.

Únosnost zatvrdlé zálivky na rozhraní s horninou – tzv. vnější únosnost, lze vyčíslit obdobně jako pláštovou únosnost mikropiloty na základě délky průměru vrtu a velikosti pláštového tření v hornině, které bylo stanoveno pro daný injekční tlak v horninách R5 a R6 na 200 kPa. Tímto výpočtem byla ověřena dostatečná únosnost celé konstrukce na rozhraní s ostěním vrtu.

Mimo standardní posouzení šroubových a svarových spojů jednotlivých dílců šachty, vnitřního vystrojení, montážních úchytů a ověření únosnosti veškerých ocelových prvků, byla posuzována odolnost ocelové roury proti boulení při zatížení injekčním tlakem cementové zálivky.

problem made it possible for the designer to characterise the geometry of the shaft and the load action as rotationally symmetric and to apply the Axisymmetric Model to the calculation. This type of calculation is applicable to structures having uniform circular cross sections and the load uniformly distributed around the central axis, where identical values of the stress and deformation can be expected in any radial direction.

Another problem was the task to verify the internal and external load-bearing capacity of the system comprising the 2020mm-diameter / 20mm wall thickness steel pipe, which is born by cohesion with cement grout and by friction at the grout-borehole wall interface. The internal bearing capacity of the system, i.e. the integrity of the steel pipe and the cement grout, is provided by means of flanged joints of the pipe lengths. There are six flanged joints throughout the borehole length; four of them can be calculated with as elements actually transferring the vertical load. The calculation proved that, when the skin friction is disregarded, the stress under the individual flanges does not reach the anticipated value of the compressive strength of hardened cement paste.

The calculation of the load-bearing capacity of the hardened grout at the interface with the rock (the so-called external load-bearing capacity) can be similar to the calculation of the skin friction between the ground and a micropile, which is carried out on the basis of the length of the borehole diameter and the value of the skin friction in the ground, which was determined for a particular grouting pressure in rock types R5 and R6 at 200kPa. This calculation confirmed that the load-bearing capacity of the entire structure at the borehole wall interface was sufficient.

The assessment of the pipe resistance against bulging due to the pressure induced by the cement grouting was carried out in addition to standard assessments of the bolted/welded joints between individual parts of the shaft structure, of the internal equipment, assembly grippers, and verification of the load-bearing capacity of all steel elements.

## THE SHAFT-SINKING PROCEDURE

The shaft construction process consisted of several phases comprising a ring of 18 micropiles 10m long, drilling of a power supply borehole for a Wirth drill rig, preparation of the lining in the cross passage, drilling a pre-bore and large-profile borehole, installation of the steel pipe and encasement of the pipe by cement grout.

The micropiles were arranged in a tight circle around the future shaft. They allowed the large-diameter drilling to pass safely through the Quaternary rock and, at the same time, created a collar supporting the concrete base slab containing a sump allowing the installation of the drill rig. A twenty eight-long technical borehole was drilled concurrently using a Nordmeyer DSB 2/10 drilling rig, at near proximity to the shaft, ending in the cross passage; the borehole was required for supplying power to the Wirth HG 210 drill rig from the tunnel.

The base prepared for the drill rig was used for erection of the drill-rig. It was a temporary structure with the life length of several weeks.



Obr. 3 Naváděcí prstenec na popouštěcí stolici  
Fig. 3 The guide ring on the lowering stand



**Obr. 4 Roura číslo jedna s naváděcím prstencem připravena k usazování**  
**Fig. 4 The pipe No. 1 with the guide ring ready for installation**

## REALIZACE VÝSTAVBY ŠACHTICE

Práce na šachtici představovala několik etap zahrnujících 18 paprscitě situovaných deset metrů dlouhých mikropilot, zhotovení energetického vrtu pro soupravu Wirth, přípravu ostění v tunelové propojce, realizaci předvrtu a velkopříměrového vrtu, osazení ocelové roury a zalití cementovou zálivkou.

Mikropiloty byly uspořádány paprscitě v těsném kruhu kolem budoucí šachtice. Umožnily bezpečný průchod velkopříměrového vrtu kvartérmími horninami a současně tvořily opěrný věnec pro betonáž podstavce s jímkou sloužící k ustavení vrtné soupravy. Společně s mikropilotami byl soupravou Nordmayer DSB 2/10 v bezprostřední vzdálenosti vyvrtán dvacetiosmimetrový technologický vrt s průnikem do vzdálené propojky pro zabezpečení přívodu elektrické energie z tunelu pro soupravu Wirth HG 210.

Pro ustavení vrtné stolice byl zhotoven základ vrtné soupravy. Jednalo se o dočasnou konstrukci, jejíž životnost byla několik týdnů.

Souběžně se základem pro stolici bylo prováděno zajištění výrubu tunelové propojky. Nejdříve bylo provedeno zajištění výrubu šesti hydraulicky upínanými svorníky dl. 3,50 m ve vzdálenosti zhruba 200 mm od budoucí stěny vrtu, ve sklonu 30° od svislé osy šachtice. Jejich vzájemná vzdálenost byla 1,50 m po obvodu zárodku. Svorníky po obvodu zárodku byly přednostně umístovány vzhledem k plochám nespojitosti horninového prostředí tak, aby bránily rozvolňování horniny, vypadávání horninových bloků z ostění aby spínaly horninu ve foliaci. Po odstranění primárního ostění a upálení prutové výztuže byl proveden výrub ve vrchlíku propojky směrem svisle vzhůru, tím vznikla ve stropě kruhová plocha v úrovni 270,71 m n. m. o průměru 3,16 m, jejíž střed byl od osy propojky vzdálen 500 mm. Zajištění výrubu bylo strikaným betonem SB 25 tl. 50 mm.

Vlastní vrtání šachtice bylo zahájeno instalací vrtné soupravy WIRTH HG 210. Montáž vrtné soupravy byla pomocí jeřábu dokončena během dvou dní. Po revizi, kolaudaci a rektifikaci postavení měřičem bylo zahájeno prohlubování cílového vrtu dlouhého 29,1 m s průnikem do tunelové propojky. Cílový vrt o průměru 250,8 mm byl proplachován polymerovým výplachem Argipol v množství 1000 l/min<sup>-1</sup>. Vrt byl dokončen během 12 hodin s odchylkou 0,097°. Následovala montáž rozšiřovacího tělesa o průměru 2360 mm technologie Raise boring v tunelové propojce. Rozšiřování vrtu tahem ke stroji probíhalo ve dvanáctihodinových směnách. Celkem 18 hodin při souběžném oděžování vrtné drtě z paty vrtu.

### Parametry vrtné soupravy Wirth HG 210:

pohon	elektrohydraulický
příkon el. motoru	160 kW
napětí el. motoru	500 V
výstupní otáčky	0 – 49 min <sup>-1</sup>
max. kroučící moment	100,5 kNm
max. přítlak	1 050 kN
max. tah	1 900 kN
rychlost posuvu	19 m min <sup>-1</sup>
úklon vrtu	90° – 45°
průměr pilotního vrtu	250,8 mm
maximální průměr	2 360 mm



**Obr. 5 Výškové usazení na řetězových závěsech**  
**Fig. 5 The pipe on suspension chains**

The foundation for the drill rig was built concurrently with the work on the support of the cross passage. First of all, the excavation was supported with six 3.50m-long water-expanded rock bolts, which were installed at a distance of about 200mm from the future wall of the borehole, at an angle of 30° from the vertical axis of the shaft. The bolts were carried out around the circumference of the germ of the shaft at 1.50m spacing, preferably in positions where they prevented loosening of the rock mass due to the existing discontinuity surfaces, falling of rock blocks, and tied the foliated rock mass together. When the primary lining had been removed and the reinforcement bars burned away, a space was excavated vertically in the crown of the cross passage. This gave rise to a circular area 3.160m in diameter in the ceiling; the centre of the circle was at a 500mm distance from the centre line of the cross passage. The excavation was stabilised by a 50mm-thick layer of SC25 sprayed concrete.

The drilling for the shaft itself started by the installation of the WIRTH HG 210 drill rig. It was assembled in two days using a crane. The sinking of a 29.1m-long pilot borehole ending in the cross passage started after the inspection had been finished, the approval to the use issued and the setting of the drill rig rectified by a surveyor. The 250.8mm-diameter pilot borehole was flushed with Argipol polymer drilling fluid at a 1000 litre per minute rate. The borehole was completed in twelve hours, with a drift angle of 0.097°. The assembly of a 2360mm-diameter reaming head in the cross passage followed. The raise-boring machine reamed the borehole bottom-upwards in 12-hour shifts, 18 hours in total at simultaneous removal of drill cuttings from the bottom of the borehole.

### Parameters of the Wirth HG 210 raise boring machine:

drive	electro-hydraulic
electric motor input	160kW
electric motor voltage	500V
motor speed	0 – 49 rev.min <sup>-1</sup>
maximum torque	100.5 kNm
maximum thrust	1050kN
maximum pull	1.900kN
advance rate	19m.min <sup>-1</sup>
borehole incline	90° - 45°
pilot borehole diameter	250.8mm
maximum diameter	2360mm



**Obr. 6 Pohled do vstrojované šachtice**  
**Fig. 6 A view into the shaft being equipped**

**PARAMETRY ŠACHTY**

Celková hloubka šachty:	31,14 m (podlaha kolektoru-podlaha spojky)
délka vrtu:	29,04 m
délka ocelových trub:	26,74 m
Základní díl: roura dl.6 m s vystrojením..... 3 ks – Lezní oddělení podesty po 6 m metrech, zároveň montážní plošiny pro kabely a požární vodovod, žebříky svislé, délka větve 6 m	
Horní šachetní díl 1ks: roura dl. 2,74 m s přírubou pro uchycení fóliové izolace kolektoru	
Dolní šachetní díl 1 ks: roura dl. 6 m, vystrojení – viz základní díl, navíc u spodního konce navařena příruba se šrouby pro ukotvení fóliové izolace tunelové propojky	

**POŽADAVKY NA PROTIKOROZNÍ ÚPRAVU**

Úprava povrchu veškerých ocelových konstrukcí dle požadavků ZTKP ŘSD ČR, č.j. 111/03-22040

Vnější i vnitřní povrch ocelové roury je opatřen ochranným povlakovým systémem 8, tj.		
základní povlak	žárově stříkaný povlak Zn	150 µm
základní a podkladový nátěr	epoxidový dle DB 687.14	80 µm
vrchní nátěr	epoxidový dle DB 687.11/12	2x160 µm
celkem		550 µm

Povrch vyměnitelných dílců vystrojení je opatřen ochranným povlakovým systémem 4, tj.

základní povlak	žárově zinkování dle ISO1461	NDFT 70 µm
základní a podkladový nátěr	epoxidový dle DB 687.14	120 µm
vrchní nátěr	polyuretanový dle DB 687	80 µm
celkem		270 µm

**SHAFT PARAMETERS**

Total shaft depth:	31.14m (the floor of the utility duct – floor of the cross passage)
Borehole length:	29.04m
Steel pipes length:	26.74m
The basic part: a 6m-long pipe with equipment ..... 3 pieces – A ladder compartment with landings every 6m, mounting for cables and a fire main, vertical ladders.	
The upper part of the shaft – 1 piece: a 2.74m-long pipe with a flange for fixing a waterproofing membrane wrapping the utility duct.	
The bottom part of the shaft – 1 piece: a 6m-long pipe with equipment (see the basic part), an additional flange with bolts for anchoring the waterproofing membrane protecting the cross passage structure is welded to the lower end.	

**REQUIREMENTS FOR CORROSION PROTECTION**

Surface finishing of all steel structures: according to ZTKP ŘSD ČR No. 111/03-22040.

External and internal surfaces of the pipe are provided with a protective coating system No.8, i.e.

preliminary coat	plasma sprayed zinc coating	150µm
priming and foundation coat	epoxy according to DB 687.14	80µm
cover coat	epoxy according to DB 687.11/12	2x160µm
Total		550µm

Surfaces of exchangeable elements of the equipment are provided with a protective coating system No. 4, i.e.

preliminary coat	hot-dip galvanisation with Zn (ISO 1461) NDFT	150µm
priming and foundation coat	epoxy according to DB 687.14	120µm
cover coat	polyurethane according to DB 687	80µm
Total		270µm

**Tabulka 1 Parametry šachty a protikoroziní ochrana**  
**Table 1 Shaft parameters and Corrosion protection**

Pro zdárné zapuštění definitivní výstroje vrtu – ocelové trouby 2020/20 s přírubovými spoji o průměru 14 cm menším než průměr vrtu, bylo žádoucí maximálně zkrátit čas mezi dokončením rozšíření vrtu a vlastním zapouštěním výztuže. Zcela netradičně bylo přistoupeno po odpojení hydrauliky k přemístění vrtné soupravy o váze 20 tun z osy vrtu bez demontáže pomocí jeřábu. Tato operace umožnila ihned po dovtřání šachtice zahájit popouštění ocelové výztuže. Výstroj šachty je zhotovena z podélně svařovaných ocelových trub průměru 2020 mm a tl. stěny 20 mm (1004,8 kg/m). Trouby byly popouštěny pomocí jeřábu DEMAG 120 a speciální plošiny vyrobené pro tuto akci. Celé osazení rour trvalo 14 hodin.

