

ČASOPIS ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES  
MAGAZINE OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES

**12. mezinárodní konference  
PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2013**  
**12<sup>TH</sup> International Conference  
UNDERGROUND CONSTRUCTIONS PRAGUE 2013**







## Vážení čtenáři časopisu Tunel,

v době, kdy se vám dostává do ruky toto číslo časopisu, prožívá naše odborná tunelářská veřejnost velký svátek. Koná se již 12. mezinárodní konference Podzemní stavby Praha. Taková událost je vždy podnětem k ohlédnutí se nazpět i k zamyšlení jak dál.

Není pochyb o tom, že jsme za poslední tři roky opět urazili notný kus cesty dopředu. Zcela novou technologií byly úspěšně vyraženy tunely prodlužované trasy metra A v Praze. S novými požadavky vyplývajícími z této technologie držela krok dovednost projektantů i geotechnický monitoring.

Podrobně budou jistě technické novinky uskutečněné během uplynulého tříletého období, a to nejen na této stavbě, hodnoceny na zahajované konferenci. Určitě ale můžeme již nyní říci, že naše podzemní stavitelství zdatně drží krok se světovým vývojem. Důkazem toho je i velká mezinárodní účast na naší konferenci.

Při úvahách jak dál bychom ale neměli zapomenout na problémy, které před nás staví současná doba. Jestliže se můžeme pyšnit schopností zvládat nejmodernější technologie a projektovat odvážná a moderní stavební díla na evropské úrovni, tak nepochybně rezervy ještě jsou v oblasti přípravy a organizace výstavby. Pokud v nedávné době nastaly na některých našich stavbách nějaké problémy, jejich příčiny byly vždy právě zde. Posun v této oblasti je v našich rukách a jistě není pochyb, že k němu dojde.

Těžší úlohou bude vypořádat se se současnou ekonomickou a společenskou krizí. Ty se projevují jako nedostatečná schopnost orgánů státní správy systematicky se starat o přípravu nových investic a zajišťovat pro ně potřebné finanční zdroje. Všichni známe těžkosti s financováním dvou současných největších pražských dopravních staveb, problémy s vlekoucími se výběrovými řízeními a netrpělivě a marně přihlížíme k nekonečnému tápání okolo rozhodování o dalším rozsahu a směřování infrastrukturních staveb.

Tuto situaci, i když její příčiny jsou mimo naši profesní komunitu, zjevně nebude možné vyřešit bez naší angažované a fundované účasti.

I o tom by se mělo na konferenci a v jejich kuloárech rokovat.

**DOC. ING. ALEXANDR ROZSYPAL, CSc.,**  
člen redakční rady

## Dear Tunel magazine readers,

You are receiving this issue of the magazine at the time of an important event for the Czech tunneling public. The 12<sup>th</sup> International Conference Underground Constructions Prague is taking place. Such event always represents an opportunity to look back and to think about the future.

There is no doubt that we have made a great step ahead during the past three years. A brand new technology has been successfully used to extend the tunnels of metro line A in Prague. Both the designers and geotechnical monitoring contractors were able to keep pace with the new requirements of this technology.

Technical innovations achieved not only in this project during the past three years will be surely discussed during the current conference. We can already say with certainty that our underground engineering keeps pace with the world development. An evidence of this is a great international representation in Czech conference.

While considering the next steps, we should not, however, forget the issues of the current time. Although we can proudly state that we are able to manage the state-of-the-art technologies and to design challenging and modern engineering projects of the European level, there are apparent reserves in the areas of construction preparation and organization. Any recent problems at some of our construction sites always originated from here. Improvement in this area is in our hands and there is no doubt that it will happen.

A more difficult task will be to face the current economic and social crisis. It manifests itself through insufficient ability of state authorities to provide systematic care and preparation of new investments and to obtain required funding for new projects. We are all aware of the problems with financing of two major transport infrastructure projects in Prague, problems with delayed tenders, we all impatiently and to no effect watch never-ending fumbling after decision making about future scope and direction of infrastructure projects.

This situation clearly cannot be resolved without our committed and well-based participation despite its causes are outside our professional community.

This should surely be one of the topics discussed both during the conference and in the lobby.

**DOC. ING. ALEXANDR ROZSYPAL, CSc.,**  
Member of the Editorial Board





## VÁŽENÍ ČTENÁŘI!

Jsem rád, že vás mohu jménem akciové společnosti Metrostav oslovit právě v tomto čísle časopisu Tunel. Je totiž výjimečné tím, že jej obdrží nejen jeho pravidelní odběratelé, ale také všichni účastníci 12. mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2013. Podpořili jsme ji jako jeden z hlavních partnerů a doufáme, že bude přínosem pro celou tunelářskou komunitu.

V této souvislosti bych chtěl vyjádřit své osobní poděkování především řadě významných zahraničních odborníků, kteří se do přípravy konference zapojili a ochotně přijali úkol přednést na ní své klíčové přednášky či příspěvky v jednotlivých sekcích. Můj dík patří i všem, kdo do jejího sborníku poslali své odborné příspěvky či se rozhodli tohoto mezinárodního tunelářského setkání zúčastnit.

Konference, kterou Česká tunelářská asociace pořádá v tříletém intervalu a na jejíž přípravě se podílí i Slovenská tunelářská asociácia, je příležitostí ke zhodnocení vývoje podzemního stavitelství v uplynulém období. Z hlediska Metrostavu mohu s radostí konstatovat, že její uplynulé ročníky pozitivně přispěly i k pokroku výstavby podzemních staveb v České republice.

Svědčí o tom také články autorů z naší společnosti zveřejněné v tomto čísle časopisu. Týkají se především staveb tunelového komplexu Blanka na městském okruhu v Praze a pražského metra V.A. Právě u posledně jmenovaného díla bych chtěl poukázat na úspěšné nasazení dvou zeminových štítů (EPBS), které Metrostav zakoupil od německé firmy Herrenknecht. Rychlé, kvalitní a bezpečné dokončení ražeb traťových tunelů metra pomocí EPBS potvrdilo, že rozhodnutí použít tuto technologii bylo správné. České tunelářství se jejím zvládnutím významně posunulo.

Musím však bohužel poznamenat, že současná situace na trhu stavebních prací – a to i segmentu podzemních staveb – není v České republice příznivá. Přitom dopravní infrastruktura, hlavně modernizace železniční sítě, bude u nás bez nich dále stagnovat a zaostávat za evropským průměrem. Nechtěným, i když pozitivním dopadem této situace však je, že se naše společnost snaží stále víc prosazovat v zahraničním konkurenčním prostředí. Je to sice obtížné, o našem úspěchu ale svědčí třeba účast na stavbě metra v Helsinkách.

Závěrem mi dovolu, abych jménem Metrostavu ještě jednou přivítal v Praze všechny účastníky konference Podzemní stavby Praha 2013 a jejímu průběhu popřál mnoho úspěchů. Podzemní stavitelství je krásná profese i proto, že se při ní člověk dostává do těsného kontaktu s nesmírně variabilním přírodním prostředím. Příprava a provádění takových staveb proto nikdy není rutinní a vždy vyžaduje být na úrovni nejlepších současných znalostí a stavitelského umu.

Věřím, že k tomu přispěje i výměna zkušeností na letošní pražské konferenci.

**ING. PAVEL PILÁT**

*generální ředitel Metrostav a. s.*  
*General Director of Metrostav a. s.*

## DEAR READERS!

I am glad I have the opportunity to address you on behalf of Metrostav joint-stock company just in this particular TUNEL journal issue. This issue is exceptional because of the fact that it will be received not only by regular subscribers but also by all attendees to the 12<sup>th</sup> international conference, Underground Construction Prague 2013. We have supported it as one of the main partners and believe that it will be a contribution for the entire tunnelling community.

In this context, I would like to express my personal thanks, first of all to the number of prominent foreign experts who participated in the conference preparation and willingly undertook the task to deliver keynote lectures or papers in individual conference sections. My thanks also go to all those who have sent their technical papers or decided to attend this international tunnelling meeting.

The conference, which is held every three years by the Czech Tunnelling Association and is prepared in collaboration with the Slovak Tunnelling Association, is an opportunity to assessing the development of the underground construction industry during the course of the past period. From the point of view of Metrostav, I am pleased that I can state that the previous years even positively contributed to the progress in the development of underground structures in the Czech Republic.

This fact is among others suggested by papers prepared by authors from our company, which are contained in this journal issue. They refer first of all to the structures which are parts of the Blanka complex of tunnels located on the Prague City Circle Road, and the 5<sup>th</sup> extension of the Prague metro line A. It is just the latter project which I would like to mention in the context of the successful employment of two Earth Pressure Balance Shields (EPBS), which were purchased from Herrenknecht AG, Germany. The quick, good quality and safe completion of the drives of the metro running tunnels using the EPBS confirmed that the decision to use this technology was correct. The Czech tunnelling industry has made a significant step forward by mastering it.

Unfortunately, I must remark that the current situation on the construction market, even in the segment of underground construction, is not favourable in the Czech Republic. Without these structures the transportation infrastructure, first of all the upgrading of railway network, will stagnate in our country and lag behind the European average. An unwished, even though positive, result of this situation is that our company more and more seeks to promote itself in the competitive environment abroad. It is true that it is difficult, but our success can be documented, for example, by our involvement in the metro construction in Helsinki.

To conclude, allow me once more to welcome all attendees to the conference Underground Construction Prague 2013 in Prague on behalf of Metrostav a. s. and wish lots of success to its dealings. Underground construction is an enchanting profession even because of the fact that during the work one gets in close contact with the immensely variable natural environment. The preparation and implementation of such projects is therefore never routine. It always requires the level of the best current knowledge and building skills to be attained. I truly believe that the exchange of experience during this year's conference will contribute to it.



## VÁŽENÍ ČITATELIA,

som veľmi rád, že mám príležitosť sa prihovoriť v úvode prvého čísla v roku 2013 k vám, ako aj k účastníkom „12. medzinárodnej konferencie Podzemné stavby Praha 2013“.

Vždy si s potešením prečítam tento časopis, ktorý nám približuje odborné na veľmi kvalitnej úrovni aktuálne dianie v podzemnom staviteľstve, ako aj smer vývoja do budúcnosti.

Účasť na konferencii je pre každého zdrojom cenných informácií z domova, aj zo zahraničia. Zorganizovať túto konferenciu bolo určite náročnejšie ako kedykoľvek v minulosti, pretože situácia v stavebníctve je mimoriadne ťažká, najťažšia od roku 1989.

Čiastočne ovplyvňuje investovanie v Čechách a na Slovensku kríza v Európe, avšak to nie je ani zďaleka hlavná príčina hlbokého poklesu stavebnej produkcie v týchto krajinách. Práve v období krízy bolo potrebné využiť naplno fondy z Európskej únie, čo sme na Slovensku dokázali využiť v dopravnej infraštruktúre len na mizivé percento.

K nepriaznivým faktorom vývoja v stavebníctve prispeli aj mediálne atraktívne informácie, že stavebné firmy stavajú drahšie doma ako v okolitých krajinách. Tento nepriaznivý faktor pripustil do súťaží firmy bez referencií (resp. s kúpenými referenciami), odbúraval na Slovensku predkvalifikácie a zákon o verejnom obstarávaní sa zneužil na vyhodnocovanie zákaziek za najnižšiu cenu, ktorá sa stala jediným kritériom vyhodnotenia súťaže.

Nepripravené stavby začali súťažiť formou „naprojektuj a postav“ (Žltý Fidic), čoho výsledkom sú nekonečné spory. Nebolo dôležité, či víťazná firma má skúsenosti s výstavbou diaľnic, mostov, tunelov, či má vlastné stroje, odborníkov, garancie atď. Nepriaznivé expertízy o predpokladaných cenách súťaží nakoniec pri odovzdaní ponúk dosiahli menej ako 40 % týchto odhadov.

Ak vysúťažaná cena nestačí ani na nákup materiálu na zákazku, tak je niečo choré v boji o zákazky medzi firmami. Výsledkom sú nečakané havárie na stavbách, bohužiaľ aj s následkami na zdraví a životoch pracovníkov. Už sa začínajú objavovať aj prvé nepriaznivé dopady tohto konania. Ďalším dôsledkom je neustále zvyšovanie nezamestnanosti ako následok hromadného prepúšťania v stavebných firmách. Tento dopad neminie v roku 2013 ani pracovníkov v podzemnom staviteľstve.

Naše firmy sa snažia uplatniť aj v zahraničí s čiastočným úspechom v okolitých krajinách. Úlohou takých významných firiem, ako sú Metrostav, Doprastav a Subterra (všetky sú v skupine DDM), je dosiahnuť zmenu myslenia a rozhodovania politikov pri súťažiach o verejné zákazky tak, aby bolo zabezpečené kvalitné dielo na konci realizácie so životnosťou aj 100 rokov pri čo najnižších prevádzkových nákladoch.

Verím, že aj v spolupráci s ostatnými stavebnými subjektmi dosiahneme taký stav, aby výsledkom súťaženia o zákazku bola najvýhodnejšia cena pre občana a nie zbabrané dielo.

Záverom chcem poďakovať Českej tunelárskej asociácii za možnosť prihovoriť sa k vám v úvodnom čísle časopisu Tunel, ktorý ste práve dostali, a prajem konferencii veľa úspechov a hlavne veľa vysoko kvalifikovaných odborných referátov.

## DEAR READERS,

I am grateful for the opportunity to approach you, as well as the participants of the 12<sup>th</sup> International Conference Underground Construction Prague, through this first issue in 2013.

I always enjoy reading this magazine which provides highly professional information about the current events in underground engineering, as well as about future development trends.

The conference will provide everyone with valuable information from both home and abroad. Organizing this conference was certainly more demanding than any time in the past because the current situation in the civil industry is very difficult – most difficult since 1989.

Investments in the Czech Republic and in Slovakia are partly influenced by the European crisis, however, the crisis does not represent the main cause of dramatic decline of construction operations in these countries. The period of crisis was the right time to fully use the European funds for transport infrastructure which we in the Slovak Republic managed only to a negligible percentage.

Another unfavorable factor influencing the development in the civil engineering was the attractive media information that the construction companies are more expensive at home than abroad. This unfavorable factor allowed companies without references (or with bought references) to participate in tenders, eliminated pre-qualifications in Slovakia, and misused the public procurement act to award projects for the lowest prices which became the only tender evaluation criterion.

Unprepared projects were tendered as *Design and Build* (Yellow Fidic). This resulted in never-ending disputes. It was not relevant whether the winner had any experience with construction of motorways, bridges, tunnels, whether it had its own equipment, experts, guarantees, etc. Unfavorable expert opinions regarding expected tender prices reached less than 40% of such estimates at the time of bids submission.

If the tendered price does not suffice for material procurement for the project, something is wrong in the competition among the companies. Consequences include unforeseen accidents at construction sites, unfortunately including consequences to health and lives of workers. First unfavorable consequences of this approach already appear. Another consequence is the increasing unemployment due to mass dismissing of employees in civil engineering companies. This will affect even the underground engineering workers in 2013.

Our companies try to expand to foreign markets and are partly successful in the surrounding countries. The role of the key companies as Metrostav, Doprastav, and Subterra (all part of the DDM Group), is to achieve change in thinking and decision making of politicians during public tenders in order to ensure quality of the completed work with the service life of even 100 years with the lowest possible operating costs.

I believe that in cooperation with other civil engineering companies we will achieve the situation when tenders will result in the most advantageous price for the citizens and not in faulty structures.

At the end, I would like to thank the Czech Tunneling Association for the possibility to approach you through this issue of Tunel magazine you have just received. I would also like to wish success and many professional and qualified lectures to the conference

**ING. JURAJ ANDROVIČ**

člen predstavenstva a generálny riaditeľ Doprastav, a. s.  
Member of the Board and CEO, Doprastav, a. s.



# REALIZACE RAŽBY JEDNOKOLEJNÝCH TUNELŮ PRAŽSKÉHO METRA V.A POMOCÍ ZEMINOVÝCH ŠTÍTŮ

## DRIVING SINGLE-TRACK TUNNELS OF PRAGUE METRO V.A USING EARTH PRESSURE BALANCE SHIELDS

DAVID CYROŇ, PETR HYBSKÝ, KAREL RÖSSLER, ŠTEFAN IVOR, JAN PRAJER

### 1 ÚVOD

Společnou prorážkou tunelovacích strojů Tondy a Adély byl dokončen projekt ražeb jednokolejných tunelů metra V.A. Zbývá realizovat poslední fázi projektu a tou je demontáž obou strojů ve stanici Dejvická a ostatních technologií pro ražbu tunelů tak, aby se mohl projekt posunout do fáze montáže technologické provozní vybavenosti traťových tunelů a stanic.

Cílem tohoto článku je popis výstavby traťových tunelů metra technologií EPBM (Earth Pressure Balance Method), která byla v České republice použita vůbec poprvé, zhodnocení nasazení zeminových štítů při ražbě v nepříznivých geologických podmínkách trasy metra V.A a v neposlední řadě i zmínka o inovativních řešeních, která zástupci projektového týmu firmy Metrostav a. s. při ražbách aplikovali.

### 2 POSTUP PRACÍ NA PROJEKTU METRO V.A

#### 2.1 Fáze přípravy

Určujícím faktorem pro naplánování časového harmonogramu byly termíny zadané investorem projektu. Lhůta pro realizaci stavební části projektu byla stanovena na čtyři roky tak, aby byl dodržen termín spuštění nového úseku metra do provozu v září roku 2014. Z celkového časového úseku tak na ražby jednokolejných tunelů pomocí štítů typu EPB připadlo cca 19,5 měsíce.

Realizaci ražeb tunelovacími stroji EPBS (Earth Pressure Balance Shield), která odstartovala v dubnu 2011, pak byla završena mnohaleťá příprava na zvládnutí této technologie u firmy Metrostav a. s. Tato příprava byla obdobím sběru informací, návštěv staveb v zahraničí a také stáže při ražbách EPBS na stavbě moskevského metra. Jedním z těch, kteří pomáhali s prosazením nasazení plnoprofilových tunelovacích strojů byl i světově uznávaný odborník profesor Zdeněk Eisenstein.

V roce 2008 se Metrostav a. s. účastnil výběrového řízení na stavbu metra v Sofii, což byla dobrá průprava pro přípravu nabídky s nasazením technologie EPBM na prodloužení metra V.A v Praze v roce 2009, kde byla tato varianta ražeb předepsána zadávací dokumentací. Po předložení nabídek 5 uchazeči na dodávku dvou tunelovacích štítových komplexů bylo vedením Metrostavu a. s. rozhodnuto o koupi těchto strojů od společnosti Herrenknecht AG, včetně nákupu kompletní vybavenosti pro logistické zajištění ražeb i forem pro výrobu segmentů ostění, to vše za pořizovací cenu v řádu stovek milionů Kč. Důvodem pro pořízení celé technologie „na klíč“ byla snaha firmy Metrostav a. s. o dosažení maximální kompatibility štítového strojního komplexu a souvisejících logistických procesů. K tomuto řešení se přiklání stále více stavebních firem, neboť zmíněná alternativa přináší do realizace pozitivní efekty. Jedním z nich je např. odpovědnost výrobce za fungování strojního komplexu skládajícího se v případě metra V.A z tunelovacích strojů EPBS, pásových dopravníků na rubaninu a kolových multifunkčních vozidel pro dopravu segmentů i materiálu v již vyraženém tunelu.

Dne 11. února 2010 došlo k podpisu smlouvy mezi společnostmi Metrostav a. s. a Herrenknecht AG a v květnu byla zahájena výroba prvního z dvojice strojů objednaných pro pražské metro. Od počátku roku 2010 do potvrzení definitivního položkového seznamu strojního komplexu EPBS byly na několika jednáních, střídavě v Praze a ve výrobním závodě ve Schwanau, provedeny změny v konstrukci stroje oproti nabídce. Ta největší spočívala ve změně způsobu těžby rubaniny, kdy byl původní návrh dopravy v tunelu pomocí velkokapacitních

### 1 INTRODUCTION

The concurrent breakthroughs of “Tonda” and “Adéla” full-face tunnelling machines meant the conclusion of the driving of single-track tunnels on the 5th extension of the Line A of Prague metro, the so-called Metro V.A. Now the last phase of the work remains to be realised, i.e. the disassembly of both machines in Dejvická station and of other equipment used for the tunnelling operations so that the project work can shift to the phase of the installation of operating equipment in running tunnels and stations.

The objective of this paper is to describe the construction of metro running tunnels using the Earth Pressure Balance Method (the EPBM), which was used for the first time in the Czech Republic, to assess the performance of EPB shields during the excavation in unfavourable geological conditions of the metro line V.A and, at last but not least, to mention the innovative solutions employed by representatives of Metrostav a. s. teams during the excavation.

### 2 PROCESS OF WORK ON METRO V.A PROJECT

#### 2.1 Preparation phase

The deadlines specified by the project owner were the determining factor for the development of the works schedule. The period of time for the work on the civils part of the project was set at 4 years so that the deadline for entering operational service in September 2014 was met. Approximately 19.5 months of the total time period were allotted to the excavation of single-track tunnels using EPB shields.

By the realisation of the excavation by EPB shields, which started in April 2011, the several years lasting preparation for the mastering of this technology by Metrostav a. s. was concluded. This preparation was a period during which information was gathered, construction sites were visited abroad, and secondment was passed on a Moscow metro construction. Professor Zdenek Eisenstein, a worldwide renown expert, was one of the people who helped with the enforcement of the application of full-face tunnelling machines.

In 2008, Metrostav a. s. took part in tender proceedings for the construction of metro in Sofia. It was good training for the preparation of bids for Prague metro extension V.A in 2009, comprising the EPB technique. This tunnelling variant was prescribed in the tender documents. After receiving bids for the supply of two shield tunnelling complexes from 5 tenderers, Metrostav a. s. decided to acquire machines from Herrenknecht AG, including the purchase of the complete complex of equipment required for the logistics for the tunnelling operations and moulds for lining segments, all of that for the purchase price in the order of hundreds of millions of CZK. The reason for the “turn-key” purchasing of the complete technology was the effort of Metrostav a. s. to achieve maximum compatibility of the shield complex and the related processes. This is the solution which has been preferred by more and more construction companies because the above-mentioned alternative brings positive effects to the construction process. One of them is, for example, manufacturer’s responsibility for the functioning of the equipment complex, which, in the case of the metro V.A project, consisted of EPB machines, muck transporting belt conveyors and wheeled multi-functional vehicles for the transport of segments and materials through previously excavated tunnel tubes.

vozu na kolejích nahrazen pásovým dopravníkem. Klasický způsob vyplňování prostoru za ostěním byl nahrazen dvoukomponentním systémem a kolejová doprava segmentů byla nahrazena kolovými vozidly MSV (Multi Service Vehicle). Ostatní změny spočívaly ve zvýšení výkonu stroje, zlepšení antiabrazivní úpravy, zvětšení otvorů v řezné hlavě na 30 % plochy, aby se minimalizovalo riziko jejího ucpávání v prostředí lepivých jííl. Navíc byla instalována bentonitová jednotka umožňující aplikaci ochranné pažící suspenze před plnoprofilovou hlavou v případě delších odstavků, upraven systém větrání apod.

I potom, co byla odsouhlasena finální konstrukce strojního komplexu, však práce na přípravě neskončily, neboť bylo nutné naplánovat podrobný harmonogram montáží, start strojů, podrobné řešení logistického zajištění zejména pro maximální plánované ražební výkony. To vše probíhalo na pravidelných měsíčních jednáních v německém Schwanau, v sídle předního světového výrobce tunelovacích strojů. Dohadované změny vyvolávaly pro tým firmy Metrostav a. s. nutnost dalších kol jednání s projektantem realizační dokumentace firmou Metroprojekt a. s. i s dalšími dodavateli materiálů a zařízení (výroba segmentů ostění, výroba a montáž speciálních objektů na staveništi např. míchárna komponenty A, objekt pro chlazení technologické vody apod.).

Stroje S-609 a S-610 byly vyrobeny za 10 měsíců od podepsání smlouvy. První stroj byl převzat 10. 12. 2010, ten druhý 5. 3. 2011. Proces převzetí stroje ve Schwanau byl několikadenním maratónem měření a zkoušení funkčnosti jednotlivých systémů stroje EPBS. Při jednání o návrhu i při převzetí stroje se na straně Metrostavu expertně podílel přední odborník v oboru ražeb tunelů mechanizovanými štíty – John Foster. Po přejímce následovala demontáž stroje, naložení a přeprava na místo realizace v Praze na Vypichu.

## 2.2 Fáze realizace

Spolu s výrobou strojů probíhaly od listopadu 2010 práce na staveništi Břevnov 1 (BRE1), kde musela být dokončena šachta, montážní komora a potřebné zázemí na povrchu včetně pomocných konstrukcí pro montáž strojů a logistiky. Od začátku února 2011 byl po částech dopraven stroj S-609 na staveniště BRE1, které bylo umístěno východně od křižovatky Vypich asi 500 m před stanicí Petřiny. Po něm byl dovezen s tříměsíčním odstupem stroj S-610. Jednotlivé díly nebo smontované dílčí celky pak byly postupně (obr. 1) spouštěny na předem připravená lůžka na dno šachty o světlem průměru 21 m a hloubce 34 m zajištěné převrtávanými pilotami.

Na šachtu navazovala metodou NRTM předražená montážní komora, která bude před zahájením provozu metra vybavena jako standardní dvoukolejný tunel metra. V montážní komoře byla dokončena montáž strojů a jejich komplectace. Celý razicí komplex byl posléze spojen v jeden technologický celek (obr. 2) včetně pásových dopravníků tak, aby mohla být rubanina ihned dopravována navazujícím přístupovým tunelem na mezideponii umístěnou na povrchu.

Montáž trvala u každého stroje asi dva měsíce a po dokončení montáže strojů na stavbě proběhla opět jejich přejímka a vyzkoušení. Teprve potom bylo možné dát pokyn k zahájení ražeb, který je u stroje S-609 datován 10. dubna 2011 a u stroje S-610 12. července 2011.



Obr. 1 Spouštění řezné hlavy stroje EPBS S-609 na dno šachty  
Fig. 1 Lowering of S-609 EPB shield cutter head down to the shaft bottom

The contract between Herrenknecht AG and Metrostav a. s. was signed on 11th February 2010 and the manufacture of the first of the pair of the machines ordered for the Prague metro project commenced in May. Changes in the machine structure deviating from the bid were carried out from the beginning of 2010 until the final itemised list for the EPB tunnelling complex was approved at several meetings, held alternately in Prague and in the production plant in Schwanau. The biggest change lied in the changed system of the transport of muck, where the original proposal for the transportation along the tunnels using large-capacity rail-bound cars was replaced by transportation by a belt conveyor. The classical system of backfilling the annulus behind the lining was replaced by a two-component system and the rail-bound transportation of segments was replaced by wheeled trucks, the so-called MSV (Multi-Service Vehicles). The other changes lied in the increased machine performance, improved abrasion protection and enlarged openings in the cutting head to cover 30% of the surface so that the risk of plugging in an environment formed by sticky clays was minimised. In addition, the ventilation system was modified and a bentonite supply unit was installed, allowing the application of protective bracing bentonite slurry ahead of the cutting wheel in the case of longer interruptions, etc.

Nevertheless, the work on the preparation did not end even after the agreement on the final structure of the mechanical complex had been reached because of the fact that it was necessary to develop a detailed schedule of assemblies, launching of the machines and a detailed solution to the logistics system to be capable first of all of enabling the maximum planned tunnelling outputs. All of that was discussed at regular monthly meetings in Schwanau, Germany, in the principal office of the foremost worldwide manufacturer of full-face tunnelling machines. The approved changes necessitated other rounds of discussions of Metrostav a. s. teams with Metroprojekt a. s., the author of the detailed design, and other suppliers of materials and equipment (the production of lining segments, manufacture and installation of special equipment on site, e.g. a mixing plant for component A, a process water cooling plant etc.).

The machines S-609 and S-610 were manufactured in 10 months after the conclusion of the contract. The first machine was taken over on 10th December 2010 and the other one followed on 5th March 2011. The take-over process in Schwanau was a several-day marathon of measuring and testing the functionality of individual systems of the EPB machine. Mr. John Foster, a foremost expert in the field of tunnelling with mechanised shields, participated in negotiations on the design and during the machine take-over as an expert on the side of Metrostav a. s. After the machine take-over, the machine was dismantled, loaded and transported to the site in Vypich, Prague.

## 2.2 Realisation phase

The work on BRE1 construction site proceeded concurrently with the manufacture of the machines from November 2010. It was necessary to complete a shaft, assembly chamber and hinterland necessary on the surface, including auxiliary structures for the assembly of the machines and the logistics. Starting at the beginning of February 2011, the machine S-609 components were transported to BRE1 site, which was located east of the Vypich intersection, about 500 m before Petřiny station. Subsequently, with a three-month lag, the machine S-610 arrived. Individual components or assembled partial complexes were step-by-step lowered (see Fig. 1) to beds prepared in advance at the bottom of the 34 m deep and 21 m net-diameter shaft, the walls of which were supported by secant piles.

The assembly chamber, excavated in advance using the NATM, was connected to the shaft. The chamber will be equipped as a standard double-track metro tunnel before the metro is brought into service. The assembly of the machines and their completion was carried out in the chamber. The entire tunnelling complex including belt conveyors was subsequently assembled to form a single technological unit (see Fig. 2) so that the muck could be immediately transported through the connecting access tunnel to an intermediate stockpile located on the surface.





Obr. 2 Stroj EPBS S-609 na dně šachty připravený k ražbám  
Fig. 2 EPB shield S-609 at the shaft bottom, prepared for launching

Pro dodržení stanoveného termínu dokončení ražeb tratových tunelů bylo nutné použít dvou tunelovacích strojů EPBS tak, aby byl každý z nich logisticky zabezpečován zcela samostatně. Další podmínkou bylo navržení separátních přístupů do trasy, a to jak u všech stanic, tak i do montážní komory na Vypichu. Tím se vyřešily kolize v termínech prací mezi výstavbou jednokolejných tunelů (JKT) a stanicemi metra, tj. byly minimalizovány případné prodlevy jak u technologie tunelovacích strojů, tak i u ražeb prováděných NRTM. Důležitým prvkem pro splnění celkového harmonogramu bylo vybudování jámy s potřebným zařízením staveniště v těsné blízkosti ulice Evropská (staveniště Evropská 2, dále E2). Přeložením logistického zajištění ze staveniště BRE1 na staveniště E2 se podařilo první polovinu ražeb JKT a s ní stanic Petřiny a Veleslavín osvobodit od technologické dopravy ke štítům a umožnit splnění termínů prací od ražbách i vybudování definitivního ostění zmíněných stanic.

Ražby štítů byly na kritické cestě celkového harmonogramu projektu a musely být dokončeny za rok a půl od chvíle montáže (duben 2011) nejpozději do ledna 2013, tj. včetně prorážky a následné demontáže ve stanicí Dejvická. Návrh technologie EPBM a s ní související logistiky proto musel vycházet z požadavku na zajištění nepřetržitých ražeb a dosažení zaručených denních výkonů mezi 12 a 16 metry za den včetně všech prostojů a technologických přestávek na přesun již zčásti vyraženými stanicemi i času na zajištění opětového startu štítových komplexů. Pro snížení časového rizika při realizaci však bylo nutné zajít ještě dále a pro dopravu výplňové směsi za ostění byl zvolen separátní trubní systém. Toto opatření společně s pásovými dopravníky a vozidly MSV umožnilo oddělení jednotlivých dopravních toků materiálu, které se díky tomu staly méně náchylnými k prostojům.

Celkově se podařilo udržet prostoje při ražbách štítů (bez započítání přesunů a startů) na hodnotě 30 %.

Rizikovými operacemi byly přesuny štítů stanicemi a následné restarty ražeb za stanicemi, které mohly znamenat výrazné časové prodlevy. Proto bylo nutné z důvodu značné pracnosti celý proces přesunů v průběhu realizace zefektivnit.

Celou trasu tratových tunelů prováděnou tunelovacími stroji bylo možné rozdělit na dva hlavní úseky. První začínal na zařízení staveniště BRE1 a končil na staveništi E2 situovaném přibližně v polovině trasy. Druhý pokračoval ze staveniště E2 na ulici Evropská a končil ve stanicí Dejvická. Důvody pro toto členění již byly uvedeny v odstavci 2.1.

Úvodní fáze ražeb byla vymezena úsekem mezi startovací jámou na staveništi BRE01 a stanicí Petřiny. Ražba zpočátku probíhala v jednosměrném denním režimu z důvodu zacvičení osádek. Tento způsob se však záhy ukázal jako nevhodný, jelikož byl provázen neustálými problémy při zahájení ražby po noční směně. Bylo nutné pracně čistit trysky pro výplňovou dvoukomponentní suspenzi, čistit pásový dopravník a čerpat vodu, která během přerušování prací zaplnila odtěžovací komoru. Z těchto důvodů byly ražby zahájeny také na noční směně ještě ve zkušebním provozu štítů.

Za stanicí Petřiny následovala úpadní ražba s klesáním 3,95 % (4 % – maximální dovolený podélný sklon na trasách pražského metra).

The assembly of each machine took approximately 2 months. When the on-site assembly was finished, the take-over and testing were repeated. Only then was it possible to issue the instruction to the machines S-609 and S-610 to start the excavation on 10th April 2011 and 12th July 2011, respectively.

It was necessary for meeting the contractual deadline set for the completion of the excavation of running tunnels to use two EPB tunnelling machines with the logistics provided for each of them completely separately. Another condition was that separate accesses to the route were designed for all stations and an assembly chamber for the Vypich site. This system solved collisions in deadlines between the construction of single-track tunnels and metro stations, thus contingent time lags in the work of the EPB machines and in the NATM excavation were minimised. The development of construction pit E2 with required site facilities in the close vicinity of Evropská Street was an element important for the meeting of the overall schedule. Owing to the relocation of the logistics base from BRE1 site to E2 site, the first half of the excavation of single-track tunnels and the underground excavation of Petřiny and Veleslavín stations were freed from the construction transport to the shields. The meeting of deadlines for the tunnelling and installing the final lining in the above-mentioned stations was therefore possible.

The tunnelling with shields was on the critical path in the overall project schedule. The drives had to be finished in a year and half after the moment of the assembly (April 2011), not later than January 2013, including the breakthrough and subsequent dismantling in Dejvická station. The EPBM tunnelling system design and associated logistics therefore had to be based on the requirement for ensuring uninterrupted driving and achieving guaranteed daily advance rates ranging from 12 to 16 metres per day, including all downtimes and technological breaks required for shifting the machines through stations the excavation of which had been only partially finished, and the time needed for re-launching of the shield complexes. It was necessary for diminishing the time risk during the work to proceed even further and install a separate pipeline system for the transport of the material for backfilling the annulus behind the lining. Owing to this measure, together with the belt conveyors and the MSV vehicles, it was possible to separate individual material transport flows, which became less liable to downtimes.

Overall, downtimes during the shield tunnelling (without downtimes needed for the shifting through stations and re-launches) were successfully kept at the level of 30%.

The shifting of shields through stations and subsequent re-launching behind stations, which could mean significant delays, were risk operations. It was therefore necessary to improve the effectiveness of the labour intensive shifting process during the construction.

The entire route of running tunnels driven by EPB tunnelling machines could be divided into two main sections. The first section started at BRE1 construction site and ended at E2 construction site located approximately in the middle of the route. The other section continued from E2 site next to Evropská Street and ended at Dejvická station. The reasons for this division were presented above in section 2.1.

The initial phase of the excavation was delimited by the section between the launching shaft at BRE1 construction site and Petřiny station. In the beginning, the excavation proceeded with single shifts during the daytime to allow the crews to pass the learning curve. However, this system soon turned out to be unsuitable because it was attended by permanent problems with restarting the work after the night breaks. It was necessary to laboriously clear the jets for the two-component slurry, clean the belt conveyor and pump water which had filled the extraction chamber during the break. These were the reasons why the tunnelling in night shifts commenced even during the trial operation of the shields.

A 3.95% downhill gradient drive followed behind Petřiny station (the maximum longitudinal gradient permitted for Prague metro lines is 4%). The highest ever advance rates in terms of the number of meters excavated per a certain unit of time was achieved on this 1066m long section, passing mostly through an environment

Na tomto cca 1066 m dlouhém úseku, který byl z převážné většiny veden v prostředí jílovitých břidlic, bylo dosahováno doposud nejvyšších výkonů z hlediska počtu vyražených metrů za určitou časovou jednotku (tab. 1). Při ražbách byl uplatňován otevřený mód před plnoprofilovou hlavou štítu, vyjma dvou případů preventivní ochrany povrchové zástavby. Prvním z nich byl obytný komplex Hvězda, druhým železniční trať Praha – Kladno.

Nejlepší výkony, které jsou v historii ražeb tunelů pražského metra rekordní, jsou uvedeny v tab. 1 a byly uskutečněny právě na tomto úseku.

Tab. 1 Nejlepší průměrné výkony ražby dosažené na stavbě V.A

S-609			
Nejlepší denní výkon	....	30 m	(28. 10. 2011)
Nejlepší týdenní výkon	....	156 m	(24. 10.–30. 10. 2011)
Nejlepší měsíční výkon	....	625,5 m	(11/2011)
S-610			
Nejlepší denní výkon	....	37,5 m	(15. 12. 2011)
Nejlepší týdenní výkon	....	192 m	(5.–11. 12. 2011)
Nejlepší měsíční výkon	....	528 m	(12/2011)

Třílodi stanici Veleslavín byly štíty přesunuty obdobně jako stanici Petřiny, tj. po železobetonové kolíbece s tím rozdílem, že bylo pokusně vyzkoušeno použití ocelových konstrukcí pro zajištění opory hydraulických posunovacích válců štítu. Ze startovacích komor na konci stanice byla zahájena ražba na cca 220 m dlouhém úseku stavebního objektu 04 (SO 04) Traťový úsek Červený Vrch – Veleslavín, až do otevřené stavební jámy na staveništi E2.

Jáma na E2 byly stroje přesunuty po předem vybetonované desce budoucí železobetonové konstrukce větracího objektu. Pro posun štítů byly opakovaně použity ocelové konstrukce ze stanice Veleslavín. Rozrážka za jámou byla provedena pomocí startovacího ocelového rámu osazeného těsně za obálkou štítu.

Úsek ražeb mezi stanicemi Veleslavín a Červený Vrch byl rizikový s ohledem na nízké nadloží a podcházení výškových budov na sídlišti Červený Vrch. Situaci komplikovala i ta skutečnost, že ražby štíty probíhaly v horninovém prostředí s výskytem starých důlních děl z 19. století, o nichž se dochovalo jen minimální množství informací.

Z důvodu stěhování zařízení staveniště BRE1 na E2 pak bylo nutné stroj S-610 odstavit bez možnosti provedení prorážky. Pro tento účel byl využit systém, který průběžně udržoval tlak jak v odtěžovací komoře, tak před rozpojovací hlavou a vně pláště štítu vůči horninovému prostředí. V případě poklesu stanoveného tlaku pak byla automaticky dočerpávána aktivovaná bentonitová suspenze. Po obnovení ražeb byl zbývající úsek PTT (pravý traťový tunel) do stanice Červený Vrch dokončen v červnu 2012.

Jednolodi stanici Červený Vrch (SO 03) byly oba štíty již odsunovány od modifikovaných ocelových konstrukcí a start opět proběhl ze startovacích komor na konci stanice.

Závěrečná část ražeb v mezistančním úseku Červený Vrch – Dejvická probíhala již ze staveniště E2, kam byla veškerá technologická vybavenost přestěhována ze staveniště BRE1. Závěrečný úsek byl nejdělsí a nejsložitější částí ražeb z pohledu předpokládaného geologického prostředí, či výskytu v nadloží vedených podzemních sítí včetně kanalizačních stok s nestabilní cihelnou obezdívkou. Nadloží nad tunelovacími stroji se pohybovalo v rozmezí 12–16 m. Dne 8. 7. 2012 došlo nad strojem S-609 k propadu vozovky. Bylo zjištěno, že podkladní vrstvy pod silnicí v ulici Evropská jsou v nevyhovujícím stavu, nedostatečně zhutněné, obsahují oslabená prázdná místa a v jejich podloží byly objeveny další dutiny. Tyto skutečnosti měly vliv na bezpečnost provádění prací v podzemí, ale také na možné ohrožení lidí na povrchu. Z těchto důvodů bylo rozhodnuto o provedení geofyzikálního průzkumu a na základě vyhodnocení o provedení sanačních prací. V předstihu před razicími stroji se provedly částečné uzavírky ulice Evropská. Nad místy ražby tunelovacích strojů byl na povrchu zajištěn stálý technický dozor. Stroje pak byly nastaveny na provádění ražeb výhradně v uzavřeném módu za nepřetržitého sledování a vyhodnocování údajů z řady tlakových čidel včetně sledování množství výplňové suspenze injektované za

formed by clayey shales (see Table 2). The open face mode was applied to the full-face tunnelling machine head, with the exception of two cases of the preventive protection of existing buildings. The first of them was the residential complex of Hvězda, whilst the Prague – Kladno railway track was the other case.