Po osazení výstroje šachty na potřebnou výškovou úroveň pomocí čtyř řetězů byl proinjektován prostor mezi ostěním trubky a ostěním vrtu. Injektáž byla provedena z úrovně stávajícího terénu, na rubu výstroje šachty bylo osazeno 6 ks injektážních trubek DN 40 mm, spojovaných z dílců dl. 6 m pomocí závitů na obou koncích s nátrubkem. Injektáž byla provedena aktivovaným cementovým pojivem. (viz tabulka 1)

**ZÁVĚR**

Závěrem je nutno připomenout celkový čas realizace šachtice. Doba realizace šachtice – vrtání, osazování, zálivka, trvala třináct pracovních dní. To znamená značné zkrácení doby realizace oproti klasickému způsobu hloubení. Při porovnání nákladu klasického a výše popsaného způsobu provádění dojdeme ke zhruba shodným hodnotám. Je proto na zvážení projektantů a investorů, zda tento způsob realizace vzhledem k ušetřenému času nepoužít i u jiných projektů.

ING. JIŘÍ TVARDEK, tvardek@vokd.cz, VOKD, a. s.,  
ING. MIROSLAV JANKŮ, mjanku@dpb.cz, OKD DPB, a. s.,  
ING. LUBOMÍR KOSÍK, lkosik@amberg.cz,  
AMBERG ENGINEERING, a. s.

Maximum reduction of the time gap between the completion of the reaming and installation of the final lining of the shaft (2020/20mm steel pipes with flanged joints; the flange diameter by 14cm smaller than the diameter of the borehole) was desirable to make certain that the pipes would pass through the borehole successfully. A completely non-traditional procedure was used for that reason: the 20t drilling set was removed from the axis of the borehole without dismantling by a crane once the hydraulic system had been disconnected. Owing to this operation the steel lining installation could start immediately after the completion of the raise boring. The shaft was lined with 2020mm-diameter, 20mm-wall thickness longitudinal welded pipes (1004.8 kg/m). The pipes were lowered to the borehole by a DEMAG 120 crane, using a custom-made platform. The entire pipe lowering operation took 14 hours.

When the installation of the lining at the required level using four chains had been finished, the annulus between the pipe and the borehole wall was filled with grout. The grout was injected from the existing ground surface level through six grouting pipes DN 40mm fixed to the outer side of the shaft lining; the pipes consisted of 6m-long pieces provided with threads on both ends, which were connected using coupling sleeves. Activated cement binder was used for the grouting. (see table 1)

**CONCLUSION**

To conclude, we bring back to mind the overall time of the shaft construction. The operations, i.e. drilling, installation and grouting, took thirteen days. It meant a significant reduction in the construction time compared with a traditional shaft sinking method. If we compare the costs of the traditional method and the above-mentioned technique, we will arrive at roughly identical values. Designers and investors should take into consideration the savings in time and decide whether this construction technique should be used at other projects.

ING. JIŘÍ TVARDEK, tvardek@vokd.cz, VOKD, a. s.,  
ING. MIROSLAV JANKŮ, mjanku@dpb.cz, OKD DPB, a. s.,  
ING. LUBOMÍR KOSÍK, lkosik@amberg.cz,  
AMBERG ENGINEERING, a. s.

## ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB / THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

MĚŘENÍ RYCHLOSTI V TUNELU SITINA  
MEASUREMENT OF SPEED IN THE SITINA TUNNEL

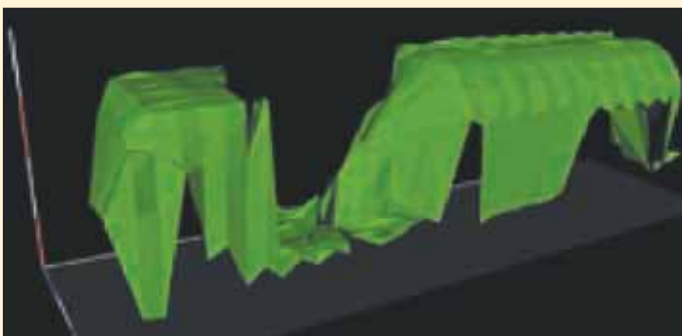
The Sitina motorway tunnel is being completed in the Slovak Republic's capital. Prof. Pavel Příbyl informs in his paper about the vehicle speed measurement system supplied by ELTODO for installation in the tunnel. The system is based on a combination of two systems: a system of scanning of passing vehicles by a laser scanner, which creates 3D models of the vehicles serving for categorisation of vehicles into several pre-defined classes, and a vehicle registration number recognition system.

Téměř po třech letech výstavby dálničního tunelu SITINA v Bratislavě začíná společnost Eltodo postupně dokončovat i všechny technologické dodávky a tunel se připravuje na uvedení do provozu.

Na všechny dodávky technologií použitých v tomto tunelu byly kladeny vysoké nároky, neboť tunely na Slovensku jsou posuzovány jako báňské stavby.

Právě proto byl také do tunelu Sitina dodán, krom povinného vybavení dle TP 98, nově vyvinutý systém pro detekci a klasifikaci vozidel v tunelu. Základní požadavek pro tunel Sitina byl vědět online, kolik vozidel a jaký typ vozidla se nachází v daném okamžiku v tunelu včetně eliminace vozidel údržby. Právě tento požadavek pomohl vyřešit systém založený na technologiích používaných pro systémy elektronického mýta.

Vlastní systém je založen na kombinaci dvou systémů: skenování projíždějících vozidel laserovým skenerem, který vytváří jejich 3D



Obr. 1 Model výstupu z 3D klasifikace  
Fig. 1 Model of 3D classification output



Obr. 2 Pohled do tunelu Sitina  
Fig. 2 View inside the Sitina tunnel

model, na jehož základě je prováděna jejich klasifikace do některé z předem definovaných kategorií, a na systému rozpoznávání registračních značek (RZ).

Detekovaná vozidla na vjezdech do tunelu jsou včetně naměřených parametrů ukládána do databáze vozidel vyskytujících se uvnitř tunelu. Na výjezdu jsou pak naměřené parametry porovnány s databází vozidel a příslušné vozidlo je z databáze vyřazeno. Je tak zaručeno, že v každém okamžiku je znám přesný počet vozidel uvnitř tunelu včetně jejich skladby.

Právě díky kombinaci rozpoznávání RZ a klasifikace vozidel pomocí 3D modelu je možné podchytit v tunelu i ta vozidla, která tam změni směr a vyjedou jinde, než by se očekávalo. Navíc tento systém má schopnost nezapočítávat do momentálního stavu v tunelu vozidla údržby, což při použití systému indukčních smyček nelze zaručit.

Systém navíc umožňuje mnoho dodatkových funkcí, vyplývajících z měření na začátku a na konci tunelu. Z měřených dopravních dat lze pak také odvozovat, zda v tunelu nedošlo k nehodám, což je vzhledem k bezpečnosti v tunelech velmi důležité.

PROF. ING. PAVEL PŘIBYL, pribylp@eltodo.cz, ELTODO, a. s.

## ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ / NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

KONFERENCE „ŽELEZNICE 2006“  
THE „RAILWAYS 2006“ CONFERENCE

A two-day conference session of designers, employers, contractors and civil servants active in the field of railway traffic was held on 29th – 30th November 2006 in Prague.

The basic conference topics were as follows:

- Current priorities of Czech Railways
- Modernisation of railway transit corridors in the Czech Republic (preparation of projects, experience and implementation)
- News from the area of railway and telecommunication equipment

The presentations dealt with the traffic policy of the Czech Republic for the years 2005 till 2013, and with the main completed/under-preparation projects. Regarding the projects which involve larger tunnel constructions, the following ones were mentioned:

- The “New Connection” construction-in-progress, which will significantly increase the capacity of the Prague railway intersection owing, among other parts of the project, to a couple of over 1km long tunnels.
- The construction of the railway corridor between Prague and Plzeň, which is under preparation, will contain the Ejpovice tunnel and, above all, two single-track tunnels between Prague and Beroun at the lengths of about 24km.
- In the long range, the modernisation of the railway line from České Budějovice to Linz (tunnel lengths in variants ranging from 6km to 20km)
- In the long range, the modernisation of the railway line near Ústí nad Labem (tunnel lengths ranging from 3.5km to 6.2km)

Dvoudenní konferenční jednání projektantů, investorů, stavitelů i pracovníků státní správy v oblasti kolejové dopravy se uskutečnilo v Praze 3 v konferenčním sále hotelu Olšanka ve dnech 29. – 30. 11. 2006.

Generálním partnerem konference byla Subterra, a. s., pořadající SŽDC, s. o., a Sudop Praha.

Základní témata konference byla:

- Aktuální priority Českých drah
- Modernizace tranzitních železničních koridorů v ČR (příprava projektů, zkušenosti a realizace)
- Novinky v oblasti železniční a telekomunikační techniky

Význam a rozvoj železniční dopravy v ČR deklaruje dopravní politika ČR na léta 2005 – 2013. V nákladní dopravě je to návrat přeprav hromadných a nadrozměrných nákladů ve středních a dlouhých vzdálenostech. A v osobní dopravě přepravy na střední vzdálenosti a vyšší kvalita pro přepravu na dlouhých tratích.

Mezi třiceti prioritními projekty na železniční evropské síti jsou dva, které se týkají našeho území:

- dokončení 1. železničního koridoru a modernizace železničního uzlu s postupnou modernizací 3. a 4. koridoru;
- dokončení 2. železničního koridoru a železničních uzlů a modernizace tratě Brno – Přerov.

Profinancovat takové náročné cíle je dle vyjádření SFDI tradičně velmi komplikované, potřeba by několikanásobně překročila možnosti. Pro rok 2007 se jeví zatím prostředky pro celostátní a regionální dráhy ve výši 15,7 miliardy Kč, z toho na investice 10,1 miliardy a možnost předfinancování z prostředků EU cca 6 miliard Kč. I pro další budoucnost je nutné

hledání kompromisu mezi potřebou a možností s cílem dobudovat páteřní síť dopravních cest a současně udržet stávající infrastrukturu.

V příspěvcích zaměřených na realizované a připravované stavby byly předneseny zajímavé informace.

Stavbou „**Nové spojení**“ v Praze, jejíž součástí jsou tunely Vítkov, bude odstraněno jedno z nejzávažnějších hrdel omezujících rozvoj železniční dopravy v uzlu Praha. Současně musí následovat řada úprav kritických míst, mimo jiné i rekonstrukce 1. vinohradského tunelu a oprava Negrelliho viaduktu.

V přípravě výstavby **třetího tranzitního koridoru** jsou úseky, které jsou projektovány ve stopě budoucí vysokorychlostní trati mezi Prahou a Plzní. Jedná se o úsek Praha – Beroun a část trati mezi Ejovicemi a Plzní. Pro tunel mezi Ejovicemi a Plzní už byla zvolena varianta dvou jednokolejových tunelů pro rychlost 200 km/hod.

Dokumentaci pro územní řízení na stavbu Praha – Beroun zpracovává společnost Sudop Praha, a. s. Stavba zahrnuje úsek v oblasti Praha – Smíchov a poté Barrandov, vlastní tunel délky cca 24 km, přemostění řeky Berounky a železniční stanici Beroun.

Po zpracování rizikové analýzy, hlavně řešící problematiku průchodu tunelu krasovou oblastí, byla po porovnání vybrána na další zpracování nová varianta vedení trasy. Obdobně bylo variantně řešeno uspořádání příčného profilu tunelu. Vybrán byl úsporný švýcarský profil jednokolejného tunelu o vnitřním poloměru 4,15 m.

Další zajímavou stavbou budoucnosti se jeví **modernizace železniční tratě České Budějovice – Línec**. Projektanti IKP Consulting Engineers, s. r. o., řeší uvedený projekt také ve variantách. K dalšímu podrobnému zpracování byly vybrány:

- varianta C4 se sklonem 12,5 promile – Krumlovsko s 20km tunelovými úseky;
- varianta B také se sklonem max. 12,5 promile – Kaplická s 6km tunelovými úseky.

Kaplická varianta je ekonomicky přijatelnější, ale nenaplnuje cíl zapojení Českého Krumlova do evropské železniční sítě.

Cílem **modernizace tratí Praha – Olomouc u Ústí nad Orlicí** je okamžitě zvýšení rychlosti na 160 km/hod s výhledem 200 km/hod. Účelem zpracované územně-technické studie bylo vytvořit podklad pro začlenění do územního plánu obou variant směrového vedení. Ty zahrnují tunelové úseky, v první variantě je to 3,5 km (cca 30 % délky trasy), ve druhé dokonce 6,2 km, což představuje 60 % délky trasy.

Předpoklad zahájení stavby je rok 2009, do té doby je nutné u projektové dokumentace dořešit jak vedení stavby, tak i typ tunelových staveb včetně technologie ražby.

Výraznou novinkou na konferenci byl **příspěvek Ing. Stečmáského věnující se problematice bezpečnosti dopravy v železničních tunelech**.

I přesto, že železniční doprava obecně dosahuje vyšší míry bezpečnosti oproti dopravě silniční, je nutno této problematice věnovat zvýšenou pozornost, neboť počet železničních tunelů se zvyšuje a ve výhledu jsou další i v délkách dálkových evropských tunelů. Text příspěvku v plném znění je otištěn v minulém čísle časopisu Tunel a je výrazným doplněním prací o bezpečnosti dopravy, kterou na bezkolejových tunelech už několik let koordinují jak tunelářská sekce silniční společnosti, tak sekce při českém komitétu ITA/AITES.

**ING. PETR VOZARIK, vozarik@metrostav.cz, METROSTAV, a. s.**

## SILNIČNÍ KONFERENCE 2006 THE ROAD CONFERENCE 2006

On 17th and 18th October 2006, the city of Liberec became the host of professionals gathered mainly from the Czech Republic, who work in the trackless haulage segment of transportation. The interest in attendance, including all exhibitors, exceeded 900 registrations, which meant a lot of work, but also a great challenge for the organisers.

The initial block of presentations consisted of papers read by employees of the Ministry of Transport, SFDI and the Directorate of Roads and Motorways Prague. They were primarily focused on the strategy of funding for motorways and primary roads. They put stress on the necessity of completing the system of the network of arterial roads at the rates of the past years, i.e. a transport infrastructure share of 1.5% - 2.5% in the GDP.

Another block of presentations, which was dedicated to the condition of the road network and future development, was equally distributed among new construction, as well as maintenance and reconstruction of existing networks.

The final conference block dealt with a very important problem, which is "Road Traffic Safety". One of the papers was the paper by a team headed by Ing. Jiří Svoboda, titled "Fire Safety in the Valík Tunnel – Experience from the Completed Testing".

Město Liberec se stalo ve dnech 17. a 18. října 2006 hostitelem odborníků především z České republiky pracujících v dopravním segmentu nekolejové dopravy. Zájem o účast včetně vystavovatelů přesáhl číslo 900, což bylo pro organizátory velkým soustem, ale i výzvou.

Konference i s doprovodnou výstavou se uskutečnila v kongresovém centru souvisejícím se společenským centrem Babylon. Už tradičně vysoce ceněné setkání pracovníků ministerstva dopravy, investičních a projekčních organizací, dodavatelských firem i provozovatelů naplňuje odbornou i společenskou funkci. Důležitý je komplexní informační tok potřebný pro plán činnosti v dalších obdobích.

Severní Čechy jsou ukázkovou oblastí, kde je nutno řešit velmi složitou problematiku nejen výstavby nových dálnic a silnic ve významných chráněných oblastech, ale i údržby v náročných horských klimatických podmínkách. Proto se konference vedle celorepublikové problematiky zabývala i touto oblastí.

V úvodním bloku se referáty pracovníků ministerstva dopravy, SFDI a ŘSD Praha zaměřily nejvíce na strategii financování dálnic a silnic I. třídy, kde byla konstatována nutnost dobudování páteřní sítě dopravních cest v tempech uplynulých let, tj. v rozmezí 1,5 – 2,5 % podílu dopravní infrastruktury na DPH.

Disponibilní národní finanční zdroje jsou stále hlavní zárukou rozvoje. Ukazuje se naléhavá nutnost snižování zdrojů z privatizace, hledání jiných cest včetně soukromého kapitálu, úvěrů či zdrojů z EU.

V současné době je rozestavěno přes 160 km dálnic s tím, že v roce 2006 bylo uvedeno do provozu na 70 km, z toho i tři významné dálniční tunely – Valík, Panenská a Libouchec.

Pro zajištění výstavby pro léta 2007 a 2008 si Ředitelství silnic a dálnic stanovilo řadu nových úkolů. Vedle stabilních – zajištění přípravy a realizace staveb, správy a údržby komunikací v rozsahu finančních plánů, se jedná hlavně o zavedení a vypracování systému zadávání veřejných zakázek podle novely zákona z července 2006, tj. zavádění jednotného systému dopravních informací pro ČR (JSDI) a organizační zajištění „Projektů zpoplatnění vybraných komunikací v ČR“.

Další tematický blok věnovaný stavu silniční sítě a dalšímu rozvoji je rovnoměrně věnován jak nové výstavbě, tak údržbě a rekonstrukci stávajících sítí. Pro naše čtenáře je jistě nejvíce zajímavé, že vedle rozestavěných staveb, jako jsou D47 mezi Lipníkem a Bohumínem s tunelem Klimkovice, D1 Kojetín – Kroměříž a D3 Mezno – Chotoviny, budou zahájeny nové stavby. Jedná se o stavby D1 Mořice – Kojetín, D3 N. Hospoda – Mezno, D8 Lovosice – Řehlovice s tunely Prackovice a Radejčín, D11 úsek u Hradce Králové a D47 v příhraničním úseku.

Na rychlostnější stavby na okruhu Prahy: Vestec – Lahovice a Lahovice – Slivenec s dlouhými tunely dálničního typu.

Česká republika jako členský stát EU má možnost čerpat podporu z fondů na investice do dopravní infrastruktury. V současné době je to podpora z Fondu soudržnosti i z předvstupního fondu ISPA. Celkový objem finanční podpory činí 9,2 miliardy Kč a největší spolufinancovanou stavbou je silniční okruh kolem Prahy R1 úsek 514 Lahovice – Slivenec.

Rok 2006 byl také bohatý na nově přijaté právní předpisy, které ovlivní i přípravu staveb. Jedná se především o:

- zákon č. 137/2006 Sb. o veřejných zakázkách;
- stavební zákon č. 183/2006 Sb.

Závěrečný blok konference se věnoval velmi významnému tématu: „Bezpečnost silničního provozu“. Do této problematiky dobře zapadl příspěvek kolektivu pod vedením Ing. Jiřího Svobody nazvaný „Požární bezpečnost v tunelu Valík – zkušenosti z provedených zkoušek“. Před zahájením provozu v tunelu Valík bylo nutné zorganizovat taktické cvičení složek integrovaného záchranného systému (IZS) a ostrý zkušební požár. Toto se provedlo ve dvou etapách; zkušební požár v tunelu před hlavní montáží technologie a zkouškou IZS po namontování technologie.

Sborník konference je už tradičně dobře vybaven adresáři správců pozemních komunikací, správy a údržby silnic podle krajů, ale i správních úřadů krajů, členů České silniční společnosti a Českomoravské asociace dopravního značení.

**ING. PETR VOZARIK, vozarik@metrostav.cz, METROSTAV, a. s.**



**FOTOREPORTÁŽ Z DOKONČENÍ A UVEDENÍ DO PROVOZU ÚSEKU DÁLNIČE D8 OD TRMIC U ÚSTÍ NAD LABEM K STÁTNÍ HRANICI S NĚMECKEM (VČETNĚ TUNELŮ PANENSKÁ A LIBOUCHEC)**

**PICTURE REPORT ON THE COMPLETION AND INAUGURATION OF THE D8 MOTORWAY SECTION FROM TRMICE NEAR ÚSTÍ NAD LABEM TO THE BORDER WITH GERMANY (INCLUDING THE PANENSKÁ AND LIBOUCHEC TUNNELS)**



*Obr. 1 Pohled na jižní portál tunelu Libouchec  
Fig. 1 A view of the southern portal of the Libouchec tunnel*



*Obr. 2 Jižní portál tunelu Libouchec  
Fig. 2 The southern portal of the Libouchec tunnel*



*Obr. 3 Galerie u severního portálu tunelu Libouchec  
Fig. 3 The gallery at the northern portal of the Libouchec tunnel*



*Obr. 4 Terénní úpravy u severního portálu tunelu Libouchec  
Fig. 4 Terrain finishes at the northern portal of the Libouchec tunnel*



*Obr. 5 Nouzový zářív v tunelu Panenská  
Fig. 5 An emergency stand-by in the Panenská tunnel*



*Obr. 6 Dokončovací práce u severního portálu tunelu Panenská  
Fig. 6 Finishing work at the northern portal of the Panenská tunnel*



*Obr. 7 Přestřížení pásky při uvedení úseku dálnice D8 do provozu  
Fig. 7 Cutting the tape at the ceremony of opening the D8 motorway section to traffic*



*Obr. 8 Řídicí středisko ŘSD v Řehlovicích  
Fig. 8 The Directorate of Roads and Motorways' management centre in Řehlovice*

## AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICĚ CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION

### ČESKÁ REPUBLIKA (STAV K 18. 1. 2007)

#### METRO IVC2

Ražené tunely trasy byly již stavebně dokončeny. V jednotlivých oddílech trasy probíhají práce na dokončování pokládky kolejového svršku i činnosti potřebné pro osazování zařízení i rozvodů provozní technologické vybavenosti.

#### NOVÉ SPOJENÍ – VÍTKOVSKÉ TUNELY

V obou tubusech tunelů pro železniční spojení vedoucích pod vrchem Vítkov se v současné době naplno provádí betonáž definitivního ostění. Konstrukce horní klenby je betonována po úsecích 12,38 m dlouhých. Zatímco definitivní monolitické ostění v severním tunelu je firmou Subterra, a. s., prováděno od západního portálu k východnímu, Metrostav a. s. postupuje v jižním tunelu v opačném směru. Postupně se také buduje bednění a betonáže atypických průřezů napínacích komor trakce. Na obou portálech probíhají betonáže železobetonových konstrukcí tubusů v hloubených částech.

#### TUNEL PANENSKÁ A TUNEL LIBOUCHEC

Oba tunely s přílehlými částmi dálnice D8 od hranice s Němecem až do Trmic v délce 22,930 km byly uvedeny do provozu 21. prosince 2006. Součástí slavnostního otevření úseku dálnice na české i německé straně bylo přestřížení pásky na hraničním mostě čelnými představiteli obou sousedících států. Fotoreportáž ze zprovoznění s obrázky z obou tunelů a krátkým komentářem je otisknuta na samostatné stránce.

#### TUNEL KLIMKOVICE

Dne 13. prosince 2006 byla dokončena betonáž horní klenby definitivního ostění tunelu B a následně 15. prosince pak i v tunelu A. V současné době se provádějí injektáže vrchlíků kleneb za monolitickým ostěním. Z ostravské strany se začaly provádět nátěry horní části kleneb tunelu B. Pokračují práce na montáži kabelovodů, provádění šterbinových žlabů i pokládky obrubníků v obou tunelech. Na brněnském portálu probíhá zasypávání hloubených úseků a úpravy přílehlých svahů.

#### TUNEL BŘEZNO

Poslední sekce definitivního monolitického ostění železničního tunelu Březno byla dobetonována 15. ledna 2007. Byla zahájena intenzivní činnost na definitivní železobetonové konstrukci únikového východu v šachtě umístěné přibližně v polovině 1758 m dlouhého tunelu. Ve vlastním tunelu pak probíhají v proudu práce na nátěrech klenby, na kabelovodech, na oboustranných chodnicích i pokládky kolejového spodku i svršku.