The best advance rates, which mean records in the history of driving tunnels for Prague metro, are presented in Table 1. They were achieved in this particular section.

Table 1 The highest average advance rates achieved on the metro V.A drives

S-609			
Highest daily rate	....	30 m	(28/10/2011)
Highest weekly rate	....	156 m	(24/10–30/10/2011)
Highest monthly rate	....	625.5 m	(11/2011)
S-610			
Highest daily rate	....	37.5 m	(15/12/2011)
Highest weekly rate	....	192 m	(5/12–11/12/2011)
Highest monthly rate	....	528 m	(12/2011)

The shields were shifted through Veleslavín triple-span station similarly to the shifting through Petřiny station, i.e. on a reinforced concrete cradle. The only difference was that the use of steel structures was test tried for providing support for hydraulic thrust rams. The driving of the about 220 m long section forming construction lot SO 04 TÚ between Červený Vrch and Veleslavín stations, up to the open construction pit at construction site E2 started from launching chambers located at the end of the station.

The machines were shifted along E2 construction pit on a pre-prepared reinforced concrete slab of the future ventilation structure. Steel structures from Veleslavín station were re-used for the shifting of the shields. The start behind the pit was carried out using a launching steel frame installed just behind the shield envelope.

The tunnelling section between Veleslavín and Červený Vrch stations was risky with respect to the low overburden and the passage under high-rise buildings in the residential area of Červený Vrch. The situation was further complicated by the fact that the shields had to pass through an environment comprising abandoned mine workings from the 19th century, the existence of which was supported only by a minimum volume of information.

The advance of S-610 machine had to be suspended without allowing it to break through because of the necessity for moving site facilities from BRE1 site to E2 site. A system which continually maintained the pressure against the ground environment both in the extraction chamber, ahead of the cutting wheel and beyond the shield skin was used for this purpose. Additional activated bentonite slurry was pumped in the case of dropping of the pressure under the required value. After resuming the driving operations, the remaining right-hand running tunnel tube up to Červený Vrch station was finished in June 2012.

Both shields were shifted through Červený Vrch single-span station with thrust cylinders pushing against modified steel structures. They were re-launched again from launching chambers at the end of the station.

The final part of the drives in the Červený Vrch – Dejvická inter-station section was carried out from E2 site, to which all technological equipment was moved from BRE1 site. The final section was the longest and most complicated part of the drives in terms of the anticipated geological environment or the occurrence of underground utilities in the overburden, including a sewer containing instable brick lining. The overburden thickness above the full-face tunnelling machines varied between 12 – 16 m. The roadway above S-609 machine sunk on 8/7/2012. It was determined that the sub-base layers under the roadway in Evropská Street were in an inadequate condition, insufficiently compacted, containing weakened empty spots; cavities were detected even underneath. These facts affected the safety of underground operations and, potentially, even the safety of people on the surface. For these reasons the decision was made to conduct geophysical investigation and carry out stabilisation



prefabrikované ostění. Dalším přijatým opatřením ke zvýšení bezpečnosti bylo automatické zasílání SMS zpráv ze systému IRIS, které byly adresovány vybraným technikům na jejich mobilní telefony vždy, když došlo k překročení limitního množství rubaniny z jednoho záběru.

Na stavebním objektu 02 pak byl také proveden posun štítů v otevřeném prostoru (s plnou montáží prefabrikovaného ostění), tj. přes již vyraženou vzduchotechnickou komoru na staveništi E1, která protínala trasu obou jednokolejných tunelů. V tomto otevřeném prostoru oba stroje pokračovaly bez zastavení. Složitý úsek SO 02 o délce cca 1760 m byl dokončen v předem stanoveném termínu 26. 11. 2012 v podobě simultánní prorážky obou štítů do komory ve stanici Dejvická. Spojená prorážka měla také vliv na urychlení demontáží technologických tahů logistického zajištění, což se zvláště příznivě odrazilo při demontáži pásových dopravníků.

Ve stanici Dejvická budou oba stroje demontovány v předem připravené demontážní komoře. Části závěsu stroje budou odtáženy na staveništi Evropská 1 (E1) a štítová část rozebrána na jednotlivé části pomocí mostového jeřábu. Po demontáži a vytažení na povrch se stroje očistí a zakonzervují pro další použití.

Celkově oba tunelovací stroje vyrazily jednokolejné tunely o délce 8367 m. Rozpojily 239 092 m<sup>3</sup> rubaniny. Postavily 5555 prstenců s 33 330 segmenty ostění a aplikovaly 24 167 m<sup>3</sup> výplňové jílocementové suspenze. K úpravě konzistence odtěžené rubaniny spotřebovaly 47 730 m<sup>3</sup> před čelbu začerpané vody.

### 3 ZASTIŽENÁ GEOLOGIE NA PRODLOUŽENÍ METRA V.A

Oba tunelovací stroje byly navrženy tak, aby zvládly předpokládané geologické podmínky v trase (obr. 3).

Geologie této části Prahy je charakterizována převážně vrstvami prachovců, pískovců a jílovitých břidlic různého stáří a stupně zvětrání. Jedná se o prostředí, ve kterém byly v Praze postaveny kilometry tunelů a do návrhu konstrukce strojů byly charakteristické vlastnosti hornin zahrnuty.

Problémem při ražbách v úvodní části projektu však nebyly vlastní typy hornin, ale jejich vzájemné uložení, tzv. smíšené čelby, zastoupené pískovci v horní polovině profilu a vrstvou jílovitých prachovců ve spodní polovině. Z těchto důvodů byly ražby v takové geologii často doprovázeny velkými přítoky vody shromažďované na pomezí vrstev prachovců a pískovců.

Dalšími nepřijemnostmi při ražbě štítů byl výskyt vrstev křemenců, které byly zastihovány v profilu tunelu nahodile a měly vliv na používaný mód tunelovacího stroje. Vlastní ražby pak v oblasti stanice Veleslavín procházely břidlicemi ordovického stáří doprovázenými také vrstvami tufu.

Druhá část ražeb pod Evropskou ulicí byla vedena v prostředí silně zvětralých, až rozložených břidlic doplněných o křemence. V poslední fázi ražeb byla významná část horninového prostředí tvořena kvartérními sedimenty (deluviálními, eolickými, fluviálními).

work on the basis of its assessment. Partial closures of traffic on Evropská Street were carried out ahead of the work of the tunnelling shields. Uninterrupted technical supervision was secured on the surface above the tunnelling shields. From that moment on, the machines were exclusively set to work in the closed mode, continually observing and assessing the data obtained from a range of pressure sensors, including the monitoring of the volume of the backfill slurry injected behind the segmental lining. Another measure adopted for the increasing of safety lied in automatic sending of SMS reports from the IRIS system, which were addressed to selected technicians whenever the limit volume of muck from one excavation round was exceeded.

In the structure No. 02, the shields were shifted through an open space (with the full assembly of the segmental lining), i.e. across the already completed ventilation chamber on construction site E1 which crossed the route of both single-track tunnels. Both machines continued across the open space without stopping. The complicated 1760 m long SO 2 section was completed on-time on 26/11/2012, by both shields simultaneously breaking through to the chamber at Dejvická station. In addition, the joint breakthrough influenced the acceleration of disassemblies of technological lines of the logistics system, which fact especially favourably reflected itself during the disassembly of belt conveyors.

Both machines will be dismantled at Dejvická station, in a pre-prepared dismantling chamber. Parts of the machine backups will be pulled back to E1 construction site and the shields will be dismantled to individual parts using an overhead crane. When the dismantling and lifting to the surface is finished, the machines will be preserved for future use.

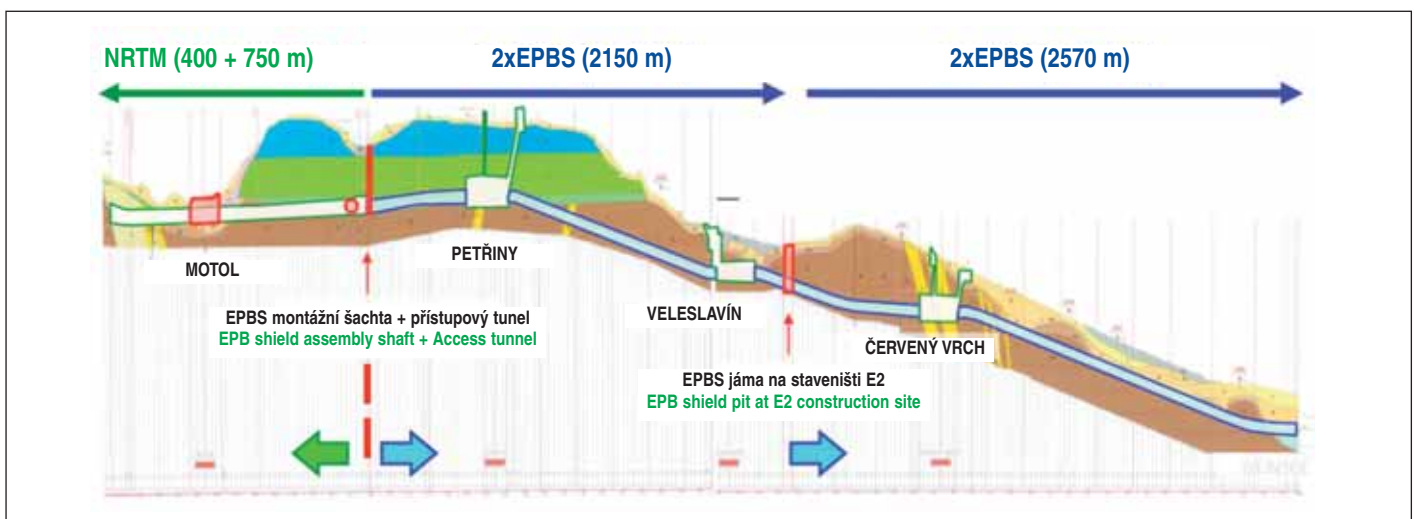
The aggregate length of single-track tunnels driven by both full-face tunnelling machines reached 8367 m. The machines disintegrated 239,092 m<sup>3</sup> of muck. They assembled 5,555 lining rings comprising 33,330 segments and applied 24,167 m<sup>3</sup> of filling clay-cement slurry. They consumed 47,730 m<sup>3</sup> of water pumped to the excavation face.

### 3 GEOLOGY ENCOUNTERED ON THE METRO V.A EXTENSION OF PRAGUE METRO

Both full-face tunnelling machines were designed in a way guaranteeing that the geological conditions anticipated along the route (see Fig. 3) would be coped with.

Geology in this part of Prague is mostly characterised by layers of siltstone, sandstone and clayey shale of various age and degree of weathering. It is the environment through which many kilometres of tunnels were driven in Prague in the past and the characteristic ground properties were allowed for in the machine design.

Anyway, the ground types themselves were not the problem encountered during the tunnelling operations in the initial part of



Obr. 3 Podélný řez metra V.A s geologií

Fig. 3 Longitudinal section through metro VA, including geology

Z hydrogeologického hlediska se jednalo o prostředí s výskytem zvodní. Zvodně se v kvartérních sedimentech nacházely v celém zájmovém území až cca 250 m před stanicí Dejvická. Jednalo se o propustné prostředí s koeficientem hydraulické vodivosti v řádu  $k_f \sim n \cdot 10^{-4}$  až  $n \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Propustnost kolísala s ohledem na zrnitost a proudění podzemní vody. Úroveň ustálené hladiny podzemní vody se předpokládala v rozmezí cca 5–11 m pod úrovní stávajícího terénu.

Dalším problémem byl výskyt geologických anomálií ve vrstvách kvartérních sedimentů. V těchto vrstvách jsou vedeny podzemní sítě zejména kanalizace. V tomto prostředí byly po pasportizaci objeveny oslabená místa a dutiny, jejichž existence byla důvodem vzniku kaverny, která rezultovala ve vznik propadu vozovky v ulici Evropská.

Kombinace všech výše zmíněných inženýrskogeologických poměrů, kdy byly v trase tunelu zastíženy typy hornin s mechanickými vlastnostmi (tab. 2) s odlišným než předpokládaným geologickým uložením i poruchami včetně intenzivního zvodnění, vytvářela zejména na úseku pod ulicí Evropská nepříznivé a neočekávané geotechnické podmínky i pro ražbu flexibilními strojními komplexy typu EPBS.

#### 4 KLASIFIKACE RAŽEB PRO STROJ EPBS

Pro splnění požadavků zadávací dokumentace bylo nutné, aby stroj EPBS razil v rozličných režimech. Ty byly v zadávacích podmínkách popsány takto:

- Režim bez podpory čelby (open mode)
- Režim s částečnou podporou čelby (transition mode)
- Režim s plnou podporou čelby (closed mode)

Zadávací dokumentace stanovila klasifikaci horninového prostředí do pěti rozdílných tříd rozpojitelosti TR1 až TR5. Tyto třídy byly specifikovány na základě klasifikace hornin podle pevnosti horninové materie R1–R6, indexu abrazivity CAI podle Cerchara a podle geotypů hornin očekávaných v trase tunelu. U tříd rozpojitelosti TR1, TR2 a TR3 se předpokládala ražba v módu bez podpory čelby (open mode), pro třídu TR4 mód s částečnou podporou čelby (transition mode) a v TR5 mód s plnou podporou čelby (closed mode).

Již po zahájení ražby se ukázala slabá místa v systému zařizování na základě kombinace těchto kritérií. Samotná klasifikace hornin podle pevnosti horninové materie zařizuje horniny podle pevnosti v jednoosém tlaku a hranice mezi jednotlivými třídami rozpojitelosti jsou zvoleny formálně a velice nešťastně. V kombinaci s dalšími kritérii – abrazivitou a očekávaným geotypem – pak vznikaly v provozu situace, kdy bylo posouzení podmínek a zařazení do určité třídy rozpojitelosti nejednoznačné. Přiřazení módu pro jednotlivé třídy bylo zaměřeno s ohledem na stabilitu čelby a bezpečnostní kritérium ochrany budov před nerovnoměrným sedáním povrchu, ale nezohledňovalo ovlivnění ražeb z důvodu geotechnických vlastností hornin a zemín, a to zejména s ohledem na výskyt jílovitých minerálů (zejména lepi-vošt) v kombinaci s přítoky podzemní vody.

the project. The problem lied in the relative positions in the so-called mixed face, where sandstone layers were located in the upper half of the profile and clayey siltstone was in the lower half. For these reasons the driving through such the geology was frequently attended by large inflows of water accumulated at the interface between the siltstone and sandstone layers.

Other hassle during the shield tunnelling was the occurrence of quartzite layers, which were encountered in the tunnel profile randomly and affected the tunnelling machine mode used. In the area of Veleslavín, the shields passed through Ordovician age shales even accompanied by tuff layers.

The other part of the excavation under Evropská Street ran through an environment formed by heavily weathered to decomposed shales supplemented by quartzites. In the last excavation phase, a significant proportion of the ground environment was formed by Quaternary sediments (deluvial, aeolian or fluvial).

From the hydrogeological point of view, it was an environment with the occurrence of aquifers. Aquifers were found in the Quaternary sediments in the entire area of operations, up to about 250 m before Dejvická station. It was a permeable environment with the coefficient of permeability  $k_f$  in the order ranging from  $n \cdot 10^{-4}$  to  $n \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Permeability varied depending on the particle distribution and groundwater flows. The standing level of the water table was expected to be about 5 – 11 m deep under the existing terrain level.

Another problem lied in the occurrence of geological anomalies in the layers of Quaternary sediments. These layers contain underground utility networks, first of all sewerage lines. Weakened locations and cavities were detected in this environment after the condition survey. Their existence was the reason why the cavern which resulted into the development of the sinkhole in the roadway in Evropská Street originated.

The combination of all above-mentioned engineering geological conditions, where ground types with mechanical properties differing from the anticipated ones as far as the relative positions of layers and failures including intense water saturation were concerned, created, first of all in the section passing under Evropská Street, conditions unfavourable even for the excavation using the EPB-type flexible mechanical systems.

#### 4 CLASSIFICATION OF DRIVES FOR EPB SHIELDS

To meet requirements of the final design, it was necessary for the EPB shield to be able to work in various regimes. The regimes were described in the tender conditions as follows:

- Regime without face support (the open mode)
- Regime with partial face support (the transition mode)
- Regime with full face support (the closed mode)

Tab. 2 Přehled hornin v trase JKT metra VA a jejich základní vlastnosti

Table 2 Review of ground types on the single-track tunnel sections of Metro VA Line and their basic properties

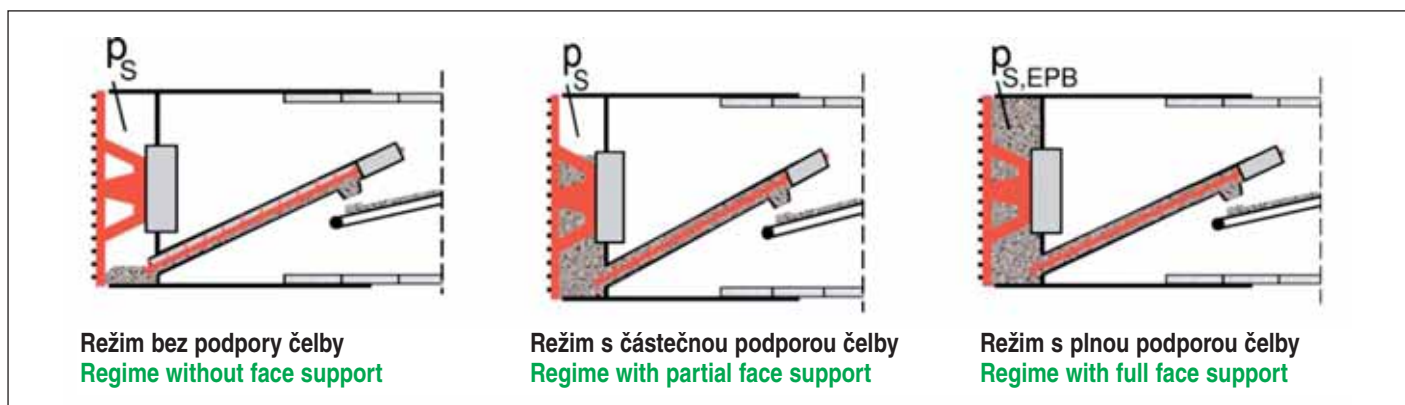
SOD	Typ horniny / Ground type	CAI	Abrazivita dle D7625-10 Abrasiveity to D7625-10	Objemová hmotnost (kg/m <sup>3</sup> ) Volume weight (kg/m <sup>3</sup> )	Zdánlivá hustota (kg/m <sup>3</sup> ) Partical density (kg/m <sup>3</sup> )	Pevnost v tlaku (MPa) Compressive strength (MPa)
SOD 07	pískovec / sandstone jílovec / claystone	1,07	medium	1747	2649 1710	2,47 2,01
SOD 06	jílovo prachovitá břidlice clayey-silty shale	0,7	low	2540	2815	0,18 – 5,38
SOD 05	tufy / tuff	0,82	low	2531	2855	2,56 – 9,39
SOD 04	jílovo prachovitá břidlice clayey-silty shale tufy / tuff břidlice / shale	0,66	low	2646	2806	4,12 – 16,63
		1,02 0,58	medium low	2621 2597	2888 2794	2,31 – 9,2 0,82 – 3,13
SOD 02	břidlice / shale	0,62	low	2469	2762	1,75 – 7,00

Legenda:

SOD – stavební oddíl / construction lot

CAI – index abrazivity podle Cerchara / Cerchar Abrasivity Index





Obr. 4 Schémata jednotlivých módů ražeb  
Fig. 4 Charts of individual driving modes

Systém zařazování do tříd rozpojitelnosti pro EPBS prováděný geologickým dozorem nebyl ideální a vykazoval značnou návaznost na tunelářské klasifikace pro podzemní stavby ražené NRTM. Otevřeným přístupem obou stran a za cenu přijetí kompromisů mezi zástupci zhotovitele a objednatele bylo dosaženo, že bylo možné se řídit zařazením podle zadávacích podmínek.

## 5 REŽIMY RAŽBY STROJEM EPBS

Ražby strojem EPBS mohou být prováděny v mnoha rozdílných módech, zejména pokud jde o způsob, jakým zajišťují stabilitu čelby. Při ražbách jednokolejných tunelů metra V.A byly použity tři základní, u nichž je popsán způsob provádění a základní charakteristiky strojů EPBS.

### 5.1 Režim bez podpory čelby (open mode)

Použití tohoto módu podmiňuje zastižení stabilních hornin bez přítoků podzemní vody. V podmínkách pražské geologie metra V.A se tento mód aplikoval při ražbě v pevných horninách, tzn. v prostředí zdravých břidlic, křemenců a tufů bez přítoků podzemní vody.

V těchto horninách se naplno využily 18" valivé disky vhodné do pevnějších hornin. Rezná hlava a šnekový dopravník byly provedeny v antiabrazivní úpravě ze slinutých karbidů, která zabránila zvětšenému opotřebení rezné hlavy, což se pozitivně projevilo na jejích opravách a údržbách. Kombinace příznivých geologických podmínek s vhodnými reznými nástroji umožnily dosažení rekordních výsledků při ražbách.

Stroje EPBS byly řízeny s těmito průměrnými hodnotami: tlakem  $p_s$  cca 0,36 barů na spodních senzorech, což indikovalo minimální zaplnění odtěžovací komory, rychlost otáčení rezné hlavy byla 3,4 ot/min., šnekového dopravníku 15 ot/min., penetrace cca 12 mm, průměrná rychlost 40 mm/min. a jeden záběr 1,5 m byl pak vyražen za 37,5 min. Hodnota kroutícího momentu se pohybovala kolem 1,8 MNm. Hodnota penetrace na čelbě umožnila omezit tlačnou sílu od píšťů na segmenty na hodnotu 4000 kN.

### 5.2 Režim s částečnou podporou čelby (transition mode)

Nasazení tohoto módu se předpokládalo pro zvládnutí přítoků podzemní vody do odtěžovací komory a při ražbě v horninách s omezenou stabilitou čelby. Tento mód musí v případě potřeby umožnit urychleně přejít do módu s plnou podporou čelby (close mode). Použití transition módu při podmínkách, které předpokládala zadávací dokumentace, se osvědčilo. Transition mód však bylo nutné používat z technologických důvodů, a to v případech, kdy byla ražba prováděna zejména v prostředí spondokřídového peruckého souvrství, i když stabilita čelby tunelu nebyla ohrožena. Perucké vrstvy však obsahovaly jemnozrné jílovité břidlice a rozpojováním těchto hornin reznými nástroji před štítem vznikaly drobné jílovité částičky, které vytvářely lepivý materiál. Takto rozpojený materiál způsoboval zalepování rezné hlavy a následně zastavení ražeb z důvodu ucpání otvorů v rezné hlavě i nahromadění materiálu v odtěžovací komoře. Změna módu umožnila tento problém vyřešit. Přidáním napěňovacích přísad s vodou se podařilo upravit v odtěžovací komoře rubaninu do požadované konzistence a tím omezit její lepivost.

The tender documents (the final design) determined five excavation classes TR1 through TR5 for the categorisation of the ground environment. These classes were specified on the basis of the categorisation of ground according to the strength of ground material R1-R6, Cerchar abrasivity coefficient (CAI) and according to the geotypes of the ground anticipated for the tunnel alignment. The open mode tunnelling was expected for excavation classes TR1, TR2 and TR3, while the transition mode with the partial face support was expected for class TR4 and the closed mode for class TR5.

Weak spots of the categorisation system based on the combination of the above-mentioned criteria manifested themselves as early as after the commencement of the drives. The categorisation of ground types on the basis of ground material strength classifies ground types according to the uniaxial compression strength itself and the boundaries between individual classes are chosen in a very unfortunate manner. Situations were encountered during the operations where the assessment of conditions and determination of particular excavation classes were ambiguous in the combination with other criteria – abrasivity and anticipated geotypes. The modes were assigned to individual classes taking into consideration the face stability and the safety criterion for the protection of buildings against differential settlement of the surface, but without allowing for the effects of geotechnical properties of rocks and soils on the excavation, first of all with respect to the occurrence of clayey materials (namely stickiness) in combination with inflows of groundwater.

The system of the categorisation into excavation classes for EPB shields carried out by the geological supervision was not ideal and showed significant relationship to the categorisation applied to underground construction realised by the NATM. Owing to the open-minded attitude of both parties and at the cost of accepting compromises between representatives of the contractor and the client, the state was achieved where it was possible to follow the categorisation according to the tender conditions.

## 5 EPBS EXCAVATION REGIMES

Tunnelling using EPB shields can be carried out in many different modes, first of all as far as the way in which the face stability is ensured is concerned. Three basic modes were applied during the driving of single-track tunnels of the metro V.A Line. The execution of the work and basic characteristics of EPB machines is described below.

### 5.1 Regime without face support (the open mode)

The application of this mode is conditioned by encountering stable ground without groundwater inflows. This mode was applied in the Prague geology conditions for metro V.A during the tunnelling through sound rock, i.e. through the environment formed by sound shales, quartzites and tuffs without groundwater inflows.

These ground types allowed full use of 18" disc cutters suitable for harder ground. The cutterhead and the screw conveyor were manufactured with the surface provided with tungsten carbide anti-abrasive coating, which prevented increased wear of the

Ve fázi přípravy projektu se očekávalo, že se pevná hornina bude působením řezných disků rozpadat na nesoudržný materiál, který bude obsahovat drobné a větší částičky šterkovité frakce. Místo toho byla rubanina z důvodu přítomnosti měkkých jemnozrnných jílu po smíchání s vodou a pěnými aditivami náchylná k vytváření velmi soudržného materiálu. Aby horninu bylo možné odtěžovat, bylo nutné přidávat velké množství vody (10–16 m<sup>3</sup> na 1,5 m dlouhý záběr). Voda byla do odtěžovací komory přiváděna separátním trubním vedením původně konstruovaným jako součást bentonitové jednotky. Důvodem lepivosti a ucpávání řezné hlavy bylo množství jílovitých částic, které dosahovalo až 30 % obsahu v horninách, které byly měkčí, než se předpokládalo v rámci průzkumu. Důvodem velkého množství absorbované vody byla přirozená 7% vlhkost.

Zprvu bylo záměrem provádění ražby bez přidání vody a pěn. Taková ražba však byla možná pouze v prostředí bez přítoku podzemní vody. Posádky se musely vypořádávat jak s lepivým jílem, který se nabaloval na šnekový dopravník, tak s bahnem, které se rozlévalo z pasového dopravníku do dna štítu poté, co se v odtěžovací komoře nahromadila podzemní voda při stavbě segmentů a dlouhých odstávkách. Ražby byly zdržovány nejen ucpáváním šnekového dopravníku, ale i v době, kdy se lepivý materiál nabalil na řeznou hlavu a vytvořil „koláč“ před řeznou hlavou, který bránil rozpojovací hlavě v penetraci horniny při dalším záběru. Úplné zastavení ražeb nastalo ve chvíli, kdy rubanina zcela ucpala všechny prostory v řezné hlavě a nebylo možné již žádný materiál dopravovat do odtěžovací komory. Po 75 metrech bylo jasné, že v daných podmínkách je nemožné razit „na sucho“. Proto operátoři z řídicí kabiny začali čerpat přídavná zpěňovala s vodou do prostoru před řeznou hlavou. Vhodný mix vody a pěn minimalizoval lepivost materiálu a vytvořil transportovatelný, plastický materiál. Parametry pěn a množství dodávané vody se měnily spolu s měnícími se geologickými podmínkami (vodonosné vrstvy písčivců). Operátoři štítu tak museli současně sledovat kromě provozních parametrů stroje i konzistenci odtěžované rubaniny, aby byla transportovatelná šnekovým i pásovým dopravníkem až na mezideponii na povrchu zařízení staveniště.

Stroje EPBS byly operovány s tlakem  $p_s$  cca 0,5 barů v odtěžovací komoře, což dostačovalo na její částečné zaplnění, rychlost otáčení řezné hlavy byla upravena na 3 ot/min., šnekového dopravníku 10 ot/min., penetrace cca 11,5 mm, průměrná rychlost postupu 33 mm/min. a jeden záběr 1,5 m byl vyražen za 45 min. Hodnota kroutícího momentu se pohybovala kolem 2,1 MNm. Tlačná síla od pístů na segmenty měla hodnotu až 6000–8000 kN.

### 5.3 Režim s plnou podporou čelby (closed mode)

Mód s plnou podporou čelby (closed mode) je podstatou vzniku metody EPB (rovnovážných zeminových tlaků) a její vývojové modifikace. Její použití je výhodné především v nestabilních horninách a pod hladinou podzemní vody při nízkých hodnotách přítoků vody nebo nízkých hodnotách hydrostatického tlaku. Vyvozením rovnovážného stavu je dosaženo stability čelby a omezení sedání povrchu. Podmínkou však je řádné zaplnění odtěžovací komory, které je podmíněno úpravou materiálu do vhodné konzistence. Dodavatelem přísad pro úpravu konzistence rubaniny se ve výběrovém řízení pro projekt metro V.A stala firma BASF. Ta pro dané geologické podmínky doporučila dva své výrobky – SLF 41 a Rheosoil. Pro získání co největšího množství informací a zkušeností se Metrostav a. s. rozhodl na vybraných úsecích nasadit i produkty dalších firem – Condat a Mapei. Úprava konzistence rubaniny a řízení stroje EPBS je v tomto módu velice obtížná.

V podmínkách metra V.A byl použit mód s podporou čelby v místech, kde bylo snahou zabránit sedání nadzemních objektů. Close mód byl v první fázi ražeb nasazen pouze krátkodobě při podchodu bytového komplexu Hvězda a pod železniční trať v blízkosti nádraží Veleslavín. Dlouhodobější zkušenosti s tímto provozním režimem ražeb byly načerpány při ražbě pod Evropskou ulicí, tzn. bez výjimky na celém tratovém úseku mezi stanicemi Červený Vrch a Dejvická.

Charakteristický průběh křivek v diagramu závislosti tlaku na čase při každém postupu stroje včetně následné stavby prstence ukazoval, že tlak v odtěžovací komoře během ražby postupně klesal.

cutterhead. It manifested itself positively in their repairs and maintenance. The combination of favourable geological conditions with proper cutting tools made the achieving of record results during the excavation possible.

The EPB shields were operated with the following average values applied: the pressure  $p_s$  of about 0.36 bar on bottom sensors, which indicated minimum filling of the extraction chamber; cutterhead speed of 3.4 rev/min; screw conveyor rotating velocity of 15 rev/min; penetration rate of 12 mm/min, average penetration rate of 40 mm/min; one 1.5 m long excavation round was completed in 37.5 minutes. The torque value fluctuated about 1.8 MNm. The penetration rate value made reducing of the thrust of cylinders on lining segments to 4000 kN possible.

### 5.2 Regime with partial face support (the transition mode)

The application of this mode was planned for coping with groundwater inflows into the extraction chamber and for tunneling through limited face stability ground. This mode must make accelerated transition to the closed mode possible when necessary. The application of the transition mode in conditions anticipated in the tender documents acquitted itself. On the other hand, the transition mode had to be used for technological reasons even in the cases where the driving passed through an environment formed by the Lower Cretaceous Peruc Formation, despite the fact that the face stability was not endangered. The Peruc formation layers contained fine-grained clayey shales and minute particles which originated in front of the cutterhead by the disintegration of this rock with cutting tools, forming a sticky material. This material stuck to the cutting wheel. The excavation was subsequently stopped because the openings in the cutting wheel got clogged and material mounted up in the extraction chamber. The problem could be solved owing to the change in the mode. The muck in the extraction chamber was successfully treated by the addition of foaming agents with water until it reached the required consistency, reducing its stickiness.

It was expected in the design preparation phase that the stiff ground would be disintegrated by the action of disc cutters into incohesive material consisting of small and larger particles of a gravelly fraction. Instead, the muck was prone to creating a very cohesive material after mixing it with water and foaming agents because of the presence of soft fine-grained clay. It was necessary to add great amount of water (10 – 16 m<sup>3</sup> for a 1.5 m long excavation round) to make the loading and removing of the muck possible. Water was fed to the extraction chamber by a separate pipeline, which was originally designed to be a part of the bentonite supply unit. The reason why the stickiness and plugging of the cutterhead occurred was the high content of clayey particles reaching up to 30% in rocks softer than expected according to the survey. The large amount of absorbed water resulted from the natural moisture of 7%.

The initial intention was that the excavation would proceed without the addition of water and foaming agents. However, such the procedure was possible only in an environment without groundwater inflows. Crews had to cope with both the sticky clay packing onto the screw conveyor and the mud spilling over the conveyor belt edges to the shield bottom after groundwater accumulated in the extraction chamber during the installation of lining segments and during long downtimes. The excavation progress was delayed not only by the plugging of the screw conveyor, but also during periods in which the sticky material packed onto the cutting wheel and formed a “cake” ahead of the cutting wheel, preventing the penetration of the cutterhead during the excavation of the following excavation round. The excavation stopped completely at the moment when the muck completely plugged all openings in the cutting wheel and it was no more possible to get the material to the extraction chamber. It was clear after 75 metres that “wet” driving process was impossible in the particular conditions. Operators therefore started to pump additional foaming agents with water from the control cabin to the space ahead of the cutting wheel. A proper mix of water and foam minimised the material stickiness and created a transportable plastic material. The parameters of foams and the amount of added water changed with changing geological conditions



To bylo dáno únikem vzduchu, který se uvolňoval z pěn po úpravě rubaniny a také její samotnou konsolidací. Svůj vliv měl i pokles teploty hydraulického oleje a následná kontrakce tlačných pístů. Pro minimalizaci tohoto efektu byl dodatečně zaveden odvodušňovací ventil z odtěžovací komory, kterým bylo možno upouštět vzduch během plnění komory tak, aby byl přetlak v co největší možné míře skutečně vyvozen rubaninou a nikoli vzduchem, který nemá v prostředí propustných hornin požadovaný podpůrný účinek.

Stroje EPBS byly v uzavřeném režimu operovány s tlakem  $p_{s,EPB}$  cca 1,5–2,5 barů na senzorech umístěných v horní části odtěžovací komory, což indikovalo její zaplnění, rychlost otáčení řezné hlavy byla 2,7 ot/min., šnekového dopravníku max. 8 ot/min., penetrace cca 11 mm, průměrná rychlost 29 mm/min. a jeden záběr 1,5 m byl vyražen za 52 min. Hodnota kroutícího momentu se pohybovala na hodnotách 2,4 MNm až 3 MNm. Tlačná síla od pístů na segmenty měla hodnotu 10 000 až 18 000 kN.

## 6 ŘEZNÉ NÁSTROJE PRO RAŽBU

Podle přepokládané geologie byla výrobcem stroje EPBS firmou Herrenknecht AG řezná hlava osazena 4x17" jednodisky umístěnými na obvodu řezné hlavy. Obvodové disky se daly vysouvat, aby mohly vytvářet po obvodu výrub o průměru 6060–6100 mm z důvodu ražby v rozdílně tlačivých horninách. Na ploše řezné hlavy bylo osazeno 17x17" dvoudisků. Odstup jednotlivých stop byl 100 mm. Před zahájením ražeb byly 17" dvoudisky nahrazeny řeznými noži, tedy statickými nástroji vyjma jednoduchých disků po obvodu jako reakce na ražbu v měkkých horninách typu prachovců a jílovitých břidlic pevnosti 0,5–1,5 MPa zastižených při ražbě v blízkosti stanice Petřiny. Výhodou řezných nožů byla nižší cena a nižší hmotnost, takže při výměně se s nimi dalo dobře manipulovat. Porovnání mezi výkonností nožů a disků po obvodu byla pak provedena u druhého stroje, který byl již vystrojen po obvodu pouze noži. Spotřeba řezných nástrojů zvláště v abrazivních pískovcích byla obdobná. Jedinou nevýhodou nožů bylo, že vytvářely větší kroutící moment řezné hlavy a z tohoto důvodu byla dohodnuta s výrobcem náhrada za jiný tvar nože s menší kontaktní plochou. U těch se však nerovnoměrně opotřebovávala jejich tvrdokovová úprava. K dalšímu vývoji tvaru nožů již nedošlo, jelikož jejich použití ukončilo zastižení vrstev křemenců. Po kontaktu s nimi došlo ke zničení osazených nožů a řezná hlava musela být zpětně vystrojena disky. Také u disků došlo ke změně a původní 17" disky byly nahrazeny 18". Použití 18" disků se významně projevilo na jejich zvýšené životnosti. S přestrojenou řeznou hlavou s 18" disky ražba proběhla až do konce. V měkkých jílovitých horninách se naplno projevila nevýhoda disků, u nichž se po zablokování zastavilo jejich otáčení a disky se tak opotřebovávaly nerovnoměrně tak dlouho, až přestaly být funkční. Proto byly na plnopřilové hlavě osazeny dva senzory, které rozeznávaly opotřebování řezných nástrojů.

Použití obou druhů řezných nástrojů se v zastižených geologických podmínkách osvědčilo, přičemž z důvodu ražby v uzavřeném módu a požadavkem na delší životnost řezných nástrojů bylo jednoznačně preferováno použití disků.

## 7 INOVATIVNÍ ŘEŠENÍ PROVEDENÉ PRO TECHNOLOGII EPBM

### 7.1 Starty EPBS

Ražby štítů byly ze začátku rozděleny třemi podzemními stanicemi, jednou otevřenou hloubenou jámou a podzemním prostorem pro budoucí objekt ventilace. Oba stroje tedy musely na čtyřkilometrovém úseku absolvovat čtyři přesuny těmito prostory a také čtyři restarty v rozrážkách.

Zahájení ražeb v montážní komoře na Vypichu bylo podmíněno vyražením cca 10 metrů tunelů, do kterých byl vsunut štít. Za ním byl instalován masivní ocelový startovací rám, který pro tento účel navrhla firma Herrenknecht. Rám byl opřen do železobetonové konstrukce dna šachty staveniště BRE1, které bylo navrženo na spolehlivé přenesení sil vyvozených tlačnými písty tunelovacího stroje.

(water-bearing sandstone layers). Apart from operating parameters, shield operators had to monitor even the consistency of the muck being excavated so that it was suitable for both the screw conveyor and the transport by the belt conveyor up to the intermediate stockpile on the surface, located in the area of the construction site.

The EPB shields were operated with the pressure  $p_s$  of about 0.5 bar in the extraction chamber. This pressure was sufficient for partial filling of the chamber. The cutterhead speed and the screw conveyor rotating velocity were adjusted at 3 rev/min and 10 rev/min respectively; penetration rate of about 11.5 mm/min and average penetration rate of 33 mm/min were maintained. The excavation of one 1.5 m long round took 45 minutes. The torque fluctuated about 2.1 MNm. The thrust of rams against lining segments varied between 6000 – 8000 kN.

### 5.3 Regime with full face support (the closed mode)

The regime with full face support (the closed mode) is the principle of the origination of the EPB (Earth Pressure Balance) method and its development modification. Its application is beneficial first of all in instable ground and under water table if water inflow rates or hydrostatic pressure values are low. The face stability and reduction of the surface settlement is achieved by creating the state of equilibrium. The condition is that the extraction chamber is adequately filled, which depends on the proper altering of the material consistency. BASF AG was awarded the contract for supplying additives for the treatment of muck in a competition organised for the Metro V.A project. It recommended two of its products for the particular geological environment - SLF 41 and Rheosoil. Metrostav a. s. decided even to apply products of other companies to selected sections – Condat and Mapei – to obtain as much information and experience as possible. The adjustment of muck consistency and the EPB shield control is very difficult in this mode.

In metro V.A conditions, the closed mode was used in the locations where there was the effort to prevent the settlement of existing buildings. In the initial phase of excavation the closed mode was applied only for a short time, during the passage under the residential complex of Hvězda and under a railway track near Veleslavín railway station. More longer experience with this operating tunnelling regime was gathered during the tunnelling under Evropská Street, which means tunnelling without exception within the entire track section between Červený vrch and Dejvická stations.