#### TUNEL STAVBY 514

Na stavbě tunelu stavby 514 Pražského okruhu v úseku mezi Lochkovem a Radotínem jsou razící práce již plněm proudem. V září 2006 zahájila akciová společnost Hochtief CZ zemní práce na portálové jámě v blízkosti Lochkova. Z 380 m dlouhé jámy o objemu 310 000 m<sup>3</sup> byl přednostně vyhlouben úsek u portálové stěny obou tubusů tunelu. Ražba úpadního dvoupruhového tunelu byla slavnostně zahájena 4. prosince 2006. Přestože geologické poměry byly zastíženy složitější, než byl původní předpoklad, je ke dni sepsání aktuality vyraženo již přes 80 m přístropí (kaloty) tunelu. Zahájení ražeb sousedního třípruhového tunelu (v něm je v celé délce vyražena průzkumná štola) je plánováno od poloviny února 2007.

Na protilehlém radotínském portálu je již proveden ochranný „deštník“ nad budoucí klenbou dvoupruhového tunelu. V souběhu s úpravami této portálové stěny pokračuje odtěžování horniny do fáze vhodné pro budování přílehlé mostní opěry estakády přes údolí Berounky a Vltavy.

#### KOLEKTOR VODIČKOVA

Jedná se o úsek, který mezi Václavským a Karlovým náměstím doplnil systém kolektorů v centru Prahy. Po deseti měsících od

### THE CZECH REPUBLIC (AS OF 18 JANUARY 2007)

#### METRO IVC2

The civil works on the mined tunnels of this operating section have been completed. Trackbed is being laid and other activities required for installation of equipment and distribution networks are underway in individual construction lots.

#### THE NEW CONNECTION – THE VÍTKOV TUNNELS

Casting of the final lining is in full swing in both tubes of the railway tunnels running under Vítkov Hill. The upper vault structure is cast in 12.38m-long blocks. While Subterra a.s. final cast-in-situ concrete lining operations are advancing in the northern tube from the western portal to the eastern one, Metrostav a.s. proceeds through the southern tunnel tube in the opposite direction. The final lining with atypical cross sections existing in the traction tensioning chambers is also being gradually moulded and cast. The casting of reinforced concrete structures of the cut-and-cover tunnels is in progress at both portals.

#### THE PANENSKÁ TUNNEL AND LIBOUCHEC TUNNEL

Both tunnels with the adjacent sections of the D8 motorway from the border with Germany to Trmice, at the length of 22.930km, were opened to traffic on 21 December 2006. Part of the ceremonial opening of the motorway sections on the Czech and German sides was cutting of a tape across the border bridge by leaders of both neighbouring states. The picture report on the inauguration with photos of both tunnels is presented on a separate page.

#### THE KLIMKOVICE TUNNEL

The casting of the upper vault of the final lining of the tunnel B was finished on 13 December 2006; subsequently it was finished in the tunnel A. Grouting operations are underway in the crown, where grout is injected behind the cast-in-situ lining. From the Ostrava side, the coating of the upper part of vaults started in the tube B. The installation of cableways, slot drainage ducts and placement of kerbs continue in both tunnels. The cut-and-cover structures are being backfilled and the adjacent slopes treated at the Brno portal.

#### THE BŘEZNO TUNNEL

The last block of the cast-in-situ lining of the Březno railway tunnel was cast on 15 January 2007. Intensive work started on the final reinforced concrete lining of the escape exit through the shaft located approximately in the middle of the 1758m-long tunnel. The work, which is being carried out in the tunnel itself consists of coating of the vault, cableways, double-sided walkways and laying of trackbed and rails.

#### THE TUNNEL IN THE CONSTRUCTION LOT 514

The excavation of the tunnel in the construction lot 514 of the Prague City Ring Road section between Lochkov and Radotín is in full swing. Hochtief CZ joint-stock company started the excavation of the construction trench for the portal near Lochkov in September 2006. A section at the portal wall of both tunnel tubes was excavated as a priority of the excavation of the 380m-long trench with the volume of 310 000 m<sup>3</sup>. The downhill excavation of the double-lane tunnel started by a celebration on 4th December 2006. Despite the fact that the geology encountered was worse than originally anticipated, a length of over 80m of the top heading has been completed (till the day of writing this news). The commencement of the excavation of the neighbouring three-lane tunnel tube is scheduled for the half of February 2007 (an exploratory gallery set within the tunnel cross section was driven throughout the tunnel length in advance).

The protective umbrella above the future vault of the double-lane tunnel tube has been completed on the opposite Radotín portal. Excavation for the construction of the abutment of the adjacent viaduct over the Berounka and Vltava rivers continues concurrently with the work on this portal wall.

proražení 1288 metrů dlouhého důlního díla bylo dokončeno také definitivní ostění kolektoru. Posledním objektem, kde ještě v současné době probíhají zemní a stavební práce, je hloubení 11 metrů hluboké šachty spolu s celkovou rekonstrukcí kabelové komory v místě napojení kolektoru na kabelovod 02 v Žitné ulici.

ING. PAVEL POLÁK, [polak@metrostav.cz](mailto:polak@metrostav.cz)  
ŠTĚPÁN SEDLÁČEK, [s.sedlacek@volny.cz](mailto:s.sedlacek@volny.cz)

## SLOVENSKÁ REPUBLIKA

### TUNEL SITINA

Na prelome rokov 2006 a 2007 sa stavba tunela Sitina na bratislavskom úseku diaľnice D2 Lamačská cesta – Staré grunty nachádza vo finálnom štádiu. V najbližších mesiacoch prebehnú v tuneli posledné dokončovacie stavebné práce ako osadzovanie poklopov na kabelové šachty, zálievka škár v chodníkoch, čistenie ostenia tunela pred definitívnymi nátermi, vodorovné dopravné značenie a penetrácia krytu cementobetónovej vozovky. Všetky tieto práce by mali byť ukončené do 31. marca 2007. Čo sa týka prác na technologickom vybavení, prebieha montáž rádiového systému, na stavbu boli dodané dieselgenerátory a bude sa realizovať ich zapájanie. Pri systémoch, ktoré sú už skompletizované (trafostanice, osvetlenia atď.), prebiehajú funkčné skúšky a vyladovanie systému. Uvedenie tunela Sitina do prevádzky je plánované v polovici roku 2007.



Obr. 1 Tunel Sitina pred ukončením  
Fig. 1 The Sitina tunnel before completion

### TUNEL BÔRIK

Stavba diaľničného tunela Bôrik dĺžky takmer 1 km na úseku diaľnice D1 Mengusovce – Jánovce sa na jeseň 2006 začala razením pilierových štôlní od oboch portálov. Začiatkom januára 2007 je vyrazená štôlna v dĺžke 60 m od východného portálu, pričom práve prebieha betonáž pilieru a príprava na následné razenie tunelových rúr, ktoré by malo začať v priebehu marca. Od západného portálu je zatiaľ vyrazených viac ako 20 m z celkovej dĺžky pilierovej štôlne 120 m. Predpokladaný termín ukončenia stavby a jej uvedenia do prevádzky je v roku 2009.

### ŠTÔLŇA POĽANA

Razenie prieskumnej štôlne Poľana na úseku diaľnice D3 Svrčinovec – Skalité začalo v jesenných mesiacoch predošlého roku. K záveru roka je vyrazených cca 70 m z celkovej dĺžky 840 m štôlne, pričom razenie prebieha v súčasnosti v zložitej tektonickej poruche. Štôlna je razená od portálu Rieka v profile severnej tunelovej rúry a po prerazení bude stavebne upravená na funkciu únikovej cesty pre južnú tunelovú rúru. Tunel Poľana bude v prvej etape vybudovaný s jednou tunelovou rúrou pre obojsmernú premávku, pričom jeho výstavba by mala začať v roku 2008.

ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,  
[frankovsky@terraprojekt.sk](mailto:frankovsky@terraprojekt.sk) (STA)

## THE VODIČKOVA UTILITY TUNNEL

The section in question is the section which was added to the system of utility tunnels in the centre of Prague, between the Wenceslas Square and Charles Square. The final lining was completed ten months after the 1288m-long tunnel breakthrough. The last structure where excavation and construction operations are still in progress is the 11m-deep shaft and the cable chamber at the connection to the Cable Tunnel 02 in Žitná Street, which is being completely reconstructed.

ING. PAVEL POLÁK, [polak@metrostav.cz](mailto:polak@metrostav.cz)  
ŠTĚPÁN SEDLÁČEK, [s.sedlacek@volny.cz](mailto:s.sedlacek@volny.cz)

## THE SLOVAK REPUBLIC

### THE SITINA TUNNEL

At the beginning of 2007, the Sitina tunnel construction on the Bratislava section of the D2 motorway Lamačská cesta – Staré grunty is in the final construction stage. Finishing work consisting, for example, of placement of covers on cable shafts, filling of joints in walkways, cleaning of the tunnel lining before final coating, road markings and application of a priming coat to the concrete roadway surface, will be carried out in the closest months. All work should be completed by 31 March 2007. Regarding the work on the tunnel equipment, the wireless communication system installation is in progress, diesel generating sets were supplied to the site and will be installed. Operational tests and tuning of the systems which have already been completed (transformer stations, lighting etc.) are being carried out. The opening of the Sitina tunnel to traffic is scheduled for the middle of 2007.

### THE BÔRIK TUNNEL

The construction of the nearly 1km-long Bôrik motorway tunnel on the Mengusovce-Jánovce section of the D1 motorway started in the Autumn 2006 by excavation of pillar galleries from both portals. As of the beginning of January, the excavation of the gallery from the eastern portal has advanced 60m, while the casting of the pillar and preparation for the subsequent excavation of the tunnel tubes, which should start in March, are underway. Over 20m of the total length of the pillar gallery of 120m has been driven from the western portal. The anticipated term of the construction completion and opening to traffic is the year 2006.



Obr. 2 Práce na západnom portáli tunela Bôrik  
Fig. 2 The west portal of the Bôrik tunnel

### THE POĽANA GALLERY

The excavation of the exploration gallery Poľana in the Svrčinovec – Skalité section of the D3 motorway started in the Autumn 2006. As of the end of the year, a length of about 70m of the total length of the gallery excavation has been completed, while the excavation is currently passing through a difficult faulting zone. The gallery is driven from the Rieka portal; its profile is set in the cross section of the northern tunnel tube. When it is completed, it will be equipped to be suitable for utilisation as an escape route for the southern tunnel tube. The Poľana tunnel will have only one tube for bi-directional traffic in the initial stage; the construction should start in 2008.

ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,  
[frankovsky@terraprojekt.sk](mailto:frankovsky@terraprojekt.sk) (STA)

## ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU ITA/AITES CZECH TUNNELLING COMMITTEE ITA/AITES REPORTS

www.ita-aites.cz

### INFORMACE O PŘÍPRAVĚ WTC 2007

Vážení čtenáři!

Tento výtisk časopisu TUNEL se vám dostává do rukou v době, kdy do zahájení kongresu WTC 2007 Prague zbývá již jen o něco více než měsíc. Jménem celého organizačního výboru i vědecké rady kongresu vás můžeme ujistit, že bylo učiněno vše pro jeho zdárný průběh. Samozřejmě že nyní, kdy má tato mnohaletá práce přinést konkrétní výsledky, nečekáme „s rukama v klíně“ na to, jak vše dopadne, ale stále pečlivě sledujeme přípravy jak odborné, tak i společenské části. Při tak velké akci, na jejíž organizaci se podílejí desítky osob a účastnit se jí budou stovky špičkových odborníků vedle nemalého počtu těch, kteří sem přicházejí teprve sbírat poznatky a zkušenosti, nutně nastávají a budou nastávat krizové situace, ať již zaviněné „vyšší mocí“, nebo lidským faktorem. A pokud se nám je podaří úspěšně vyřešit, teprve to bude potvrzením toho, že vše bylo dobře připraveno a zvládnuto.

Většina z vás, kteří se chcete kongresu zúčastnit, je již pravděpodobně přihlášená – včasná přihláška je výhodná pro obě strany, poněvadž účastníkům šetří finanční prostředky a organizátorům pomáhá v zajišťování kvalitních služeb. Pro ty, kteří ještě přihlášení nejste, stručně zrekapitulujeme, co všechno vám bude nabídnuto, a to jak po stránce odborné, tak i kulturní a společenské. Samozřejmě i když se přihlásíte až „na poslední chvíli“, dokonce již v průběhu kongresu, stáváte se okamžitě plnoprávními účastníky a obdržíte všechny materiály, stejně jako ti, kteří se přihlásili mnohem dříve. Jisté výhody ze včasného přihlášení však vyplývají, jak je patrné z dále uvedených informací o společenských akcích. Znovu opakujeme, že na webových stránkách kongresu <http://www.wtc2007.org/showdoc.do?docid=4> naleznete nejuplněnější a nejaktuálnější informace o všem, co by vás mohlo zajímat a co byste měli vědět. Vyjímáme z nich to hlavní – ovšem v časovém horizontu vzniku tohoto článku, tedy koncem ledna 2007.

#### Odborná část:

- do nakladatelství BALKEMA bylo odesláno 316 akceptovaných příspěvků. Pečlivé kontroly jak ze strany členů vědecké rady, tak ze strany pracovníků nakladatelství by měly zaručit, že se všechny objeví v kongresovém sborníku. Pokud by nastal zcela výjimečný případ a nakladatelství by některý příspěvek nepřijalo, můžeme vás ujistit, že z naší strany bylo vynaloženo veškeré úsilí, aby veškeré důvody nepřijetí byly eliminovány. Seznam zveřejněných příspěvků naleznete jako přílohu tohoto čísla TUNELU, na zmíněných webových stránkách a také ve finálním bulletinu, který začneme expedovat koncem března 2007. Těm z vás, kteří sledují rozsah a průběh předěšlých WTC, je jisté zřejmé, že tak velké množství příspěvků dosud na žádném z nich zveřejněno nebylo;
- více než jedna třetina z přijatých příspěvků byla vědeckou radou a členy International Advisory Committee doporučena k ústní prezentaci. Aby se mohlo tolik přednášek uskutečnit a přednášející nebyli příliš stresováni nepřiměřeně krátkým časem, budou prezentace probíhat ve 4 sálech současně. Jsme přesvědčeni, že to přispěje k lepšímu kontaktu mezi přednášejícími a auditoriem a umožní rozvinout zajímavou diskusi;
- v největším sále Kongresového centra Praha, které je hlavním dějištěm kongresu a může pojmout téměř 3000 posluchačů, proběhnou přednášky Keynote Lecture (navazují bezprostředně na Opening Ceremony) a přednášky Open Session (zařazené na dopoledne druhého dne kongresu). Přitom nebudou probíhat žádné jiné odborné akce, aby tyto klíčové referáty mohli vyslechnout všichni zájemci a neztratili přitom možnost účastnit se zasedání odborných sekcí, working groups či jiných důležitých aktivit kongresu;
- ještě před zahájením kongresu, v pátek a v sobotu 4. a 5. května, se bude v prostorách Českého vysokého učení technického v Praze konat vzdělávací workshop pro mladé odborníky, na kterém budou přednášet špičkoví odborníci z celého světa;

### INFORMATION ON THE WTC 2007 PREPARATION

Dear readers!

This issue of TUNEL magazine has got to your hand at the time when only slightly more than a month remains to the commencement of the WTC 2007 congress in Prague. We can assure you on behalf of the Congress Organising Committee and the Scientific Council that everything has been done for the successful course of the event. Naturally, today, whilst we look forward to the fruits of long years of effort, we are not sitting idly by twiddling our thumbs and waiting to see how the things will turn out. We are thoroughly following the preparations both of the technical and social parts. Such a great event, the organisation of which is a result of collaboration of tens of persons and which will be attended by hundreds of top-ranking professionals together with a great number of people who will come with the aim of gathering knowledge and experience, will certainly encounter critical situations, no matter weather due to force majeure or a human factor. A proof that everything was well prepared and managed will be provided only after we successfully solve all of them.

The majority of you who are going to attend the Congress have probably been registered. Timely registration is beneficial for both parties because it saves the attendees' money and helps the organisers in providing quality services. For those who have not been registered yet, we briefly recapitulate below what you will be offered, both from the professional and cultural and social points of view. Of course, even if you fill the registration form 'at the last moment', or during the Congress, you will immediately become a fully-fledged participant and you will receive all materials as those who were registered much earlier. However, there are certain benefits attached to timely registration, as you can find in the information on the social events below. We are again repeating that the Congress web page <http://www.wtc2007.org/showdoc.do?docid=4> contain the complete updated information about everything you could be interested in and you should know. We have extracted the main items, although in the time horizon of origination of this article, i.e. the end of January 2007.

#### The technical part:

- A total of 316 accepted papers were sent to BALKEMA publishers. Thorough checks carried out by members of the Scientific Council and publisher's employees should guarantee that all of them will be contained in the Congress Proceedings. Should the publisher, absolutely exceptionally, reject a paper, be assured that all efforts have been made by ourselves to eliminate the reasons for the rejection. The list of the published papers is available in the enclosure to this issue of TUNEL magazine, on the above mentioned web pages, and also in the Final Bulletin, which will be dispatched from the end of March 2007. Those of you who follow the scope and course of the previous WTCs have certainly noticed that so large numbers of papers have never been published at none of them;
- Over one third of the accepted papers were recommended by the Scientific Council and members of the International Advisory Committee for oral presentation. The papers will be read concurrently in four rooms so that the authors are not overstressed due to an inadequately short time. We are convinced that this measure will contribute to better contacts between the lecturer and the audience, and will allow interesting discussions to develop.
- The Keynote Lectures, following immediately after the Opening Ceremony, and the Opening Sessions, which are scheduled for the afternoon of the second day of the Congress, will be delivered in the largest hall of the Prague Congress Centre, which is the main scene of the Congress, capable of admitting an audience of nearly 3000. No other technical events will take place during the Keynote Lectures and Opening Sessions so that all of those interested in attending them do not lose the opportunity to participate in the sessions of technical sections, working groups or other important Congress activities;



- meetingy, pořádané ITA/AITES, včetně zasedání General Assembly a Executive Council, jsou tak jako vždy nedílnou součástí WTC. Jelikož v Praze proběhnou volby nových členů větší části ExCo, včetně nového Prezidenta ITA/AITES, očekáváme zvýšenou účast zástupců národních komitétů i přidružených členů (Member Nations and Affiliate Members);
- odborné exkurze po ukončení zasedání kongresu ve čtvrtek 10. května nabídnou zájemcům návštěvu nejzajímavějších podzemních staveb v Praze a jejím okolí za doprovodu odborníků, kteří se podíleli na jejich přípravě a realizaci a jsou schopni poskytnout nejkvalitnější informace;
- v prostorách výstavy, na kterou jsou přihlášeny desítky světových i českých a slovenských firem majících vztah k tématu kongresu, bude vystavovatelům poskytnuta i možnost dalších prezentací ve zvláštním, pro tyto účely vyhrazeném prostoru vybaveném audiovizuálním zařízením;
- posterové prezentace umístěné v samostatném sále umožní všem zájemcům, včetně autorů těch příspěvků, které nebyly vybrány k ústnímu přednesení, nerušenou diskuzi nad jejich projekty.

Připomínáme, že jednacím jazykem kongresu je pouze angličtina (na jednáních ITA/AITES v souladu se stanovami také francouzština), ale všechny přednášky budou simultánně tlumočeny do češtiny/slovenštiny, němčiny a ruštiny.

#### Organizační informace:

- registrační formuláře jsou přístupné na webových stránkách; **výhradně** jejich prostřednictvím se lze hlásit na všechny akce jak odborné, tak kulturní a společenské. Pokyny pro postup vyplnění základního registračního formuláře jsou kromě angličtiny také v češtině a ruštině;
- v průběhu všech zasedání, od soboty 5. května až do středy 9. května, je v Kongresovém centru zajištěno občerstvení účastníků podáváním nealkoholických nápojů a zákusků během coffee-breaků (dopoledne i odpoledne) a obědů v samoobslužné restauraci Kongresového centra každý den od 13 do 15 hodin;
- vlastní zahájení kongresu je plánováno na 9. hodinu v pondělí 7. května v hlavním kongresovém sále. Jak je na WTC tradicí, Opening Ceremony bude syntézou uměleckého a propagačního představení pořadatelského státu, města a národního komitétu;
- závěr (Closing Ceremony) proběhne ve stejném sále 9. května od 17 do 18 hodin;
- dopravu do Prahy, ubytování i dopravu v průběhu kongresu na požádání zajistí nebo zprostředkují pověřené agentury; kontakty na ně naleznete na výše uvedeném webu;
- tyto agentury zajišťují rovněž všechny exkurze i postkongresové cesty a další společenské a kulturní akce, uvedené v dalším přehledu.

#### Společenské a kulturní akce:

- *WTC Welcome reception* v neděli 6. května od 20 hod. v Obecním domě města Prahy pro všechny registrované účastníky a doprovodné

- Just before the Congress opening, on Friday 4th May and Saturday 5th May, a training workshop for young professionals will be held at the Czech Technical University in Prague, where utmost experts from the whole world will present their lectures;
- The meetings organised by the ITA/AITES, including the General Assembly and the Executive Council, will be inseparable parts of the Congress as usual. Because the election of the major part of the new ExCo members, including the new President of ITA/AITES, will take place in Prague, we expect increased attendance of representatives of Member Nations and Affiliate Members;
- Technical excursions after the end of the Congress sessions, on Thursday 10th May, will offer those who are interested visits to the most interesting underground construction sites in Prague and its vicinity, which will be attended by the technicians who participated in the preparation and construction and are capable of providing the best quality information;
- The participants in the exhibition, for which tens of worldwide as well as Czech and Slovak companies relating to the Congress theme are registered, will have the opportunity to give additional presentations in a dedicated room provided with audiovisual equipment, which will be set aside in the premises of the Exhibition;
- Poster presentations installed in a separate room will allow all those who are interested, including authors of the papers which were not selected for oral presentation, to discuss their projects.

We would like to note that the Congress language of communication is solely English (at the ITA/AITES meetings also French, according to the Statute), but all presentations will be simultaneously interpreted in Czech/Slovak, German and Russian.

#### Organisational information:

- Registration forms are available on the web pages; all applications for registration for all of the events, both technical and cultural or social, may be made **solely** through the web pages. The instructions for filling of the basic registration form are available not only in English, but also in Czech and Russian.
- In the course of all sessions, from Saturday the 5th May to Wednesday the 9th May, refreshments will be available for the attendees at the Congress Centre, in the form of beverages and snacks during morning and afternoon coffee-breaks and lunches in the self-service restaurant of the Congress Centre, daily from 13.00 to 15.00 hours.
- The commencement of the Congress is planned for 9.00 a.m., Monday the 7th May, in the main congress hall. As traditional at WTCs, the Opening Ceremony will be a synthesis of artistic and promotional presentations of the host nation, the city and the national committee.
- The Closing Ceremony will take place in the same hall on 9th May, from 17.00 to 18.00 hours.
- The transport to Prague, accommodation and transport during the Congress will be provided or mediated by authorised agencies on request; the contacts are available on the above-mentioned web sites
- Those agencies will also provide services regarding all excursions and post-congress excursions, as well as other social and cultural events contained in the summary below.

#### Social and Cultural Events:

- Sunday the 6th May from 20.00 hours – the *WTC Welcome reception* at Obecní Dům for all registered attendees and accompanying persons. We would like to recommend the participants that they get acquainted with this sight through web. It is a unique Art Nouveau building from the beginning of the 20th century, with upgraded equipment but the civils part perfectly preserved in the original form. The halls can admit up to 5000 persons.
- Monday the 7th May from 20.00 hours – the *concert of the Czech Philharmonic Orchestra* at Rudolfinum, which is another

osoby. Doporučujeme seznámit se předem s touto lokalitou prostřednictvím webu – jedná se o unikátní secesní stavbu z počátku 20. století, technologicky zmodernizovanou, avšak stavebně dokonale zachovanou v původní podobě, jejíž sály pojmu až 5000 osob;

- *koncert České filharmonie* v pondělí 7. května od 20 hodin se koná v jiné pražské významné budově, postavené ve 2. polovině 19. století a pojmenované po tehdejšímu korunním princí rakousko-uherské monarchie Rudolfovi. Její koncertní sál svými akustickými charakteristikami patří mezi světovou špičku. Upozorňujeme, že ač vstupenky jsou pro řádně registrované účastníky a jejich doprovod zdarma, omezená kapacita sálu (kolem 900 osob) pravděpodobně neuspokojí všechny zájemce. Vstupenky tudíž budou přidělovány podle pořadí, v jakém se účastníci budou hlásit a uhrazovat registrační fee;
- v úterý 8. května jsou nabízeny *různé zábavní akce*, které si zájemci musí hradit zvlášť. Přihlašovat se mohou prostřednictvím registračního formuláře, v některých případech pak i v průběhu kongresu u zvláštního stánku pověřených agentur v prostorách registrace;
- *Gala Dinner na Pražském hradě* se bude konat 9. května od 20 hodin v nejreprezentativnějších prostorách Prahy, používaných prezidentem republiky a vrcholovými státními orgány k recepčním a dalším společenským akcím nejvyššího významu. Objednává se opět prostřednictvím registračního formuláře za zvláštní poplatek; počet účastníků je rovněž omezen kapacitou sálů;
- *postkongresové cesty* se uskuteční ve dnech 11. – 14. května a nabízíme 4 okruhy po Čechách, Slovensku a příhraničních oblastech Německa a Rakouska. Podrobnosti a ceny najdete na webu <http://www.wtc2007.org/showdoc.do?docid=1495>.