The course of each advance of the machine and the following assembly of the next lining ring was displayed by characteristic curves in the time-pressure diagram, where the pressure in the extraction chamber gradually decreased during the excavation. It was the result of the release of air from foams after treating the muck and of the muck consolidation itself. The drop in the hydraulic oil temperature and subsequent contraction of thrust cylinders had also their share of this effect. An air release valve was additionally installed on the extraction chamber with the aim of minimising this effect. Air pressure could be reduced by this valve during the filling of the chamber so that the positive pressure was really induced as much as possible by the muck, not by air, which does not produce the required supporting effect in the environment formed by permeable ground.

The EPB machines were operated in the closed regime with the pressure  $p_{s,EPB}$  of about 1.5 to 2.5 bar on sensors located in the upper part of the extraction chamber. This pressure indicated that the chamber was full. The cutterhead speed was 2.7 rev/min; maximum screw conveyor rotating velocity was 8 rev/min; penetration rate of 11 mm/min; average penetration rate of 29 mm/min; one 1.5 m long excavation round was completed in 52 minutes. The torque value varied between 2.4 MNm and 3.0 MNm. The thrust of rams against lining segments varied between 10,000 and 18,000 kN.

## 6 CUTTING TOOLS FOR EXCAVATION

Based on the anticipation of the geology, Herrenknecht AG, the manufacturer of the EPB shields, installed 4 x 17" single-disc cutters on the cutting wheel circumference. It was possible



Obr. 5 Opěrné prvky pro start EPBS ze startovací komory  
Fig. 5 Support elements for the EPB shield start from a launching chamber

Ocelový rám byl opětovně použit i pro start obou strojů ze stavební jámy na staveništi E2. Start se však lišil oproti šachtě na ZS BRE1, neboť nebyly využity předražené tunelové komory. Start stroje byl proveden do svislé stěny jámy a tlačné síly byly na rám přenášeny přes postupně stavěné prstence ostění, které byly podpírány pomocnými ocelovými konstrukcemi a převázány lany.

V podzemních stanicích se pro restart strojů nejdříve vyrazily startovací komory délky 12 metrů a profilu větším, než byl průměr EPBS. Do primárního ostění předraženého tunelu byla po segmentech předem instalována ocelová skruž, která se následně spojila s ostěním pomocí kotev a volný prostor mezi ní a primárním ostěním komory byl vyplněn samozhutitelným betonem. Na skruž byly následně přivařeny ocelové opěry (obr. 5). K těmto opěrám se před zahájením ražeb štítem přimontoval ocelový prstenec. K němu se pak sestavil prstenec ze železobetonových segmentů, od kterého se pak štítové písky opřely.

## 7.2 Průtahy raženými stanicemi

Přesuny štítů předem vyraženým prostorem stanic byly ze začátku prováděny způsobem, který byl inspirován řešením prováděným při výstavbě metra v tureckém Istanbulu. Ve stanici byly vybetonovány konstrukce železobetonových lůžek, do kterých byly upevněny vodící kolejnice. Po těchto kolejnicích, které musely být před posunem důkladně lubrikovány, se skutečně posun štítové části stroje EPBS. K vlastnímu posunu stroje byl používán ocelový segment, který se přivařil ke kolejnicím. Od něj se štít přesunul vždy na vzdálenost jednoho postupu. Po výsunu se ocelový segment přemístil zpět na startovací pozici. Tím, že byl stroj posouván po kolejnicích, byla minimalizována styčná plocha, a tím i odpor vznikající v důsledku působící třecí síly.

Pro přesun závěsných vozů byly štítem do lůžka pokládány segmenty ostění, které byly kladeny do vysypaného pískového lože. Později se ukázalo, že zřízení pískového lože a instalace segmentů bylo příliš zdlouhavé. Problémy se ukázaly i při následných průjezdech vozy MSV, jejichž hmotnost způsobila praskání a posuny železobetonových dílců. Navíc konstrukce lůžek ze segmentů bylo nutné opět odstraňovat, což s ohledem na pracnost provádění i cenu poškozených prefabrikátů neúměrně navýšovalo náklady.

Po prvním přesunu štítu byly navrženy ocelové konstrukce, které železobetonové lůžko nahradily a celý proces zrychlily. Tyto ocelové konstrukce byly modifikovatelné a navíc použitelné opakovaně, a to jak v hloubených částech (obr. 6), tak v ražených stanicích.

## 7.3 Těsnění mezery za ostěním při doražení do stanic

Po prorážce stroje EPBS a zahájení jeho přesunu bylo potřeba dokončit montáž ostění, až do prostoru stanice nebo do stavební jámy. Posledních několik prstenců bylo třeba blízko stěny jámy či stanice dodatečně aktivovat vůči horninovému prostředí. Po zatěsnění posledního prstence v úrovni prorážky se zpětně zaplňovalo mezikruží předchozích několika prstenců dvoukomponentní výplňovou suspenzí.

to extend the circumferential discs so that they could create the excavated opening with the diameter of 6060 – 6100 mm when passing through variously squeezing ground. There were 17 x 17 twin-discs installed within the cutting wheel surface. The separation between individual paths of the discs was 100 mm. Before the excavation commencement, the 17" twin-disc cutters were replaced by simple cutters, i.e. static tools (with the exception of single-disc cutters on the circumference) as a response to the excavation through soft ground of the siltstone and clayey shale types with the strength ranging from 0.5 to 1.5 MPa, which were encountered during the work in the vicinity of Petřiny station. The advantage of the simple cutters lied in a lower price and lower weight, facilitating the handling of the cutters when they were being replaced. The performance of the simple cutters and disc cutters was compared on the second machine, the cutting wheel of which was equipped on the circumference solely with simple cutters. The consumption of cutting tools, especially in abrasive sandstone, was similar. The only disadvantage of simple cutters was the fact that they produced greater cutting wheel torque. This was the reason why replacement with a different, smaller contact area shape of the cutters was agreed with the manufacturer. However, these cutters suffered from quicker wear of the tungsten carbide coating. The shape of the cutters was no more developed because of the fact that their use was terminated by encountering quartzite beds. After getting into contact with them, the cutters installed on the cutterhead got destroyed and disc cutters had to be re-installed. Even these discs were changed; the original 17" diameter was replaced by 18". The use of 18" discs significantly manifested itself on increased lifetime. The excavation using the 18" discs on the cutterhead lasted to the very end. The disadvantage of disc cutters fully showed up in soft clayey ground. The rotation of the discs got blocked and the discs were worn unequally until they ceased to be functional. Two sensors distinguishing the wear of cutting tools were for that reason installed on the full-face cutterhead.

The use of both types of cutting tools acquitted itself in the geological conditions encountered, the use of discs was unambiguously preferred with respect to the open mode excavation and the longer durability of cutting tools.

## 7 INNOVATIVE SOLUTION APPLIED TO THE EPBM TECHNOLOGY

### 7.1 EPB SHIELD LAUNCHES

The tunnelling by the shields was in the beginning divided by three underground stations, one open construction pit and the underground space for a future ventilation structure. Both machines therefore had to be shifted four times through these spaces and four re-launches in starter stubs were necessary.

The commencement of tunnelling operations in the assembly chamber in Vypich was conditioned by the excavation of an about 10 m long tunnel stub which the shield was shifted into. A massive steel thrust reaction frame designed for this purpose by Herrenknecht AG was installed behind it. The frame was braced against the reinforced concrete structure of the bottom of the shaft on BRE1 construction site, which was designed to be able to reliably transfer the forces induced by thrust cylinders of the full-face tunnelling machine.

The steel frame was repeatedly used even for the launching of both machines from the construction pit at E2 site. But this launching differed from the launching from the shaft on BRE1 site because the pre-excavated tunnel chambers were not used. The machine was launched against the vertical wall of the pit and the thrust forces were transferred to the frame through step-by-step erected lining rings, which were supported by auxiliary steel structures and tied around by cables.

In the underground stations, 12 m long launching chambers with diameters greater than the EPB shield diameter were excavated first. A steel ring was inserted in advance, segment-by-segment, into the pre-excavated tunnel primary lining. It was subsequently connected to the lining by means of anchors and the free space between the ring structure and the primary lining of the chamber was filled with self-compacting concrete. Steel braces





Obr. 6 Stroj S-609 při přesunu přes hloubenou část na ocelové konstrukci  
Fig. 6 S-609 machine during the shifting on the steel structure along a cut-and-cover section

Po první prorážce do stanice Petřiny bylo v mezeře mezi ostěním a výrubem vystavěno zděné čítko. Tento tradiční postup se ukázal být poněkud zdoluhavý, proto se při další prorážce mezera zaplňovala stříkaným betonem.

Poslední a do konce ražeb používané řešení bylo inspirováno systémem používaným v důlních provozech. Tam se na zaplnění prostoru mezi důlní vyztuží a lícem výrubu používají polypropylenové vaky, které se uloží vně obvodu vyztuže a následně se do nich napumpuje minerální cementová malta. Vaky po vytvrnutí směsi plní funkci nosného vyztužovacího prvku. Tento vak byl podle požadavku firmy Metrostav a. s. modifikován tak, aby jím bylo možno obepnout celý prstenec (obr. 7). Byl rozdělen do několika komor pro rovnoměrné plnění směsi souměrně po obou stranách. Po dokončení montáže posledního prstence a odsunutí štítu se vně ostění osadil na míru ušitý vak. Po instalaci a zajištění byl vak od spodu postupně zaplněn cementovou směsí. Tím bylo vytvořeno čítko umožňující vyplnění mezery za několika předcházejícími prstenci.



Obr. 7 Čítko z vaku naplněného cementovou směsí  
Fig. 7 Stop end formed by a bag filled with cement mixture

were subsequently welded to the ring (see Fig. 5). A steel ring was attached to the braces before the commencement of the sheet tunnelling. Subsequently, a reinforced concrete lining ring was attached to it, providing reaction for thrust rams.

## 7.2 Pulling through mined stations

The shifting of the shields through the excavated space of stations was in the beginning carried out in a way which was inspired by the solution used during the construction of metro in Istanbul, Turkey. Concrete beds were cast in the station with guide rails fixed to them. The shield part of the EPB machine itself was shifted along these rails. Of course, the rails had to be thoroughly lubricated before the shifting operation. A steel segment was welded to the rails to provide support for the movement of the shield. The shield was pushed ahead from the steel segment always to the distance equal to the length of one excavation advance round. After the shifting, the segment was welded in the new starting position. Owing to the fact that the shield was moved along the rails, the contact area, thus also the resistance induced by the friction force, were minimised.

Lining segments were placed by the shield in a sand bed laid on the bottom to make the shifting of the backup carriages possible. Later it turned out that the laying of the sand bed and installation of segments took too much time. Problems appeared even during the subsequent travels of the MSV vehicles, the weight of which caused cracking and shifting of the reinforced concrete segments. In addition, the structures of the beds formed by segments had to be again removed, which operations inadequately increased the costs as far as the laboriousness and the cost of damaged segments were concerned.

Steel structures were designed after the first shifting of the shield. They replaced the reinforced concrete bed and accelerated the entire process. These steel structures were modifiable and, in addition, reusable, both in cut-and-cover parts (see Fig. 6) and in mined stations.

## 7.3 Sealing the gap behind the lining on the arrival of shields at stations

After the EPB shield breakthrough and the commencement of its shifting, it was necessary to finish the assembly of the lining up to the station space or up to the station box. The last several lining rings had to be additionally activated against the ground environment in the vicinity of the pit or station wall. After the packing of the last ring at the last breakthrough, the annulus around several previous rings was backfilled with two-component slurry.

A masonry stop end was installed in the gap between the lining and the surface of the excavated opening after the first breakthrough into Petřiny station. However, this traditional procedure turned out to be rather lengthy. During the next breakthrough the gap was therefore backfilled with shotcrete.

The last solution, which was applied until the end of the shield tunnelling, was inspired by the system used in mines. The polypropylene bags are placed behind the circumference of the excavation support and mineral cement mortar is pumped into them. They are used for the backfilling of the space between the mining support and the excavated opening surface. After the mixture hardens, the bags fulfil the function of a stiffening support element. This bag was modified on the basis of Metrostav a. s. requirements in a way allowing it to circumscribe the entire ring (see Fig. 7). It was divided into several compartments allowing the mixture to be distributed symmetrically on both sides. When the assembly of the last lining ring had been finished and the shield had been shifted, the sawn-to-measure bag was placed behind the lining. When the bag installation and stabilisation had been finished, the bag was gradually filled up from the bottom with cement mix. In this way a stop end was created allowing the filling of the annular gap behind preceding rings.

Standard two-component clay-cement mortar was injected through filling tubes, installed when the bag was being filled, immediately after the cement mix in the bag had hardened. The advantage of this solution is its simplicity. The bag can be inserted even into narrow gaps and it is so tight after the filling that the originated stop end does not need additional sealing and, in

Výplň byla prováděna standardní dvoukomponentní jílocementovou maltou hned po vytvrnutí cementové směsi ve vaku přes plnicí trubky instalované při plnění vaku. Výhodou tohoto řešení je jeho jednoduchost, vak se dá vsunout i do úzkých mezer a po vyplnění je natolik těsný, že vzniklé čílko není třeba dodatečně dotěšňovat a navíc po zatvrnutí dostatečně polohově fixuje poslední prsteneč.

## 8 ZÁVĚR

První nasazení technologie EPBM v České republice v prostředí pražské geologie je již minulostí. Doba ražeb jednokolejných tunelů byla naplánována na méně než 19 měsíců se všemi prostoji na přesuny stanicemi a jámou a s jedním přestěhováním kompletní technologické vybavenosti štítů souvisejícím se zařízením staveniště na povrchu.

Splnění harmonogramu na technicky náročném projektu obsahujícím časté starty tunelovacích strojů a přesuny razicího komplexu raženými stanicemi vyžadovalo koordinaci a detailní plánování vždy s jinými týmy účastníků výstavby.

Postupné zdokonalování způsobu přesunu štítů a opětovných zahájení ražeb za stanicemi minimalizovalo prostoje ražeb strojů EPBS, protože tyto operace při přípravě projektu nebyly naplánovány detailně.

Dokončena je také v současné době nejsložitější část ražeb na metru V.A pod ulicí Evropská. Právě ražba tohoto úseku byla hlavním důvodem, proč byla zadavatelem předepsána právě metoda štítů s kontrolovanou kompenzací zemních tlaků. Zjištěné skutečnosti související s propadem vozovky potvrdily, že použitá technologická modifikace je do zastižených obtížných geotechnických podmínek velice vhodná. Přes přítomnost podzemního volného prostoru nad tunelem o celkovém objemu cca 50 m<sup>3</sup> nebylo ostění tunelů v hloubce 10 m pod propadem jakkoli poškozeno. Ražby byly sice po této události zastaveny, ale po základním zajištění místa byly po dvou dnech znovu obnoveny v režimu „uzavřeného módu“. Právě volitelné režimy stroje EPBS s možností kontinuální kontroly ražby a výstavbou definitivního ostění tunelu hned s ražbou potvrzují oprávněnost této technologie provádění. Konvenční metody ražení by v geologických podmínkách zastižených pod ulicí Evropská nebyly v takovém rozsahu a za plánovanou dobu výstavby vůbec uskutečnitelné.

Pro všechny účastníky realizace znamenalo nasazení tunelovacích strojů EPBS obrovskou zkušenost. Lze jen doufat, že nabyté znalosti se pozitivně odrazí při přípravě a provádění dalších projektů. Přestože bylo nutné během ražeb čelit několika nepředvídaným událostem, bylo první nasazení komplexů EPBS u firmy Metrostav úspěšné. Ražby byly dokončeny před termínem stanoveným v harmonogramu již ke konci listopadu 2011.

ING. DAVID CYRŇ, david.cyron@metrostav.cz,

ING. PETR HYBSKÝ, petr.hybsky@metrostav.cz,

ING. KAREL RÓSSLER, karel.rossler@metrostav.cz,

ING. ŠTEFAN IVOR, stefan.ivor@metrostav.cz,

ING. JAN PRAJER, jan.prajer@metrostav.cz,

METROSTAV a. s.

Recenzoval: Ing. Pavel Polák

addition, it sufficiently fixes the last ring in its position after the hardening process.

## 8 CONCLUSION

The first employment of the EPBM technology in the Czech Republic, in the Prague geological environment, has become the history. The duration of the driving of the single-track tunnels was planned for less than 19 months, including all downtimes required for transfers through stations and the construction pit and one event of moving the complete technological facilities system for the shields, associated with the construction site facilities on the surface.

The meeting of the works schedule for the technically complicated project, comprising frequent launches of the full-face tunnelling machines and shifting of tunnelling complexes through mined stations, required coordination and detailed planning always jointly with other teams of the project parties.

Gradual improvements in the shifting of the shields and re-launching them behind the stations were necessary to minimise the downtimes of the EPB shields, because of the fact that these operations had not been planned in detail during the preparation of the design.

Even the currently most complicated driving section on the metro Line V.A under Evropská Street has been completed. It was the excavation of this tunnel section that was the main reason why the client prescribed the Earth Pressure Balance Method. The facts found out in the context of the roadway sinking confirmed that the technological modification which was applied was very suitable for the difficult geotechnical conditions encountered. Despite the presence of an empty space above the tunnel with the volume of about 50 m<sup>3</sup>, the tunnel lining located at the depth of about 10 m under the sunk roadway surface was not at all damaged. Of course, the advance of the shields was suspended after this event, but, after basic stabilisation of the location, it was resumed in the open mode regime. The optional EPB shield modes with the possibility of continual control of the excavation and the construction of the tunnel final lining concurrently, just behind the excavation, confirm the justifiability of this tunnelling technology. Conventional tunnelling methods would not have been viable for such the extent and for such the planned construction time in the geological environment encountered under Evropská Street.

The employment of EPB full-face tunnelling machines meant great experience for all parties to the project. It is only possible to hope that the gathered experience will be positively reflected during the preparation and implementation of other projects. Despite the fact that it was necessary during the driving operations to face several contingencies, the employment of the EPB complexes by Metrostav a. s. was a success. The drives were completed as early as the end of November 2011, ahead of the deadline set by the works schedule.

ING. DAVID CYRŇ, david.cyron@metrostav.cz,

ING. PETR HYBSKÝ, petr.hybsky@metrostav.cz,

ING. KAREL RÓSSLER, karel.rossler@metrostav.cz,

ING. ŠTEFAN IVOR, stefan.ivor@metrostav.cz,

ING. JAN PRAJER, jan.prajer@metrostav.cz,

METROSTAV a. s.

## LITERATURA / REFERENCES

- Boriol, L., Peila, D., Oggeri, C., Pelizza, S. *Characterization of soil conditioning for mechanized tunnelling*
- Langmaack, L. *Advanced Technology of Soil Conditioning in EPB Shield Tunnelling*
- Manuál pro obsluhu EPBM S-609 a S-610 firmy Herrenknecht*
- Rössler, K., Cyron, D., Vales, V. *EPBM Excavations of Prague Subway "Metro V.A"*
- Rössler, K., Cyron, D., Vales, V. *EPBM Excavations of Prague Subway "Metro V.A"*. STUVA, *Tunnel*, 8/2012
- Rössler, K. et al. *Segmental Liner Behavior During EPBM Advance*. WTC Bangkok, 2012
- Rössler, K., Cyron, D. *EPBM Excavation of Prague "Metro V.A"*. Subway Extension. UNDER CITY Colloquium. Dubrovnik, 2012
- Rössler, K. et al. *TBM logistics for Prague Metro A extension*. WTC Helsinki, 2011
- Slinchenko, D. *Control of Ground Settlement in EPB Tunnelling*
- Stehlik, E., Bäßler, K. *Two Earth Pressure Balance Shields for Metro Line A Extension of Prague Metro*. STUVA, *Tunnel*, 1/2012
- Stehlik, E., Cyron, D. *Prague Metro's return to TBMs*. *Tunnels & Tunnelling International*. August, 2012
- Stehlik, E. et al. *EPBM Two Component Grouting – Problems And Solutions*. WTC Bangkok, 2012



# DEFINITIVNÍ KONSTRUKCE RAŽENÝCH ÚSEKŮ NA STAVBĚ TUNELOVÉHO KOMPLEXU BLANKA

## FINAL STRUCTURES OF MINED SECTIONS OF BLANKA COMPLEX OF TUNNELS

PAVEL ŠOUREK, JAN KVAŠ, LUKÁŠ GRÜNWARD, VLADIMÍR PETRŽÍLKA, MIROSLAV PADEVĚT

### 1 ÚVOD

Práce na tunelovém komplexu Blanka na Městském okruhu (MO) v Praze se v posledním období dostaly do etapy dokončovacích prací a následné montáže technologie. Dokončeny byly veškeré betonáže nosných konstrukcí tunelů a souvisejících podzemních objektů. Na rozdíl od hloubených tunelů, s jejichž technickým řešením již byli čtenáři na stránkách časopisu Tunel seznámeni, s řešením betonových konstrukcí ražených tunelů tomu tak doposud nebylo. V tomto článku se proto budeme věnovat popisu tunelů ražených, a to konstrukcím trvalým definitivním, neboť vlastní ražby tunelu spolu s primárním ostěním již byly také dostatečně publikovány.

Pro přehlednost si v úvodu znovu uvedme některé základní údaje o celém projektu. Tunelový komplex Blanka v Praze představuje vedení trasy Městského okruhu v 5,5 km dlouhém tunelovém úseku. Z celkového počtu více než 12 km tunelových trub připadá cca 5,5 km na tunely prováděné jako ražené a cca 6,5 km na tunely realizované z povrchu jako klasické hloubené (podrobněji viz. článek otištěný v čísle 1/2009) a na tunely realizované tzv. modifikovanou milánskou metodou s čelním odtěžováním (podrobněji viz. článek otištěný v čísle 2/2010).

### 2 ROZSAH RAŽENÝCH TUNELŮ A RAŽENÝCH PODZEMNÍCH OBJEKTŮ

Ražené tunely jsou v rámci tunelového komplexu využity v místech, kde nebyl umožněn zásah stavby do území, ať již z důvodu stávající zástavby, nebo jiného důvodu ochrany povrchu. Zároveň se jedná o úseky, kde nadloží dosahuje více než 10 m, a bylo by proto neekonomické realizovat zde tunely hloubené.

Celkem se na tunelovém komplexu Blanka nacházejí dva úseky, kde je využito tunelů ražených a dále několik podzemních technologických objektů realizovaných ražením:

- ražený tunelový úsek Královská obora na st. č. 0079 2 231 m
- ražený tunelový úsek Brusnice na st. č. 9515 550 m
- ražené technologické centrum se strojovnou VZT, s kanály a šachtami VZT k výdechu Nad Královskou oborou na st. č. 0079 600 m + 72 m
- ražená trafostanice pod Stromovkou na st. č. 0079 28 m
- ražená čerpací stanice a výtlač kanalizace na Císařský ostrov na st. č. 0079 41 m
- ražený kanál a šachta VZT k výdechu Nad Octárnou na st. č. 9515 123 m + 40 m

Kromě tunelových částí jsou součástí stavby tunelového komplexu cca 3 km ražených kanalizačních a dalších štol.

Jak vyplývá z výše uvedeného výčtu, jsou ražené tunely využity ve dvou samostatných úsecích propojených hloubenou částí. V tunelovém úseku Královská obora navazují ražené tunely na hloubený úsek ve stavební jámě Letná, směřují pod zástavbu na Letné, Stromovku (Královská obora), plavební kanál, Císařský ostrov, Vltavu a dále do prostoru Troje, kde přecházejí opět do úseku hloubeného (obr. 1). Součástí ražených tunelů hlavní trasy je rovněž rozsáhlé ražené podzemní technologické a vzduchotechnické centrum pod Letnou napojené na oba dopravní tubusy a výdechový objekt Nad Královskou oborou, dále potom podzemní trafostanice pod Stromovkou a čerpací stanice s výtlačkem kanalizace pod Císařským ostrovem. V tunelovém úseku Brusnice jsou ražené tunely vedeny od stavební jámy za křižovatkou Myslbekova/Patočková pod původním prostorem pražského barokního opevnění směrem ke stavební jámě u křižovatky na Prašném mostě (obr. 2). Součástí jsou rovněž samostatně vedené ražené

### 1 INTRODUCTION

The work on the Blanka complex of tunnels on the City Circle Road in Prague (the inner circle) have recently got to the stage of finishing of civils work and installation of equipment. All casting of load-carrying concrete structures of tunnels and related structures have been finished. As opposed to cut-and-cover tunnels, the technical solution to which readers have already been acquainted on pages of TUNEL journal, the solution to concrete structures of mined tunnels has not been presented yet. In this paper, we will therefore dedicate ourselves to the description of mined tunnels, specifically to permanent-final structures, because the driving and primary lining of the tunnels has also been published sufficiently.

For clarity, let us repeat some basic data on the entire project just in the beginning. The Blanka complex of tunnels in Prague represents a 5.5 km long section of the City Circle Road running through tunnels. Of the total length of over 12 km tunnel tubes, approximately 5.5 km are formed by mined tunnels, whilst about 6.5 km comprise of classical cut-and-cover tunnels (for more detail read a paper published in issue 1/2009) and cover-and-cut (top-down method) tunnels (for more detail read a paper published in issue 2/2010).

### 2 EXTENT OF MINED TUNNELS AND MINED UNDERGROUND STRUCTURES

Mined tunnels are used in the locations on the complex of tunnels where no encroaching into the area on the surface was permitted, either because of existing buildings or for another surface protection reason. At the same time, the overburden height exceeds 10m in these sections and it would have been uneconomic to build cut-and-cover tunnels there.

In general, there are two sections of the Blanka complex of tunnels where mined tunnels are used and several underground service structures are carried out by means of mining:

- Královská Obora mined tunnel section; construction lot No. 0079 2,231 m
- Brusnice mined tunnel section; construction lot No. 9515 550 m
- a mined service centre comprising a ventilation plant cavern with ventilation ducts and exhaust shafts leading to the exhaust structure in Nad Královskou Oborou Street; construction lot No. 0079 600 m + 72 m
- mined transformer station in Pod Stromovkou Street; constr. lot No. 0079 28 m
- mined pumping station and sewerage discharge tunnel to Císařský Ostrov Island; construction lot No. 0079 41 m
- mined ventilation duct and shaft to the exhaust structure in Nad Octárnou Street; construction lot No. 9515 123 m + 40 m

In addition to tunnelled sections, about 3.0 km of mined sewers and other tunnels are parts of the tunnelling complex project (their technical solutions differ from the text below).

As it follows from the above-mentioned list, mined tunnels are used in two separate sections, which are interconnected by a cut-and-cover / cover-and-cut tunnel section. In the Královská Obora tunnel section, the mined tunnels are connected to the cut-and-cover section in the Letná Plain construction pit, run further under existing buildings in Letná Plain, Stromovka Park (Královská Obora Park), a shipping canal, Císařský Ostrov Island, the Vltava River and further to the area of the district of Troja, where they again pass into a cut-and-cover section (see Fig. 1). Parts of the main-route mined tunnels are the service



vzduchotechnický kanál a šachta mezi technologickým centrem ve stavebním jámě Myslbekova a výdechovým objektem Nad Octárnou.

V hlavní trase Městského okruhu jsou využity tunely dvoupruhové (3248 m), resp. třípruhové (2093 m), dále čtyři nouzové zálivy (206 m) (obr. 3) a nadvýšený profil s předpjatým mezistropem v místě napojení vzduchotechniky tunelu (obr. 4+5). Tyto profily jsou dále doplněny o atypické profily technologických tunelů, propojek, vzduchotechnických kanálů a šachet.

### 3 GEOTECHNICKÉ PODMÍNKY STAVBY

Geologické podmínky celé stavby jsou poměrně složité a dosti proměnlivé. Ražené tunely jsou v převážné části trasy umístěny v tzv. pražské pánvi, dílčím sedimentačním prostoru rozsáhlého barrandienského synklinoria, v němž je skalní podloží tvořeno zvrásněným komplexem břidlic, drob, pískovců a křemenců ordovického stáří. Tyto horniny vznikaly ukládáním psefitického, aleuritického a pelitického materiálu v sedimentační pánvi se značně mobilním dnem i pobřežní čarou.

V prostoru tunelů na Letné a v úseku Brusnice mají zastoupení vrstvy letenských břidlic monotónního i flyšového vývoje. V případě monotónního vývoje se jedná o písčité a prachovité břidlice jemně až hrubě slídnaté a tlustě deskovité vrstevnaté s malou odolností proti zvětrávání. V případě flyšového vývoje se jedná o písčité a drobové břidlice s vložkami křemenců. Břidlice jsou hrubě slídnaté a tlustě deskovité vrstevnaté. Křemence a pískovce tvoří cca 30 až 50 %. Flyšový vývoj letenského souvrství je proti zvětrání odolný a mocnost zvětrání dosahuje většinou menších hodnot okolo 3 m.



Obr. 1 Situace raženého tunelu Královská obora  
Fig. 1 Králova Obora mined tunnel layout

and ventilation centre under Letná Plain, which is connected to both road tunnel tubes and the exhaust structure in Nad Královskou Oborou Street, the underground transformer station under Stromovka Park and the pumping station with a sewage discharge tunnel under Císařský Ostrov Island. In the Brusnice tunnel section, mined tunnels run from the construction pit behind the intersection between Myslbekova and Patočkova Streets, under the original space of Prague Baroque fortification in the direction of the construction pit adjacent to the Prašný Most intersection (see Fig. 2). A separately led mined ventilation duct and shaft between the service centre in Myslbekova construction pit and the Nad Octárnou exhaust structure are also parts of the complex.

Double-lane tunnels (3,248 m) and triple-lane tunnels (2,093 m) are used on the main route of the City Circle Road, containing four emergency lay-bys (206 m) (see Fig. 3) and an enlarged-height profile with a pre-tensioned intermediate deck in the location of the tunnel ventilation connection (see Figures 4 + 5). These profiles are further supplemented by atypical profiles of service tunnels, cross-passages, ventilation ducts and shafts.

### 3 GEOTECHNICAL CONDITIONS OF THE PROJECT

Geological conditions of the whole project are relatively complicated and significantly variable. The major parts of mined tunnels are located in the so-called Prague Basin, which is a partial sedimentation space of the extensive Barrandian Synclinorium, where the bedrock is formed by a folded complex of the Ordovician age shales, greywacke, sandstone and quartzite. These rocks originated by the deposition of pselitic, aleuritic and pelitic materials in the sedimentation basin, the bottom of which and coastline were significantly mobile.



Obr. 2 Situace raženého tunelu Brusnice  
Fig. 2 Brusnice mined tunnel layout





Obr. 3 Definitivní ostění čela nouzového zálivu  
Fig. 3 Final lining of the lay-by front wall

Úsek ražených tunelů v údolní nivě řeky Vltavy prochází nekvalitními jílovitoprachovitými břidlicemi a silně rozpukanými křemenci libeňského souvrství a písčítprachovitými břidlicemi ve vývoji jemných křemenců souvrství dobrotivského.

Mladší geologické útvary jsou zastoupeny kvartérmními pokrivy. Nejrozšířenější jsou eolické sedimenty, překryté antropogenními sedimenty jako důsledek historické stavební činnosti. Zastoupeny jsou i sedimenty fluvialní a místy i deluvialní. Co do složení převládá písčítá hlína se šterkem, tj. kameny a valouny různé velikosti a stavební suť. Mocnost kvartérmních sedimentů dosahuje až 38 m, zpravidla však do 15 m.

Podzemní voda sleduje převážně povrch skalního podloží a její hladina se pohybuje v rozmezí 8 až 20 m pod terénem. Hominové podloží jako celek je pro vodu prakticky nepropustné, mocnost zvodnělého horizontu je dána především mírou zvětrání. Přímá vazba mezi atmosférickými srážkami a přítoky do tunelu tak byla zaznamenána pouze v portálových úsecích s nízkým nadložím. Naopak v prostoru podchodu Vltavy a přilehlých říčních teras jsou vrstvy pokrývající nasyceny v závislosti na výšce hladiny v řece a přítoky do tunelu přímo souvisely s průtoky v řece.

Maximální nadloží ražených tunelů je 44 m, minimální 8 m. Nejmenší nadloží pode dnem Vltavy činí 14,5 m.

Agresivita podzemní vody na beton podle ČSN 73 12 14 je slabá, podle ČSN EN 206-1 se jedná o stupeň XA1-XA2.

#### 4 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ RAŽENÝCH TUNELŮ

Dispoziční řešení profilu dopravních tunelů odpovídá požadavkům ČSN 73 75 07/ 2006. Průjezdni profil je výšky 4,8 m, šířka jízdních pruhů je 3,5 m, šířka vodicích proužků je 0,5 m, návrhová rychlost v trase Městského okruhu činí 70 km/h. Maximální podélný sklon v trase ražených tunelů je 5%, minimální směrový poloměr je 330 m. Pod vozovkou je v profilu tunelu umístěna dále technologická chodba a vzduchotechnický kanál požárního odvětrání ražených tunelů.



Obr. 4 Nadvýšený třípruhový tunel v místě napojení kanálu 04 před prováděním klenby  
Fig. 4 Enlarged-height triple-lane tunnel at the connection of duct 04 before the execution of the vault

Letná Plain Shales with both monotonous and flysch background are present in the area of tunnels in Letná Plain and in the Brusnice section. In the case of the monotonous background, the shales are sandy and silty, finely to coarsely micaceous, tabularly bedded, little resistant to weathering. In the case of the flysch background, the rocks consist of sandy shales and greywacke-type shales with quartzite interbeds. The shales are coarsely micaceous and thickly tabularly bedded. Quartzite and sandstone form about 30 to 50 per cent of the rocks. The flysch-background Letná Plain Formation is resistant to weathering; the weathering depth values are mostly smaller, around 3.0 m.

The mined tunnels section located in the Vltava River flood plain runs through low quality clayey-silty shales and heavily fractured quartzites of the Libeň Formation and sandy-silty shales interlayering the finely grained Dobrotiv Formation quartzites.

Younger geological formations are represented by Quaternary superficial deposits. The most frequent are aeolian sediments overlaid by anthropogenic sediments resulting from historic construction activities. Fluvial sediments and locally even deluvial sediments are also present. As far as the composition is concerned, sandy loam with gravel, i.e. stones and boulders of various sizes and rubble, prevail. The thickness of the Quaternary sediments layer reaches up to 38 m, but usually it is less than 15 m.

Groundwater mostly follows the bedrock surface and the water table is located at the depth under the terrain surface ranging from 8 to 20 m. The bedrock as a whole is virtually impermeable for water; the thickness of the water-bearing horizon depends first of all on the degree of weathering. A direct relationship between atmospheric precipitation and seepage into tunnels was registered only in shallow overburden portal sections. Conversely, the superficial deposits in the area of the passage under the Vltava River and adjacent river terraces are saturated with water depending on the river surface level; the seepage into the tunnels was directly related to the rate of flow in the river.

The maximum and minimum mined tunnel overburden heights are 44 m and 8 m, respectively. The lowest height of the overburden under the Vltava River bottom is 14.5 m.

The concrete-aggression action of ground water determined according to the ČSN 73 1214 standard is weak; the exposure grade according to the ČSN 206-1 is XA1-XA2.

#### 4 STRUCTURAL DESIGN FOR MINED TUNNELS

The layout of the profile of traffic and transports tunnels complies with requirements of ČSN 73 7507/ 2006 standard. The clearance profile is 4.8m high, traffic lanes are 3.5 m wide, the edge line is 0.5 m wide and the design speed along the City Circle Road is 70 km/h. The maximum longitudinal gradient on the alignment of mined tunnels is 5.0%; the minimum horizontal curve radius is 330 m. In addition, a service gallery and a fire ventilation duct evacuating smoke from the mined tunnels are located under the roadway.

Profiles of the service tunnels correspond to the requirements for the placement of tunnel equipment or to the purpose of the operating use as far as the sizes and spatial zoning are concerned.

All mined tunnels are designed as double-shell structures to be constructed using the conventional NATM (the New Austrian Tunnelling Method). The lining and the intermediate waterproofing are of a closed design because the alignment and hydrogeological conditions do not make the application of a permanent gravity flow drainage system possible. The primary-temporary lining is in C20/25-grade (locally C25/30) shotcrete reinforced with lattice girders assembled from concrete reinforcement rods, welded mesh and rock bolts. The majority of the tunnelling was carried out using the so-called horizontal excavation sequence consisting of top heading, bench and invert. The so-called vertical excavation sequence was in the end applied only to parts of triple-lane tunnels. Pre-construction grouting, protecting umbrellas, modifications of the excavation sequence or combinations of the above-mentioned measures were carried out as supplementary measures in critical sections. The primary lining thickness varied from 200 mm to 400 mm, depending on the NATM excavation support class and the size of the excavated cross-sectional area. The excavated cross-sectional areas of the double-lane tunnel and triple-lane tunnel amounted to 123.5 m<sup>2</sup> and 173.5 m<sup>2</sup>, respectively, but the largest profile of 286.5 m<sup>2</sup> was reached at the ventilation plant cavern. More detailed information on the excavation procedures, their impact on the surrounding environment, or the experience gained during the tunnelling work is contained in separate papers.



Obr. 5 Nadvýšený třípruhový tunel s předpjatým mezistropem a horní klenbou ze stříkaného betonu

Fig. 5 Enlarged-height triple-lane tunnel with a pre-tensioned intermediate deck and the sprayed concrete upper vault

Profily technologických tunelů odpovídají jak co do velikosti, tak i členění požadavkům umístěného technologického zařízení či účelu provozního využití.

Všechny ražené tunely jsou navrženy jako dvouplášťové, realizované pomocí konvenční technologie NRTM (Nová rakouská tunelovací metoda). Ostění, případně i mezilehlá izolace jsou vždy uzavřené, neboť trasa a hydrogeologické podmínky neumožňují umístění trvalé gravitační drenáže. Primární dočasné ostění je provedeno ze stříkaného betonu C20/25 (lokálně 25/30), vyztužené příhradovými rámy z betonářské výztuže, dále svařovanými ocelovými sítěmi a svorníky. Ražba probíhala převážně s horizontálním členěním na kalotu, opěří a spodní klenbu. Vertikální členění čelby bylo nakonec využito pouze na části tunelů třípruhových. Jako doplňující opatření byly v kritických úsecích prováděny sanační injektáže, ochranné dešťníky, úprava členění pobírání, případně kombinace uvedených úprav. Tloušťka primárního ostění se podle technologických tříd NRTM a velikosti výrubního profilu pohybovala od 200 mm do 400 mm. Výrubní profil dvoupruhového tunelu činí 123,5 m<sup>2</sup> a třípruhového 173,5 m<sup>2</sup>, největšího profilu však bylo dosaženo u strojovny VZT 286,5 m<sup>2</sup>. Podrobnější informace o způsobu ražby, jejích vlivech na okolní prostředí, případně zkušenosti z provádění jsou obsahem samostatných příspěvků.

Pro zajištění vodotěsnosti ražených tunelů (převážného rozsahu), s ohledem na nemožnost jejich gravitačního odvodnění trvalou



Obr. 6 Armování spodní klenby na ochrannou fólii

Fig. 6 Placement of invert reinforcing bars on a protective membrane

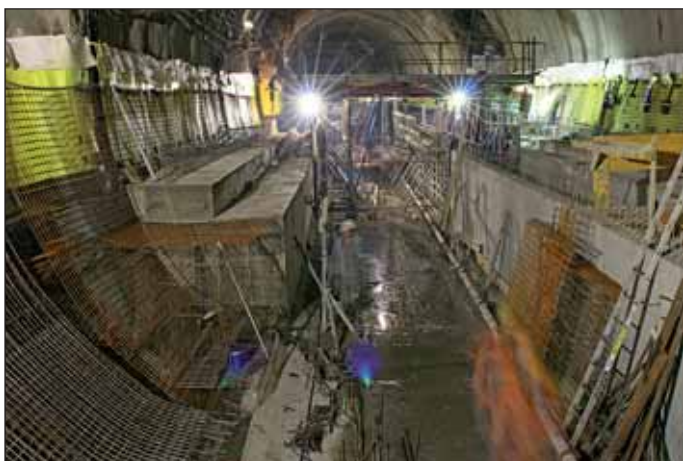
Taking into consideration the impossibility of the installation of permanent gravity flow drainage, a waterproofing system consisting of a closed PVC\_P waterproofing membrane (Sikaplan WP 2110-31 HL2 3 mm thick, with a 0.2 mm thick signal layer) was designed to secure the waterproofing capacity of mined tunnels (the majority of them), together with 500 mm wide external waterbars and a grouting monitoring system formed by hoses allowing the injection of grout between the external surface of the permanent lining and the waterproofing membrane. The waterproofing membrane is protected on the primary lining side by 1200 g/m<sup>2</sup> Geofiltex 63F fleece; the invert is protected during the installation of the final lining by 2mm thick Sikaplan Protec (see Fig 6). A dimpled sheet membrane 8 mm thick was applied in locations of increased inflows through the primary lining to divert water to the central drain. For more detailed information on the waterproofing system read a paper in TUNEL issue 1/2011).