Tato informace je v TUNELU č. 1/2007 poslední před kongresem. Následující číslo 2/2007 již bude obsahovat jeho zhodnocení. Pevně věříme, že budeme moci konstatovat, že se WTC 2007 Prague čestně zapsal do řady úspěšných světových tunelářských kongresů ITA – AITES.

*Prof. Jiří Barták, DrSc., předseda vědecké rady WTC 2007*  
*Ing. Georgij Romancov, CSc.,*  
*předseda organizačního výboru WTC 2007*

important Prague building. It was built in the second half of the 19th century and was named after Rudolph, at that time the Crown Prince of the Austro-Hungarian monarchy. Its concert hall belongs among world's best concert halls in terms of acoustic properties. We would like to note that even though the tickets will be free for all registered attendants and accompanying persons, the limited capacity of the hall (about 900 persons) will probably be insufficient for all of the interested persons. Tickets will, therefore, be issued on the first come (first registered and paid the fee), first served basis.

- *Tuesday the 8th May* – there are *various entertainment events* on offer, which must be paid for by the interested persons separately. Registrations can be made using the Registration Form or, in some cases, even in the course of the Congress, at a dedicated stand of authorised services in the registration room.
- *The Gala Dinner at Prague Castle* will be held on 9th May from 20.00 hours on the ceremonial premises used by the President of the Czech Republic and top state authorities for receptions and other highest priority social events. Registrations are also made through the Registration Form, for an extra fee; the number of attendees is again limited by the capacity of the rooms.
- *Post-Congress tours* will be conducted on 11th – 14th May; we offer four rounds: around the Czech Republic, Slovakia and areas in Germany and Austria close to the borders. Please see the web page at <http://www.wtc2007.org/showdoc.do?docid=1495> for full details.

This information in TUNEL No. 1/2007 is the last information before the Congress. The next magazine issue, 2/2007, will contain an assessment of the Congress. We firmly believe that we will be able to state that the WTC 2007 in Prague has gone down in history as one of the successful ITA – AITES World Tunnel Congresses.

*Prof. Jiří Barták, DrSc., Chairman*  
*of the WTC 2007 Scientific Council*  
*Ing. Georgij Romancov, CSc., Chairman of the WTC 2007*  
*Organising Committee*

## ŽIVOTNÍ VÝROČÍ / ANNIVERSARIES



### OSMDESÁT LET ING. KARLA ZÁVORY

Kdybychom mezi svými kolegy hledali osobu, která je v našem oboru nejdéle a trvale činná, Ing. Karel Závora by nepochybně patřil k nejvážnějším aspirantům na jedno z předních míst. Od roku 1951, kdy úspěšně absolvoval Fakultu inženýrského stavitelství ČVUT, až do letošního roku, ve kterém 20. dubna oslaví úctyhodnou osmdesátku, nepřetržitě projektuje, konzultuje, publikuje a vychovává mladé odborníky.

Jeho profesní dráha byla přitom velmi přímočará a sledovala v podstatě jediný cíl: být na špici svého oboru, být „u toho“, kde se připravuje a realizuje něco nového, vidět výsledky své práce, která se pro něj velmi brzy stala koníčkem. Dnes je už jedním z mála odborníků – tunelářů, kteří o sobě mohou prohlásit, že prošli téměř všemi epochami našeho oboru. Začínal rekonstrukcemi železničních tunelů, které byly stavěny ještě klasickými tunelářskými metodami

### ING. KAREL ZÁVORA CELEBRATES HIS 80TH BIRTHDAY

If we tried to search among our friends for a person who is longest and without interruption active in our profession, Ing. Karel Závora would undoubtedly belong among the strongest candidates for one of the leading positions. He has continually worked in the field of designing, consultancy, publishing and educating young professionals since 1951, which was the year of his successful graduation from the Czech Technical University in Prague, the Faculty of Civil Engineering, till this year, in which, on 20 April, he will celebrate the respectable 80th birthday.

His professional career was quite straightforward. He has followed virtually a single target: to be at the head of his profession, to be wherever something new is being prepared and implemented, to see the results of his work, which became very soon his hobby. He is one of the few professionals – tunnellers who can say that they have passed through nearly all periods of our industry. He started by reconstruction of railway tunnels which had been

a technologie výstavby se opírala především o zkušenosti starých barabů. To byla doba, kdy u nás tato profese téměř vymizela, v podzemí se hlavně těžilo a zejména v Čechách se nové tunely až na pár výjimek téměř nestavěly. Je příznačné, že i na těch několika málo stavbách (např. tunel pod Bílou skálou v Praze) kde pracoval, získal zkušenosti, které se následně ukázaly jako rozhodující při určení jeho další životní dráhy.

Když se v Praze začalo v roce 1967 stavět metro, byl Ing. Závora již uznávaným odborníkem. Jak se říká, „šťěstlí přeje připraveným“ a on skutečně připraven byl. Ač to bylo velmi náročné, po odborné stránce vysoce přesáhl úroveň, která byla v tu dobu u nás standardem, a to jej jako vedoucího projektanta Státního ústavu dopravního projektování předurčilo k vedení skupiny tunelářů, která musela v rekordním čase zvládnout nové metody projektování i výstavby. Lze bez nadsázky prohlásit, že v této funkci a později jako hlavní specialista nově zřízeného projektového ústavu DP-METROPROJEKT se podepsal na většině ražených tunelů a stanic prvních úseků tras metra. O tom, že tato jeho práce byla korunována mimořádným úspěchem, snad nikdo nepochybuje. Ale nejen to. Když pod jeho vedením vyrostla celá plejáda obdobných nadšenců, jako byl on sám, začal se ještě intenzivněji věnovat shromažďování zkušeností z celého světa a prosazovat je do projektové i realizační činnosti svých kolegů a podřízených. Také díky jemu se proto pražské metro stalo „stavbou století“.

Ani s odchodem do důchodu na počátku devadesátých let ve svém odborném růstu nikterak nepolevil. Stále je ho vidět tam, kde se v podzemí děje něco nového, neúnavně pomáhá všude, kde se jeho zkušenosti a vliv mohou uplatnit. Mýlil by se však ten, kdo by ho považoval za „suchara“, který nezná nic než svoji profesi. Vždy byl a stále je aktivním sportovcem, mimořádně společenským a přátelským člověkem, kterému můžeme jeho životní elán a optimismus jen závidět. Všichni mu přejeme, aby v tomto duchu pokračoval ještě mnoho a mnoho let!

**ING. GEORGIJ ROMANCOV, METROPROJEKT PRAHA, a. s.**

built by traditional tunnelling methods and the reconstruction techniques were based on experience inherited from old miners-tunnellers. It was a time during which this profession nearly vanished. The underground was exploited for extraction, and, save for few exceptions, new tunnels were not built, namely in Bohemia. It is a characteristic feature of Karel Závora that even the few tunnel constructions on which he worked (e.g. the tunnel under Bílá Skála rock in Prague) were sufficient for him to gather the experience which subsequently showed to be the deciding factor affecting his further career.

In 1967, when the metro construction commenced in Prague, Karel Závora was a renowned expert. According to our saying “Success comes to those who are prepared”, he really was prepared. Despite the fact that it was very difficult for him, he highly exceeded the professional level which was standard in our country then. It was the reason why he, the chief designer in Státní Ústav Dopravního Projektování, became a head of a team of tunnellers which had to master new tunnel design and construction methods during an extremely short time. It is possible to state without exaggeration that in this position, and later in the position of the main specialist of the newly established designing institute, DP-METROPROJEKT, he put his signature on the majority of mined tunnels and stations of the initial sections of the metro lines. There is probably nobody who would cast doubt on the fact that his work was crowned with great success. In addition, after preparing numbers of enthusiasts similar to him, he started with even greater intensity to devote himself to gathering experience all over the world and implementing it into the designing and construction activities of his colleagues and subordinates. It is also owing to his work that the Prague Metro has become the “Construction of the Century”.

His professional growth did not slacken on his retirement, at the beginning of the 1990s. He can still be seen wherever something new takes place in the underground, tirelessly helping wherever his experience and influence can be exercised. However, it would be a mistake to consider him to be a killjoy who knows nothing else than his profession. He has always been an active sportsman and an exceptionally sociable and friendly man. His vitality and optimism are enviable. All of us wish him to continue living in this way for many and many years!

**ING. GEORGIJ ROMANCOV, METROPROJEKT PRAHA a. s.**



## 70 ROKOV ING. JOZEFA FRANKOVSKÉHO

V marci 2007 sa významného životného jubilea 70. rokov dožíva Ing. Jozef Frankovský, známy odborník z oblasti podzemného staviteľstva, dlhoročný funkcionár, dnes čestný člen Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES a odborný redaktor časopisu Tunel.

Rodiskom jubilanta bola Veľká Franková, dedinka na Zamagurí v blízkosti hranice s Poľskom. Po absolvovaní baníckeho učilišťa v Sirku a baníckej priemyselovky v Rožňave nastúpil Ing. Frankovský v roku 1960 do podniku Banské stavby Prievidza, s ktorými, až na krátke intermezzá, sú zviazané jeho životné osudy aj profesionálna činnosť až do odchodu do dôchodku a v redukovanej miere až do dnešných dní. V rokoch 1961 až 1967 vyštudoval popri zamestnaní banícku fakultu VŠT v Košiciach, odbor hlbinné dobývanie a výstavba baní. Počas nasledujúceho obdobia až do roku 1989 pracoval vo viacerých funkciách na úseku technického rozvoja. Podieľal sa na vývoji viacerých technológií, či už pre oblasť razenia, banskej dopravy alebo vystrojenia (panelová výstuž, striekaný betón). Napriek nepriazni vtedajšej doby mu jeho technická kompetencia spolu s jazykovými znalosťami umožnili aktívnu účasť na viacerých pozoruhodných dielach nielen na Slovensku. Ako príklad stavieb, na ktorých sa podieľal, môžeme uviesť Novú odvodňovaciu štôľňu Voznica, prečerpávaciu vodnú elektrárňu Čierny Váh ako aj výstavbu Bane Cigeľ. Po politických zmenách v novembri 1989 pracoval

## ING. JOZEF FRANKOVSKÝ SEPTUAGENARIAN

March 2007 will see Ing. Josef Frankovský, a renowned professional in the field of underground construction, long-standing functionary, today a honorary member of the Slovak Tunnelling Association ITA/AITES and technical editor of Tunel magazine, to celebrate an important anniversary, the 70th birthday.

Ing. Josef Frankovský was born in Veľká Franková, a small village in Zamagurí near the border with Poland. After studies in the Mining Training Institution in Sirku and the Technical School of Mining in Rožňava, he entered Banské Stavby Prievidza in 1960. With the exception of short interludes, his life and professional activities had been associated with this company till his retirement and, to a reduced extent, this relationship has continued to this very day. The years 1961 – 1967 were the years of his extramural studies. He graduated from the Technical University in Košice with a degree in deep mining and mine construction from the Faculty of Mining. In the subsequent period of time till 1989, he worked in several positions in the field of technical development. He participated in development of many technologies for underground excavation, mine haulage or excavation support (segmental lining, sprayed concrete). In spite of political adversity of that time, owing to his technical and linguistic competence, he was allowed to actively participate in a number of outstanding projects, not only in Slovakia. Of the projects in which he participated, we should certainly mention the New Drainage Adit

v roku 1990 ako poverený riaditeľ podniku Banské stavby. V rokoch 1991 až 1993 pôsobil ako riaditeľ odboru ťažby nerastných surovín na Ministerstve hospodárstva SR v Bratislave a v období 1993 až 1994 ako generálny riaditeľ Prefabetón, a. s., Košice. V roku 1995 sa vrátil na Banské stavby, kde pracoval ako vedúci odboru marketingu, neskôr ako vedúci kancelárie a poradca generálneho riaditeľa.

Okrem vyššie uvedených aktivít bol jubilant aktívny aj publikačne, najmä v časopisoch Inžinierske stavby, Tunel, Rudy a uhlí a tiež v zborníkoch z rôznych odborných podujatí. Za vrchol publikačnej aktivity možno považovať jeho knihu Popod hory a doliny, vydanú pri príležitosti polstoročnice podniku Banské stavby Prievidza v roku 2001.

Moje osobné kontakty s jubilantom siahajú do roku 1973, keď sa v Prievidzi uskutočnil 1. celoštátny seminár o pretláčaní chráničiek a razení kolektorov. Tu sme ako referujúci vystúpili v trojici s profesorom Jiřím Streitom z VŠD Žilina. Už vtedy som obdivoval jeho čistú stredoslovenskú, priam štúrovskú slovenčinu a bohatstvo výrazov. Až neskôr sme sa s Ing. Frankovským dostávali do ohnivých dišpút o vhodnosti toho-ktorého odborného termínu, pričom on bol zástancom baníckych, ja spravidla stavbárskych výrazov a novotvarov. Na tomto poli som mu veľmi vďačný za recenziu mojej publikácie Výstavba tunelov v skalných horninách. Som tiež rád, že som mal možnosť stráviť nejednu hodinu aj v súkromí, či už pri opekaní špekáčkov alebo v lone krásnej prírody Horného Ponitria, kde bol vždy výborným spoločníkom.

Jubilantovi prajem v mene širokej tunelárskej verejnosti do ďalšej etapy, ktorá sa zvykne označovať ako jeseň života, pevné zdravie, duševnú pohodu a záujem o odbornú problematiku, aby sme sa ešte dlho stretávali pri rôznych odborných a spoločenských podujatiach.

**PROF. ING. FRANTIŠEK KLEPSATEL, Ph.D**

## UPLYNULO 300 LET OD ZALOŽENÍ ČESKÉHO VYSOKÉHO UČENÍ TECHNICKÉHO

V lednu 2007 uplynulo 300 let ode dne, který je považován za den vzniku Českého vysokého učení technického v Praze. Je to datum často a z mnoha stran zpochybňované, s největší pravděpodobností proto, že se jeho uznáním stává ČVUT nejstarší technickou univerzitou ve střední Evropě. Historicky je však toto datum plně opodstatněné a písemně doložené – císař Josef I. Habsburský tehdy rozhodl, že výuku inženýrství je třeba zahájit...

Veřejná inženýrská škola byla pod názvem Stavovská inženýrská škola v Praze založena z iniciativy Josefa Christianna Willenberga na základě česky psané zakládací listiny (reskriptu) císaře Josefa I. z 18. ledna 1707. Stavovská inženýrská škola v Praze vznikla tedy 40 let před založením věhlasné a dosud existující pařížské Mostní a silniční školy (Ecole des Ponts et Chaussées), která byla založena v roce 1747.

Willenberg byl uznávaný odborník v opevňovacích pracích, takže Stavovská inženýrská škola měla v počátečním údobí své existence v podstatě poslání vojensko-fortifikační. V období působnosti druhého profesora J. F. Schora, vynikajícího umělce – malíře a architekta – teoretika, a zejména pak po jeho úmrtí za působnosti profesora F. A. Hergeta, významného zeměměřického a vodohospodářského odborníka, se však změnila ve školu převážně civilně-inženýrskou, kterýžto charakter se zvýraznil po roce 1815 za působení prof. F. J. Gerstnera, vynikajícího astronoma, zeměměřiče, odborníka ve vodním a železničním stavitelství.

Skutečný vývoj nejlépe osvětlí historická fakta, nechme je proto mluvit:

**1705** Fortifikační odborník Christian Josef Willenberg požádal císaře Leopolda, aby směl „šest osob stavu panského, čtyři rytířského a dva městského vyučovati v umění inženýrském“.

**1707** Císař Josef I. zaslal 18. 1. českým sněmovním komisařům reskript, ve kterém s Willenbergovým návrhem souhlasí a poroučí jej projednat.

Voznica, the Čierny Váh Pumped Storage Scheme or development of the Cigeľ Mine. In 1990, after the November 1989 political changes, he worked as a director in charge of Banské Stavby. In 1991 – 1993, he was the director of the Department of Extraction of Minerals at the Ministry of the Economy of the Slovak Republic in Bratislava, and in the period 1993 – 1994 as the general director of Prefabetón, a. s., Košice. In 1995, he returned to Banské Stavby, where he was in charge of the Marketing Department, and later as the CEO office manager and advisor.

Apart from the above-mentioned activities, Ing. Josef Frankovský has been active in publishing, mainly in Inžinierske Stavby, Tunel, Rudy a Uhlí magazines and also in proceedings of various technical events. His book Popod Hory a Doliny, which was published on the occasion of the 50th anniversary of Banské Stavby Prievidza in 2001, can be considered the high point of his publishing activities.

My personal contacts with him are dated to 1973, when Prievidza hosted the 1st national seminar on jacking of pipe casing and excavation of utility tunnels. We were three of us to deliver our papers, there together with Professor Jiří Streit from the University of Traffic Engineering in Žilina. I have admired his clear Štúr's language of Central Slovakia and lavishness of expressions since that time. Our fiery disputes over propriety of particular technical terms started later. He preferred mining terms, while I usually propounded civil engineering vocabulary and neologisms. In this respect, I am very grateful for his review of my publication Tunnel Construction through Hard Rock. I am also happy that I had the opportunity to spend many hours with him also in private, no matter whether at barbecuing or surrounded by the beauties of Horné Ponitrie nature, where he has always been an excellent companion.

I wish Josef Frankovský, in the name of the wide tunnelling community, great health, peace of mind and curiosity about technical problems in the forthcoming stage of his life, which is usually called Indian summer, so that we can continue to meet on various technical and social events for a long time.

**PROF. ING. FRANTIŠEK KLEPSATEL, Ph.D**

## THREE HUNDREDTH ANNIVERSARY OF THE CZECH TECHNICAL UNIVERSITY

The day which is considered to be the day of foundation of the Czech technical university of Prague 300 years ago passed in January 2007. This date has been frequently and by many parties disputed, in all probability because of the fact that the acknowledgement of this date makes the Czech Technical University (ČVUT) the oldest technical university in central Europe. Nevertheless, from the historical point of view, this date is fully tenable and documented; Emperor Joseph I of Hapsburg decided, on that day, that it was necessary to start teaching the subject of engineering.

A public school of engineering was founded under the name of the 'School of Engineering of the Estates in Prague' on the initiative of Josef Christianna Willenberg, on the basis of a foundation charter (written in Czech – a rescript) issued by Emperor Joseph I on 18th January 1707. The School of Engineering of the Estates in Prague, therefore, originated 40 years before the foundation of the renowned and still existing Ecole des Ponts et Chaussées in Paris, which was founded in 1747.

Willenberg was a respected expert in fortification earthwork. It means that the mission of the School of Engineering of the Estates was in the military-fortification field at the beginning of the existence of the school. The character of the school changed during the tenure of J. F. Schor, the second professor, an outstanding artist (painter and architect) and theoretician, and primarily, after his death, during the tenure of professor F. A. Herget, a prominent expert in the field of geodesy and water management. It became predominantly a civil engineering school. This character was even emphasised after 1815 during the presence of professor F. J. Gerstner, an excellent astronomer, geodesist and expert in the field of hydraulic engineering and railway construction.

The actual development is best explained by historical data. We should let them speak:

**1705** Christian Josef Willenberg, a fortification expert, asked Emperor Leopold for permission to “teach six nobles, four knights and two citizens to the engineering art”.

**1707** Emperor Joseph I sent a Rescript to commissioners of the Bohemian Chamber on 18 January, in which he agreed with Willenberg's proposal and ordered that it was to be implemented.



- 1716** Protože čeští stavové na reskript nereagovali, poslal Willenberg v říjnu 1716 svou žádost znovu, a to nejen císaři (Karl VI.), ale i českým stavům.
- 1717** Dekretem českých stavů z 9. 11. byla zřízena inženýrská profesura a Willenberg pověřen jejím vedením; výuka začala 7. 1. 1718. Kromě fortifikačního umění byly vyučovány i civilní obory jako zeměměřičství, kreslení map, odvodňovací práce, konstrukce mechanismů na zvedání těžkých břemen apod.
- 1726** Jan František Schor, který nastoupil po Willenbergovi, zavedl do výuky optiku, perspektivu, kreslení a geografii.
- 1767** Třetím profesorem inženýrské školy byl Antonín Linhart Herget. Za jeho působení se inženýrská stavovská profesura změnila (1787) na řádnou profesuru filozofické fakulty pražské univerzity.
- 1798** Univerzitní profesor matematiky a člen dvorské komise pro revizi veřejného školství František Josef Gerstner podal návrh na založení technické univerzity, kde by po vzoru pařížské École polytechnique inženýrské nauky úzce navazovaly na studium matematiky a exaktních věd, jak to vyžadovala industrializace českých zemí.
- 1803** V březnu 1803 podepsal císař František I. dekret o založení Českého stavovského polytechnického ústavu, který se stal součástí pražské univerzity. Na nové polytechnice se začalo učit 10. listopadu 1806. Ředitelem ústavu byl jmenován F. J. Gerstner.
- 1815** Od 8. 9. přestal být polytechnický ústav součástí univerzity a získal statut samostatné školy.
- 1869** 18. 4. 1869 císař František Josef I dal souhlas ke vzniku dvou nových ústavů: Českého a německého polytechnického ústavu Království českého.
- 1879** Obě polytechniky dostaly nové názvy: C. a k. (Císařská a královská) česká vysoká škola technická v Praze, a K. k. Deutsche Technische Hochschule in Prag.
- 1902** Profesorský sbor C. a k. české vysoké školy technické doporučil ministerstvu kultury a vyučování, aby ženy mohly být zapisovány jako řádné posluchačky.
- 1920** Vzniklo České vysoké učení technické jako svazek sedmi vysokých škol technických: Stavebního inženýrství, kulturního inženýrství, architektury a pozemního inženýrství, strojního a elektrotechnického inženýrství, chemicko-technologického inženýrství, zemědělského a lesního inženýrství, speciálních nauk. Vysoká škola kulturního inženýrství byla v roce 1921 jako samostatná instituce zrušena a začleněna do působnosti Vysoké školy inženýrského stavitelství. Od roku 1929 se stala rovnoprávnou součástí ČVUT také Vysoká škola obchodní, do té doby pouze tříletá. Pražská německá technika změnila v roce 1918 svůj název na Deutsche Technische Hochschule Prag.
- 1939** Z rozhodnutí říšského protektora K. von Neurath byly 17. 11. 1939 české vysoké školy uzavřeny.
- 1945** Necelý měsíc po skončení války byla výuka na ČVUT v plném rozsahu obnovena na stejných vysokých školách ČVUT jako v roce 1939. Německá vysoká škola technická v Praze byla v říjnu 1945 dekretem prezidenta Beneše zrušena.
- 1950 – 1960** Po organizačních změnách v období 1950 – 1960 mělo ČVUT čtyři fakulty: strojní, stavební, elektrotechnickou, technické a jaderné fyziky (od roku 1967 jadernou a fyzikálně-inženýrskou).
- 1976 – 2006** ČVUT se rozšířilo o fakultu architektury, fakultu dopravní a fakultu biomedicínského inženýrství. Kromě současných sedmi fakult jsou součástí ČVUT také Kloknerův ústav (vědeckovýzkumné pracoviště v oboru stavebnictví), Masarykův ústav vyšších studií, Výpočetní a informační centrum, Technologické a inovační centrum, Výzkumné centrum průmyslového dědictví, Ústav technické a experimentální fyziky, Centrum pro radiochemii a radiační
- 1716** Because the Bohemian Estates had not responded to the Rescript, Willenberg resent his request in October 1716, not only to the Emperor (Charles VI), but also to the Bohemian Estates.
- 1717** The Engineering Chair (Professorship) was established through a decree issued by the Bohemian Estates on 9th November; Willenberg was charged with heading the Professorship. The tuition started on 7th January 1718. Apart from fortification arts, it consisted of civil engineering branches such as surveying, cartography, drainage, structures of heavy load lifting equipment, etc.
- 1726** Jan František Schor, Willenberg's successor, added optics, perspective, drawing and geography to the tuition branches.
- 1767** Antonín Linhart Herget was the third professor at the engineering school. During his work (in 1787), the Estates Engineering Professorship was transformed to a regular professorship at the Faculty of Philosophy of the Prague University.
- 1798** František Josef Gerstner, a university professor of mathematics and member of the Royal Commission for the revision of public education, submitted a proposal for foundation of a technical university, where engineering disciplines would closely link to mathematical studies and exact sciences, after the fashion of the École Polytechnique in Paris and as required by the process of industrialisation of Czech lands.
- 1803** In March 1803, Emperor Franz I signed the decree on foundation of the Bohemian Estates' Polytechnic Institute, which became part of the Prague University. The tuition started at the new polytechnic school on 10 November 1806. F.J. Gerstner was appointed the director of the Institute.
- 1815** The Polytechnic Institute ceased to be part of the university and was awarded the status of an independent school on 8 September.
- 1869** On 8 April 1869, Emperor Franz Josef I issued the consent to establishing two new institutes: the Czech and German Polytechnic Institute of the Czech Kingdom.
- 1879** Both polytechnic institutes were renamed as follows: The I. and R. (Imperial and Royal) Czech Technical University of Prague, and K. k. Deutsche Technische Hochschule in Prag.
- 1902** The I. and R. Czech Technical University staff recommended to the Ministry of Culture and Education that women could be registered as regular students.
- 1920** The Czech Technical University was established as a union of the following seven technical universities: Civil Engineering, Cultural Engineering, Architecture and Building, Mechanical and Electrotechnical Engineering, Chemical-Technological Engineering, Agricultural and Forest engineering, and Special Sciences. The University of Agricultural Engineering was cancelled as a separate university in 1921. It was incorporated into the University of Civil Engineering. The University of Commerce, which had allowed only 3-year studies, became an equal part of the ČVUT in 1929. The German Technical University of Prague also changed its name in 1918, to the Deutsche Technische Hochschule Prag.
- 1939** Czech universities were closed on 17th November 1939 on the basis of a decision made by K. von Neurath, the Imperial Protector (Reichsprotektor).
- 1945** Less than one month after the end of the war, tuition at the ČVUT was renewed in the full scope, at the same ČVUT universities as in 1939. The German Technical University of Prague was cancelled in October 1945 through a decree issued by president Beneš.
- 1950 – 1960** After organisational changes made in the 1950 – 1960 period, the ČVUT consisted of four faculties: Mechanical Engineering, Civil Engineering, Electrotechnical Engineering, and Technical and Nuclear Physics (Nuclear and Physical Engineering since 1967).
- 1976 – 2006** The ČVUT expanded when the Faculty of Architecture, Faculty of Traffic Engineering and Faculty of Biomedical Engineering were established. Apart from the current seven faculties, the ČVUT also consists of Klokner Institute (a scientific research workplace in the field of civil engineering and building), Masaryk Institute of Advanced Studies, Computing and Information Centre, Technology and Information Centre, Research Centre for Industrial Heritage, Institute of Experimental and Applied Physics, Centre for