The final lining of the mined tunnels is designed as a closed cast-in-situ C30/37, C25/30 and C20/25-grade reinforced concrete structure. The following exposure grades were assumed, depending on the location of a particular part of the structure: XC1 – concrete for structures outside the roadway space, XF2 – concrete for structures above the roadway, XA2 – waterproof concrete for the lining. PP fibres are added to concrete for transports tunnels (1 kg of fibres per 1 m<sup>3</sup>, the fibre length and diameter of 6mm and 0.018 mm, respectively) to provide protection against the influence of a fire on the loss of load-bearing

Tab. 1 Tabulka profilů  
Table 1 Table of profiles

	Typ definitivního ostění Final lining type	Tloušťka ostění klenby mm Lining vault thickness mm	Plocha vyraženého a zajištěného tunelu (před realizací definitivy) m <sup>3</sup> Excavated and stabilised cross-sectional area of the tunnel (before installation of final lining) m <sup>3</sup>
Dvoupruh / Double-lane	slabě vyztužený beton / lightly reinforced concrete	500	107,7
Třípruh / Triple-lane	železobeton / reinforced concrete	550	153,1
Záliv / Lay-by	železobeton / reinforced concrete	560	156,2
Nadvýšený třípruh / Enlarged-height triple lane	žb+stříkaný beton / RC + shotcrete	550	177,4
Průchozí propojka / Cross passage for persons	stříkaný beton / shotcrete	400+50	51,5
Průjezdná propojka / Cross passage for vehicles	stříkaný beton / shotcrete	400+50	70,1
Strojovna VZT / Ventilation plant cavern	železobeton / reinforced concrete	650	257,8
Kanál 03 / Duct 03	železobeton / reinforced concrete	400	42,5
Kanál 04/1 / Duct 04/1	železobeton / reinforced concrete	450	32,6
Kanál 04/2 / Duct 04/2	železobeton / reinforced concrete	450	88,9
Kanál 07,08 / Duct 07,08	prostý beton / unreinforced concrete	400	64,9
TGC4 / Services centre TGC4	železobeton / reinforced concrete	450	105,9
TGC5 / Services centre TGC5	železobeton / reinforced concrete	500	77,2
Šachta 09 / Shaft 09	prostý beton / unreinforced concrete	500	79,2
Šachta 10 / Shaft 10	prostý beton / unreinforced concrete	500	49,5
Kanál VZT 9515 / Ventilation duct 9515	vodonepropustný beton / water retaining concrete	500	60,7
Šachta VZT 9515 / Ventilation shaft 9515	vodonepropustný beton / water retaining concrete	400	48,4





Obr. 7 Konstrukce spodní klenby  
Fig. 7 Invert structure

drenáží, byl navržen hydroizolační systém sestávající z fóliové uzavřené hydroizolace z PVC\_P (Sikaplan WP 2110-31 HL2 tl. 3 mm se signální vrstvou 0,2 mm), vnějších spárových pásů šířky 500 mm a injektážně monitorovacího systému hadic umožňujících injektáž mezi vnější líc definitivního ostění a izolaci. Ochrannou vrstvu izolace tvoří na straně primárního ostění geotextilie Geofiltex 63F s gramáží 1200 g/m<sup>2</sup>, ochrana spodní klenby při provádění definitivního ostění je tvořena fólií Sikaplan Protec tl. 2 mm (obr. 6). V místech zvýšených přítoků skrz primární ostění byla pro svod vody do středové drenáže umístěna nopová fólie tl. 8 mm. Podrobnější informace k hydroizolačnímu systému jsou opět obsaženy v samostatném příspěvku (podrobněji viz článek v čísle 1/2011).

Definitivní ostění ražených tunelů je navrženo jako uzavřené železobetonové monolitické z betonu třídy C30/37, C25/30 a C20/25. Podle umístění dané části konstrukce byly uvažovány třídy agresivity prostředí XC1 – beton konstrukcí mimo prostor vozovky, XF2 – beton konstrukcí nad vozovkou, XA2 – vodonepropustný beton ostění. Jako ochrana proti vlivu požáru na ztrátu únosnosti, resp. odstřelování betonu krycí vrstvy horní klenby, jsou v dopravních tunelech do betonu přidána PP vlákna (1 kg vláken na 1 m<sup>3</sup> s délkou vlákna 6 mm a průměrem 0,018 mm). Toto množství bylo prověřeno požární zkouškou viz kap. 6.

TLoušťka definitivního ostění se v různých průřezích pohybuje od 400 do 600 mm. Jako výztuže je využito ocelových svařovaných sítí KARI doplněných příložkami z oceli 10 505-R podle výsledků statických výpočtů. Krytí výztuže betonem je uvažováno u obou líců ostění 50 mm.

### Varianty řešení ostění

Výjimečností tunelového komplexu Blanka je kromě jeho rozsahu i množství použitých tunelářských technologií a postupů. Z hlediska definitivního ostění zde bylo využito hned několika v současnosti využívaných variant definitivních ostění konvenčně realizovaných tunelů.

V převážné míře bylo využito definitivní ostění prováděné do systémového bednění z monolitického betonu vyztuženého, slabě vyztuženého, případně prostého. Zároveň však bylo využito i definitivního ostění z betonu stříkaného a z betonu vodonepropustného.

### Definitivní ostění z monolitického betonu

Tento v ČR ustálený typ definitivního ostění dopravních tunelů byl využit v převážném rozsahu ražených tunelů. Jako železobeton třídy C30/37-XC1 se splněným minimálním stupněm vyztužení byl využit pro všechny spodní klenby a vnitřní konstrukce (stěny, průvlaky, mostovka apod.) (obr. 7). Boční betonové bloky z betonu třídy C20/25-XC1 byly vždy vyztuženy pouze konstrukčně a byly s ohledem na svou mohutnost prováděny z betonu se sníženým vývinem hydratačního tepla spolu s možností dosažení normové pevnosti až po 90 dnech.

V rozsahu celých dvoupruhových tunelů (vyjma křížení a SOS výkle- nů) je horní klenba provedena z tzv. slabě vyztuženého betonu (v souladu s ČSN EN 1992 čl. 12) (obr. 8). Do tloušťky definitivního ostění byly započteny nevyužitá tolerance na primární ostění, čímž se dosáhlo 500 mm. Výsledné vyztužení představuje pouze síť KARI 8x8x100x100 mm u vnitřního líce a výztužný příhradový rám 2x2ØR14. Protože lichoběž- níkový otevřený výztužný rám, po osvědčení na tunelu Mrázovka, byl

capacity or spalling of concrete cover on the upper vault. This amount was verified by a fire test, see Chapter 6.

The final lining thickness varies from 400 to 600mm, depending on the particular cross-section. The reinforcement consists of KARI welded mesh supplemented by 10 505-R steel strap pieces according to structural calculations. The concrete cover of 50 mm is assumed for both surfaces of the lining.

### Tunnel lining variants

The exceptional character of the Blanka complex of tunnels lies, in addition to its extent, in the quantity of the tunnelling techniques and procedures used. As far as the final lining is concerned, several variants of final linings currently used in conventionally driven tunnels were applied.

Final linings cast in-situ behind formwork systems were largely used, with the concrete reinforced classically, lightly or even unreinforced. On the other hand, even shotcrete and water-retaining final linings were used.

### Cast-in-situ concrete final linings

This type of final lining, which is traditionally used in the CR in traffic and transportation tunnels, was used in the majority of mined tunnels. Reinforced concrete grade C30/37-XC1, meeting requirements for the minimum reinforcement content, was used for all inverts and internal structures (walls, beams, road decks etc.) (see Fig. 7). C20/25-XC1 concrete sidewall blocks were always reinforced only structurally and were cast, with respect to their massiveness, using reduced heat-of-hydration concrete, together with the possibility of reaching the standard strength as late as after 90 days.

The upper vaults of all double-lane tunnels (with the exception of crossings and emergency recesses) are in lightly reinforced concrete (in compliance with clause No. 12 of ČSN EN 1992 standard) (see Fig. 8). The design tolerances for the primary lining the possibility of which



Obr. 8 Výztuž horní klenby dvoupruhových tunelů ze slabě vyztuženého betonu  
Fig. 8 Reinforcement of the lightly reinforced concrete of the upper vault of double-lane tunnels



využit pouze pro ztužení vnitřního líce ostění, resp. montážní stav, mohlo dojít ke zvýšení krycí vrstvy hydroizolace na 100 mm. Tento postup – vypuštění vnější armovací sítě a zvýšení krycí výztužného rámu – zvýšil významně ochranu hydroizolace při pracích na horní klenbě. Navíc vlivem započtení nevyužitých tolerancí primárního ostění do dimenzované tloušťky definitivity nedošlo k navýšení ceny ostění.

Horní klenba v rozsahu kompletních třípruhových tunelů je provedena z klasického vyztuženého ostění u obou líců pomocí sítě KARI 8x8x100x100 mm a výztužných rámu 2x2ØR16, případně doplněných příložkami. Po započtení nevyužitých tolerancí dosáhla tloušťka ostění 550 mm.

Pro technologické tunely do šířky profilu cca 10 m a ostění šachet bylo využito horní klenby bez započtené výztuže pouze z prostého betonu. To výrazně usnadnilo a urychlilo realizaci díla a samozřejmě snížilo riziko poškození hydroizolace a cenu. Přesto jsou splněny požadavky na šířky trhlin, deformace a trvanlivost. Při započtení nevyužitých tolerancí průměru tloušťka ostění dosáhla 400 mm.

Ve všech případech je horní klenba v dopravních tunelech provedena z betonu C30/37 XF2 s PP vlákny a v technologických tunelech z betonu C30/37 XC1.

### Definitivní ostění ze stříkaného betonu

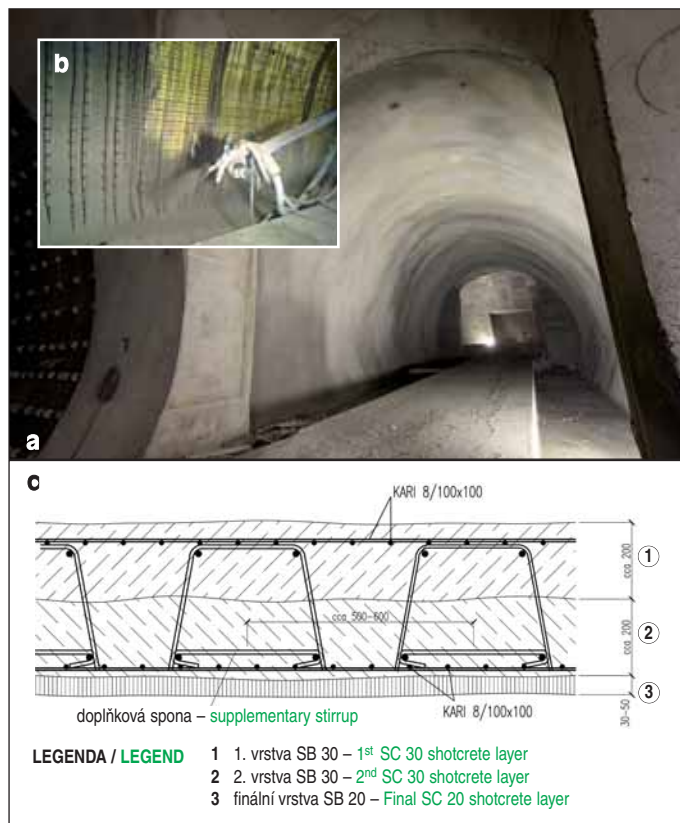
Původním předpokladem zadávací dokumentace bylo provádět veškeré ostění horní klenby propojek z monolitického železobetonu. V rámci přípravy realizační dokumentace však byla v důsledku započtení nevyužitých tolerancí na primární ostění výztuž klenby zcela vypuštěna a klenby jak průchozích, tak průjezdných propojek bylo možné realizovat pouze z prostého betonu. V důsledku požadavku na urychlení postupu výstavby propojek a uvolnění jejich profilu pro průjezd staveništní dopravy však nakonec bylo na základě požadavku zhotovitele využito na horní klenby všech ražených propojek definitivní ostění z betonu stříkaného. Zároveň byla tato technologie využita ve tvarově komplikovaných místech, kde by bylo neekonomické využití jednorázového atypického bednění. Jedná se o napojení vzduchotechnických kanálů na šachty pod výdechem Nad Královskou oborou a nadvýšené profily třípruhových tunelů spolu se svody v místě napojení vzduchotechnických kanálů na tunel.

V rámci přípravy stříkaného definitivního ostění bylo třeba stanovit a odsouhlasit jeho parametry, a to zejména s ohledem na trvanlivost, vyztužení, postup provádění a rovinatost povrchu. Přes několik pokusů využít k této technologii i stříkaných hydroizolací byla na základě provedených pokusů nakonec ponechána fóliová hydroizolace vč. systému injektážně monitorovacích hadic ovšem upraveného pro potřeby stříkané definitivity. Zdvoy- až ztrojnásobeny byly dále přichycovací body hydroizolace, tzv. terčíky. Byl stanoven postup realizace stříkání technologií tzv. mokrou cestou, po vrstvách s pomocnou výztuží, tvořenou sítěmi KARI 8x8x100x100 mm (atypické podle délky a směru přesahu) a samonosnými otevřenými lichoběžníkovými výztužnými rámy z 2x2ØR16. Vše bylo navrženo tak, aby armatura v ostění neměla vyšší hustotu než oka 100x100 mm z důvodu umožnění ostříkání betonem a zamezení tzv. stínů. Vlastní stříkání betonu nosné části se provádělo ve dvou vrstvách s časovým odstupem max. 48 hodin. Přičemž po nástřiku první vrstvy bylo třeba doarmovat vnitřní výztužnou síť. Veškerá smyková výztuž byla zajištěna pouze trmínky výztužných rámu, podle potřeby se tak volila vzdálenost rámu od 500 mm. Realizace nástřiku byla prováděna vždy na celou délku propojky, cca 18 m, najednou (obr. 9). Použitý stříkaný beton obou vrstev byl SB30 (C25/30) s použitou frakcí kameniva 0–8 mm. Po zatvrdnutí druhé nosné vrstvy stříkaného betonu následovala aplikace poslední tzv. finální pohledové vrstvy ostění, která nebyla započtena do únosnosti průřezu. Její tloušťka činila 30–50 mm a byla provedena z betonu SB20 (C16/20) s frakcí kameniva 0–4 mm. Vrstva byla aplikována na bázi torkretové omítky s omezeným obsahem urychlovačů.

Rovinatost vnitřního líce byla stanovena poměrem vzdálenosti k výšce sousedních nerovností maximálně 1:20. Tolerance na vnitřní líc ostění byla max. 50 mm (pro polohu, při splnění kritérií rovinnosti). Tloušťka ostění nesměla klesnout pod požadovanou dimenzi, která bez finální vrstvy činila u propojek 400 mm.

### Definitivní ostění z vodonepropustného betonu

Využití vodonepropustných betonů pro trvalé konstrukce tunelů je významně se rozvíjející trend posledních let v celém světě. Proto již v dokumentaci pro zadání stavby projektant s jejich aplikací počítal, nakonec se však tuto technologii s budoucím správcem TSK hl. m. Prahy podařilo projednat pouze u tunelů hloubených tzv. modifikovanou milánskou metodou. Od doby zpracování zadání však uplynulo několik let a zkušenosti, zejména pak ze sousedního Rakouska,



Obr. 9 a) horní klenba propojky ze stříkaného betonu; b) nanášení stříkaného betonu na izolaci; c) vyztužení definitivního ostění ze stříkaného betonu  
Fig. 9 a) shotcrete upper vault of a cross passage; b) application of shotcrete to waterproofing layers; c) reinforcement of final lining shotcrete

had not been used were counted in the thickness of the final lining. Owing to this approach, the lining thickness reached a mere 500mm. The resultant reinforcement consists only of KARI 8x8x100x100mm installed on the inner surface and reinforcing lattice girders 2x2ØR14. Because of this fact, trapezoidal, open lattice girders were, after the well-proven application to the Mrázovka tunnel, used only for reinforcing the inner surface of the lining, or for the assembly state; the thickness of concrete cover on the waterproofing membrane was permitted to grow to 100mm. This procedure – the omitting of the outer reinforcing mesh and increasing of the lattice girder concrete cover – significantly increased the protection of the waterproofing membrane during the work on the upper vault. In addition, the lining cost was not increased owing to the counting of the unconsumed primary lining tolerances in the final lining thickness calculation.

The upper vaults of all triple-lane tunnels are in concrete classically reinforced at both surfaces with KARI 8x8x100x100 mm mesh and reinforcing lattice girders 2x2ØR16, supplemented by strap pieces if necessary. After counting the unconsumed tolerances, the lining thickness reached 550 mm.

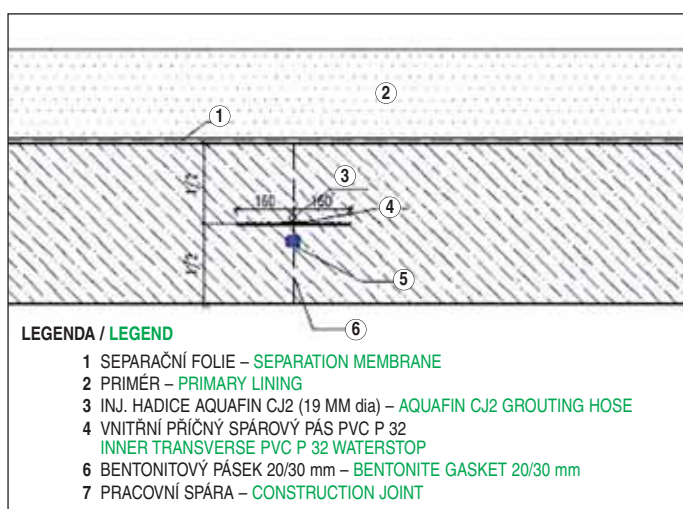
Unreinforced concrete upper vaults were used for service tunnels with the width of up to 10m. This measure significantly facilitated and accelerated the construction work and, of course, reduced both the risk of damaging the waterproofing membrane and the construction cost. Despite this fact, the requirements for the width of cracks, deformations and durability are met. When the unconsumed tolerances of the primary lining were counted in, the lining thickness reached 400mm.

In all of the cases, the upper vault in traffic and transportation tunnels is in C30/37 XF2-grade concrete containing PP fibres, while C30/37 XC1 concrete is used in service tunnels.

### Shotcrete final lining

The original assumption of tender documents was that all upper vaults in cross passages would be in cast-in-situ reinforced concrete. However, the reinforcement of the vaults was completely omitted during the course of the preparation of the detailed design as a result of the counting of tolerances unconsumed for the primary lining in the calculation, and it was possible to design vaults of cross passages, both pedestrian and vehicular, in cast-in-situ unreinforced concrete. Because





Obr. 10 Detail pracovní spáry mezi betonážními sekcemi u klenby prováděné z vodonepropustného betonu

Fig. 10 Detail of construction joint between casting sections applied to the water retaining concrete vault

povzbudily snahu projektanta a zhotovitele na jejich využití. Po více než roční přípravě, získávání zkušeností a projednávání se zástupci TSK se podařilo odsouhlasit využití vodonepropustných betonů definitivního ostění alespoň na vzduchotechnickém kanále a šachtě pod výdechovým objektem Nad Octárnou, kde byly nakonec i realizovány.

Přijetí této změny ve svém důsledku nemělo za cíl snížit cenu díla, ale především omezit riziko poškození hydroizolačního systému v průběhu výstavby a omezit tak potřebu budoucích dotěšňovacích injektáží nutných k předání suchého díla. Základní logická úvaha byla „využívaný beton definitivního ostění třídy C30/37 je už sám o sobě dostatečně vodotěsný, tj. omezíme šířku trhlin, tím redukuje průsaky pouze na pracovní a dilatační spáry, kde existují efektivní způsoby jejich eliminace“.

Výsledný návrh tak obsahoval kromě dalších následující parametry řešení:

- Předpokládaná maximální výška hladiny podzemní vody nad klenbou 20 m.
- Zatřídění konstrukce podle TP ČBS 02 – Bílé vany – (Kon1, A1, W4).
- Tloušťka ostění 500 mm kanál, 400 mm šachta.
- Beton ostění třídy C30/37 XA2 s povoleným průsakem do 40 mm a s PP vlákny (1 kg/m<sup>3</sup>).
- Maximální povolená šířka trhlin v betonu nesmí přesáhnout 0,25 mm (v podélném i příčném směru).
- Minimální krytí výztuže 50 mm, s nutností velmi přesného uložení.
- Maximální vzdálenost vložek výztuže 100 mm u obou licí z důvodu rovnoměrného rozdělení případných trhlin.
- Mezi primární a sekundární ostění musí být vložena separační vrstva (geotextilie s nakaširovanou PE fólií – Izolnetex 3.100) pro umožnění prokluzu betonu od objemových změn.
- Maximální tolerance na polohu vnitřního líce primárního ostění je 100 mm (tloušťka definitivního ostění nesmí být tlustší o více než 100 mm), poměr vzdáleností k výšce sousedních nerovností primáru nejvíce v poměru 1:8.
- Teplota ukládaného čerstvého betonu se musí pohybovat mezi 10–27 °C. Absolutní teplota betonu nesmí přesáhnout +70 °C a gradient mezi povrchem a středem konstrukce musí být do 20 °C.

Pro zajištění všech spár v betonové konstrukci proti průsakům bylo navrženo trojnásobné jištění (obr. 10). Směrem od primáru je uložena injektážní hadička AQUAFIN CJ2 Ø19 mm pro možnost dotěšňovací injektáže pomocí nízkoviskózní polyuretanové pryskyřice Mediatan 705. Dále vnitřní těsnicí spárový pás z PVC – P V-32 a nakonec bobtnavý bentonitový pásek AQUAFIN CJ3 (20x30 mm).

## 5 PŘEDPOKLADY NÁVRHU OSTĚNÍ RAŽENÝCH TUNELŮ

Oproti zadávací dokumentaci bylo při tvorbě dokumentace reálnější postupováno již podle platných ČSN Eurocode, a to 1990–1992

of a requirement for the acceleration of the work on cross passages and opening them to the passage of construction-purpose traffic, sprayed concrete upper vaults of the final lining were eventually carried out in all mined cross passages, in compliance with the contractor's requirement. At the same time this technology was applied to complicated shape locations, where the use of atypical non-recurring formwork would have been uneconomic, namely the connections of ventilation ducts to the shafts under the exhaust structure in Nad Královskou Oborou Street and the enlarged-height profiles of triple-lane tunnels together with exhaust ducts connecting the traffic and transportation tunnels to ventilation tunnels.

It was necessary within the framework of the preparation of the final lining to determine and get approved its parameters, first of all with respect to the durability, reinforcement content, work procedure and irregularity of the surface. Despite several attempts even to use a sprayed-on waterproofing system together with the above-mentioned technology, the plastic waterproofing membrane, including the system of grouting/monitoring hoses, which was of course modified for the needs of the application of the sprayed final lining, eventually remained. The number of membrane fixation blanks was doubled or tripled. The wet process shotcreting in layers procedure was determined, with auxiliary reinforcement consisting of KARI mesh 8x8x100x100 mm (atypical, depending on the length and direction of overlaps) and 2x2ØR16 self-supporting open trapezoidal lattice girders. The design was carried out in a way guaranteeing that the density of the reinforcement in the lining was not higher than the 100x100 mm meshes so that concrete could be sprayed through and the so-called shadowing was prevented. The load-carrying part of concrete was sprayed in two layers, with the maximum time lag of 48 hours. The inner reinforcing mesh was added after the completion of the first shotcrete layer. All shear reinforcement was fixed only with stirrups of the lattice girders. The spacing of the girders was chosen as needed be, up from 500 mm.

Shotcrete was applied in one go throughout the cross passage length of about 18 m (see Fig. 9). SB30 (C25/30) shotcrete with 0-8 mm aggregate fraction was used for both layers. The application of the last, final visible layer followed after the second load-carrying shotcrete layer hardening was over. This layer was not incorporated into the calculation of the load-carrying capacity of the cross-section. It was 30-50 mm thick and concrete grade SB20 (SC16/20) with 0-4 mm aggregates was used. The layer was applied on the basis of sprayed plaster with a reduced content of accelerator.

The flatness of the internal surface was determined by the proportion of the distance between neighbouring irregularities to their height, with the permitted maximum of 1:20. The maximum tolerance for the inner face was 50mm (for the positions where the flatness criteria were met). The lining thickness without the final layer was not permitted to decrease under the required dimension, which was set at 400mm for cross passages..

### Final water retaining concrete lining

The use of water retaining concretes for permanent structures of tunnels has become a worldwide significantly developing trend in recent years. For that reason the designer allowed for their application already in the tender documents. Nevertheless, this technology was eventually agreed by the future administrator (the Technical Administration of Roads and Pavements of the Capital City Prague, hereinafter abbreviated to TSK) only for cover-and-cut tunnels, using the so-called Modified Milan Method. Several years have passed since the completion of the tender documents and the experience first of all from Austria encouraged the designer and the contractor to further promote water retaining concrete application. After over a year lasting period of preparation, gathering of experience and discussions with the TSK, the use of water retaining concrete for final linings was approved at least for the ventilation duct and the shaft under the exhaust structure in Nad Octárnou Street, where it was eventually applied.

a 1997. Dalším důležitým předpokladem bylo uvažování životnosti díla minimálně 100 let, třídy agresivity okolního prostředí XA1-XA2 a požární odolnost REI 180. Požadavky na konstrukce tunelů byly již v zadání popsány, s uvažováním specifických podmínek v pražském prostředí, do samostatné části nazvané – „Technické specifikace“ a rozdělené podle jednotlivých stavebních částí podle vzoru TP pro RSD ČR.

Vnitřní síly a deformace ostění byly počítány pomocí numerických modelů metodou konečných prvků s uvažováním všech reálných zatížení. Jedná se především o tato zatížení, resp. jejich kombinace:

- vlastní tíha,
- zatížení od horninového tlaku,
- hydrostatický tlak podzemní vody (včetně natlakování při dlouhotrvajících deštích – platí pro úsek Letná+Brusnice, resp. při povodni – platí pro úsek pod Vltavou a Stromovkou),
- smrštění a dotvarování betonu ostění,
- klimatické zatížení (ochlazení/oteplení),
- technologická zatížení, atd.

U ražených tunelů dochází k výraznému spolupůsobení vlastní konstrukce ostění s okolním horninovým prostředím. Všechny okolní materiály (skalní/zemní) byly zavedeny do výpočetního modelu pomocí svých geotechnických a statických parametrů. Konstrukce definitivního ostění působí v příčném směru jako dvě klenby (spodní, horní) vetknuté do bočních bloků, kvůli klenbovému efektu jsou výrazně namáhány tlakovou normálovou silou.

Vhodně zvoleným tvarem ostění (blízcím se kruhu) a jeho dimenzemi již od prvotních návrhů nebylo nutné do statického schématu zakomponovat mostovku, tak jako tomu bylo např. u tunelu Mrázovka. Naopak obdobně jako u tunelu Mrázovka bylo uvažováno s degradací dočasného primárního ostění a s přechodem veškerého zatížení v čase na ostění definitivní. V matematickém modelu definitivního ostění byly samozřejmě zachyceny i změny napjatosti v masivu vlivem postupného pobírání v etapě ražeb (členění čelby), nebo skutečná vazba mezi primárním a sekundárním ostěním daná separací pomocí hydroizolačního souvrství. Za tímto účelem byla do modelu zavedena ortotropní vrstva, jejíž elastické a pevnostní vlastnosti jsou takové, že není schopna přenášet smyk a tah a nepůsobí jako tlumič kontaktních tlakových sil působících na styku priméru (neporušeného i degradovaného) a sekundéru.

Statické výpočty byly provedeny jednak v typických profilech co do tvaru, zatížení a geotechnických podmínek, jako rovinné úlohy a dále v místech dispozičně komplikovaných profilů (křížení tunelů, SOS výklenky, napojení podzemních objektů a šachet, změny profilu, místo požární odvětrávací štěrbin) jako 3D úlohy (obr. 11). Posouzeny byly kromě mezní únosnosti rovněž deformace konstrukce tunelu a především pak šířky trhlin v betonu. Maximální přípustné trhliny v ostění byly stanoveny na 0,4 mm u konstrukcí nevystavených vnějšímu prostředí ani prostředí komunikace v tunelu, jinak byla přípustná šířka trhlin stanovena na 0,3 mm.

Při návrhu výztuže bylo počítáno s hodnotou náhodné excentricity výztuže v betonu 20 mm. Použití nových norem oproti zadání vedlo



Obr. 12 Vzorek ostění po požární zkoušce (povrch bez odprysků je s PP vlákny)  
Fig. 12 Sample of lining after the fire test (surface without scales contains PP fibres)



Obr. 11 Napojení TGC4 a propojky TP13 na třípruhový tunel  
Fig. 11 Connection of TGC4 services centre and TP13 cross passage to the triple-lane tunnel

The objective of the adoption of this change was not to reduce the construction cost. The main objective was to reduce the risk of damaging the waterproofing system during the construction, thus to diminish the need for the application of grouting to improve the sealing capacity required for the final handover of dry structures to the client. The basic logical consideration was “the water retaining capacity of C30/37-grade concrete used for final linings itself is sufficient; let us therefore restrict the width of cracks, thus restricting leaks only to construction and expansion joints, for which effective elimination methods are available”.

The final proposal therefore contained, apart from other solution parameters, the following ones:

- Assumed maximum height of water table over the vault crown of 20 m
- Categorisation of the structure according to TP ČBS 02 – White Tanks – (Kon1, A1, W4)
- Lining thickness of 500 mm for a duct and 400 mm for a shaft
- C30/37 XA2-grade, PP fibres containing concrete (1 kg/m<sup>3</sup>) for the lining, with the permitted penetration depth of up to 40 mm
- Maximum allowable width of cracks in concrete must not exceed 0.25 mm (both longitudinally and transversally)
- Minimum concrete cover of 50 mm, with the necessity for very accurate placement
- Maximum spacing of reinforcing rods of 100 mm at both surfaces, ensuring uniform distribution of contingent cracks
- A separation layer (geotextile with a PP membrane – Izolnetex 3.100 – glued to it) must be inserted between the primary and secondary liners so that the slippage of concrete due to volumetric changes is possible
- Maximum tolerance prescribed for the position of the primary lining inner surface is 100 mm (the final lining thickness must not be exceeded by more than 100 mm), the maximum proportion of



Obr. 13 Montáž formy definitivního ostění v jámě Troja  
Fig. 13 Assembly of final lining formwork in Troja construction pit





Obr. 14 Napojení kanálu 03 na severní třípruhový tunel  
Fig. 14 Connection of duct 03 to northern triple-lane tunnel

ke zvýšení zatížení, avšak využitím slabě vyztužených nebo prostých monolitických konstrukcí k výslednému nárůstu nedošlo.

Vlastní výpočet proběhl s uvažováním dvou extrémních případů namáhání konstrukce reflektující geotechnické parametry horninového prostředí zaváděné do výpočtu. Jednalo se o tyto zatěžovací kombinace:

- Obálka maximálních vnitřních sil pro dimenzování podle návrhových hodnot zatížení – mezní stav únosnosti. S ohledem na výpočet vnitřních sil na plošném numerickém modelu s uvažováním geologického prostředí byl zvažován pouze jeden součinitel zatížení s hodnotou 1,35, který se aplikoval až na spočtené hodnoty vnitřních sil, a to před posouzením průřezů. Veškeré zatížení se nezadávalo jako vnější síly, ale bylo použito prostředí spolupůsobící s nosnou konstrukcí, klasické součinitele tedy nešlo zavést. Součinitele materiálů (beton, ocel) se použily při posuzování standardně.
- Obálka pro mezní stav použitelnosti – ověření deformací (průhyby a pootočení), ověření maximální přípustné šířky trhlin. Použily se přímo výsledky z numerického modelu (souč. zatíží. 1).

## 6 ZKOUŠKA POŽÁRNÍ ODOLNOSTI KONSTRUKCE DEFINITIVNÍHO OSTĚNÍ

Jedním z rozhodujících kritérií pro návrh horní klenby definitivního ostění dopravních tunelů a následně složení betonové směsi je požadovaná požární odolnost. Požární předpisy stanovují požadavek na zajištění únosnosti ostění tunelu minimálně po dobu 180 minut. Aby konstrukce mohla po tuto dobu plnit svou nosnou funkci, je především třeba zajistit výztuž proti nahřátí přes kritickou teplotu, kdy výrazně ubývá pevnost. Při navrženém krytí výztuže betonem u vnitřního líce 50 mm tak nesmí dojít k odpadnutí této krycí vrstvy, jinak by došlo ke skokové ztrátě únosnosti výztuže, a tím i ke kolapsu ostění.

V etapě zpracování zadávací dokumentace existovalo pět základních variant řešení ochrany:

- beton bez výztuže,
- zvýšené krytí výztuže u vnitřního líce,
- protipožární obklad,
- protipožární nástřik líce betonu,
- přidání PP vláken do betonu ostění.

Z ekonomických důvodů bylo pro tunely využito varianty s PP vlákny, neboť u všech ostatních by došlo k nutnosti zvětšení výrubního profilu. Na základě výsledků zahraničních zkoušek a testů byly navrženy 2 kg/m<sup>3</sup> vláken délky 6 mm a s průměrem 0,018 mm, neboť tato nejlépe zabraňují vzniku tzv. odprysků. Princip využití PP vláken spočívá v nízké hodnotě teploty, za které se odpaří (cca 100–200 °C). Tím se v betonu uvolní prostor pro vodu obsaženou v pórech, která vlivem ohřátí a přeměny na vodní páru zvětšuje svůj objem, a tím zapříčiňuje odprysk betonu. PP vlákna navíc brání vzniku trhlin, když napomáhají přenesení napětí v betonu od počátečního smršťování.

Naopak obsah vláken v betonové směsi vede často ke vzniku nekvalitního povrchu betonu u bedněného líce. Vady povrchu vznikají vlivem uvolněné záměšové vody z vazby na PP vlákna u bednění

the distance between neighbouring irregularities and their height is 1:8 for the primary lining.

- Temperature of fresh concrete being placed must vary between 10-27°C. The absolute temperature of concrete must not exceed +70°C and the temperature gradient between the surface and the structure centre must not exceed 20°C.

A triple-safety system was designed for the protection of all joints in concrete structures against seepage (see Fig. 10). Viewed in the direction from the primary lining, there is an AQUAFIN CJ2 Ø19mm grouting hose placed, allowing additional injection of sealing grout – low viscosity polyurethane resin Mediatan 705, an inner PVC-P V-32 waterstop and, finally, a hydrophobic bentonite gasket (20x30mm).

## 5 MINED TUNNEL LINING DESIGN ASSUMPTIONS

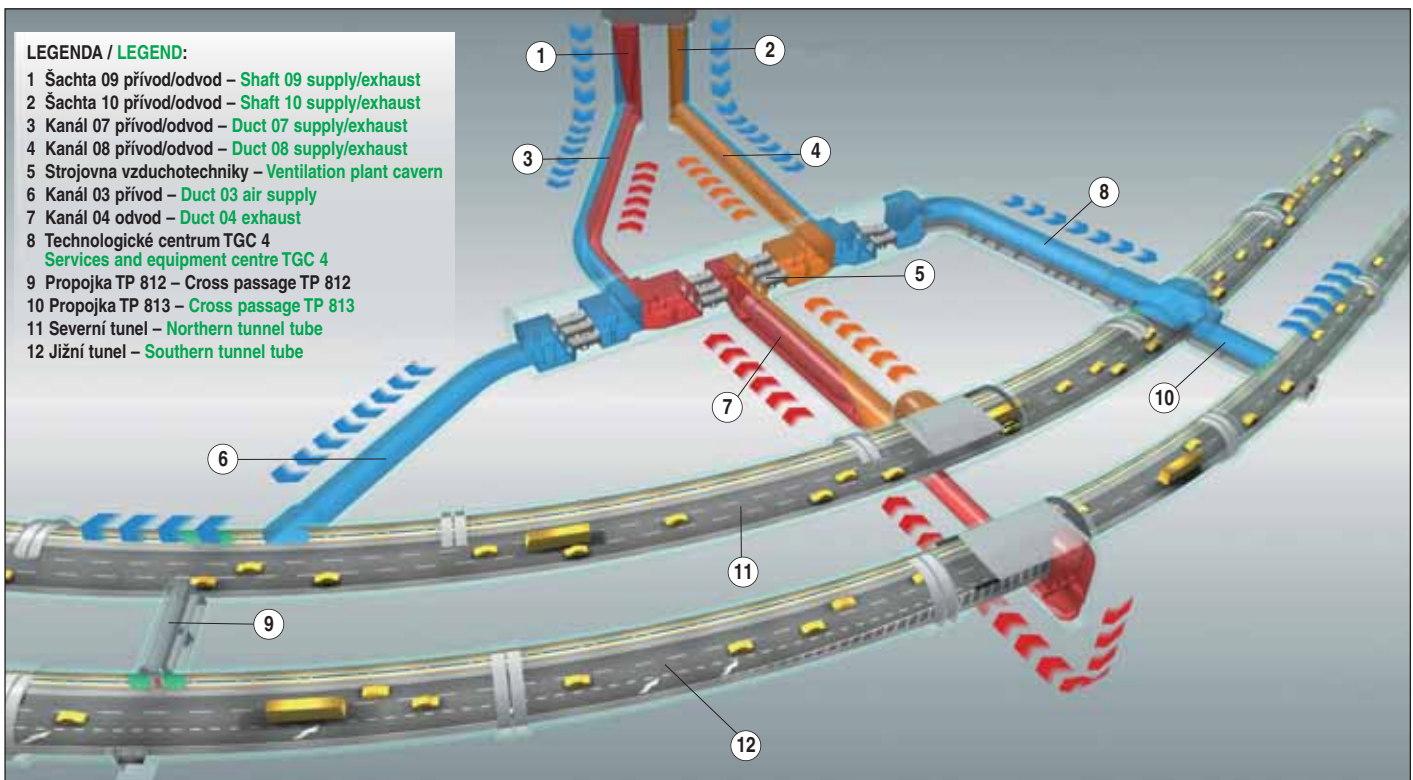
In contrast with the tender documents, the detailed design was carried out in compliance with requirements of applicable Eurocodes, namely Eurocodes 1990-92 and 1977. Other important assumptions were the consideration of the minimum structure design life of 100 years, the XA1-XA2 exposure rate of the surrounding environment and REI 180 fire resistance. The requirements for tunnel structures were described already in the tender documents, taking into consideration the specific conditions existing in the Prague environment, in a separate part named "Technical Specifications" and were divided according to individual construction parts following an example - the Technical Specifications issued by the Roads and Motorways Directorate of the CR.

Internal forces and deformations of the lining were calculated by means of numerical models using the Finite Element Method, with all realistic loading cases taken into consideration. The following loads and their combinations were analysed first of all:

- dead weight
- ground pressure
- hydrostatic pressure of groundwater (including increased pressures during long-lasting rains – applicable to the Letná - Brusnice section - or during a flood – applicable to the section under the Vltava River and under the Stromovka Park)
- shrinkage and creep of the lining concrete
- climatic loads (cooling down / heating up)
- loads induced by equipment, etc.

Significant composite action of the lining structure itself and the surrounding ground environment develops in the mined tunnels. All surrounding materials (rock/soil) were introduced into the calculation model by means of their geotechnical and static parameters. The final lining structure acts in the transverse direction as a pair of opposite vaults (upper and bottom) fixed one into the other. Owing to the vault action they are significantly loaded by normal pressure forces. Owing to the properly selected geometry of the cross-section (nearly circular) and its dimensions, it had not been necessary since initial proposals to integrate the road deck into the structural diagram in a way similar, for example, to the Mrázovka tunnel. On the contrary, the deterioration of the primary (temporary) lining and the transfer of all loads with time to the definite lining were taken into consideration, similarly to the Mrázovka tunnel design. Of course, even the changes in the state of stress in ground mass due to gradual excavation performed at the excavation stage (the excavation sequence) or the actual bond between the primary and secondary liners following from the separation by the waterproofing system layers were covered by the mathematical model of the final lining. It was the purpose why an orthotropic layer the elastic and strength-related properties of which cause that it is not capable of transferring shearing and tensile stresses and does not act as an absorber of contact pressure forces acting at the contact between the primary liner (both undisturbed and deteriorated) and the secondary liner was introduced into the calculation.

Structural analyses were carried out either as 2D problems in profiles typical as far as the geometry, loading and geotechnical conditions are concerned, or as 3D problems (see Fig. 11) in profiles with complicated layouts (tunnel intersections, emergency recesses, connections of underground structures and shafts, changes in cross-sections, locations of fire ventilation slots). Apart from the ultimate bearing capacity, the analyses also solved deformations of the tunnel structure and, first of all, the width of concrete cracks. The maximum permitted width of cracks in the lining was set at 0.4mm for structures unexposed either to the external environment or the tunnel environment with traffic; the permitted width of cracks in other structures was set at 0.3 mm.



Obr. 15 Schéma podzemního raženého technologického uzlu pod Letnou se směry odvětrání tunelů

Fig. 15 Chart of the underground mined services node under Letná Plain with ventilation air flow directions

(vibrací) a zobrazují se jako mapy – vyplavení jemných částic v hladkém líci s hloubkou cca do 5 mm (travertinový povrch). Tento nepříznivý faktor se zvětšuje s délkou vlákna, jejich množstvím, hladkostí formy a v neposlední řadě s klimatickými podmínkami při realizaci.

Proto byla pro ražené tunely v rámci zpracování realizační dokumentace hledána možnost snížení obsahu PP vláken v betonu, tak aby byla zajištěna požadovaná požární odolnost, ale zároveň se snížilo riziko povrchových vad líce betonu. Po dohodě projektanta a zhotovitele byl vyroben vzorek definitivního ostění (beton C30/37 XF2) spočívající v betonové stěně šířky 2500 mm, výšky 3000 a tloušťce 450 mm. Polovina vzorku obsahovala  $1 \text{ kg/m}^3$  PP vláken (Fibruco délky 6 mm a s průměrem 0,018 mm), druhá polovina byla bez vláken. Následně po vyzrání betonu byla ve zkušebně PAVUS provedena ve svislé poloze zkouška požární odolnosti. Teplota v peci byla regulována podle tzv. uhlovodíkové křivky hoření a dosáhla cca 1100 °C. Tato křivka dosahuje náročnějšího teplotního zatížení než v ČSN obsažená křivka ISO, určená spíše pro pozemní stavby. Uhlovodíková křivka se obvykle používá tam, kde může hořet (relativně) malé množství benzínu, např. palivová nádrž auta, nebo i nákladní vozidlo bez nebezpečného nákladu s požárním zatížením do 30 MW. To odpovídá předpokladům regulované možnosti vjezdu do tunelu Blanka (vozidla do 12 t), kde by další známé křivky hoření jako např. RWS, nebo RABT ZTV byly přehnaně náročné. Výsledky zkoušky potvrdily dva základní předpoklady:

1. Povrch prostého betonu byl narušen nepravidelnými odprsky do hloubky až 35 mm.
2. Povrch betonu s PP vlákny zůstal celistvý s nepravidelnými trhlinami v ploše.

Na základě výsledků zkoušky, provedené ve spolupráci s prof. Vítkem z ČVUT a za podpory CIDEAS (Centrum integrovaného navrhování progresivních stavebních konstrukcí), byla možnost realizace horní klenby definitivního ostění ražených tunelů s využitím pouze PP vláken  $1 \text{ kg/m}^3$  jednoznačně potvrzena (obr. 12). Výztuž horní klenby je dostatečně ochráněna proti vlivu požáru v tunelu.

## 7 REALIZACE STAVBY

Provádění definitivního ostění ražených tunelů přímo souvisí s dokončením ostění primárního. Po zhotovení izolace spodní klenby přicházela (u dopravních tunelů) v postupných krocích betonáž spodní klenby, bočních bloků, podpůrných stěn a mostovky. Dále následovalo uložení izolace a betonáž horní klenby. Dokončení

The value of random eccentricity of reinforcement in concrete of 20 mm was assumed in the reinforcement design. The application of standards new in comparison with the tender documents resulted in increased loads. Nevertheless, no resultant increase took place owing to the use of slightly reinforced or unreinforced cast-in-situ concrete structures.

The calculation itself was carried out taking into consideration two extreme cases of stressing of the structure, reflecting the geotechnical parameters of the ground environment being introduced into the calculation. The following loading combinations were dealt with:

- The envelope of internal forces for the calculation of dimensions according to design values of loads – the ultimate limit state; with respect to the calculation of internal forces carried out on a 2D numerical model allowing for the geological environment (an environment interacting with the load-carrying structure is taken into consideration instead of introducing loads as external forces, classical coefficients therefore cannot be applied), only one loading coefficient with the value of 1.35 was considered which is applied to the values of internal forces obtained by the calculation, before assessing the cross-sections. Material coefficients (for concrete and steel) were taken into consideration during the assessment in a standard way.
- The envelope for the limit state of serviceability – the verification of deformations (deflection and angular rotation), the verification of maximum permitted width of cracks. Results obtained on the numerical model were applied (loading coefficient of 1.0).

## 6 FIRE RESISTANCE TESTING OF FINAL LINING STRUCTURES

One of criteria crucial for designing upper vaults of traffic and transportation tunnel linings, and subsequently for the concrete mixture composition, is the required fire resistance. Fire regulations set a requirement for the tunnel load-carrying capacity to be secured at least for 180 minutes. If the structure is to be able to fulfil its load-carrying function for this time, it is first of all necessary to protect concrete reinforcement against heating over a critical temperature, at which the strength significantly diminishes. The concrete cover layer must not flake away at the design cover at the inner surface of 50mm, otherwise a step loss of load-carrying capacity of reinforcement would take place and the lining would collapse.

Five basic variants of the protection solution existed during the work on the tender documents:





Obr. 16 Pohled do kanálu 04 a severního třípruhového tunelu s dokončeným definitivním ostěním 1. části kanálu

Fig. 16 View down the duct 04 and the northern triple-lane tunnel with the temporary lining of the 1st part completed

ostění spočívalo v realizaci výplňové injektáže horní klenby. Součástí prováděcích prací bylo i uložení těsnicích prvků pracovních spár bentonitovými pásky nebo křížovými plechy jako pojistný systém i v úseku s hydroizolací.

Na všech částech byla snaha rozvinout tzv. proudovou metodu (betonáže po sekcích), u které se předpokládalo, že bude prováděna až po kompletním dokončení ražeb s primárním ostěním tunelu. Mimořádné události při ražbách tunelu pod Stromovkou a u Ministerstva kultury však zapříčinily významné zpoždění razicích prací jak na tunelu pod Královskou oborou, tak i na tunelu Brusnice, a tím i potřebu provádět definitivní ostění souběžně s prováděním ražeb. Zároveň bylo nutné nadimenzovat mostovku pro přímý pojezd razičské mechanizace, což vedlo k požadavku na zvýšení tloušťky desky z 300 na 350 mm. Vlastní betonářské práce využívaly v podstatě všech typů bednění, od hydraulické pojízdné ocelové formy horní klenby, přes systémová bednění jak s ocelovým, tak i překližkovým pláštěm, až po zcela individuální bednění atypických míst. Postupováno bylo vždy podle předem stanoveného kladečského plánu sekcí. Délky sekcí dopravních tunelů byly cca 12,1 m pro dvoupruhový tunel a cca 10,5 m pro třípruhový tunel. Do příčných spár mezi jednotlivými sekcemi nebyly vkládány žádné dodatečné prvky jako polystyren apod.

Omezený časový prostor a snaha co nejvíce snížit dopady do harmonogramu vlivem zpoždění od mimořádných událostí vedly k několika nestandardním provozním opatřením. V jeden čas tak byly na jednom tubusu tunelu až tři bednicí formy. Navíc práce bylo vždy třeba organizovat s uvážením zachování průjezdu propojkami pro zásobování prací prováděných v tubusu před čelem prací na definitivě. I průchozí propojky bez dokončené horní klenby byly uvažovány pro průjezd staveništní dopravy. Práce v portálových partiích bylo třeba koordinovat s výstavbou hloubených objektů TGC umístěných

- unreinforced concrete
- increased thickness of concrete cover at the inner surface
- fireproof cladding
- fire-protective sprayable mortar on the concrete surface
- addition of PP fibres to concrete mix for the lining

For the reasons of economy, the variant comprising PP fibres was applied because of the fact that all other variants would have required increased excavated cross-sections. The amount of 2 kg/m<sup>3</sup> of 6mm long, 0.018 mm-diameter fibres was designed on the basis of results of testing abroad and tests. These fibres best prevent the development of spalling. The principle of the use of PP fibres lies in the low temperature at which they evaporate (about 100-200°C). As a result, a space is vacated in concrete for water contained in pores, which increases its volume owing to their heating and its conversion into vapour, thus causing the spalling of concrete. In addition, PP fibres positively act against the development of cracks. They help to transfer stresses in concrete resulting from initial shrinkage.

Conversely, the amount of fibres in concrete mix often leads to the origination of poor quality surface of concrete created by the formwork. Surface defects are caused by mixing water released from the bond with PP fibres on the contact with formwork (due to vibration) and present themselves as maps and washout of fine particles on the smooth surface up to 5 mm deep (travertine-like surface). This unfavourable effect increases itself with the length of fibres, their density, smoothness of formwork and, at last but not least, depending on climatic conditions during the work.

For that reason a possibility of decreasing the content of PP fibres in concrete was sought for mined tunnels during the work on the detailed design so that the required fire resistance was guaranteed and, at the same time, the risk of concrete surface defects was reduced. A final lining sample was produced as agreed by the designer and contractor (C30/37 XF2 concrete grade), in the form of a 2500 mm wide x 3000 mm high x 450 mm thick wall. A half of the sample contained 1 kg/m<sup>3</sup> of fibres (6mm long, 0.018mm-diameter Fibruco fibres), while no fibres were in the other half. Subsequently, when the concrete maturing was over, a fire resistance test was conducted in the vertical position at the PAVUS testing laboratory. The furnace temperature was regulated to follow the hydrocarbon fire temperature curve, reaching 1100°C. This curve achieves more demanding thermal loading than the ISO curve contained in the CSN standard, which is rather intended for buildings. The hydrocarbon curve is usually applied to structures where only (relatively) small amount of petrol may burn, e.g. a fuel tank of a vehicle or even a lorry without dangerous load with the fire load up to 30 MW. This corresponds to the assumptions for the regulated possibility of the entry into the Blanka tunnels, where other known fire



Obr. 17 Přetočená dělicí příčka v kanálu 04, 2. část

Fig. 17 Rotated dividing wall in duct 04, 2nd part



Obr. 18 Napojení kanálu 07 na strojovnu VZT bez dokončeného krčku  
Fig. 18 Connection of duct 07 to the ventilation plant cavern without the neck completed

před raženými portály, které bylo nutné dokončit pro montáž technologie v předstihu před dokončením ražených tunelů. Tím také došlo k nutnosti demontovat bednicí vozy horní klenby přímo v tubusu raženého tunelu. Až 160tunová forma tak byla demontována v prostoru bez definitivního ostění, ale i pod již dokončeným definitivním ostěním horní klenby. Pro zavěšení zvedacího zařízení bylo využito buď kotev přes primární ostění, nebo předem zabudovaných kotevních prvků v definitivní klenbě osazených spolu s výztuží. Navíc omezení výstavbou v navazujících hloubených jámách vedlo k nutnosti smontování části hydraulické formy nad portálem a jejího spuštění výkonnými jeřáby před ražený portál, odkud se v krátkém časovém sledu musela forma zasunout do tunelu (obr. 13).

Za samostatnou zmínku pak stojí řada zcela atypických míst z hlediska nutnosti členění postupu výstavby a umístění pracovních spár. Ta tvarově nejkomplicovanější místa byla, jak bylo popsáno dříve, řešena použitím definitivního ostění ze stříkaného betonu.

Mezi tvarově velmi komplikovaná místa lze zařadit napojení vzduchotechnického kanálu 03 na třípruhový tunel (obr. 14). Tento kanál s rozpětím klenby cca 9 m, propojující strojovnu vzduchotechniky a severní třípruhový tunel, je podle provozních požadavků napojen na tunel pod úhlem cca 62° místo běžných přibližně 90°. Při délce formy třípruhového tunelu cca 10,5 m tak nebylo možné provést zárodek napojení kanálu v jedné sekci horní klenby, jako je tomu obvykle u propojek. Kladečský výkres bednění byl proto upraven tak, aby umožňoval provádění horní klenby sekce třípruhového tunelu s částí klenby krčku kanálu 03 ve dvou krocích. Ve vzdálenosti cca 0,5 m od osy krčku byla provedena podélná pracovní spára klenby kanálu. Spára je v příčném řezu kolmá na ostění horní klenby krčku. Z hlediska zatížení při výstavbě byly obě sekce horní klenby samonosné s probíhající podélnou výztuží třípruhového tunelu, z hlediska výsledného zatížení působí společně. Spodní konstrukce obou sekcí byly provedeny najednou v jednom betonážním kroku. Komplikovaný tvar průniku dvou válcových ploch a požadavek statika na provázání výztuže vedl k nutnosti využít speciálních tvarů betonářské výztuže ve 3D tvar spolu se speciálními opatřeními pro stabilitu armatury klenby před instalací formy.

Zcela samostatný přístup jak k návrhu, tak i k realizaci si vyžadoval celý podzemní technologický uzel kolem ražené strojovny vzduchotechniky a podzemního technologického centra (obr. 15). Vlastní odvodní vzduchotechnický kanál 04 je napojen jak na jižní, tak i severní třípruhový tunel pomocí svislých odvodních šachet umístěných na bocích tunelu, kanál potom podchází v těsné blízkosti pod spodní klenbu oba tubusy (obr. 16). Vlastní napojení na tubusy tunelu bylo řešeno stříkanou definitivivou, horizontální částí kanálu potom již monoliticky, a to včetně železobetonové příčky oddělující nasávaný vzduch z obou tunelů. Navíc se tato příčka tl. 300 mm před napojením do strojovny vzduchotechniky otáčí kolem svého středu o 90° (z vodorovné polohy do svislé) (obr. 17).

Do objektu podzemní strojovny délky cca 121,5 m je napojeno celkem pět technologických tunelů; kanál 03 z jižního čela, podzemní trafostanice ze severního čela, z východní strany kanál 04, ze západní strany kanály 07 a 08 napojující šachty výdechového objektu Nad Královskou oborou.

curves, e.g. the RWS or RABT ZTV, were exaggeratedly demanding. The test results confirmed the following two basic assumptions:

- 1/ unreinforced concrete surface is disturbed by irregular flakes up to the depth of 35 mm
- 2/ the integrity of the surface of concrete containing PP fibres remained uncompromised, only with irregular cracks

The possibility of the application of concrete containing 1 kg/m<sup>3</sup> of PP fibres to upper vaults of the final lining of mined tunnels was unambiguously confirmed on the basis of results of the test conducted in collaboration with Prof. Vitek from the Czech Technical University in Prague and under auspices of the CIDEAS (the Centre for Integrated Design of Advanced Structures) (see Fig. 12). The upper vault concrete reinforcement is sufficiently protected against the effect of a fire.

## 7 CONSTRUCTION OPERATIONS

The execution of final linings of mined tunnels is directly related to the completion of the primary lining. When the installation of the waterproofing layer on the invert had been finished, the step-by-step casting of the invert, sidewall blocks, supporting walls and road deck followed (in traffic and transportation tunnels). Then the waterproofing system was installed and the upper vault was cast. The completion of the lining lied in the execution of backgrouting behind the upper vault. The installation of construction joints sealing elements, i.e. bentonite gaskets or steel sheet crosses as a safety system was part of the construction work even in the section provided with the waterproofing system.

The effort to apply a streamlined system (section-by-section casting) was made at all sections. It was expected that the operations would commence only after the total completion of the tunnel excavation provided with the primary lining support. However, the extraordinary events which took place during the excavation of the tunnel under the Stromovka Park and in the vicinity of the Ministry of Trade caused a significant delay of the excavation under Královská Obora Street and the Brusnice tunnel. It was therefore necessary to install the final lining concurrently with the excavation. At the same time it was necessary to over-engineer the road deck to allow direct passages of mining equipment. This requirement led to the increasing of the deck thickness from 300 to 350 mm. Virtually all formwork types were used for the casting of concrete, ranging from steel hydraulic travelling forms for the upper vaults, through forming systems with both steel and plywood skins, up to fully individual formwork for atypical places. The work on the blocks always proceeded in compliance with a pre-set casting sequence. The casting blocks of traffic and transportation tunnels were about 12.1 m and 10.5 m long for the double-lane tunnel and triple-lane tunnel, respectively. No additional elements, such as polystyrene etc., were inserted into joints between individual casting blocks.

The limited space of time and the effort to reduce impacts on the works schedule due to the delay caused by extraordinary events led to the adoption of several non-standard operating measures. There were even three formwork sets simultaneously in one tunnel tube. In addition, the operations had to be organised taking into consideration the necessity for maintaining vehicular traffic through cross passages ensuring supplies for operations carried out in the tube in advance of the final lining workplace. Even the pedestrian cross passages without the upper vault finished were planned for the passage of construction-purpose transportation. It was necessary to coordinate the work in the portal sections with the construction of cut-and-cover structures of the service centre located in front of the mined portals, which had to be finished to allow the assembly of tunnel equipment in advance of the completion of the mined tunnels. This was also the cause why the traveller formwork sets for the upper vault had to be dismantled directly inside the mined tunnel tubes. Up to 160 tonne weighing formwork sets were dismantled both in spaces not provided with final lining and also under the already completed final lining of the upper vault. Lifting appliances were suspended either from anchors passing through the primary lining or from anchoring elements pre-installed in the final vault liner concurrently with the concrete reinforcement. In addition, the restrictions due to construction work in adjacent construction pits led to the necessity for assembling parts of the hydraulic formwork above the portal and lowering it by high-performance cranes in front of the mined portal, from which place the formwork had to be pushed into the tunnel in a short time (see Fig. 13).

A number of places completely atypical as far as the necessity for dividing the construction process and carrying out construction joints is





Obr. 19 Dokončené definitivní ostění strojovny VZT  
Fig. 19 Complete final lining of the ventilation plant cavern

Každé napojení–krček vzduchotechnického kanálu (šířka 9,5–11 m) do boku strojovny se s ohledem na rozměry bednicí formy klenby strojovny (délka 6 m) muselo složit ze tří pracovních sekcí s probíhající podélnou výztuží horní klenby. Horní klenba krčků kanálů tak musela být prováděna ve dvou krocích. Nejdříve se provedla horní klenba strojovny v plné tloušťce 650 mm a zároveň první vrstva horní klenby krčků kanálů dané sekce tloušťky 400–450 mm (obr. 18). Postup spočíval v provedení krajních sekcí křížení, následně byla betonována mezi ně sekce střední. Klenba krčku byla rozdělena pracovními spárami bez probíhající výztuže na tři samostatné části, které v provizorním (montážním) stavu působily vždy jako „konzoly“ vetknuté do ostění klenby strojovny. Až následně byly do vnitřního líce klenby krčku navrtány spráhovací trny (v rastru 200x200 mm) a celá horní klenba krčku zmonolitněna vbetonováním vnitřního prstence tloušťky 650 mm. Celková tloušťka horní klenby krčků tak v definitivním stavu činí 1050–1100 mm. Spodní klenba strojovny byla provedena po betonážních sekcích délky 6 m, v místech křížení s průběžnou podélnou výztuží (obr. 19).

Odladit technologický postup betonáže bylo třeba i v případě betonáže masivní svislé čelní stěny (šířka 19 m, výška 17 m) strojovny tloušťky 1,63 m. Po výšce byla betonáž rozdělena na tři etáže, v návaznosti na pracovní spáry prostupujícího vzduchotechnického kanálu 03. Výztuž stěny staticky vetknuté po obvodě do ostění strojovny byla vějířovitě rozprostřena u obou líců ostění, v nejméně namáhaných oblastech byla použita výztuž až ØR32 po 200 mm, což vedlo k celkové hmotnosti výztuže této stěny 66 t. Z prováděcích důvodů byla podélná výztuž zajišťující sprážením stěny s ostěním strojovny nastavována pomocí šroubových spojek.

Poměrně standardní bylo provádění definitivního ostění větracích šachet hloubky cca 36 m, ústíech do výdechového a nasávacího objektu Nad Královskou oborou, z monolitického betonu s betonážními sekcemi délky 4 m. Na definitivní ostění však navazovala betonáž střední stěny oddělující čistý přírodní a znečištěný odváděný vzduch v šachtě. Dělicí příčky se na výšku 24 m musely vějířovitě pootočit o 67°, resp. 33°, aby se v horních částech šachet dostaly do poloh, ve kterých pokračují v navazujícím objektu. Příčky, zakotvené do ostění šachty pomocí navrtaných trnů, byly prováděny v kroku 2 m vždy s malým pootočením bednění v každém kroku (obr. 20). Na každý betonážní krok tak pootočení měřené na vnitřním líci šachty činilo 438 mm, resp. 167 mm.

## 8 ZÁVĚR

Počátkem roku 2012 byly dokončeny veškeré betonáže definitivních ostění ražených tunelů. Následně se provedla výstavba všech vnitřních konstrukcí a nátěry. Ze stavební části tak v převážném rozsahu tunelu zbývá provést živičné vozovky tl. 150 mm a keramický obklad boků tunelu výšky 3,25 m. Dále bude prováděna montáž technologie a provedeny komplexní provozní zkoušky tak, aby celý tunelový komplex mohl být uveden do provozu k 1. 5. 2014.

Zhotovitelem stavby je METROSTAV a. s., řízením projektu je pověřena divize 2. Výše popsané konstrukce ražených tunelů jsou prováděny divizemi 5, 6 a 1. Projektantem stavby je SATRA spol. s r. o.

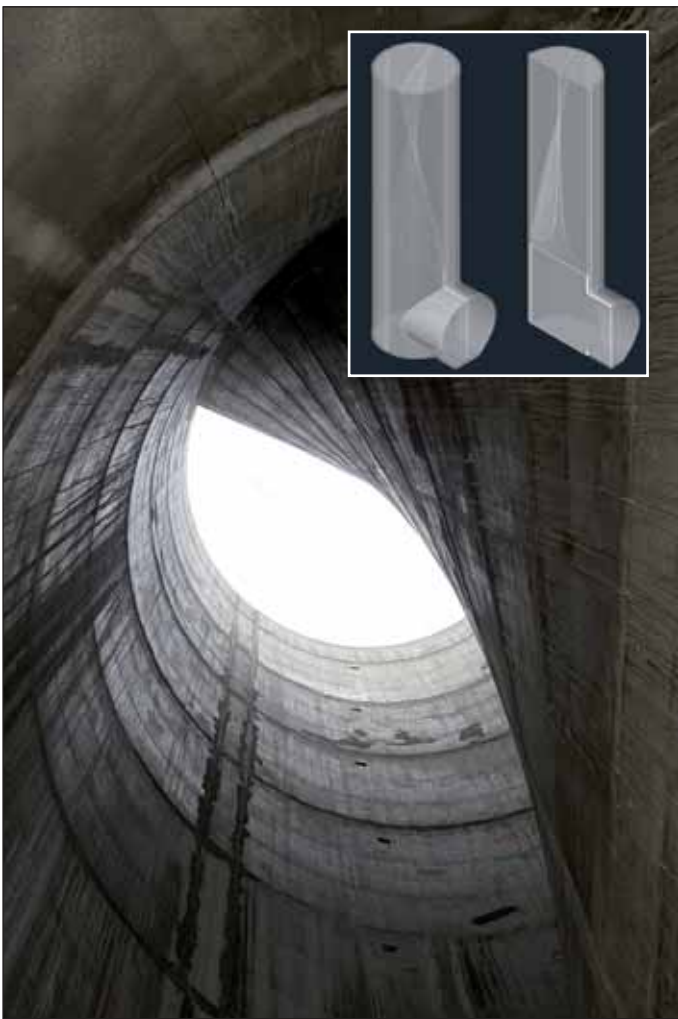
Při návrhu a provádění definitivního ostění ražených tunelů bylo využito zkušeností z výstavby obdobných staveb v ČR, ale i zkušeností ze

worth separate mentioning. The most complicated of them, which have been described above, were solved by the use of the shotcrete final lining. Among the in terms of geometry highly complicated parts which had to be constructed, there was undoubtedly the connection of ventilation duct No. 03 to the tunnel (see Fig. 14). This duct with the vault span of approximately 9m, interconnecting the ventilation plant cavern with the northern triple-lane tunnel, is, in compliance with operating requirements, connected to the tunnel at an angle of about 62 grades instead of the common approximately 90 grades. It was therefore impossible at the length of the formwork for the triple-lane tunnel of about 10.5m to carry out a starter stub of the duct to connect the tunnel in one section of the top heading, which is commonplace in the case of cross passages. The formwork placing drawing was therefore modified so that it made construction of the upper vault of the particular section of the triple-lane tunnel together with the duct No. 3 starting stub possible in two steps. A longitudinal construction joint was carried out in the duct vault at a distance of about 0.5m from the stub axis. In the cross-section, the joint is perpendicular to the upper vault lining of the stub. Regarding the loading during the construction, both sections of the upper vault were self-supporting, with the longitudinal reinforcement of the triple-lane tunnel uninterrupted; regarding the resultant loading, the sections act jointly. The lower structures of both sections were cast concurrently, in one casting step. The complicated shape of the two cylindrical surfaces intersection curve and a requirement of the structural engineer for binding the reinforcement system together led to the necessity for the application of special 3D shapes of reinforcing bars together with special measures ensuring the stability of the vault reinforcement before the installation of the formwork.

The completely independent approach to both the design and the construction was required for the entire underground node of service structures around the mined ventilation cavern and the underground service centre (see Fig. 15). The exhaust ventilation duct 04 itself is also connected to both the southern triple-lane and northern triple-lane tunnels by means of vertical exhaust shafts located on the tunnel sides. The duct then passes at a close distance under the inverts of both tubes (see Fig. 16). The connection to the tunnel tubes was solved by the use of a final shotcrete lining, whilst cast-in-situ concrete was used for the horizontal parts of the duct, including a reinforced concrete dividing wall separating the air sucked from the two tunnels. In addition, this 300 mm thick dividing wall is rotated around its centre by 90° (from a vertical position to horizontal) before connecting to the ventilation plant cavern (see Fig. 17).

The total of five service tunnels were connected to the 121.5 m long ventilation plant cavern: duct 03 from the southern face, the underground transformer station from the northern side, duct 04 from the eastern side and ducts 07 and 08, connecting the shafts of the exhaust structure in Nad Královskou Oborou Street, from the western side.

With respect to the sizes of the formwork for the ventilation plant cavern vault, each connection (neck) of the ventilation duct (9.5 – 11 m wide) to the cavern side had to be divided into three working sections with the upper vault reinforcement uninterrupted. The upper vaults of the duct necks had to be carried out in three steps. The upper vault of the plant cavern was carried out first, at the full thickness of 650 mm, concurrently with the first, 400 – 450 mm thick, layer of the upper vault of the duct necks in the particular section (see Fig. 18). The procedure lied in the execution of the edge sections of the intersection, with the central section cast between them subsequently. The neck vault was divided by construction joints, without reinforcing bars running across them, into three parts. In the temporary (assembly) state, they always acted as “cantilevers” keyed into the ventilation plant cavern vault lining. Holes for interlocking dowels were drilled and dowels were inserted into the inner surface of the neck vault (in a 200x200 mm grid) and the entire upper vault of the neck was made monolithic by casting a 650 mm thick concrete ring between the structures. The total thickness of the upper vault in the definite state amounts to 1050–1100 mm. The ventilation plant cavern invert was carried out in 6.0 m long casting sections at the intersection with the continuous longitudinal reinforcement (see Fig. 19). The concrete casting technological procedure had to be de-bugged even in the case of the casting of the massive 1.63 m thick vertical front wall of the cavern (19m wide x 17m high). The casting operation was divided into three vertical stages with regard to the construction joints in the ventilation duct 03 penetrating the wall. The reinforcement of the wall structurally fixed around the circumference into the ventilation plant cavern wall was fan-like spread at both



Obr. 20 a) pohled do vzduchotechnické šachty s přetočenou dělicí příčkou; b) model šachty s dělicí příčkou

Fig. 20 a) View down the ventilation shaft with the rotated dividing wall; b) model of the shaft with the dividing wall

zahraničí. Spoluprací zhotovitele a projektanta se podařilo ve zcela nových podmínkách v ČR odzkoušet technologie definitivního ostění doposud využitě pro trvalé konstrukce ve velmi omezeném rozsahu. Slabě vyztužený beton, prostý beton, vodonepropustný beton a stříkaný beton definitivního ostění by pro své specifické vlastnosti neměl být opomíjen, pouze tak umožní provádět nové české tunely efektivněji, kvalitněji a uživatelsky komfortněji. Jedině kvalita a přiměřená cena povede k pozitivnějšímu přístupu investorů a veřejnosti k tunelovým stavbám.

Při návrhu technického řešení tunelu byly částečně využity výsledky grantového projektu GAČR č. 103/2008/1691 a projektu MŠMT č. 1M0579 (Výzkumné centrum CIDEAS).

ING. PAVEL ŠOUREK, [pavel.sourek@satra.cz](mailto:pavel.sourek@satra.cz),  
 ING. LUKÁŠ GRŮNWALD, [lukas.grunwald@satra.cz](mailto:lukas.grunwald@satra.cz),  
 ING. VLADIMÍR PETRŽÍLKA, [vladimir.petrzilka@satra.cz](mailto:vladimir.petrzilka@satra.cz),  
 SATRA spol. s r. o.,  
 ING. JAN KVAŠ, [jan.kvas@metrostav.cz](mailto:jan.kvas@metrostav.cz),  
 ING. MIROSLAV PADEVĚT,  
[miroslav.padevet@metrostav.cz](mailto:miroslav.padevet@metrostav.cz), METROSTAV a. s.

Recenzoval: Ing. Vladimír Prajzler

surfaces of the lining. Reinforcing bars up to  $\varnothing R32$  spaced at 200 mm were applied to the most loaded areas. It led to the total weight of 66t of reinforcement used for this wall. For the reasons of the realisation, the longitudinal reinforcement securing the composite action of the wall and the ventilation plant cavern was spliced using threaded coupling sleeves.

The installation of the final lining of the about 36m deep ventilation shafts ending in exhaust and fresh air intake shafts in Nad Královskou Komorou Street was a relatively standard operation. The shafts are cast-in-situ concrete structures with the casting blocks 4.0m high. The casting of the central shaft wall separating fresh air being supplied from polluted air being exhausted followed the final lining installation. The partition walls had to be rotated by 67 degrees and 33 degrees within the vertical distances of 24m in shafts No. 09 and 10, respectively, so that their tops got to the positions in which the linking exhaust and intake structures were designed. The partition walls, which were fixed in the shaft lining by means of tie rods installed in holes drilled into the lining, were cast in 2m high steps, with a small rotation of the formwork in each step (see Fig. 20). In each casting step the rotation measured on the inner surface of the shafts No. 09 and No. 10 amounted to 438mm and 167mm, respectively.

## 8 CONCLUSION

All concrete casting work on final linings of mined tunnels was finished at the beginning of 2012. Subsequently all internal structures and paint coatings were carried out. This means that of the civils works, only a 150 mm thick asphalt pavement and ceramic cladding of tunnel side walls up to the height of 3.25 m remain to be completed in the bulk of tunnels. In addition, the tunnel equipment is being installed, to be finished by the comprehensive test so that the entire complex of tunnels can be opened to traffic on 1st May 2014.

The construction contractor is METROSTAV a. s., with its Division 2 authorised to managing the entire project. The tunnel structures described above are carried out by Metrostav divisions 5, 6 and 1. The construction designer is SATRA spol. s r. o.

Experience gathered from the construction of similar structures in the CR and abroad was used during the work on the design and construction of final linings of mined tunnels. Owing to their collaboration, the contractor and the designer managed to try, in absolutely new conditions in the CR, final lining construction technologies which have been till now applied to permanent structures only to a very limited extent. Lightly reinforced concrete, unreinforced concrete and sprayed concrete applied to permanent linings should not be neglected for their specific properties; only then the more effective, higher quality construction of new tunnels providing higher comfort to users will be possible. A more positive attitude of project owners and the public toward tunnel construction can be achieved only through good quality and adequate costs.

During the designing of the technical solution for the tunnel, results of the grant project of the GAČR (the Czech Science Foundation) No. 103/2008/1691 and the MŠMT (the Ministry of Education, Youth and Sports) project No. 1M0579 (the CIDEAS Centre for Integrated Design of Advanced Structures) were partially used.

ING. PAVEL ŠOUREK, [pavel.sourek@satra.cz](mailto:pavel.sourek@satra.cz),  
 ING. LUKÁŠ GRŮNWALD, [lukas.grunwald@satra.cz](mailto:lukas.grunwald@satra.cz),  
 ING. VLADIMÍR PETRŽÍLKA, [vladimir.petrzilka@satra.cz](mailto:vladimir.petrzilka@satra.cz),  
 SATRA spol. s r. o.,  
 ING. JAN KVAŠ, [jan.kvas@metrostav.cz](mailto:jan.kvas@metrostav.cz),  
 ING. MIROSLAV PADEVĚT,  
[miroslav.padevet@metrostav.cz](mailto:miroslav.padevet@metrostav.cz), METROSTAV a. s.

## LITERATURA / REFERENCES

- Šourek, P. a kol. Tunelový komplex Blanka – mimořádná stavba nového století. *Tunel 3/2007*, CzTA  
 Šourek, P. a kol. Hloubené tunely klasického typu na stavbě tunelového komplexu Blanka. *Tunel 1/2009*, CzTA  
 Šourek, P. a kol. Čelně odtěžované tunely na stavbě tunelového komplexu Blanka, *Tunel 2/2010*, CzTA



# LÄNSIMETRO – VÝSTAVBA TRAŽOVÉHO ÚSEKU KARHUSAARI

## LÄNSIMETRO – DEVELOPMENT OF KARHUSAARI TRACK SECTION

VÁCLAV PAVLOVSKÝ, ALEŠ GOTHARD, MARTIN PETRÁŠEK

První polovina ražeb z celkem 14 km dlouhého úseku metra spojujícího finské Helsinky a Espoo je dokončena. O účasti společnosti Metrostav a. s. na tomto projektu jsme informovali v čísle 3/2011, kdy se článek opíral převážně o zkušenosti z výstavby trojice přístupových tunelů a seznámil s projektem tražového úseku LU6E – Karhusaari. V té době byla výstavba vlastního metra teprve v počátcích. Na začátku roku 2013 je však většina ražeb úseku LU6E dokončena a probíhají práce na definitivních konstrukcích. Cílem tohoto článku je shrnout průběh dosavadních prací se zaměřením na metodiku a kvalitativní stránku vybraných činností.

Úvodem je vhodné stručně zrekapitulovat základní specifika projektu jako celku. Projekt Länsimetro – západní metro je nové dopravní spojení mezi městy Helsinky a Espoo s plánovanou přepravní kapacitou 100 000 cestujících za den a přímo navazuje na jedinou provozovanou trasu se stávající délkou 21 km (obr. 1). Po svém dokončení bude celá linka metra plně automatizovaná. Nová trasa je vyprojektována v délce 14 km z Ruoholahti v Helsinkách do stanice Matinkylä v Espoo vedoucí přes ostrov Lauttasaari. Prodloužení metra je v celé délce vedeno pod povrchem dvojicí jednokolejných tražových tunelů, které propojují 7 nových stanic. Pro zajištění ventilace podzemí bude vyraženo 15 větracích šachet. Celá trasa je pro ražby rozdělena na 10 úseků, ke kterým bylo nutné vyrazit 9 přístupových tunelů o souhrnné délce 3,5 km. Předpokládaný celkový objem vytěžené horniny je 3 mil. m<sup>3</sup>. Odhadovaná výše nákladů je 714 mil. eur. První stavební práce byly zahájeny na jaře 2010 a předpokládaný termín uvedení nového úseku metra do provozu je na podzim 2015. Největší infrastrukturní projekt ve Finsku zastřešuje společnost Länsimetro Oy.

Tražový úsek LU6E – Karhusaari (obr. 2) je ve směru z Helsinek do Espoo v pořadí pátý, propojující sousední úseky LU7 a LU6P. Sestává z ražeb celkem 2437 m tražových tunelů, v běžných profilech 36,2 a 42,1 m<sup>2</sup>. Dalšími stavebními objekty jsou tři technologické

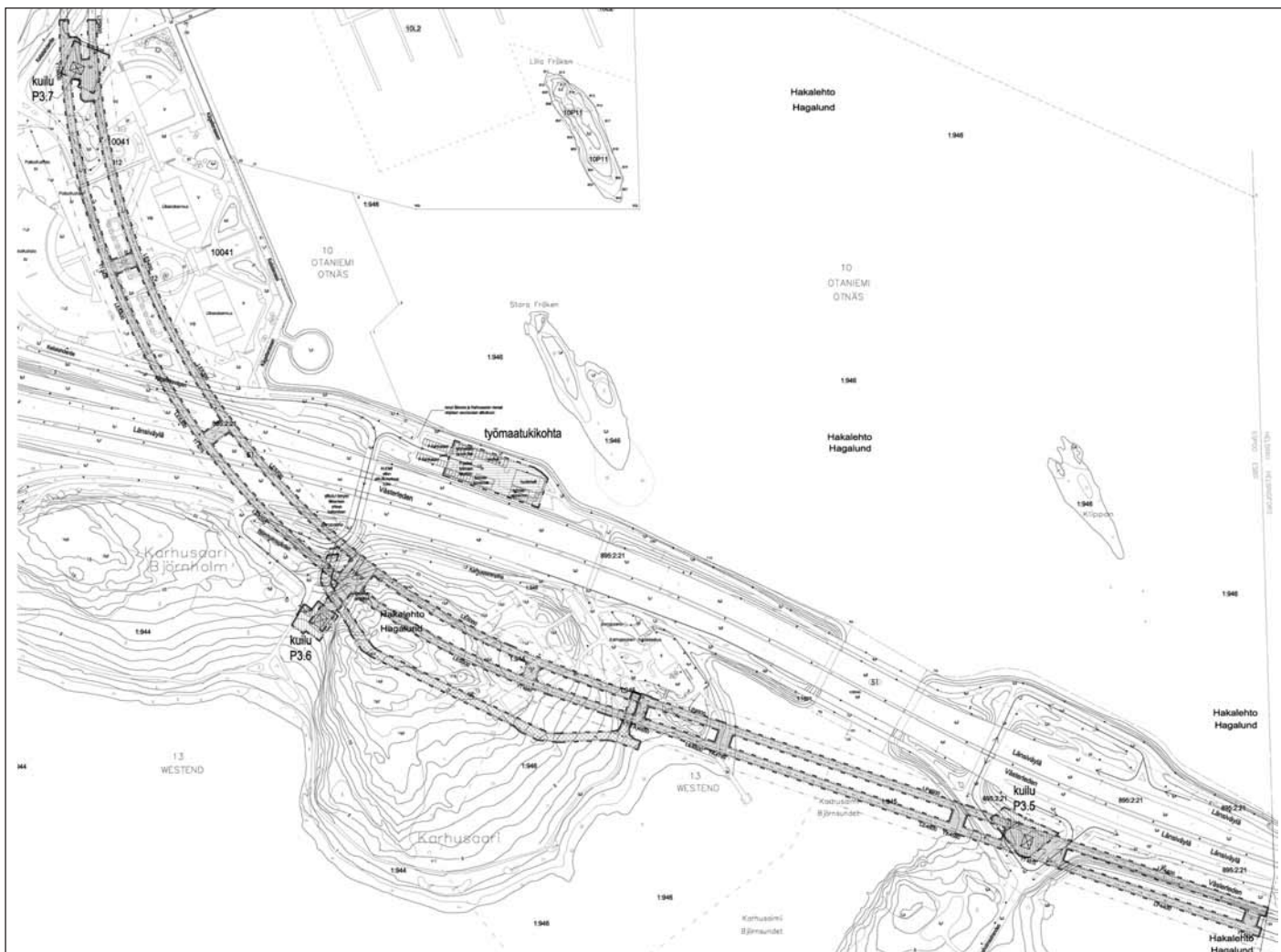
The first half of the driving of the 14km long metro section connecting Helsinki and Espoo, Finland, has been finished. We informed about the participation of Metrostav a. s. in this project in TUNEL issue 3/2011. The paper was based on the experience gained during the construction of three access tunnels and informed readers about the design for the LU6E – Karhusaari track section. At that time the construction of the metro itself was in its beginning stage. Today, at the beginning of 2013, the majority of underground excavation for LU6E section has been finished and the work of the final lining is underway. The objective of this paper is to summarise the history of the work carried out till now, with the focus on the methodology and the qualitative aspect of selected activities.