chemii, Ústav výstavby a investiční činnosti, Nakladatelství a Správa účelových zařízení.

Významné ocenění školy pronesl prezident republiky Václav Klaus, nově jmenovaný čestný doktor ČVUT, 18. 1. 2007 v projevu k výročí 300 let od založení ČVUT: „Domníváme-li se, že založení Karlovy univerzity, tohoto prvního vysokého učení na sever od Alp a na západ od Rýna, zařadilo český stát k centrům evropské vzdělanosti (a tehdejší české společnosti umožnilo využívat jejich plodů a přispívat k nim), troufám si říci, že i vznik vaší školy patřil k událostem, které se spolupodílely na té ohromné společenské a ekonomické přeměně, která přetvořila české země v průmyslově vyspělou zemi a český národ v moderní evropský národ. Říci to takto silně není nadsázkou.“

V souvislosti s výročím založení ČVUT si dopřejme potěšit i naše stavební povědomí: Můžeme být téměř pyšní na to, že o vznik a počáteční rozvoj Stavovské inženýrské školy se postupně zasloužily a všestranně stavební ráz jí vtiskly na svou dobu vynikající osobnosti z oblasti stavební- a železnižně-inženýrské (první profesor J. Ch. Willenberg), umělecko-architektonické (druhý profesor J. F. Schor) a matematicko-zeměměřičské a stavební (třetí profesor F. A. Herget). Neméně významná a málo známá je skutečnost, že vzniku Stavovské inženýrské školy předcházela existence veřejné Pražské stavební hutě, svou povahou vlastně vůbec první stavební školy u nás, kterou si pro zajištění potřebné kvalifikace svých spolupracovníků založil v roce 1344, tedy čtyři léta před založením Karlovy univerzity, Mistr Matyáš z Arrasu. Toho si přivedl z Francie královic Václav z rodu Lucemburků, mnohem známější později jako císař Karel IV.

*Z pramenů ČVUT zpracoval*

**PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc.,**

*řádný profesor Stavební fakulty ČVUT v Praze*

Radiochemistry and Radiation Chemistry, Division of Construction and Investment, and Service Facilities.

Václav Klaus, president of the Czech Republic and fresh holder of an honorary doctorate at the ČVUT, in his speech delivered on 18th January 2007 on the occasion of the 300-year anniversary of the Czech Technical University, appreciated the university as follows: 'If we believe that the foundation of the Charles University, which was the first university north of the Alps and west of the Rhine, integrated the Czech state into the group of centres of European culture (and made it possible for the Czech society to enjoy the fruits of the culture and contribute towards it), I dare say that also the origination of your university belonged among the events which contributed to the great social and economic change which transformed the Czech lands into an industrialised country and the Czech nation into a modern European nation. Using such strong words to say this is no exaggeration.'

In the context of the anniversary of the foundation of the Czech Technical University of Prague, we can, as builders, treat ourselves a little self flattery: We are rightfully proud of the fact that the origination and initial development of the School of Engineering of the Estates was achieved gradually by outstanding figures from the sphere of civil engineering and military engineering (the first professor being J. Ch. Willenberg), arts and architecture (the second professor, J. F. Schor) and mathematics and geodesy and construction (the third professor, F. A. Herget), who gave the university its universal civil engineering character. No less important but little known is the fact that the origination of the School of Engineering of the Estates was preceded by the existence of the Prague School of Public Building Works, which was by its nature the first civil engineering school in the Czech Republic. It was founded by Master Mathias of Arras with the objective to provide qualified collaborators in 1344, four years before the foundation of the Charles University. Master Mathias of Arras was brought from France by Crown Prince Wenceslas of the House of Luxemburg, who is much better known later as Emperor Charles IV.

*Based on the ČVUT sources, compiled by PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., a full-time professor at the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University of Prague*

## INFORMACE ČTuK / CTuC INFORMATION

### INFORMACE O PUBLIKACI PODZEMNÍ STAVITELSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICE INFORMATION ON THE PUBLICATION 'UNDERGROUND CONSTRUCTION IN THE CZECH REPUBLIC'

The book titled 'Underground Construction in the Czech Republic' will be published on the occasion of the ITA World Tunnel Congress 2007, which will be held at the beginning of May in Prague by the Czech Tunnelling Committee ITA/AITES.

The English version of the publication will become, in addition to the Conference Proceedings covering current tunnelling problems all over the world, a lasting reminiscence of the level of Czech underground engineering for all conference attendees, who will be issued the book as a part of the conference documentation package.

U příležitosti konání světového tunelářského kongresu ITA World Tunnel Congress 2007, který pořádá na začátku května v Praze Český tunelářský komitét ITA/AITES (International Tunnelling Association), bude vydána publikace „**Podzemní stavitelství v České republice**“.

Vedle konferenčního sborníku, který se zabývá aktuálními tunelářskými problémy z celého světa, bude anglická verze publikace trvalou připomínkou úrovně našeho podzemního stavitelství pro všechny účastníky konference, kteří ji dostanou jako součást souboru konferenčních materiálů.

České vydání knihy vyplní existující mezeru v řadě odborně-populárních publikací, týkajících se oborů inženýrského stavitelství. Souhrnné dílo s tematikou podzemních staveb v České republice dosud vydáno nebylo, a bude proto pro mnoho zainteresovaných odborníků a zvědavých sympatizantů vítaným přehledem faktů i zdrojem poučení o účtyhodné a ne vždy známé šíři této významné geotechnické disciplíny. Zájemci o publikaci, která

bude také dostupná v některých knihkupectvích, mohou si ji již dnes objednat na e-mailových adresách: jakub.karlicek@satra.cz a ita-aites@metrostav.cz.

V publikaci je velmi snadná orientace díky barevnému odlišení jednotlivých částí, kterých je ve zjednodušeném encyklopedickém pojetí – ve statích uspořádaných podle účelu použití podzemního díla – zpracováno textově i obrazově celkem devět:

*Úvod do českého podzemí*

*Železniční tunely na běžných tratích*

*Železniční tunely na koridorových tratích*

*Automobilové tunely na silnicích a dálnicích*

*Automobilové tunely ve městech*

*Pražské metro*

*Ostatní liniové podzemní stavby*

*Velkoobjemové podzemní stavby*

*Budoucnost českého podzemního stavitelství* je závěrečnou kapitolou celé publikace a nepochybně čtenáře také zaujme. Z imponujícího přehledu plánovaných podzemních staveb na území České republiky je zřejmé, že nebývalý současný rozmach podzemního stavitelství bude pokračovat i v budoucnosti. Je možné, že u některých záměrů dojde v budoucnosti k určitým korekcím, nicméně dobrá příprava odvážných projektů a dostatek investičních prostředků umožní většinu plánovaných, případně ještě lepších technických řešení, skutečně realizovat.

**PROF. ING. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., bartakj@fsv.cvut.cz,**  
*předseda vědecké rady ITA World Tunnel Congress 2007.*

## Oznámení

Stavební geologie-Geotechnika, a. s., ČaS výbor MZZS  
ve spolupráci s ČGtS a s patronací ÚTAM AV ČR  
pořádají

# PRAŽSKÉ GEOTECHNICKÉ DNY 2007

včetně 15. Pražské geotechnické přednášky (PGP)

ve dnech 21. a 22. května 2007  
v budově Akademie věd ČR, Praha 1, Národní třída 3

### PROGRAM:

Odborný seminář: **Hluboké stavební jámy – nové přístupy a řešení**

15. PGP: **A Strategy for Geotechnical Innovation**  
(prof. Frans Barends, Geo Delft Institute, Nizozemsko)

Workshop: **Geotechnical Risk Management**  
(úvodní přednáška a moderování: prof. Frans Barends)

Pozvánky včetně podrobného programu a závazných přihlášek budou rozesílány v dubnu 2007  
Kontaktní adresa: SG-Geotechnika, a. s. (Ing. M. Frombergerová)  
tel.: 234 654 101, fax: 234 654 102, e-mail: sekretariat@geotechnika.cz



## OZNÁMENÍ

Stavební geologie-Geotechnika, a. s., Česká asociace inženýrských  
geologů a Česká geotechnická společnost

vyhlašují 6. ročník soutěže

**o Cenu akademika Quido Záruby**  
*pro mladé inženýrské geology a geotechniky do 35 let  
za nejhodnotnější a nejzajímavější práci z oblasti praxe  
a výzkumu v roce 2006 v oborech:*

Mechanika zemin, Mechanika hornin, Inženýrská geologie,  
Podzemní stavby, Zakládání staveb,  
Geotechnický a inženýrskogeologický průzkum

Soutěž bude vyhodnocena nezávislou komisí složenou ze zástupců  
ČAIG, ČGtS, ČVUT, UK Praha, VÚT Brno, VŠB-TU Ostrava a SG-Geotechnika, a. s.

Cena bude předána na  
**Pražských geotechnických dnech 2007**

kteří ve dnech 21. a 22. května 2007 pořádají Stavební geologie-Geotechnika, a. s. a ČaS výbor MZZS  
ve spolupráci s ČGtS a s patronací ÚTAM AV ČR v budově Akademie věd ČR, Praha 1, Národní třída 3

Cena pro autora oceněné práce pozůstává z diplomu a z příspěvku 15 000 Kč na úhradu  
účasti na mezinárodní konferenci IAEG, ISRM, ITA, ISSMGE apod.

Přihlášky do soutěže zašlete co nejdříve na adresu: Stavební geologie-Geotechnika, a. s.  
Libuše Hrotková, Geologická 4, 152 00 Praha 5, tel. 234 654 101, fax: 234 654 102  
e-mail: sekretariat@geotechnika.cz.





**CONSULTING  
ENGINEERS**



## **IKP Consulting Engineers, s.r.o.** **Jirsíkova 5, 186 00 Praha 8, Karlín**

Tel.: 255 733 111, Fax: 255 733 605, E-mail: [info@ikpce.com](mailto:info@ikpce.com)

**IKP Consulting Engineers is a leading engineering consultancy firm  
with ISO 9001:2000 certification**

### **Areas of Activities:**

- **Tunnels & Underground Structures**
- **Railway & Road Design**
- **Bridge Engineering**
- **Drainage & Water Supply**
- **Structural Engineering**
- **Municipal Engineering**
- **Geotechnics**
- **Geology**
- **Surveying & GIS**
- **Projekt Supervision**