To start with, it is good to briefly recapitulate basic specifics of the project as a whole. The Länsimetro (the Western Metro) Project will provide a new transportation link between the cities of Helsinki and Espoo, with the carrying capacity of 100,000 passengers per day; it directly connects to the only operating metro line with the current length of 21 km (see Fig.1). When the complete metro line is finished, it will be fully automated. The new line design comprises a 14 km long track from Ruoholahti in Helsinki to Matinkylä station in Espoo, leading across the island of Lauttasaari. The metro line extension is located underground throughout its length, leading through a pair of single-track running tunnels, interconnecting 7 new stations. The underground spaces will be ventilated via 15 ventilation shafts. The entire route is divided in terms of the underground excavation into 10 sections. It was necessary to drive 9 access tunnels to these sections at the aggregate length of 3.5 km. The expected total volume of muck is 3 million m<sup>3</sup>. The estimated amount of cost is EUR 714 million. The initial construction work commenced in spring of 2010; the new metro section is scheduled for commissioning in autumn 2015. The largest infrastructural project in Finland is managed by Länsimetro Oy.

The LU6E – Karhusaari track section (see Fig. 2) in the direction from Helsinki to Espoo is the fifth section in the sequence of the metro sections; it interconnects the neighbouring sections LU7 and LU6P. It comprises the driving of 2437 m of running tunnels with common cross-sectional areas of 36.2 and 42.1 m<sup>2</sup>. In addition, there are other building structures there, comprising three service chambers with cross-sectional areas ranging from 234 to 383 m<sup>2</sup> with a vertical shaft designed for each of them and 7 cross passages. All underground excavation is carried out from a 283 m long access tunnel, which was carried out separately, in



Obr. 1 Přehledná mapa projektu Länsimetro  
Fig. 1 Synoptic map of the Länsimetro project



Obr. 2 Traťový úsek LU6-E Karhusaari  
Fig. 2 LU6-E Karhusaari track section

komory v profilech od 234 do 383 m<sup>2</sup> s vyprojektovanými vertikálními šachtami v každé z nich a 7 tunelových propojek. Veškeré ražební práce jsou prováděny z 283 m dlouhého přístupového tunelu, realizovaného samostatně jiným dodavatelem v předstihu před vlastním traťovým úsekem. Tři podobné přístupové tunely razil Metrostav a. s. na jiných úsecích metra. Trasa traťového úseku LU6E je zčásti vedena pod mořem podél mostu rychlostní komunikace. Ve směru dále na západ ji kříží a na svém konci podchází základy administrativního komplexu společnosti Nokia.



Obr. 3 Ražený traťový tunel  
Fig. 3 Mined running tunnel

advance of the running tunnel excavation, by another contractor. Metrostav a. s. drove three similar access tunnels for other metro sections. The LU6E track section alignment leads partly under the sea, along an expressway bridge. It crosses the expressway farther in the west and, at its end, passes under the foundations of a Nokia administration complex.

The mined parts of the Länsimetro project are typical examples of the Drill&Blast technique, which is exceptionally suitable for Scandinavian geological conditions (see Fig. 3). It is a cyclic rock breaking technique using explosives, with the tunnel face profile excavated in one go and the lengths of individual excavation rounds of up to 6 m. The advance core is stabilised by injections of cement grout – the pre-grouting. The single-shell final lining of the tunnel consists of rock bolts and reinforced shotcrete.

Ventilation shafts are excavated again using the Drill&Blast technique, with the service chambers under the shafts excavated in advance, from the running tunnels (see Fig. 4). Drilling work is carried out from the terrain surface, with the holes drilled throughout the future shaft depth. Owing to this system it is possible to verify the correct position of relatively long drill-holes (up to 30 m) as far as their directional deviation from the planned position is concerned by surveying. The tolerance for the excavation accuracy compared with the design is identical with that prescribed for running tunnels, i.e. 400 mm. The blasting operations begin with a pilot cut running throughout the shaft depth and the excavation width is subsequently enlarged until it reaches the design ground plan dimensions. In both cases charges are lowered to drillholes and their locations determine the excavation round length. The shaft is excavated





Obr. 4 Větrací šachta s technologickou komorou  
Fig. 4 Ventilation shaft with a service chamber

Ražené části projektu Länsimetro jsou typickou ukázkou tunelovací metody Drill&Blast, která je mimořádně vhodná do skandinávských geologických podmínek (obr. 3). Jedná se o cyklickou metodu rozpojování horniny pomocí trhacích prací, s pobíráním čelby v celém profilu a délkou jednotlivých záběrů až 6 m. Předpolí čelby je v předstihu několika záběrů sanováno cementovými injektážemi – pregroutingem. Jednoplášťové definitivní ostění tunelu se skládá ze svorníkové výstroje a vyztužených stříkaných betonů.

Ražba větracích šachet je opět prováděna pomocí trhacích prací, kdy je technologická komora pod šachtou vyražena v předstihu z traťových tunelů (obr. 4). Vrtné práce jsou poté prováděny z povrchu tak, že jsou vývrty provedeny v celé délce (hloubce) budoucí šachty. Tímto způsobem lze geodeticky ověřit správnou polohu relativně dlouhých vývrů (až 30 m) z hlediska jejich směrového odchýlení od plánované pozice. Tolerance přesnosti výrubu od projektu je stejná jako v případě ražeb traťových tunelů, a to 400 mm. Trhací práce jsou prováděny tak, že je nejprve vyražen pilotní záložní zálom probíhající v celé hloubce šachty s následným rozšiřováním výrubu do projektovaného půdorysu. V obou případech jsou nálože spouštěny do vývrů a jejich poloha definuje délku záběru a šachta je postupně vyražena odspodu směrem k povrchu. Tato metoda značně usnadňuje odtěžení rubaniny, která volně padá do předem připravené technologické komory.

Technicky nejobtížnější je zejména obtrhání výrubu s následnou instalací svorníkové výstroje a nástřikem definitivních betonů suchou cestou. Geometrické uspořádání neumožňuje využití speciální mechanizace, a tak je značná část těchto prací prováděna ručně z posuvné pracovní plošiny (obr. 5).

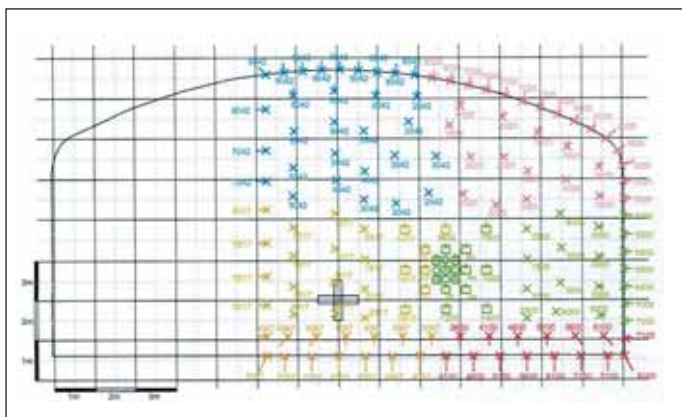
Trhací práce jsou zvláště pečlivě sledovány vzhledem k povrchové zástavbě a místy relativně nízkému nadloží. Rizikovou analýzou provedenou před vlastním zahájením trhacích prací je vymezena oblast dotčená výstavbou. Pro každý objekt je



Obr. 5 Pracovní plošina v šachtě P 3.5  
Fig. 5 Work platform in P 3.5 shaft

step-by-step from the bottom upward. This method significantly facilitates the removal of musk, which freely falls to a pre-excavated service chamber. The technically most difficult operation is first of all the scaling with the subsequent installation of rock bolts and the dry-process application of final shotcrete lining. The shaft geometry does not allow the use of special equipment. Significant part of these operations is therefore carried out by hand, from a climbing platform (see Fig. 5).

The blasting operations are especially thoroughly monitored with respect to existing buildings and the relatively shallow cover. The area affected by the construction work is determined before the commencement of blasting operations by a risk analysis. The permissible seismic load (vibration in mm/s) induced by blasting operations is determined for each building. These values are on-line monitored and the results are automatically placed on the Internet and distributed in the form of SMSs to the client and construction contractor. Individual buildings of the Nokia complex are specific in the different systems of their foundation. The direct connection of several buildings with the bedrock by pile foundations is most unfavourable in terms of the easy transfer of vibrations. On the one hand, the structures of the buildings themselves allow relatively high loading induced by blasting operations; on the other hand, the sensitive apparatuses and appliances installed in the basements significantly reduce the permissible vibration values. The accuracy of drilling of production holes, the correct structure of charges and, first of all, the priming of individual cartridges are therefore very important. Even though the geological conditions allow a long maximum round length as far as the drilling technology is concerned, it is necessary to approach each excavation face individually and, if necessary, reduce the length of excavation rounds with respect to the limit charge even under 2 m. Both Emulgite-type cartridge explosives and pumped emulsion are used for breaking the rock. The use of emulsion explosives is restricted to cut holes and production holes. Contour boreholes carried out at 400 mm spacing are charged with low-energy cartridges so that a smooth excavation contour is secured and the disturbance to surrounding rock is reduced. Non-electric firing is used for the initiation of charges (see Fig. 6). Burn cuts with four relieving holes 102 mm in diameter are used. Common diameters of production drillholes range from 45 to 54 mm. The tolerance set by the design for crack propagation through the environment beyond excavation contour is +400 mm for tunnel walls and crown and +600 mm for its bottom. The quality of the execution of blasting is assessed not only by on-line monitoring, but also on the basis of laser scanning of the excavated opening. The output is, apart from a 3D model of the completed excavation, even a map (see Fig. 7), clearly showing deviations from the design by means of a scale of colours. Another benefit of laser scanning is that it reveals even very small underbreaks, which are virtually undetectable by common trigonometric profiling.



Obr. 6 Schéma roznětu v komoře  
Fig. 6 Firing pattern for a chamber

stanoveno dovolené zatížení seismickými účinky (kmitání mm/s) trhacích prací. Tyto hodnoty jsou online monitorovány a výsledky jsou automaticky umísťovány na internet a odesílány formou SMS objednateli a dodavateli staveb. Jednotlivé budovy komplexu Nokia jsou specifické v různém způsobu jejich založení. Nejnepríznivější z hlediska snadného přenosu vibrací je přímé spojení několika objektů se skalním nadloží pomocí pilotových základů. Samotná konstrukce budov dovoluje relativně vysoké zatížení účinky trhacích prací, ale citlivé přístroje a zařízení umístěné v suterénních prostorách citelně snižují dovolené hodnoty kmitání. Velmi důležitá je proto přesnost odvrtní produkčních vrtů, správná konstrukce nálože a zejména časování jednotlivých náložek. I když geologické podmínky umožňují dlouhý maximální záběr z hlediska technologie vrtání, je nutné ke každé čelbě přistupovat individuálně a v případě potřeby zkracovat záběry vzhledem k mezní náloži i na méně než 2 m. Pro rozpojení horniny jsou používány jak náložkované trhavy typy Emulgit, tak začerpávaná emulze. Použití emulzní trhavy je omezeno na zálom a produkční vrt. Pro zajištění hladké výrubu a redukcí poškození okolní horniny jsou obrysové vrtky s roztečí 400 mm nabíjeny náložkami s malou pracovní energií. K počínání náloží je používáno neelektrických roznětů (obr. 6). Zálomy jsou přímé se čtyřmi odlehčovacími vrtky průměru 102 mm, běžné průměry produkčních vrtů jsou v rozsahu 45–54 mm. Projektem stanovená tolerance pro šíření trhlin v zaobrysovém prostředí je +400 mm na boku a v kalotě tunelu a +600 mm v jeho dně. Kvalita provádění trhacích prací je mimo online monitoringu seismických účinků vyhodnocována i na základě laserového skenování výrubu. Výstupem je kromě trojrozměrného modelu vyražených tunelů i „mapa“ (obr. 7), kde je s pomocí barevné škály jasně viditelná odchylka od projektu. Přířosem laserového skeneru je také odhalen i velmi malých podvýlomů, které jsou běžnou trigonometrickou profilací prakticky nezjistitelné.

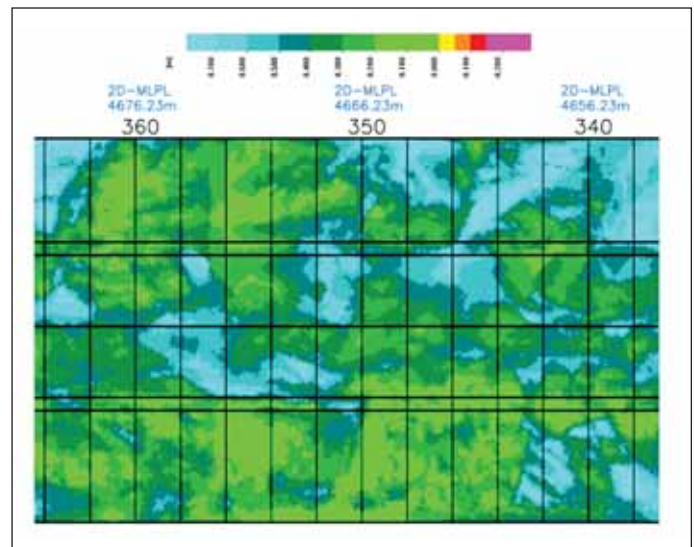
Nezbytnou součástí ražeb je provádění injektáží do předpolí tunelu pre-grouting. Vzhledem k ražbě pod hladinou moře s nízkým nadloží je injektáž prováděna systematicky bez ohledu na výsledky zkoušek hltlosti. Ochranné deštníky se injektují nejméně ve dvou fázích, častěji ale s vícenásobným opakováním. Metoda spočívá v odvrtní a následné injektáži první sady 25 m dlouhých vrtů. Po jejich zainjektování mikrocementovou suspenzí při konečném tlaku 7 MPa následuje technologická přestávka v délce trvání 6 hodin. Poté je odvrtna další sada mezilehlých vrtů a opět injektována. Po provedení prvních dvou sad jsou odvrtny nové kontrolní vrtky a opět provedena zkouška hltlosti. Při nesplnění předepsaných požadavků je nutné celý proces opakovat. Průměrná doba od zahájení injektáží do zahájení vrtacích prací pro ražbu nového záběru je pět pracovních dní. I přes masivní injektáže dochází k průsakům podzemních vod do tunelů. Negativní vliv mají zejména následné trhací práce, které lze podle projektové dokumentace zahájit za 10 h po provedení injektáží. V neposlední řadě je třeba přijmout fakt, že průzkumné vrtky nemají 100% ověřovací schopnost a nemusí zasáhnout vodonosnou poruchu.

Svorníky používané jako výstroj výrubu se dělí podle následujících kategorií:

- svorníky osazované před započítáním ražeb (zejména před ražbou portálových úseků),
- svorníky dočasné, přerušující cyklus ražby,
- svorníky trvalé, které jsou součástí definitivního ostění,
- doplňková svorníková výstroj.

Svorníky přerušující cyklus ražby jsou osazovány v místech určených projektem, popř. pokud hrozí uvolnění bloků horniny ohrožujících bezpečnost pracoviště. Jedná se zejména o dočasné svorníky s mechanicky rozpínanou hlavou délek 3–5 m a možností zpětného zainjektování před nástřikem betonů. Pokud splňují požadavky protikorozní ochrany, lze je přiznat jako součást definitivního ostění.

Svorníky trvalé jsou pruty z hřebínkové oceli Ø 25 mm, délek 3–6 m osazované systematicky do rastru podle zastižené geologie. Trvalé svorníky jsou navíc vybaveny distančními kroužky, které zaručují minimální tloušťku krytí vycentrováním prutu ve vývrtu (obr. 8).



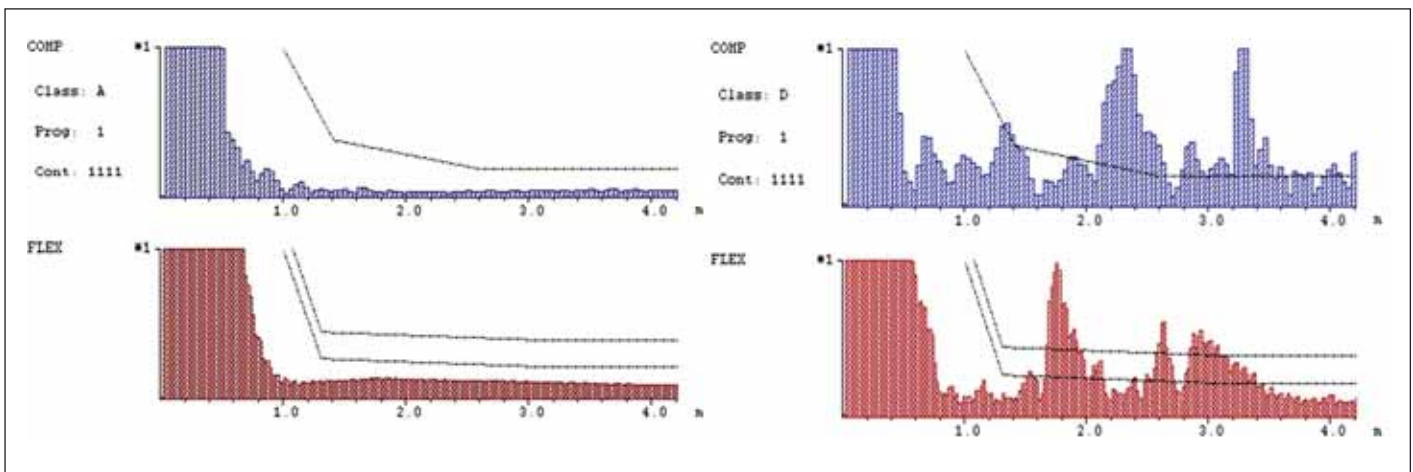
Obr. 7 Grafický výstup z laserového mapování výrubu  
Fig. 7 Graphical output from laser scanning of excavation

Injecting grout into the tunnel advance core, the pre-grouting, is an indispensable part of the tunnelling process. Taking into consideration the fact that the excavation is carried out under the sea surface and a thin overburden, grout is injected systematically, without regard to results of absorption capacity tests. Grout forming protective umbrellas over the excavation is injected at least in two phases, more frequently with multiple repetitions. This method lies in drilling the first array of 25 m long holes and filling them with grout (microfine cement suspension, final pressure of 7 MPa). A 6-hour technological interruption follows. Then another array of intermediate holes is drilled and filled with grout. When the initial two arrays are completed, new check holes are drilled and the absorption capacity is again tested. If the prescribed requirements are not met, the entire process has to be repeated. The average time from the commencement of grouting operations to the commencement of drilling for the excavation of the next excavation round amounts to 5 days. Groundwater leaks into tunnels are encountered even despite the massive grouting. Negative effects are first of all caused by subsequent blasting operations, the start of which is permitted by the design 10 hours after the completion of the grouting. At last but not least, it is necessary to accept the fact that survey boreholes do not have 100 per cent verification capability and they do not have to hit a disturbed water-bearing zone.



Obr. 8 Trvalý svorník s distančním kroužkem  
Fig. 8 Permanent rock bolt with a spacer ring





Obr. 9 Příklad svorníku vyhovujícího „A“ a nevyhovujícího „D“

Fig. 9 Example of a satisfactory A-grade rock bolt and an unsatisfactory D-grade rock bolt

Doplňková svorníková výstroj zahrnuje zejména samozávrtné kotvy typu TITAN 40/16, které tvoří ochranné deštníky délek až 12 m v místech zhoršené geologie. Pro tratový úsek LU6E (1,3 km) bylo předpokládáno osazení 45 000 m samozávrtných kotev. V průběhu realizace se ukázalo použití tohoto typu výstroje do skalních hornin jako nevhodné. Geologicky obtížné úseky tak jsou ve zvýšené míře zabezpečovány svorníky s okamžitou únosností.

Veškerá výztuž je ocelová ( $\sigma_c=500$  MPa). Vzhledem ke stupni agresivity prostředí XA2, XS2 (ražba pod hladinou moře) a předpokládané životnosti výstroje 100 let je veškerá výztuž povrchově ošetřena vrstvou žárového pozinkování tl.  $105 \mu\text{m}$  a epoxidového nátěru tl.  $300 \mu\text{m}$ . Původně navržená záливková směs portlandského cementu a písku zamíchávaná in situ v poměru 1:1 (w/c max. 0,4) se ukázala jako nevhodná. Mimo samotný proces přípravy se jeví jako problematické zejména objemové změny vlivem hydratace. Záливka proto byla nahrazena injektážní maltou NONSET 120 SR, jež splňuje podmínky dobré čerpatelnosti, vysoké pevnosti ( $F_c = 50$  MPa) a zvýšené odolnosti proti agresivnímu prostředí.

Správně osazený svorník je takový, kdy maltová záливka kompletně vyplňuje vrt a neobsahuje vzduchové bubliny. Pro ověření předpokladu je vyžadován tzv. pull out test (výtažná zkouška). Zkouška spočívá v osazení svorníku a jeho následném ručním vytažení před započítáním tuhnutí záливky. Vytažený ocelový prut je poté podroben vizuální kontrole, kdy je sledována zejména celistvost obalení svorníku maltovou záливkou v celé jeho délce. Test musí být opakován pro každých 200 osazených prvků. Aby mohla být tato zkouška proveditelná, testovaný svorník nesmí být vybaven distančními prvky, které znemožňují plynulé vytažení svorníku.

Pro ověření vhodnosti a spolehlivosti metody pull out testu však bylo nutné provést dodatečné zkoušky instalované definitivní svorníkové výstroje. Dodavatel zvolil za první takovou zkoušku



Obr. 10 Podélně rozříznutý svorník v jádrovém odvrtu

Fig. 10 Longitudinally cut rock bolt from a cored borehole

The rock bolts which are used for the excavation support are categorised as follows:

- rock bolts installed before the commencement of the excavation (first of all prior to the excavation of portal sections),
- temporary rock bolts interrupting the excavation cycle,
- permanent rock bolts which are part of the final lining,
- supplementary rock bolt support.

The rock bolts interrupting the excavation cycle are installed in places prescribed by the design or if there is a threat of blocks of rock breaking free, endangering the safety of the workplace. Temporary, mechanically expanded, 3-5 m long rock bolts which can be grouted before the application of shotcrete. They can be accepted as parts of the final lining if they meet corrosion protection requirements.

The permanent rock bolts are 3-6m long, 25 mm in diameter deformed steel reinforcement rods, installed systematically at a grid depending on the geology encountered. The permanent rock bolts are in addition equipped with spacer rings ensuring the minimum thickness of the grout cover by centring the rod in the drillhole (see Fig. 8).

The supplementary rock bolt support comprises first of all TITAN 40/16 self-drilling anchors forming protective umbrellas up to 12 m long in worsened geology locations. It was assumed that 45,000 self-drilling anchors would be installed in LU6E section (1.3 km long). The application of this type of support turned out during the course of the construction to be unsuitable for hard rock conditions. The excavation in geologically difficult sections is therefore stabilised by rock bolts providing an instantaneous load-carrying effect.

All support elements are made of steel ( $\sigma_c=500$  MPa). With respect to the environment exposure grade XA2, XS2 (tunneling under the sea surface) and the assumed 100-year longevity of the support, the surface of all reinforcement elements is provided with a  $105 \mu\text{m}$  thick zinc layer and  $300 \mu\text{m}$  thick epoxy coating. The originally proposed grouting mix consisting of Portland cement and sand blended in situ in 1:1 proportion (max. w/c of 0.4) turned out to be unsuitable. Apart from the process of preparation, volumetric changes induced by hydration proved most problematic. For that reason this grout was replaced by NONSET 120 SR grout, which meets requirements for good pumpability, high strength ( $F_c = 50$  MPa) and increased resistance against the corrosive environment.

A rock bolt is installed properly when the grout completely fills the drillhole and contains no air bubbles. Pull out tests are required for the verification whether the assumption was met. The test lies in the installation of a rock bolt and subsequently pulling it by hand out before the grout setting process begins. The steel rod pulled out from the drillhole is then subjected to visual checking, where the main aspect is the integrity of the rock bolt encasement by the grout throughout the bolt length. The test must be repeated for each set of installed elements. The

testování zabudovaných svorníků „Bolometrem“ (vyvinut v roce 1978 ve Švédsku). Tato nedestruktivní metoda umožňuje prověřit celistvost cementové zálivky vyhodnocením odezvy ultrazvukových vln. Měřený svorník je pro zajištění dostatečného přenosu ultrazvukových vln nutné zbavit povrchové úpravy obroušením jeho viditelného konce při ústí vrtu. Následná vlastní zkouška včetně grafického výstupu na monitoru boltometru je již otázkou několika sekund. Měření se provádí dvěma různými ultrazvukovými frekvencemi (kompresní a ohybová), a to vzhledem k jejich různým penetračním vlastnostem. Pro obě frekvence jsou stanovena kritéria, na základě kterých je testovaná svorníková výztuž klasifikována od „A“ – plně vyhovující, až po „D“ – uvolněné, nebo s minimálním kontaktem (obr. 9). Tato zkušební metoda je dostatečně průkazná v hloubkách vrtu od 1–5 m, a proto bylo přistoupeno k dalšímu ověření. Následujícím krokem pro prověření kvality cementové zálivky definitivní svorníkové výstroje bylo odvrtání osmi jádrových vrtů. Pro tyto účely bylo zástupci objednatele označeno osm kusů svorníků o délkách 3 m, osazených v různých pozicích (svisle i vodorovně). Odvrtání bylo provedeno pomocí jádrové vrtačky upnuté na líc výrubu, která umožňovala jemné ruční nastavení směru vrtu spolu s nastavováním jádrovnice. Tímto způsobem bylo dosaženo výnosu z jádra v celé jeho délce. Vzorek s uprostřed uloženým, zainjektovaným svorníkem byl následně rozříznut v podélném směru (obr. 10). Tato zkouška průkazně ověřila správnost a spolehlivost metody pull out testu a zároveň potvrdila kvalitu zabudované svorníkové výstroje.

Obdobně jako svorníky se i konstrukční betony dělí do základních kategorií:

- bezprostřední nástřik betonu v průběhu prací, jenž znamená přerušení ražby,
- nástřik definitivního ostění.

Bezprostřední nástřik je aplikován při zhoršených geologických podmínkách pro zvýšení úrovně bezpečnosti na pracovišti. Pro nástřik je používán beton s rozptýlenou výztuží z ocelových vláken.

Definitivní ostění je tvořeno stříkanými betony, vyztuženými polypropylénovými vlákny o tloušťkách 60 až 120 mm. Beton smí být nanášen ve vrstvách, jejichž maximální mocnost je 40 mm. Další nástřik může být proveden až poté, co předchozí vrstva dosáhla pevnosti alespoň 5 MPa. Stejně jako v případě definitivních svorníků musí i stříkané ostění sledovat ražbu alespoň 30 m od čelby.

Materiálové požadavky na kvalitu stříkaných betonů vycházejí z norem SFS-EN 14487-1 a SFS-EN 14487-2. Kamenivo v betonech smí mít maximální velikost zrna 8 mm. Jako pojivo jsou používány portlandské cementy. Při aplikaci nástřiku mokřím způsobem smí být poměr w/c maximálně 0,5. Množství vody v betonové směsi nesmí být vyšší než 200 kg/m<sup>3</sup>. Dávkování urychlovače tuhnutí nesmí být vyšší než 5 % hmotnosti cementu. Ošetřující přísady pro zrání betonu nejsou povoleny. Povrch je nutné skrápět vodní mlhou po dobu minimálně 14 dní od aplikace, nebo když je dosaženo 80 % jmenovité pevnosti. Kvalitativní požadavek na výsledný beton je dán třídou C30/37 a C35/45, XC3, XF1.

V rámci průkazných zkoušek betonů pro definitivní ostění se provádí nástřik na plochu cca 100 m<sup>2</sup>. Beton je podroben následujícím zkouškám:

- Plasticita betonové směsi – S3.
- Obsah výztužných vláken – ocelová vlákna min. 58,5kg/m<sup>3</sup>, PP vlákna 7,5 kg/m<sup>3</sup>.
- Energetická pohltivost – E > 1000 J.
- Pevnost v tlaku – tlaková pevnost betonu s použitím urychlovače tuhnutí smí být max. o 20 % nižší než betonu bez použití urychlovače.
- Hustota –  $\rho > 2200 \text{ kg/m}^3$ .
- Hloubka průsaku tlakovou vodou – l < 50 mm.

Během samotné aplikace stříkaných betonů dochází k opakování zkoušek pro každých 100 m<sup>3</sup> definitiv vyjma testů energetické pohltivosti. Pro výslednou kontrolu tloušťky ostění jsou používány dvě různé metody. Jednou z nich je odvrtání kontrolního otvoru pro každých 100 m<sup>2</sup> definitiv a změření tloušťky vrstvy. Druhou

rock bolt being tested must not be provided with spacers because they make the fluent pulling of the bolt out impossible.

The installed final rock bolt support had to be subjected to additional testing required for the verification of the suitability and reliability of the pull-out testing method. The contractor chose a boltometer (developed in Sweden in 1978) for the first test of the testing of installed rock bolts. This non-destructive method makes the verification of the integrity of the cement grout encasement by assessing the reflection of ultrasound waves. The surface layers have to be removed from the visible end of the tested rock bolt at the borehole mouth by grinding them away so that sufficient transfer of ultrasound waves is ensured. The subsequent testing including a graphical output on the boltometer screen is a matter of several seconds. The measurement is carried out using two different frequencies (compressive and bending), with respect to different penetration properties of the waves. The tested rockbolt is classified according to criteria set for both frequencies with the grades starting from “A” – fully satisfactory and ending at “D” – loosened or with a minimum contact (see Fig. 9). This testing method is sufficiently conclusive for drillhole lengths ranging from 1 to 5 m. For that reason additional verification was conducted. The next step used for the verification of the quality of cement grout encasing rock bolts consisted of carrying out eight cored boreholes. For these purposes representatives of the client marked eight 3 m long rock bolts, which were installed in various positions (vertically and horizontally). A core drilling machine anchored to the surface of the rock exposed by the excavation was used for the drilling. It made fine manual setting of the drilling direction simultaneously with extending the core shell. The full length of the core was recovered in this way. The sample containing the grouted rock bolt in its centre was subsequently cut in the longitudinal direction (see Fig. 10). This test conclusively verified the correctness and reliability of the pull-out testing method and, at the same time, confirmed the quality of the rock bolt support installed.

Structural concretes are divided similarly to rock bolts into the following categories:

- shotcrete applied immediately during the course of excavation, which means that the excavation work is interrupted,
- final shotcrete lining.

Shotcrete is applied immediately in worsened geological conditions with the aim of increasing the level of the workplace safety. Steel fibre reinforced concrete is applied.

The final lining is formed by 60 to 120 mm thick layers of polypropylene fibre reinforced shotcrete. The maximum permitted thickness of one shotcrete layer is 40 mm. Next layer can be applied only when the strength of the previous layer has reached at least 5 MPa. The maximum permitted distance of the shotcrete lining from the excavation face is 30 m, identically with the installation of permanent rock bolts.

Material requirements for shotcrete quality are based on the SFS-EN 14487-1 and SFS-EN 14487-2 standards. The maximum permitted size of a concrete aggregate grain is 8 mm. Portland cements are used as the binder. When shotcrete is applied using the wet process, the maximum permitted w/c ratio is 0.5. The amount of water in shotcrete mix must not exceed 200 kg/m<sup>3</sup>. The setting accelerator dosing must not exceed 5% of the cement weight. Concrete curing additives are not permitted. The surface has to be treated with water mist for at least 14 days or until 80% nominal strength is reached. The qualitative requirement for the resultant shotcrete is determined by grades C30/37 and C35/45, XC3, XF1.

Shotcrete is applied to an area of approximately 100 m<sup>2</sup> as a part of preconstruction testing of shotcrete for the final lining. The concrete is subjected to the following tests:

- Concrete mix plasticity – S3
- Reinforcing fibre content – 58.5 kg/m<sup>3</sup> as a minimum for steel fibres; 7.5 kg/m<sup>3</sup> for PP fibres





Obr. 11 Systematicky instalované organizované svody  
Fig. 11 Systematically installed elements of the organised water collection system

metodou je opětovně laserové skenování výrubu tentokrát již s vrstvou definitivních betonů. Tímto způsobem lze jednak kontrolovat možný zásah do průjezdního profilu traťových tunelů a také provést porovnání identických úseků skenovaných při ražbách.

Veškeré úkapy a zavlhlé plochy musí být před nástřikem definitivní vrstvy sanovány. Pro snížení přítoků vody do tunelů po ražbách jsou uplatňována dvě technická řešení. Souvislé plochy s úkapy jsou nejprve zpětně injektovány mikrocementem s cílem zmírnit celkový přítok a pokud možno soustředit vodu do jednotlivých výronů. Lokálně soustředěné přítoky jsou injektovány polyuretanovými pryskyřicemi CarboPur. Redukované a soustředěné úkapy jsou poté překryty organizovanými svody. Drenážní svody jsou i mimo výrony instalovány v pravidelné rozteči cca 4 m z důvodů prevence před možnými novými průsaky (obr. 11). Montáž svodů je obtížná zejména v oblastech se zhoršenou geologií, kde není možné dosáhnout hladkého výrubu při užití trhačích prací. Preventivní funkce rastru instalovaných drénů je poněkud diskutabilní.

Práce byly zahájeny v červnu 2011 rozražením do obou směrů a s využitím čtyř možných pracovišť. Zpočátku byla nasazena dvojice třílafetových vrtacích vozů Tamrock Axera T11. Projektem definované objemy injektážních prací a požadavky na bezpečnostní svorníkovou výstroj se však brzy ukázaly být značně podhodnocené a bylo nutné nasadit třetí vrtací vůz stejného typu. Celkem bylo vytěženo 140 000 m<sup>3</sup> horniny při průměrném tempu 130 m za měsíc vyražených traťových tunelů. Injektážní práce si doposud vyžádaly více než 5000 hodin s téměř 1,5 mil. kg spotřebovaného mikrocementu. V současné době probíhají práce na definitivních ostěních spolu s ražbou poslední větrací šachty na západní straně úseku Karhusaari.

ING. VÁCLAV PAVLOVSKÝ, [vaclav.pavlovsky@metrostav.cz](mailto:vaclav.pavlovsky@metrostav.cz),  
ING. ALEŠ GOTHARD, [ales.gothard@metrostav.cz](mailto:ales.gothard@metrostav.cz),  
ING. MARTIN PETRÁŠEK, [martin.petrasek@metrostav.cz](mailto:martin.petrasek@metrostav.cz),  
METROSTAV a. s.

Recenzoval: Ing. Jan Korejčík

- Energy absorption capacity –  $E > 1000 \text{ J}$
- Compressive strength – compressive strength of concrete for which a setting accelerator was used must not be lower by more than 20% than the strength of concrete prepared without the use of accelerator
- Density –  $\rho > 2200 \text{ kg/m}^3$
- Pressure water penetration depth -  $l < 50 \text{ mm}$

The tests (with the exception of the energy absorption capacity test) are repeated for every 100 m<sup>3</sup> of shotcrete used for the final lining during the course of the shotcrete application. The final checking of the lining thickness is carried out using two different methods. One of them is the drilling of a check hole for every 100 m<sup>2</sup> of the final lining and measuring of the layer thickness. The other method is the repeated laser scanning, this time of the excavated opening provided with the final shotcrete lining. Owing to this method it is possible either to check potential encroachment on the running tunnel clearance profile or to compare identical sections scanned during the course of the excavation.

All drips and wet spots must be removed prior to the application of the final shotcrete layer. Two technical solutions are applied to reducing water inflows into tunnels after excavation. Continuous surfaces containing drips are backgrouted with microfine cement with the aim of reducing the aggregate inflow and, if possible, concentrating water to individual leaks. CarboPur polyurethane resin injection is used for the treatment of the locally concentrated leaks. The reduced and concentrated leaks are subsequently covered with transverse elements of the organised water collection system. These drains are applied at regular spacing of about 4 m with the aim of preventing potential new leaks (see Fig. 11). The installation of the water collection system elements is difficult in worsened geology areas, where a smooth excavation contour cannot be achieved when blasting operations are necessary. The preventative function of the grid of installed drains is slightly disputable.

The work started in June 2011 by driving the tunnels in both directions, at four headings in total. In the beginning, a pair of Tamrock Axera T11 three-boom drill rig was deployed. However, the volumes of grouting and requirements for the temporary, safety-purpose rock bolt support soon turned out to be significantly underestimated and it was necessary to deploy the third drilling rig of the same type. The total of 140,000 m<sup>3</sup> of underground space was excavated for the running tunnels, at the average advance rate of 130 m per month. The grouting operations have claimed over 5000 hours of work and nearly 1.5 million kilograms of microfine cement. The work on final linings is currently underway and the last ventilation shaft on the western side of the Karhusaari section is being sunk.

ING. VÁCLAV PAVLOVSKÝ,  
[vaclav.pavlovsky@metrostav.cz](mailto:vaclav.pavlovsky@metrostav.cz),  
ING. ALEŠ GOTHARD, [ales.gothard@metrostav.cz](mailto:ales.gothard@metrostav.cz),  
ING. MARTIN PETRÁŠEK,  
[martin.petrasek@metrostav.cz](mailto:martin.petrasek@metrostav.cz),  
METROSTAV a. s.

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] [www.lansimetro.fi](http://www.lansimetro.fi)
- [2] PAVLOVSKÝ, V., GOTHARD, A. Länsimetro – zkušenosti z ražeb v Helsinkách. *Tunel*, 2011, roč. 20, č. 3, s. 20-25.
- [3] LÄNSIMETRO: *Rakennusosasto LU6E Karhusaaren Rattatunneli*. Helsinki: 2010, 48 s.
- [4] THURNER, H. F. *Rock bolting – reference book*. Stockholm: Geodynamik AB, 1994, 32 s. AMFO 84-0847
- [5] THURNER, H. F. Boltometer – Instrument for non-destructive testing of grouted rock bolts. In *Field measurements in Geomechanics*. Rotterdam: Balkema, 1988, s. 135-143. ISBN 9061917786

# PRESPEKTÍVY VÝSTAVBY DOPRAVNÝCH TUNELOV NA ÚZEMÍ SLOVENSKA

## PERSPECTIVES OF DEVELOPMENT OF TRANSPORTATION TUNNELS IN SLOVAKIA

MILOSLAV FRANKOVSKÝ, JÁN KUŠNÍR

### ÚVOD

Slovensko je krajinou s pestrým geomorfologickým členením a veľkým podielom hornatého územia. Pri rozvoji dopravnej infraštruktúry by mali preto byť tunely nevyhnutnosťou. V súlade s týmto konštatovaním prebiehala výstavba železničných tunelov v predošlých dvoch storočiach pomerne intenzívne. Naopak cestné tunely boli na území Slovenska dlho skôr raritou. Situácia sa začala meniť až v deväťdesiatych rokoch minulého storočia, keď sa výstavba diaľničnej siete presunula z rovín do hornatejšieho územia stredného a východného Slovenska. Budúcnosť tunelového staviteľstva na Slovensku je dnes závislá na realizácii plánov na modernizáciu železničných tratí na vyššie rýchlosti a tiež na realizácii plánov dobudovania diaľničnej siete a siete rýchlostných komunikácií. Ak spočítame celkové dĺžky v tabuľkách pripravovaných tunelov, súčty, ktoré takto dostaneme, budú rozhodne úctyhodné. Otázkou zostáva v akom čase, resp. v akej postupnosti sa podarí priviesť tieto ambiciózne plány do reality. Ako to dokazujú skúsenosti z posledného obdobia, ani platné stavebné povolenie a zabezpečenie financovania nemusia znamenať bezproblémové naštartovanie výstavby.

### ŽELEZNIČNÉ TUNELY

#### Minulosť

Budovanie železničných tratí na dnešnom území Slovenska začalo už v prvej polovici 19. storočia. Vzhľadom na hornatý charakter územia museli byť súčasťou budovaných tratí tunelové objekty. Ešte v 19. storočí bolo na území Slovenska postavených 22 železničných tunelov s celkovou dĺžkou viac ako 7 km. Časť z týchto tunelov je dnes už mimo prevádzky, väčšia časť je stále využívaná. Výstavba železničných tunelov pokračovala s ešte väčšou intenzitou aj v prvej polovici 20. storočia. Medzi rokmi 1902 a 1966 bolo na území Slovenska vybudovaných 62 železničných tunelov s celkovou dĺžkou viac ako 42 km, z toho 57 jednokoľajných a 5 dvojkolajných. Medzi najvýznamnejšie patria Bralský tunel s dĺžkou 3012 m, Telgártsky tunel na trati Margecany – Červená skala známy špirálovým smerovým vedením prekonávajúcim 40 metrový výškový rozdiel a najdlhší Čremošianský tunel s dĺžkou 4698 m. Najdlhším dvojkolajným tunelom je Bujanovský tunel dĺžky 3410 m. V súčasnosti je v sieti slovenských železníc prevádzkovaných 76 tunelov v celkovej dĺžke 43,4 km, z toho 7 tunelov dvojkolajných. Od roku 1966 až do prvej dekády tohto storočia sa už v tunelovom staviteľstve na železničiach okrem rekonštrukcie niekoľkých tunelov prakticky nič neudialo.

#### Prítomnosť

Prelomovým rokom by sme mohli nazvať rok 2009, kedy sa začalo s výstavbou, resp. rok 2012 kedy sa uviedol do prevádzky železničný tunel Turecký Vrch na modernizovanej železničnej trati na 160 km/h, ktorý je situovaný neďaleko

### INTRODUCTION

Slovakia is a country with a chequered geomorphological structure, with a large proportion of mountainous areas. Tunnels should therefore be unavoidable for the development of the transport infrastructure. In accordance with this statement, the development of railway tunnels proceeded in the previous two hundreds of years relatively intensely. By contrast, road tunnels were for a long time rather a rarity in Slovakia. The situation began to change only in the 1990s, when the development of the motorway network shifted from flat regions to the more mountainous area of Central and Eastern Slovakia. The future of tunnel construction engineering in Slovakia today depends on the implementation of plans of the upgrading of railway tracks to higher speeds and also on the implementation of plans for the completion of the development of the motorway network and fast highways network. If we count total lengths in the table of tunnels being prepared for construction together, the sums we will obtain will certainly be respectable. The time or the sequence in which Slovakia will be able to bring these ambitious plans into reality remains to be a question. As the recent experience has proved, neither a valid construction permit nor secured funds must mean that the construction will start without problems.

### RAILWAY TUNNELS

#### History

The development of railway tracks in the today's territory of Slovakia started in the first half of the 19th century. Tunnel structures had to be parts of the tracks being constructed because of the mountainous character of the landscape. It was still during the 19th century that 22 railway tunnels at the aggregate length exceeding 7 km were built in the territory of Slovakia. Part of these tunnels is today already out of service, but a larger part has still been used. The development of railway tunnels continued with even greater intensity even in the first half of the 20th century. The total of 62 railway tunnels with the aggregate length of over 42 km (57 of that number single-track and 5 double-track structures) were built in the territory of Slovakia. Among the most important, there are the 3012 m long Bralsky tunnel, the Telgart tunnel on the Margecany – Červená Skala track, which is known for the spiral horizontal alignment overcoming a 40 m difference in levels, and the Čremošná tunnel, which is the longest of them with its length of 4696 m. The 3410 m long Bujanov tunnel is the longest of the double-track tunnels. At the moment there are 76 tunnels 43.4 km long in total operating on the network of Slovak railways. Of that number, 7 tunnels are double-track structures. Virtually nothing, with the exception of reconstructions of several tunnels, was performed in the field of tunnel construction from 1966 to the first decade of this century.



Nového Mesta nad Váhom v smere na Žilinu. Tento jednorúrovňový dvojkolajný tunel dĺžky 1775 m je postavený na základe súčasných moderných trendov v tunelárskom stavebníctve s využitím nových prvkov, ako sú pevná jazdná dráha, drenážne a povrchové odvodnenie v celej dĺžke, únikové cesty bez záchranných výklenkov, požiarny suchovod s akumuláčnými nádržami na oboch portáloch, núdzovým osvetlením v madlách a pod.

Tento tunel je prvým na Slovensku, ktorý je postavený v zmysle špecifikácií technickej interoperability určovanej smernicami vydávanými európskym spoločenstvom. Zjednodušene povedané, jeho bezpečnosť zaistená stavebnými komponentami a subsystémami je na takej istej úrovni, ako v nových železničných tuneloch napríklad vo Švajčiarsku alebo Nemecku.

Na tuneli Turecký Vrch sa otestovali kvality súčasných projektových, stavebných a dozorných zložiek na Slovensku, z čoho môžu čerpať skúsenosti do blízkej budúcnosti tunelových stavieb. A budúcnosť železničných tunelov na Slovensku vyzerá optimisticky.

### Budúcnosť

V rámci programu modernizácie železničných tratí ŽSR na rýchlosť do 160 km/h je z hľadiska morfológie územia, ktorým súčasná trať vedie, nevyhnutné realizovať nové trasovanie. Požiadavka na rýchlosť 160 km/h, resp. výhľadovo na 200 km/h, si vyžaduje vypustiť zo smerového vedenia trate oblúky popri vodných tokoch v stiesnených údoliach, kde sú mnohokrát navyše situované obývané územia a cestná sieť. Jediným riešením tejto situácie je výstavba nových tunelov. V súčasnosti je vo fáze projektovej prípravy 24 tunelov, pričom ich dĺžka je viac ako 40 km (tab. 1), (obr. 1).

V úseku medzi Novým Mestom nad Váhom a Žilinou sa okrem tunela Turecký Vrch projektovo na výstavbu pripravili dva ďalšie tunely. Ide o jednorúrovňové dvojkolajné tunely Diel a Milochov. Z tunelárskeho hľadiska ide o zaujímavé tunely. Tunel Diel sa nachádza v blízkosti kúpeľov Nimnica, kde bude potrebné dbať na zachovanie prúdenia podzemných vôd, a tunel Milochov sa nachádza v pásme zosuvov, čo si vyžiada precízne zabezpečenie stability hlavne v portálových oblastiach.

### Present time

The year 2009, in which the development of the Turecký Vrch tunnel commenced, or the year 2012, in which the tunnel was inaugurated, could be named a breakthrough year. The tunnel is located near Nové Mesto nad Váhom, on a railway track upgraded to 160 km/h, in the direction of Žilina. This 1775 m long single-tube double-track tunnel was constructed on the basis of current modern trends in tunnel construction engineering, using new elements such as the slab track, drains evacuation groundwater and polluted water from the slab track surface throughout the tunnel length, escape routes without safety recesses, a dry fire main with accumulation reservoirs at both portals, emergency lighting in handrails etc.

This tunnel is the first tunnel built in compliance with the Technical Specifications for Interoperability, which is defined by directives issued by the European Union. Simply put, the level of its safety secured by structural elements and sub-systems is identical with the level in new railway tunnels, for example, in Switzerland or Germany.

The Turecký Vrch tunnel allowed the testing of qualities of current designing, construction and supervisory components of the construction system in Slovakia. They can draw experience from it and apply it to tunnels in the near future. And the future of railway tunnels in Slovakia looks optimistically.

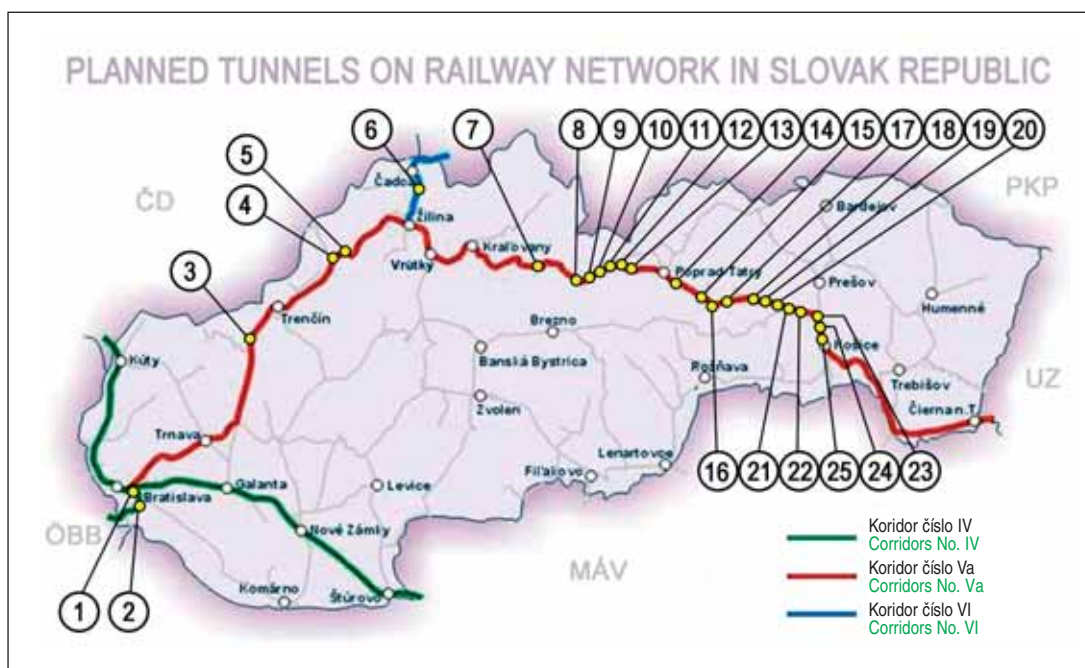
### Future

It is inevitable within the program of upgrading railway tracks in Slovakia to the speed of 160 km/h to implement new routing, taking into consideration the morphology of the terrain the existing tracks pass across. The requirement for the speed of 160 km/h, or even 200 km/h in the future, means that curves following water courses in narrow valleys, where, in addition, developed areas and road networks are often located, must be deleted from the horizontal alignment design. The only solution to this situation is the development of new tunnels. There are currently 24 tunnels at the designing stage; the aggregate length of the tunnels is over 40 km (see Table 1 and Fig. 1).

Additional two tunnels have been prepared for construction within the section between Nové Mesto nad Váhom and Žilina in addition to the above-mentioned Turecký Vrch tunnel, namely the Diel and Milochov single-tube double-track tunnels.

These tunnels are interesting from the tunnelling point of view. The Diel tunnel is located in the vicinity of Nimnica Spa Resort, where it will be necessary to take care of maintaining the groundwater flows; the Milochov tunnel is located in a slide zone, which will require stabilisation measures first of all in portal areas.

A part of the upgraded track between Čadca and Krásno nad Kysuca is part of the sixth railway corridor between Žilina – Čadca – Skalité – the SR/PR/CR border. In this section, a tunnel passes under Horelica Kýčera mountain. It is named after this mountain. The Kýčera tunnel is currently



Obr. 1 Mapa pripravovaných železničných tunelov, zdroj Reming Consult  
Fig. 1 Map of railway tunnels under preparation; source: Reming Consult

Tab. 1 Pripravované železničné tunely

Table 1 Railway tunnels under preparation

Č. No.	Úsek Section	Názov tunela Tunnel name	Dĺžka (m) Length(m)	Súčasný stav Current state
1	Bratislava Predmestie – Bratislava Petržalka		6 050	I. etapa stavebné povolenie construction permit for 1 <sup>st</sup> stage I
2	Železničné zapojenie letiska M. R. Štefánika v Bratislave		2 300	územné rozhodnutie / zoning and planning (Z&P) decision
3	Nové Mesto nad Váhom – Trenčianske Bohuslavice	Turecký vrch	1 775	kolaudačné konanie / final inspection proceedings
4	Púchov – Považská Bystrica	Diel	1 075	územné rozhodnutie / Z&P decision
5		Milochov	1 955	územné rozhodnutie / Z&P decision
6	Štátna hranica ČR/SR – Čadca – Krásno nad Kysucou (mimo) State border CR/SR - Čadca - Krásno nad Kysucou (excepting)	Kýčera	4 240	územné rozhodnutie / Z&P decision
7	Liptovský Mikuláš – Poprad	Palúdzka	730	územné rozhodnutie / Z&P decision
8		Červený Kút	4 866	územné rozhodnutie / Z&P decision
9		Zámčisko	155	územné rozhodnutie / Z&P decision
10		Dúbrava	1 372	územné rozhodnutie / Z&P decision
11		Hencnava	1 067	územné rozhodnutie / Z&P decision
12		Štrba	2 840	územné rozhodnutie / Z&P decision
13		Kolombiarok	1 215	územné rozhodnutie / Z&P decision
14	Poprad – Krompachy	Španí Háj	720	územné rozhodnutie / Z&P decision
15		Kalmanka	530	územné rozhodnutie / Z&P decision
16		Chrašť	350	územné rozhodnutie / Z&P decision
17		Olcnava	1 380	územné rozhodnutie / Z&P decision
18		Kolinovice	880	územné rozhodnutie / Z&P decision
19	Krompachy – Kysak	Turnisko	1 270	územné rozhodnutie / Z&P decision
20		Kluknava	640	územné rozhodnutie / Z&P decision
21		Uhliská	1 030	územné rozhodnutie / Z&P decision
22		Margecany	760	územné rozhodnutie / Z&P decision
23		Holica	1 730	územné rozhodnutie / Z&P decision
24		Kysak	992	územné rozhodnutie / Z&P decision
25	Kysak – Košice	Ťahanovce	815	územné rozhodnutie / Z&P decision

Medzi Čadcou a Krásnom nad Kysucou sa nachádza úsek modernizovanej trate, ktorý je súčasťou šiesteho koridoru Žilina – Čadca – Skalité – štátne hranice SR/PR/ČR. V tomto úseku podchádza masív Horelickej Kýčery tunel, podľa ktorého je aj pomenovaný. Tunel Kýčera sa momentálne nachádza v stave projektovania pre stavebné povolenie. Skladbou patrí medzi dlhé tunely, dvojúrovňové, jednokoľajné, hoci malú časť bude tvoriť dvojkolajný jednorúrovňový úsek s rozpletom. Pri výstavbe sa uvažuje s nasadením mechanizovaného tunelovacieho stroja a na niektorých špecifických miestach s výstavbou podľa NRTM. Tunel sa nachádza v oblasti karpatských flyšov, obdobne ako už zrealizovaný diaľničný tunel Horelica, čo si do ukončenia projekčných prác a jeho realizácie vyžaduje



Obr. 2 Tunel Červený Kút, západný portál, vizualizácia  
Fig. 2 Červený Kút tunnel, western portal; visualisation

at the final design stage. Through its design it belongs among long double-tube, single track tunnels, despite the fact that a double-track, single-tube section with a bifurcation chamber will form a small part of the tunnel. It is expected that a full-face tunnelling machine will be applied to the construction and the NATM will be used for the construction in several specific places. The tunnel is located in a Carpathian Flysch area, similarly to the already completed Horelica motorway tunnel. It requires a detailed engineering geological survey with a detailed analysis to be conducted before the end of the work on the design and before the construction work starts.

The largest number of railway tunnels are being proposed for the modernised line section from Liptovský Mikuláš to Košice. The entire section to be modernised is divided into four separate construction lots.

#### Liptovský Mikuláš – Poprad Tatry (excepting)

This section, the design for which is mostly completed at the detailed design stage, contains seven tunnels. The Pandura tunnel, located near Liptovská Mara Dam reservoir, is the only cover-and-cut single-tube tunnel to be built using diaphragm walls. The Červený Kút tunnel, a twin-tube structure with single-track tubes, running from Kráľova Lehota under Vachtárová Mountain, is the longest of the tunnels under preparation and a full-face tunnelling machine is planned to be applied to the excavation (see Fig. 2). The single-tube double-track Zámčisko and Dúbrava tunnels lead across a karst area along the Váh River, near the village of Važec. The fields at the foothills of the High Tatras mountain range are passed under by the Hencnava tunnel, which will be the only tunnel having an escape shaft providing the escape route to the surface. The Štrba tunnel will straighten the horizontal alignment in the area of Tatrská Štrba.





Obr. 3 Tunel Kolombiarok, východný portál, vizualizácia Reming Consult  
Fig. 3 Kolombiarok tunnel, eastern portal; visualisation: Reming Consult

podrobný inžinierskogeologický prieskum a jeho podrobnú analýzu.

Najväčší počet železničných tunelov je navrhovaných na modernizovanej trati od Liptovského Mikuláša až po Košice. Tento celý modernizovaný úsek je rozdelený na štyri samostatné stavby.

#### Liptovský Mikuláš – Poprad Tatry (mimo)

Na tomto úseku, ktorý ma projektovú dokumentáciu spracovanú poväčšine na úrovni pre realizáciu stavby, sa nachádza sedem tunelov. Tunel Palúdzka, neďaleko Liptovskej Mary, je jediný hĺbený jednorúrový, riešený pomocou podzemných stien a hĺbenia pod stropom. Tunel Červený Kút, dvojrúrový jednokoľajný, ťahajúci sa od Kráľovej Lehoty popod masív Vachtárová, je z pripravovaných tunelov nadsťší a na jeho realizáciu sa uvažuje nasadenie tunelovacieho stroja (obr. 2). Jednorúrové dvojkolajné tunely Zámčisko a Dúbrava vedú krasovou oblasťou popri rieke Váh v blízkosti obce Važec. Popod podtatranské polia vedie tunel Hencnava, ktorému ako úniková cesta na povrch bude ako jedinému slúžiť úniková šachta. Tunel Štrba bude smerovo vyrovnávať trať v oblasti Tatranskej Štrby. Posledným tunelom bude tunel Kolombiarok nachádzajúci sa medzi novou stanicou Štrba a Lučivnou (obr. 3).

#### Poprad Tatry – Krompachy

Tento úsek má spracovaný stupeň dokumentácie pre územné rozhodnutie. Medzi Popradom, cez Spišskú Novú Ves po Krompachy, sa nachádza 5 nových tunelov zväčša menších dĺžok (od 350 do 880 metrov). Najdlhší je tunel Olcnava, ktorý ako jediný bude mať riešenú aj únikovú štôľňu. Všetky tunely sú dvojkolajné, jednorúrové.

#### Krompachy – Kysak

Úsek železničnej trate spájajúci Spiš so Šarišom obsahuje tak nové tunelové stavby, ako aj rekonštrukciu dnes prevádzkovaného Bujanovského tunela. Všetky tunely sú jednorúrové dvojkolajné riešené s postupom razenia pomocou NRTM.

Od Krompách povedie trať štyrmi tunelmi popri obciach Richňava, Kluknava a Margecany. Jediný z nich, tunel Turnisko, bude mať únikovú štôľňu (obr. 4). Následne, v oblasti medzi Margecanmi a priehradou Ružín, bude rekonštruovaný Bujanovský tunel. Než sa trať dostane po najvýchodnejšiu obec, úsek prejde pri Veľkej Lodine úbočným tunelom Holica s únikovým schodiskom a tesne pred železničnou križovatkou Kysak tunelom rovnakého názvu.

#### Kysak – Košice

Na trati od Kysaku do Košíc sa dostávame z pahorkatiny na košickú nížinu. V tomto úseku sa nachádza posledný navrhovaný tunel neďaleko košickej miestnej časti Ťahanovce. V súčasnosti je ťahanovský tunel v prevádzke, no nové vedenie trate a úprava smerového vedenia si vyžiadala posun tunela do novej polohy.

The Kolombiarok tunnel, located between the new Štrba station and Lučivna, will be the last tunnel on the line (see Fig. 3).

#### Poprad Tatry – Krompachy

The design completed for this section is at the stage required for the issuance of the zoning and planning decision. There are 5 new tunnels, mostly shorter (from 350 m to 880 m) in the section between Poprad through Spišská Nová Ves to Krompachy. The longest of them is the Olcnava tunnel, which will have an escape gallery as the only of the tunnels. All tunnels are double-track single-tube structures.

#### Krompachy – Kysak

This railway track section connects the regions of Spiš and Šariš. The Spiš and Šariš contain both new tunnel structures and the reconstruction of the today operating Bujanov tunnel. All tunnels are single-tube double-track structures to be driven using the NATM.

From Krompachy onward, the route will pass through four tunnels near the villages of Richňava, Kluknava and Margecany. An escape gallery will be at the only one of them, the Turnisko tunnel (see Fig. 4). The Bujanov tunnel in the area between Margecany and the Ružín Dam will be reconstructed subsequently. Before the track gets up to the easternmost village, the section will pass near the village of Veľká Lodina through the Holica hillside tunnel (with an escape staircase) and, just before the Kysak railway junction, through a tunnel of the same name.

#### Kysak – Košice

The track section between Kysak and Košice will carry us from a hilly area to the Košice Lowland. There is the last of the proposed tunnels in this section, in the vicinity of the municipal district of Ťahanovce. At the moment the Ťahanov tunnel is being operated, but the new track alignment and the change in the horizontal alignment requires shifting of the tunnel to a new position.

#### Interconnection of railway corridors in Bratislava

Apart from the upgrading of railway tracks between Bratislava, Žilina and Košice, another important construction project was under preparation from 2007 in the Slovak Capital City Bratislava. The project on the connection of the international TEN-T corridor to the railway network in Bratislava comprises the connection between existing Predmestie and Petržalka stations led through mined tunnels under the city centre and under the Danube River bed. Several underground stations will also be parts of the tunnel route because the project will, in addition to the transportation function, also fulfil functions of urban mass transit and commuter mass transit. Another related project is on the Connection of M. R. Štefánik airport to the railway network, where a great part of the route also runs underground. The project was divided into several stages relating to its funding. Despite the fact that the public tender proceedings for the 1st stage of the project from



Obr. 4 Zastávka Richňava s tunelom Turnisko, vizualizácia  
Fig. 4 Richňava intermediate station with Turnisko tunnel; visualisation

Tab. 2 Tunely na diaľniciach v prevádzke, výstavbe a v prebiehajúcej verejnej súťaži  
 Table 2 Tunnels on motorways: operating, under construction and at public tendering stages

Diaľničný úsek Motorway section	Názov tunela Tunnel name	Dĺžka (m) Length (m)	Súčasný stav Current state
D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala	Višňové	7520	verejná súťaž / public tender
D1 Hubová – Ivachnová	Čebrať	2026	verejná súťaž / public tender
D1 Mengusovce – Janovce	Bôrik	985	v prevádzke od 2009 / operating since 2009
D1 Jánovce – Jablonov	Šibenik	605	vo výstavbe / under construction
D1 Beharovce – Branisko	Branisko	4975	v prevádzke od 2003 / operating since 2003
D2 Lamačská cesta – Staré Grunty	Šitina	1440	v prevádzke od 2007 / operating since 2007
D3 Čadca – obchvat mesta	Horelica	605	v prevádzke od 2004 / operating since 2004
D3 Svrčinovec – Skalité	Svrčinovec	445	verejná súťaž / public tender
	Poľana	890	verejná súťaž / public tender

### Prepojenie železničných koridorov v Bratislave

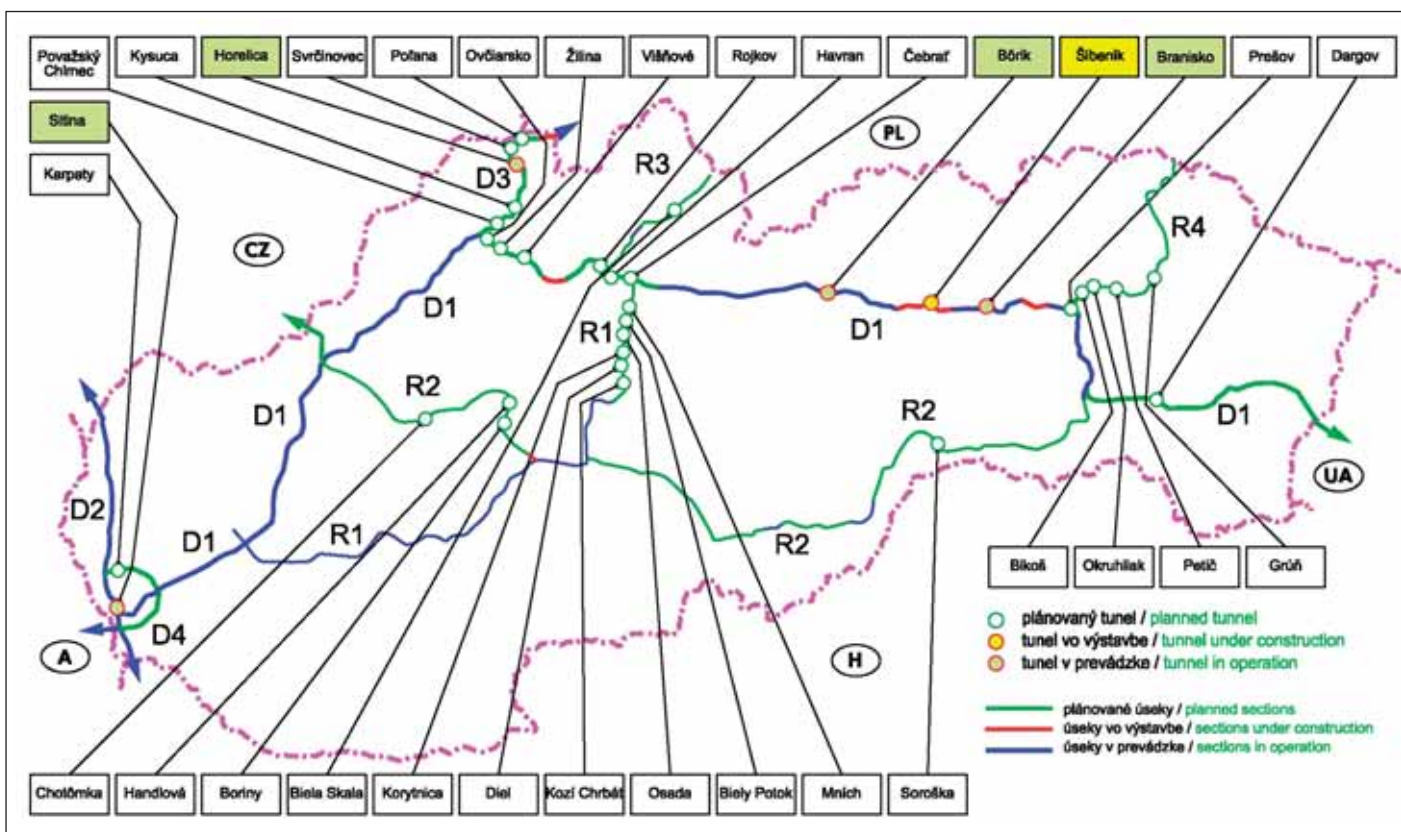
Okrem modernizácie železničných tratí medzi Bratislavou, Žilinou a Košicami sa mimoriadne významná stavba pripravovala od roku 2007 v hlavnom meste Slovenska Bratislave. Projekt prepojenia medzinárodného TEN-T koridoru na železničnú sieť v Bratislave zahŕňa spojenie existujúcich železničných staníc Predmestie a Petržalka, vedené razenými tunelmi pod centrom mesta i pod korytom rieky Dunaj. Súčasťou tunelového vedenia sú aj viaceré podzemné stanice, keďže okrem tranzitnej funkcie bude stavba plniť aj úlohy mestskej a prímestskej dopravy. Ďalšou súvisiacou stavbou je Zapojenie letiska M. R. Štefánika k železničnej sieti, kde je tiež veľká časť trate vedená pod zemou. Stavba bola rozdelená na viacero etáp v súvislosti so zabezpečením jej financovania. Napriek rozbehnutiu verejnej súťaže na I. etapu stavby od stanice Predmestie po stanicu Filiálka bolo na jeseň roku 2012 prijaté rozhodnutie o odsune realizácie projektu na neskoršie obdobia. Budúcnosť výstavby tunelového prepojenia pod Bratislavou teda zostáva krajne neistou.

Predmestie station to Filiálka station had started, a decision was made in the autumn of 2012 that the construction works would be postponed to later periods. The future of the development of the tunnel interconnection under Bratislava therefore remains highly uncertain.

## ROAD AND MOTORWAY TUNNELS

### History

The development of tunnels on the Slovak road network was as if asleep for the entire 20th century, in contrast to railway tunnels. The 793 m long tunnel under the Castle, which was finished in 1947, was the first Slovak road tunnel. It was later converted into a tram tunnel. The real beginning of the development of road tunnels lies later, in the half of the 1990s. It was connected with the motorway development program (see Fig. 5). The excavation of an exploratory gallery for the future Branisko tunnel on the Beharovce-Branicko section of the D1 motorway commenced in the spring of 1996. Enabling work for the excavation of the tunnel itself (4975 m long) started in the autumn of



Obr. 5 Mapa tunelov na diaľniciach a rýchlostných cestách, zdroj Terraprojekt  
 Fig. 5 Map of tunnels on motorways and fast highways; source: Terraprojekt





Obr. 6 Východný portál diaľničného tunela Čebrať, vizualizácia Dopravoprojekt

Fig. 6 Eastern portal of Čebrať motorway tunnel, visualisation: Dopravoprojekt

## CESTNÉ A DIAĽNIČNÉ TUNELY

### Minulosť

Výstavba tunelov na slovenskej cestnej sieti na rozdiel od železničných tunelov akoby spala takmer celé dvadsiate storočie. Prvým slovenským cestným tunelom sa stal až bratislavský tunel pod Hradom s dĺžkou 793 m dokončený v roku 1947, ktorý bol neskôr prebudovaný na električkový. Naozajstný začiatok výstavby cestných tunelov spadá až do polovice deväťdesiatych rokov minulého storočia a je spätý s programom výstavby diaľnic (obr. 5). Na jar 1996 sa začala raziť prieskumná štôľňa budúceho tunela Branisko na úseku diaľnice D1 Beharovce – Branisko. Na jeseň toho istého roku boli začaté prípravné práce pre razenie samotného tunela dĺžky 4975 m. V roku 1998 nasledoval začiatok výstavby tunela Horelica dĺžky 605 m na obchvate Čadce. Oba tieto tunely boli budované ako jednorúrovňové s obojsmernou premávkou, čo zodpovedalo ich výhľadovému dopravnému zaťaženiu. V roku 2003 sa začal stavať prvý dvojúrovňový diaľničný tunel Sitina dĺžky 1440 m na úseku Lamačská cesta – Staré Grunty v Bratislave. Jeho výstavba trvala 48 mesiacov a v júni roku 2007 bol tunel uvedený do prevádzky. Zatiaľ štvrtým a posledným diaľničným tunelom je tunel Bôrik dĺžky 985 m na úseku Mengusovce – Jánovce, ktorý sa začal raziť na jeseň v roku 2006 a bol otvorený v roku 2009.

### Prítomnosť

V období rokov 2008 až 2010 prebiehala na Slovensku intenzívna príprava výstavby diaľnic a rýchlостných komunikácií vo forme verejno-súkromného partnerstva (PPP projektov). Súčasťou dvoch pripravovaných pripravovaných úsekov bolo aj sedem diaľničných tunelov s celkovou dĺžkou približne 17,5 km. Po predčasnom ukončení PPP projektov slovenská vláda rozhodla o pokračovaní výstavby diaľnic štandardným spôsobom s použitím kombinovaného financovania z eurofondov a štátneho rozpočtu. Vzhľadom na neaktuálnosť projektových dokumentácií štátny investor výstavby diaľnic – Národná diaľničná spoločnosť – rozhodol o použití metódy „Naprojektuj a postav“ podľa tzv. žltej knihy medzinárodnej federácie konzultačných inžinierov FIDIC.

V priebehu rokov 2011 a 2012 bolo vypísaných a čiastočne už aj vyhodnotených niekoľko verejných súťaží na obstaranie projektu a stavebných prác diaľničných úsekov, z ktorých štyri úseky zahŕňovali aj tunely. Ide o tunely Čebrať (obr. 6), Višňové a Šibenik na diaľnici D1 a tunely Svrčinovec a Poľana na diaľnici D3 (tab. 2).

Na konci roku 2012 jediným úsekom vo výstavbe, ktorého súčasťou je tunel, je úsek Jánovce – Jablonov s tunelom Šibenik dĺžky 605 m. Na ostatných úsekoch s tunelmi zatiaľ nebola verejná súťaž ukončená, prevažne z dôvod námitok uchádzačov voči

the same year. The commencement of the construction of the 605 m long Horelica tunnel on the Čadca road bypass followed in 1998. Both above-mentioned tunnels were constructed as single-tube structures carrying bi-directional traffic, which corresponded to the planned traffic density. The construction of the first twin-tube motorway tunnel, the 1440m long Sitina on the Lamačská Cesta – Staré Grunty section in Bratislava, commenced in 2003. The construction took 48 months and the tunnel was opened to traffic in June 2007. For the time being the fourth and last motorway tunnel is the 985 m long Bôrik tunnel on the Mengusovce – Jánovce section. The tunnelling operations started in the autumn of 2006 and the tunnel was opened to traffic in 2009.

### Present time

The intense preparation of the development of motorways and fast highways in Slovakia was under way during the 2008-2010 period, in the form of Public-Private Partnership (PPP) projects. The two sections under preparation even comprised seven motorway tunnels with the aggregate length of approximately 17.5 km. After the PPP system had been prematurely terminated, the Slovak government decided that the development of motorways would continue in a standard way using combined funding from eurofunds and the state budget. Taking into consideration the timeliness of design documents, the National Highway Company, the state-owned investor, decided on the use of the Design-Build procurement method according to the Yellow Book of the International Federation of Consulting Engineers, FIDIC.

Several Design-Build public tender notices for motorway sections were issued during 2011 and 2012. The tenders were even partially evaluated. Four of them even comprised tunnels, namely the Čebrať (see Fig. 6), Višňové and Šibenik tunnels on the D1 motorway and the Svrčinovec and Poľana tunnels on the D3 motorway (see Table 2).

At the end of 2012, the only section under construction a part of which is a tunnel was the Jánovce-Jablonov section containing the 605 m long Šibenik tunnel. Public tender proceedings for the other sections containing tunnels have not finished yet, first of all because of objections to the public tender process submitted by tenderers. A change in this state and the beginning of the construction of several sections containing tunnels can be expected during 2013. The tunnel which is most awaited in this context is the 7.5 km long Višňové tunnel (see Fig. 7), which should become the longest Slovak motorway tunnel for a long time.

### Future

Several sections containing motorway tunnels remain for the time being at planning stages, to be developed in the period to come (see Table 3). On the one hand, the majority of these sections have received construction permits; on the other hand, all of them will require updating for various reasons. The main ambition of the government continues to be the completion of the connection between Bratislava and Košice by the D1 motorway. With the exception of the Karpaty tunnel, where the mechanical excavation with full-face tunnel boring machine is expected, the conventional construction method (the NATM) is planned for all of the motorway tunnels under preparation. The majority of the motorway tunnels design is expected to be for twin-tube structures carrying unidirectional traffic.

#### D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka

The construction of the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section containing the Ovčiarsko and Žilina tunnels should commence after 2014, in relation to the construction of the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section which it

postupom verejného obstarávania. V priebehu roku 2013 je možné očakávať zmenu tohto stavu a začiatok výstavby viacerých úsekov s tunelmi. Najočakávanejším je v tejto súvislosti tunel Višňové dĺžky cca 7,5 km (obr. 7), ktorý by sa mal stať na dlhé obdobie najdlhším slovenským diaľničným tunelom.

### Budúcnosť

Viacere úseky s diaľničnými tunelmi zostávajú zatiaľ v plánoch výstavby pre nasledovné obdobie (tab. 3). Väčšina z týchto úsekov síce disponuje stavebným povolením, prakticky všade bude z rôznych dôvodov potrebná jeho aktualizácia. Hlavnou ambíciou vlády naďalej zostáva dokončiť spojenie Bratislava – Košice diaľnicou D1. Pre všetky pripravované diaľničné tunely sa uvažuje s konvenčnou metódou výstavby (NRTM) okrem tunela Karpaty, kde sa predpokladá kontinuálna metóda s použitím plnoprofilového raziaceho stroja. Prevažná väčšina diaľničných tunelov je uvažovaná v dvojručovom usporiadaní s jednosmernou premávkou.

#### D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka

Úsek Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka s tunelmi Ovčiarsko a Žilina by mal byť daný do výstavby po roku 2014 vo väzbe na výstavbu úseku Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala, na ktorý nadväzuje tak, aby mohol byť v tom istom čase sprevádzkovaný celý úsek diaľnice od Hričovského Podhradia po Dubnú Skalu.

#### D1 Turany – Hubová

Najproblematickejším úsekom diaľnice D1 stále zostáva úsek Turany – Hubová s dvomi tunelmi Rojkov a Havran. Napriek platnému stavebnému povoleniu došlo počas prípravnej fázy PPP projektov k spochybneniu environmentálneho hodnotenia úseku a k zablokovaniu možnosti jeho financovania Európskou investičnou bankou. V priebehu roku 2012 prebiehalo dodatočné posúdenie vplyvov stavby na lokalitu sústavy Natura 2000, ktorého súčasťou bol aj návrh kompenzačných technických opatrení. V decembri 2012 Európska komisia potvrdila akceptáciu postupu Slovenska pri skúmaní vplyvov výstavby diaľnice na životné prostredie. Generálne riaditeľstvo pre životné prostredie Európskej komisie odsúhlasilo správu o posúdení a jej záver, že výstavba úseku Turany – Hubová nebude mať významný negatívny vplyv na integritu územia Natura 2000. Pre zapracovanie navrhnutých kompenzačných opatrení bude potrebné vykonať zmeny v územnom rozhodnutí a stavebnom povolení, ktoré si vyžadujú nevyhnutný čas. Vzhľadom na to je možné uvažovať so začiatkom výstavby úseku v horizonte 2 až 3 rokov.

#### D1 Prešov západ – Prešov juh

Chýbajúcim úsekom na diaľnici D1 je stále južný obchvat mesta Prešov s rovnomeným tunelom. Na tento úsek sa v súčasnosti spracováva dokumentácia na stavebné povolenie. Je možné očakávať získanie stavebného povolenia v roku 2013, čo by mohlo znamenať začiatok výstavby v roku 2014.

#### D3 Žilina, Strážov – Žilina, Brodno

Diaľnica D3 v smere na Poľsko je ďalšou prioritou. Na úsek Svrčinovec – Skalité s dvomi tunelmi už bola v priebehu roku 2012 vypísaná verejná súťaž. Očakáva sa, že začiatkom roku 2013 bude vypísaná aj verejná súťaž na úsek Žilina, Strážov – Žilina, Brodno s tunelom Považský Chlmec.

#### D4 Ivanka pri Dunaji – Bratislava, Záhorská Bystrica

Najdlhším pripravovaným slovenským diaľničným tunelom je tunel Karpaty na nultom okruhu okolo hlavného mesta Bratislavy, tvorenou diaľnicou D4. Podľa spracovaných technických štúdií sa pre výstavbu tunela uvažuje s využitím kontinuálnej metódy raziaceho. Momentálny stav prípravy stavby nie je veľmi optimistický. Vzhľadom na veľký odpor verejnosti najmä voči situovaniu vyústenia tunela v blízkosti obce Mariánka, ministerstvo životného prostredia odporučilo doplniť podklady pre posudzovanie vplyvov na životné prostredie a predložiť doplnený zámer v rozsahu správy pre posudzovanie v procese EIA.



Obr. 7 Západný portál pre razienu tunela Višňové, archív Terraprojekt  
Fig. 7 Western portal for the Višňové tunnel excavation, Terraprojekt archives

is to link to, so that the entire Hričovské Podhradie - Dubná Skala section can be opened to traffic in the same time.

#### D1 Turany – Hubová

The Turany – Hubová section containing two tunnels, the Rojkov and Havran, remains to be the most problematic section of the D1 motorway. Despite the valid construction permit, the environmental assessment of the section was cast doubt on during the planning phase of the PPP projects and the possibility of its funding by the European Investment Bank was blocked. The process of additional assessing the project impact on localities in the Natura 2000 complex ran during 2012. A proposal for compensation technical measures was part of that process. In December 2012, the European Commission confirmed that it accepted the procedure applied by Slovakia to assessing the environmental impact of the development of motorways. The European Commission's Directorate General for the Environment approved the report on the assessment and concluded that the development of the Turany – Hubová section would not significantly negatively affect the Natura 2000 area integrity. The incorporation of the proposed compensation measures will require changes to be carried out in the zoning and planning decision and the construction permit; it will take some inevitable time. Taking this fact into consideration, it is possible to consider the start of the construction of this section in the horizon of 2 to 3 years.

#### D1 Prešov West – Prešov South

The southern bypass of the town of Prešov with the tunnel of the same name has still been the missing section on the D1 motorway. The final design for this section is currently being carried out. It is possible to expect that the construction permit will be obtained in 2013, which could mean the commencement of construction work in 2014.

#### D3 Žilina, Strážov – Žilina, Brodno

The D3 motorway heading toward Poland is another priority. The public tender notice for the Svrčinovec – Skalité section, containing two tunnels, was issued in 2012. It is expected that the public tender notice for the Žilina, Strážov – Žilina, Brodno section, containing the Považský Chlmec tunnel, will be issued at the beginning of 2013.

#### D4 Ivanka-on-Danube – Bratislava, Záhorská Bystrica

The longest Slovak motorway tunnel is the Karpaty tunnel located on the zero kilometre of the Bratislava circle road formed by the D4 motorway. According to completed technical studies, the continual tunnelling method is under consideration for the tunnel construction. The current state of the construction preparation is not much optimistic. With respect to great public resistance, first of all against the location of the tunnel mouth in the vicinity of the village of Mariánka, the Ministry of the Environment (the ME) recommended that the background papers for assessing the environmental impact should be supplemented and the intention, supplemented in the scope of the report on the assessment in EIA process, should be submitted.



Tab. 3 Pripravované tunely na diaľniciach  
Table 3 Motorway tunnels under preparation

Diaľničný úsek Motorway section	Názov tunela Tunnel name	Dĺžka (m) Length (m)	Súčasný stav Current state
D1 Hričov. Podhradie – Lietavská Lúčka	Ovčiarsko	2367	stavebné povolenie / construction permit
	Žilina	687	stavebné povolenie / construction permit
D1 Turany – Hubová	Rojkov	1800	stavebné povolenie / construction permit
	Havran	2828	stavebné povolenie / construction permit
D1 Beharovce – Branisko	Branisko	4975	2. rúra, územné rozhodnutie / zoning & planning (Z&P) decision for 2 <sup>nd</sup> tube
D1 Prešov západ – Prešov juh	Prešov	2240	územné rozhodnutie / construction permit
D1 Bidovce – Dargov	Dargov	1050	
D3 Žilina, Strážov – Žilina, Brodno	Považský Chlmec	2218	stavebné povolenie / construction permit
D3 Žilina, Brodno – Kysucké Nové Mesto	Kysuca	584	stavebné povolenie / construction permit
D3 Čadca – obchvat mesta	Horelica	605	2. rúra, územné rozhodnutie / Z&P decision for 2 <sup>nd</sup> tube
D4 Ivanka pri Dunaji – Bratislava, Záhorská Bystrica	Karpaty	8068	

Tab. 4 Pripravované cestné tunely na rýchlostných cestách  
Table 4 Tunnels on fast highways under preparation

Úsek Rýchlostnej komunikácie Fast highway section	Názov tunela Tunnel name	Dĺžka (m) Length(m)	Súčasný stav Current state
R1 Slovenská Lupča – Korytnica	Kozí Chrbát	2975	záver. stanovisko MŽP / final ME opinion
	Diel	1774	záver. stanovisko MŽP / final ME opinion
R1 Korytnica – Ružomberok D1	Korytnica	800	záver. stanovisko MŽP / final ME opinion
	Osada	930	záver. stanovisko MŽP / final ME opinion
	Biely Potok	1450	záver. stanovisko MŽP / final ME opinion
	Mních	800	záver. stanovisko MŽP / final ME opinion
R2 Pravotice – Dolné Vestenice	Chotômka	595	záver. stanovisko MŽP / final ME opinion
R2 Nováky – Žiar n. Hronom	Handlová	600	
	Boriny	425	
R2 Rožňava – Jablonov nad Turňou	Soroška	4650	DUR v spracovaní documents for Z&P decision under preparation
R3 Nižná – Dlhá nad Oravou	Biela Skala	515	územné rozhodnutie / Z&P decision
R4 Prešov – severný obchvat	Bikoš	1155	územné rozhodnutie / Z&P decision
	Okruhliak	1917	územné rozhodnutie / Z&P decision
R4 Lomné – Hanušovce nad Topľou	Gruň	825	záver. stanovisko MŽP / final ME opinion
R4 Hanušovce nad Topňou – Kapušany	Petič	510	záver. stanovisko MŽP / final ME opinion

Projektová príprava prebiehala aj pre tunely s jednou tunelovou rúrou v prevádzke (Branisko a Horelica). Vzhľadom na nízke intenzity dopravy však nie je výstavba druhých rúr uvedených tunelov v súčasnosti považovaná za prioritu.

Okrem výstavby diaľničnej siete prebieha v poslednom období na Slovensku aj intenzívna príprava výstavby rýchlostných ciest. Aj na tejto sieti je uvažované s výstavbou značného počtu tunelov (tab. 4). Najviac tunelov (6) je navrhnutých na severo-južnom prepojení Ružomberku a Banskej Bystrice rýchlostnou cestou R1 prekonávajúcou hrebeň Nízkyh Tatier. Najdlhším tunelom v sieti rýchlostných ciest by mal byť tunel Soroška s dĺžkou 4,65 km na rýchlostnej ceste R2.

ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,  
frankovsky@terraprojekt.sk,  
TERRAPROJEKT, a. s.  
ING. JÁN KUŠNÍR, kusnir@reming.sk,  
REMING CONSULT, a. s.

Recenzovala: Ing. Viktória Chomová

The designing stage covered even the operating single-tube tunnels (Branisko and Horelica). However, the construction of second tubes of the above-mentioned tunnels is, with respect to the low intensity of traffic, currently not considered to be a priority.

Apart from the development of the motorway network, even the development of fast highways is under intense preparation in Slovakia. A significant number of tunnels are planned even for this network (see Table 4). Most tunnels (6) are proposed for the north-southern interconnection between Ružomberok and Banská Bystrica by the R1 fast highway, overcoming the crest of the Low Tatras. The longest tunnel on the fast highway network should be the 4.65 km long Soroška tunnel on the R2 fast highway.

ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ,  
frankovsky@terraprojekt.sk,  
TERRAPROJEKT, a. s.  
ING. JÁN KUŠNÍR, kusnir@reming.sk,  
REMING CONSULT, a. s.

## LITERATURA / REFERENCES

- Frankovský, M. Dopravné tunely na území Slovenska. *Inžinierske stavby*, 2009, č. 3  
Program pokračovania prípravy a výstavby diaľnic a rýchlostných ciest na roky 2011 – 2014, www.telecom.gov.sk  
Webové stránky Národnej diaľničnej spoločnosti, a. s., www.ndsas.sk  
Webové stránky Ministerstva životného prostredia SR, www.enviroportal.sk

# RIEŠENIE ÚNIKOVEJ CESTY TUNELA HENCNAVA

## SOLUTION TO ESCAPE ROUTE FOR HENCNAVA TUNNEL

JÁN BOLTVAN, RÓBERT MRŠTICA

### 1 ÚVOD

Jedným zo strategických cieľov Slovenskej republiky v procese európskej integrácie je napojenie dopravných väzieb Slovenska na európsku dopravnú sieť.

Požiadavka modernizácie vybraných železničných tratí ŽSR vychádza z koncepcie európskych dopravných koridorov definovaných na II. Paneurópskej konferencii ministrov dopravy. V rámci SR je tunel Hencnava súčasťou koridoru č. V (Bratislava – Žilina – Čierna nad Tisou) a nachádza sa v úseku trate Liptovský Mikuláš – Poprad Tatry. Účelom stavby je modernizácia technickej infraštruktúry železničnej trate pre dosiahnutie európskych parametrov podľa medzinárodných dohôd (European Agreement on Main International Railway Lines – AGC; European Agreement on Important International Combined Transport Lines and Related Installations – AGTC). Vzhľadom na členitosť územia nie je možné dosiahnuť požadované parametre v dotknutom území bez tunelového riešenia.

Zaujímavé územie koridoru trasy novej železničnej trate v úseku Žst. Štrba, konkrétne v mieste tunela Hencnava sa nachádza v Žilinskom samosprávnom kraji, okrese Liptovský Mikuláš, v katastrálnom území obce Važec.

Trasa tunela je vedená v extraviláne. Na východe opúšťa údolie rieky Biely Váh a v miernom ľavotočivom oblúku vstupuje do tunela Hencnava (vjazdový portál tunela) km 220, 940 598, pričom prekonáva prekážku vyvýšeniny Hencnava (cca 881 m n. m.). Trasa opúšťa tunel (výjazdový portál tunela) a smeruje do zastávky Važec. Celková dĺžka tunela v jeho osi je 1060 m, tunel je navrhnutý ako dvojkoľajný. Nadložie tunela Hencnava dosahuje hodnoty cca 4 až 35 m. Situácia tunela je znázornená na obr. 1.

Nadložie tunela je tvorené ílovcami s rôznym stupňom zvetrania, v miestach s najvyšším nadložíom boli klasifikované ako trieda R3, bližšie k povrchu tvorili nadložie horniny triedy R4 až R5, povrchové vrstvy nadložia sú tvorené zeminami. Z dôvodu zlých geologických podmienok a nízkeho nadložia sa pôvodné riešenie únikovej cesty únikovou štôľňou v stupni DÚR zmenilo v stupni DSP na únikovú šachtu.

### 1 INTRODUCTION

One of strategic targets of the Slovak Republic in the process of European integration is to link transportation relationships existing in Slovakia to European transportation networks.

The requirement for the modernisation of selected railway routes of the Slovak Railways is based on the concept of European transport corridors defined at the 2nd Pan-European conference of ministers of transport. In Slovakia, the Hencnava tunnel is part of rail corridor No. V (Bratislava – Žilina – Čierna nad Tisou) and is located on the Liptovský Mikuláš – Poprad Tatry track section. The purpose of the project is to upgrade the technical infrastructure to reach European parameters according to international agreements (the European Agreement on Main International Railway Lines – AGC; the European Agreement on Important International Combined Transport Lines and Related Installations – AGTC). With respect to the dissected character of the area surface, it is not possible to achieve the required parameters in the area of operations without tunnels.

The area of operations on the corridor route of the new railway track in the railway station Štrba section, concretely in the Hencnava tunnel location, is found in the self-governing region of Žilina, the district of Liptovský Mikuláš, cadastral district of Važec.

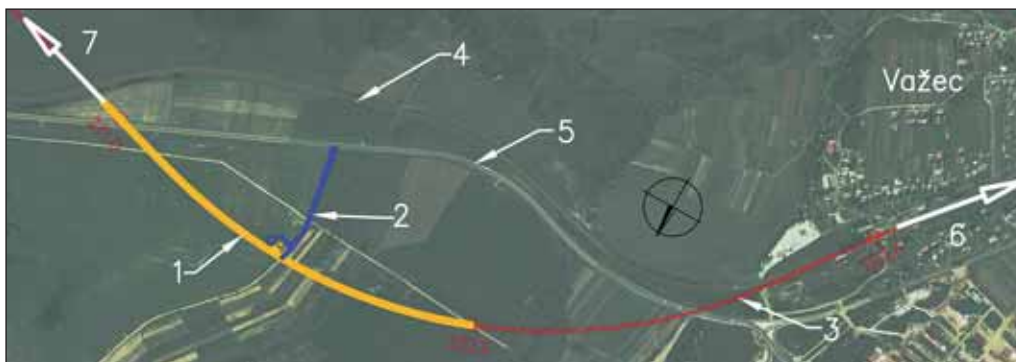
The tunnel route is led through a non-build-up area. In the east, it leaves the Biely Váh River valley and enters the Hencnava tunnel on a mild left-hand curve (the tunnel entrance portal) at chainage km 220.940598 to overcome the obstacle formed by Hencnava hill (about 881 m a.s.l.). The route exits the tunnel (the tunnel exit portal) and continues to Važec intermediate station. The total tunnel length on its axis is 1060 m. The tunnel is designed as a double-track structure. The Hencnava tunnel overburden height reaches about 4 to 35 m. The tunnel layout is presented in Fig. 1.

The tunnel overburden is formed by claystone with various degrees of weathering, which were categorised as class R3 in locations with the highest overburden and R3 to R4 closer to the surface; the surface overburden layers are formed by soils. Because of poor geological conditions and the low overburden, the original solution in the zoning process documents to the escape route by an escape gallery was changed to an escape shaft in the final design.

The escape shaft is being designed in a way guaranteeing that the maximum spacing of escape exits is 1000 m, in accordance with the “*Technical Specification for Interoperability – Safety in Railway Tunnels [TSI (SRT) (2008/163/ES)]*“. The entrances to the escape shaft are located approximately in the middle of the tunnel.

### 2 TECHNICAL SOLUTION TO THE ESCAPE ROUTE – THE LAYOUT AND LINING

The access to the escape shaft is designed through two independent

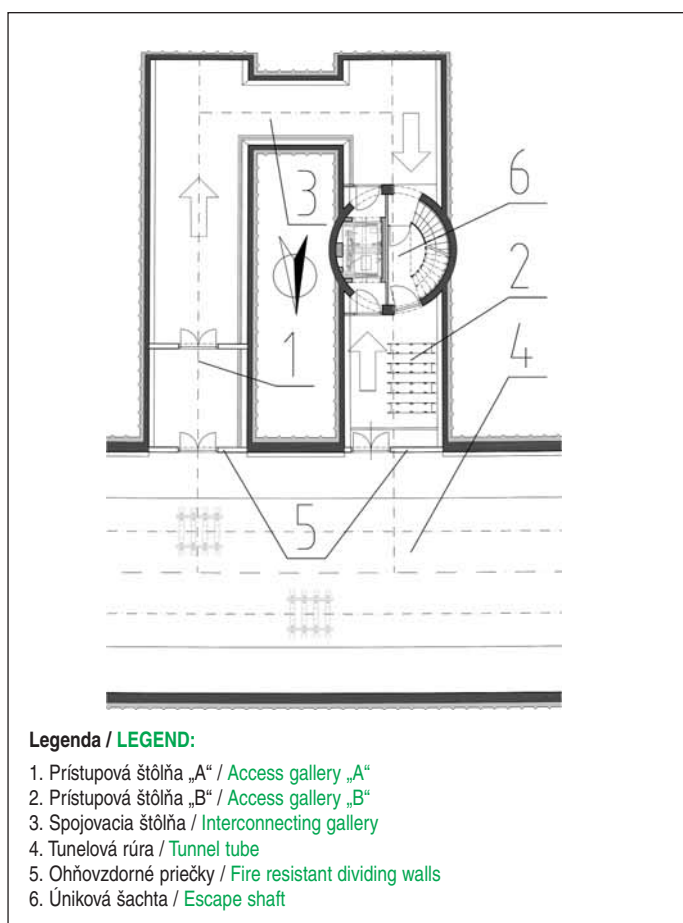


#### LEGENDA / LEGEND:

1. Tunel Hencnava / Hencnava tunnel
2. Prístupová komunikácia k únikovej štôľni tunela Hencnava / Access road to the Hencnava tunnel escape gallery
3. Trasa projektovanej modernizovanej železničnej trate / Alignment of the modernised railway track under design
4. Trasa existujúcej železnice / Existing railway track
5. Cesta I/18 / Road I/18
6. Smer Liptovský Mikuláš (Žilina) / Direction of Liptovský Mikuláš (Žilina)
7. Smer Poprad Tatry (Košice) / Direction of Poprad Tatry (Košice)

Obr. 1 Situácia tunela  
Fig. 1 Tunnel layout





Obr. 2 Situácia prepojenia únikovej šachty s tunelom  
Fig. 2 Layout of the interconnection between the escape shaft and the tunnel

Úniková šachta je navrhovaná tak, aby sa dodržala maximálna vzdialenosť únikových východov 1000 m, podľa predpisu „Technické špecifikácie interoperability/Bezpečnosť v železničných tuneloch [TSI (SRT) (2008/163/ES)]“. Vstupy do únikovej šachty sa nachádzajú približne v polovici dĺžky tunela.

## 2 TECHNICKÉ RIEŠENIE ÚNIKOVEJ CESTY – DISPOZÍCIA, OSTENIE

Do únikovej šachty je navrhnutý prístup cez dve nezávislé prístupové štôlny. Jeden prístup slúži na únik osôb z tunela, druhý prístup slúži na prístup záchranných zložiek do tunela. Výška od spodnej po vrchnú úroveň šachty je 35,04 m. Prístupové štôlny šachty sú kolmé na os tunela a nachádzajú sa v tunelových blokoch 55 (štôlna „A“) a 56 (štôlna „B“). Os únikovej šachty sa pretína s osou štôlny „B“ vo vzdialenosti 10,3 m od vnútornej hrany tunelového ostenia. Štôlna „A“ a štôlna „B“ budú prepojené prepojovacou štôlnou. Os prepojovacej štôlny sa pretína s osou oboch prístupových štôlní vo vzdialenosti 17,3485 m od vnútornej hrany tunelového ostenia. Šachta je vybavená evakuačným výtahom s rozmermi kabíny 1200x2300 mm. Šírka únikového schodiska je 1200 mm. Trasa pre únik osôb z tunela prechádza štôlnou „A“, prepojovacou štôlnou a časťou štôlny „B“ (ktoré zároveň slúžia aj ako zhromažďovací priestor) na evakuačné schodisko v únikovej šachte. Trasa pre prístup záchranných zložiek je smeruje od výtahu v únikovej šachte cez štôlnu „B“ priamo do tunela. Situácia prepojenia tunelovej rúry s únikovou šachtou je zobrazená na obr. 2. Zvislý rez šachtou s priečnym prepojením s tunelom sa nachádza na obr. 3.

Trasa únikových ciest z únikovej šachty do tunelovej rúry cez prístupové štôlny a spojovaciu štôlnu je v celej dĺžke klesajúca.

Priečny prierez prístupových štôlní je navrhnutý tak, ako ho definuje TSI (SRT) s minimálnym prejazdovým profilom 2,25x2,25 m v prepojovacej štôlni a 4,3x2,25 m v prístupových štôlniach. Svetlý

access galleries. One access is designed for the escape of people from the tunnel, whilst the other is for the access of rescue teams into the tunnel. The height from the bottom to the top of the shaft is 35.04 m. The shaft access galleries are perpendicular to the tunnel axis. They are located in tunnel blocks No. 55 (gallery „A“) and No. 56 (gallery „B“). The escape shaft axis intersects with the „B“ gallery axis at the distance of 10.3 m from the inner edge of the tunnel lining. Gallery „A“ and gallery „B“ will be interconnected by a connecting gallery. The axis of the interconnecting gallery intersects with the axes of both access galleries at the distance of 17.3485 m from the inner edge of the tunnel lining. The shaft is equipped with an evacuation lift with the cabin dimensions of 1200 x 2300 mm. The escape staircase is 1200 mm wide. The route for the escape of people from the tunnel runs through gallery „A“, the connecting gallery and a part of gallery „B“ (which at the same time serve as a gathering space) and the evacuation staircase in the escape shaft. The access route for rescue teams leads from the lift in the escape shaft through gallery „B“, directly to the tunnel. The layout of the interconnection of the tunnel tube with the escape shaft is shown in Fig. 2. The vertical section through the shaft and the transverse interconnection with the tunnel is presented in Fig. 3.

The alignment of the escape routes from the escape shaft to the tunnel tube through the access galleries and the interconnecting gallery is on a down gradient throughout its length.

The clearance profile of the access galleries for the passage of persons is designed as defined by the TSI (SRT), with the minimum clearance profile of 2.25 x 2.25 m in the interconnecting gallery and 4.3 x 2.25 m in the access galleries. The net profile of the interconnecting gallery is about 7.8 m<sup>2</sup>; in the access galleries it is 15.43 m<sup>2</sup>. The net diameter of the escape shaft is 5.8 m; the net cross-sectional area is 26.41 m<sup>2</sup>. The minimum escape route width is 1.2 m.

The escape shaft will be provided with a double-shell lining. The net diameter of the shaft will be 5.8 m.

The primary lining of the upper part of the shaft will be formed by 14 m long, 300 mm-diameter, C25/30 reinforced concrete secant bored piles spaced at 270 mm

The deep part of the shaft will be stabilised during the excavation by a 100 mm thick layer of shotcrete reinforced with one layer of welded mesh with the diameters of rods of 8 mm / 8 mm and the spacing of rods of 150 mm / 150 mm.

The secondary lining will be formed by a 150 mm thick layer of C25/30 concrete.

A 2 mm thick PE or PVC or polyolefin waterproofing membrane will be between the primary and secondary linings of the shaft and galleries. The membrane will be mechanically anchored to the primary lining. The drainage and protective functions of the waterproofing will be fulfilled by 500 g/m<sup>2</sup> geotextile.

Dividing walls in the access galleries are designed in cast-in-situ reinforced concrete, 100 mm or 250 mm thick. The dividing walls will be provided with paint coating; the coating has to meet water resistance, vapour permeability and washability criteria.

The dividing walls separating the tunnel tube from the access galleries will be 250 mm thick, fire resistant, built from refractory bricks.

## 3 SERVICE HOUSE AT THE ESCAPE GALLERY – CONCEPT

The end of the Hencnava tunnel escape shaft is found in a service house. The house is conceptually designed as a concrete cylinder covered with soil and subsequently provided with green facing in the form of low vegetation. In the ground plan, the axes of two architectural concrete retaining walls forming a 90-degree angle intersect in the centre of this cylinder. A ventilation stack with air supply positive pressure dampers are installed on the top of the covered-over structure. The effect of the overall look is to be unobtrusive, without disturbing the surrounding environment (see Fig. 4).

Water from the embankment around the structure will be evacuated by drainage. A compacted clay layer separated from the gravel-sand

prierez spojovacej štôlne je cca 7,8 m<sup>2</sup>, pri prístupových štôľňach je to 15,43 m<sup>2</sup>. Svetlý priemer únikovej šachty je 5,8 m, svetlý prierez 26,41 m<sup>2</sup>. Šírka únikovej cesty je min. 1,2 m.

Úniková šachta bude mať dvojvrstvové ostenie. Svetlý priemer šachty bude 5,8 m.

Primárne ostenie povrchovej časti šachty bude tvorené z prerezávaných železobetónových pilót priemeru 300 mm v osovej vzdialenosti 270 mm dĺžky 14 m z betónu C25/30.

Hlbinná časť šachty bude počas hĺbenia stabilizovaná striekaným betónom hr. 100 mm vystuženým 1 vrstvou oceľových sietí, priemer prútov 8mm/8mm, rozstup prútov 150mm/150mm.

Sekundárne ostenie bude tvorené betónom C25/30 hrúbky 150 mm.

Medzi primárnym a sekundárnym osteníom šachty a štôľní bude plošná fóliová hydroizolácia hrúbky min. 2 mm na báze PE alebo PVC alebo polyolefínu. Fólia bude mechanicky kotvená do primárneho ostenia. Drenážnu a ochrannú funkciu hydroizolácie bude plniť geotextília s plošnou hmotnosťou 500 g/m<sup>2</sup>.

Deliace priečky v prístupových štôľňach sú navrhnuté z monolitického železobetónu hrúbky 100, resp. 250 mm. Ako povrchová úprava priečok budú použité nátery, ktoré musia spĺňať kritériá na odolnosť proti vode, paropriepustnosť a umývateľnosť.

Priečky oddelujúce tunelovú rúru od prístupových štôľní budú ohňovzdorné, murované zo šamotových tehál, hrúbky 250 mm.

### 3 TECHNOLOGICKÝ DOMČEK PRI ÚNIKOVEJ ŠACHTE – KONCEPCIA

Úniková šachta tunela Hencnava ústi do technologického domčeka. Konceptne je navrhnutý ako betónový valec obsypaný zeminou a dodatočne zazelenaný nízkou vegetáciou. Dva oporné múry z pohľadového betónu zvierajúce 90° uhol sa v pôdoryse osovo stretávajú v strede tohto valca. Na vrchole zasypného objektu sa nachádza vzduchotechnický komín s pretlakovými klapkami pre prívod vzduchu. Celkový výraz má pôsobiť nevťieravo bez narušenia okolitého prostredia (obr. 4).

Zásypy okolo objektu budú odvodnené drenážou. Pod drenážou bude zhutnená fľová vrstva oddelená od štrkopieskových násypov geotextíliou. Po obvode ochranej primurovky (extrudovaný polystyrén hr. 100 mm) bude drenážna fólia NOP. Najvrchnejšia vrstva zásypu je tvorená pôdnym substrátom.

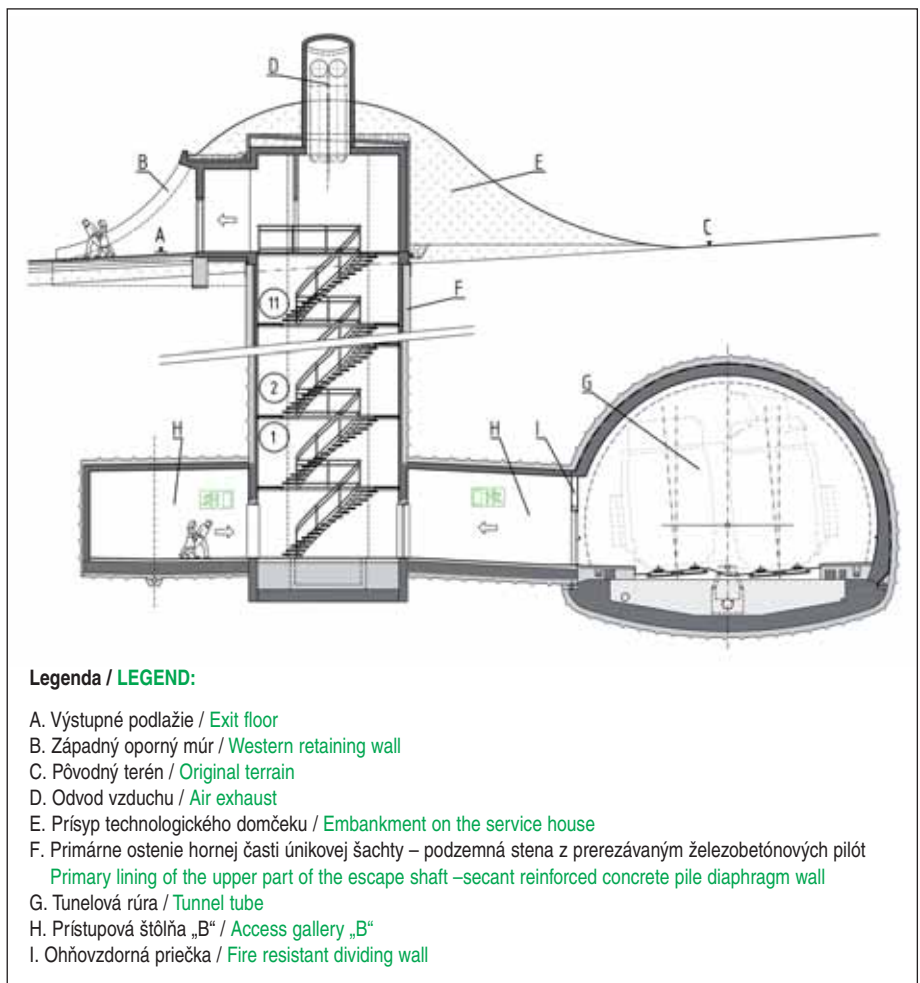
Pôdorysná dispozícia technologického domčeka sa dá rozdeliť na dve časti: priestor pre únik osôb (výstupná podesta únikového schodiska a únikové zádverie) a evakuačný výtah so zádverím pre zásahové jednotky (obr. 5). Zásahové jednotky a unikajúce osoby majú k dispozícii spevnenú plochu s rozlohou 500 m<sup>2</sup> a zatravnenu plochu pre pristávanie helikoptéry s polomerom 10 m.

### 4 VYBAVENIE ÚNIKOVEJ CESTY (VETRANIE A VÝŤAH)

#### Vetrание únikovej cesty

Úniková šachta je v smere od tunelovej rúry po vyústenie šachty na povrch tvorená požiarnou predsieňou dĺžky 5 m (ďalej „D“) a zásahovou požiarnou predsieňou (ďalej „B“), samotnou šachtou („C“, tvorená je schodiskom, výtahovou šachtou a priestorom pre vedenie vzduchotechnických potrubí) a na povrchu vstupným zádverím (v technologickom domčeku).

Vetrание únikovej štôlne zabezpečí dvojica ventilátorových zostáv, z ktorých je jedna záložná. Každá ventilátorová zostava je tvorená sacou dýzou s mrežou, ktorou sa nasáva vonkajší vzduch ventilátorom,



#### Legenda / LEGEND:

- A. Výstupné podlažie / Exit floor
- B. Západný oporný múr / Western retaining wall
- C. Pôvodný terén / Original terrain
- D. Odvod vzduchu / Air exhaust
- E. Prísyp technologického domčeka / Embankment on the service house
- F. Primárne ostenie hornej časti únikovej šachty – podzemná stena z prerezávaným železobetónových pilót  
Primary lining of the upper part of the escape shaft – secant reinforced concrete pile diaphragm wall
- G. Tunelová rúra / Tunnel tube
- H. Prístupová štôľňa „B“ / Access gallery „B“
- I. Ohňovzdorná priečka / Fire resistant dividing wall

Obr. 3 Zvislý rez únikovou šachtou – pohľad v smere staničenia tunela

Fig. 3 Vertical section through escape shaft – viewed in the direction of the tunnel chainage

embankment material by geotextile will be under the drainage. Dimpled sheet membrane NOP will be applied around the circumference of a protective retention wall (extruded polystyrene 100 mm thick). The top layer of the embankment is formed by soil substrate.

The service house ground plan layout can be divided into two parts: the space for escaping persons (exit landing of the escape staircase and escape vestibule) and the evacuation lift with a vestibule for intervention forces (see Fig. 5). Intervention forces and escaping persons have a 500 m<sup>2</sup> paved area and a 10 m-diameter grassed area allowing landing of helicopters.

### 4 ESCAPE ROUTE EQUIPMENT (VENTILATION AND A LIFT)

#### Escape route ventilation

The escape shaft consists (in the direction from the tunnel tube to the shaft end on the surface) of a 5 m long fire protection lobby (hereinafter referred to as “D”) and a fire service intervention lobby (hereinafter referred to as “B”), the shaft itself (“C”, consisting of a staircase, lift shaft and a space for ventilation tubes) and the entrance lobby on the surface (in the service house).

The ventilation of the escape gallery will be secured by a pair of ventilation assemblies, one of which is for stand-by purposes. Each of the ventilation assemblies comprises a suction nozzle with a grid, through which ambient air is sucked by a fan, and an electrically controlled regulation and closing damper. Both assemblies are installed in the escape lobby and are connected to a common tube running through the space above the bottom of the escape shaft. The fresh air is supplied at the rate ranging from 20,140 to 20,400 m<sup>3</sup>/h to the bottom part of the shaft through outlets for circular tubes and through a circular pipeline terminated by diffusers.

This fresh air further passes through regulation dampers (with the pressure loss of about 45 Pa at the maximum flow rate) in the walls





Obr. 4 Technologický domček pri únikovej šachte  
Fig. 4 Service house on the escape shaft

ďalej elektricky ovládanou regulačnou a uzatváracou tesnou klapkou. Obe zostavy sú umiestnené v únikovom zádverí a sú zaústené do spoločného potrubia, ktoré je vedené priestorom únikovej šachty nadol. Cez výstky pre kruhové potrubie a difúzormi zakončené kruhové potrubie sa čerstvý vzduch privádza hlavne do dolnej časti šachty v množstve 20 140 až 20 400 m<sup>3</sup>/h.

Tento čerstvý vzduch ďalej prechádza cez regulačné klapky (s tlakovou stratou pri max. prietoku cca 45 Pa) v stene do „D“ a „B“. Odtiaľ sa vzduch dostáva buď odvodným potrubím vedeným únikovou šachtou cez difúzor s mriežkou do exteriéru, alebo pri otvorení dverí z tunelovej rúry prúdi vzduch do tunelovej rúry. Vo vrchnej časti šachty smerom do exteriéru je inštalovaná pretlaková klapka s otváracím pretlakom 54 Pa, ktorá zaisťujú požadovaný pretlak v únikovej šachte a prepustí časť odvádzaného vzduchu von. Vyregulovanie potrubnej siete sa dosiahne nastavením regulačných klapiek, ktoré budú na tento účel zabudované do potrubia (obr. 6).

of the „D“ and „B“. From this point, the air flows through an exhaust pipeline installed in the escape shaft, through diffusers with a grid to the exterior or to the tunnel tube when the door from the tunnel tube is open. A positive pressure damper with the opening positive pressure of 54 Pa is installed in the upper part of the shaft in the direction of the exterior. It will ensure the required positive pressure in the escape shaft and will release part of the exhausted air to the exterior. The proper regulation of the tube network is achieved by setting of regulation dampers, which will be incorporated for this purpose into the pipeline (see Fig. 6).

The above-mentioned solution meets basic conditions set by the fire protection designer:

1. The positive pressure in both fire protection lobbies shall be higher by 0.8 to 46 Pa than the positive pressure in the tunnel tube and the positive pressure in the escape shaft will be higher by 12 to 45 Pa than the pressure in the „D“ and „B“.
2. The force needed for opening the door from the tunnel to the fire protection lobby shall not exceed 100 kN (assuming that the self-closing device is unblocked after depressing the panic door bar on the fire resisting door!!). The same opening force limit applies to the door from the escape shaft to the „D“ (the self-closing device can be set at up to 50 N in this case). The solution allows for extremes in the differences between the pressures induced by differences in temperatures or by a gust of wind, permitting that the force of 100 N will be exceeded when the negative pressure in the tunnel exceeds the atmospheric pressure by more than 35 Pa.
3. The velocity of air flow heading against the movement of escaping persons when the door from the tunnel opens shall exceed 0.75 m/s.

Ventilation of the entire space of the escape shaft and fire protection lobbies against the direction of the movement of escaping persons. Air exchange 15 times per hour – related to the whole volume, with the air exchange rate increasing in the direction of the tunnel to approximately 50 times per hour in the „D“.

The following operating states are assumed:

- Operating ventilation
- Fire ventilation when the escape exit door is closed
- Fire ventilation when the escape exit door is open

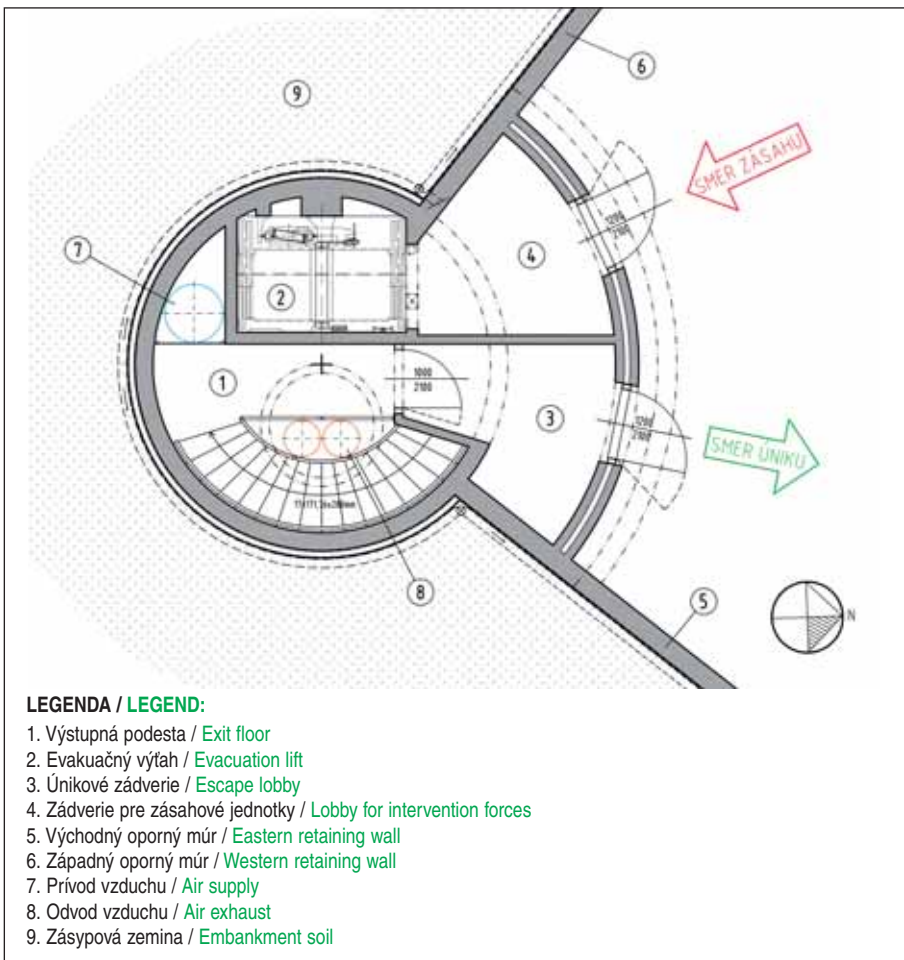
The following two conditions of the fire protection design must be respected:

*Necessary condition 1:* The self-closing device must be unblocked after the panic hardware on the fire resistant door is depressed!!

*Necessary condition 2:* Doors D1, D2, D3 and D4 must not be opened at the same moment so that the development of an air flow path from the tunnel tube through the escape shaft out and the development of the chimney effect are prevented (this chimney effect must not be neglected or underestimated; a difference in temperatures  $t_e = -25\text{ °C}$ ,  $t_i = +10\text{ °C}$  creates a pressure difference of 64 Pa, which would nearly eliminate the emergency ventilation system).

### Lift

The lift in the newly built shaft is a personnel evacuation lift with the capacity



### LEGENDA / LEGEND:

1. Výstupná podesta / Exit floor
2. Evakuačný výťah / Evacuation lift
3. Únikové zádverie / Escape lobby
4. Zádverie pre zásahové jednotky / Lobby for intervention forces
5. Východný oporný múr / Eastern retaining wall
6. Západný oporný múr / Western retaining wall
7. Prívod vzduchu / Air supply
8. Odvod vzduchu / Air exhaust
9. Zásypová zemina / Embankment soil

Obr. 5 Pôdorys technologického domčka  
Fig. 5 Service house ground plan

Uvedené riešenie spĺňa základné podmienky dané projektantom požiarnej ochrany o:

1. Pretlak v oboch požiarňach predsienech bude vyšší ako pretlak v tunelovej rúre o 0,8 až 46 Pa a pretlak v únikovej šachte bude vyšší o 12 až 45 Pa ako v „D“ a „B“.
2. Sila potrebná na otvorenie dverí z tunela do požiarnej predsiene nepresiahne 100 N (za predpokladu, že po zatlačení panikového kovania požiarňach dverí sa musí odblokovať samozatvárač!!), ten istý limit otváracie sily platí aj pre dvere z únikovej šachty do „D“ (tu môže byť samozatvárač do 50 N). Riešenie počíta s extrémami rozdielu tlaku vyvolanými rozdielom teploty a náporom vetra tak, že sila 100 N bude prekročená ak podtlak v tunelovej rúre dosiahne hodnotu väčšiu ako 35 Pa voči atmosférickému tlaku.
3. Rýchlosť vzduchu smerujúceho proti pohybu unikajúcich osôb pri otvorení dverí z tunela do požiarnej predsiene bude väčší ako 0,75 m/s.

Prevetrávanie celého priestoru únikovej šachty a požiarňach predsiene proti smeru pohybu unikajúcich osôb. Výmena 15x/h – vztiahnuté na celý objem, pričom v smere k tunelu sa výmena vzduchu zväčšuje na cca 50x v „D“.

Uvažuje sa s nasledujúcimi prevádzkovými stavmi:

- prevádzkové vetranie,
- požiarne vetranie pri zatvorených dverách únikového východu,
- požiarne vetranie pri otvorených dverách únikového východu.

Je potrebné rešpektovať dve nutné podmienky návrhu požiarneho vetrania:

**Nutná podmienka 1:** Po zatlačení panikového kovania požiarňach dverí sa musí odblokovať samozatvárač!!

**Nutná podmienka 2:** Dvere D1, D2, D3, D4 nesmú byť otvorené naraz, otváranie dverí je nutné blokovat tak, aby nevznikla cesta prúdenia vzduchu z tunelovej rúry cez únikovú šachtu von a prejavil sa komínový efekt. (Tento komínový efekt nie je možné zanedbať ani podceňovať, rozdiel teplot  $t_c = -25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_i = +10\text{ }^\circ\text{C}$  vytvorí tlakový rozdiel 64 Pa, čo by takmer eliminovalo havarijné vetranie.)

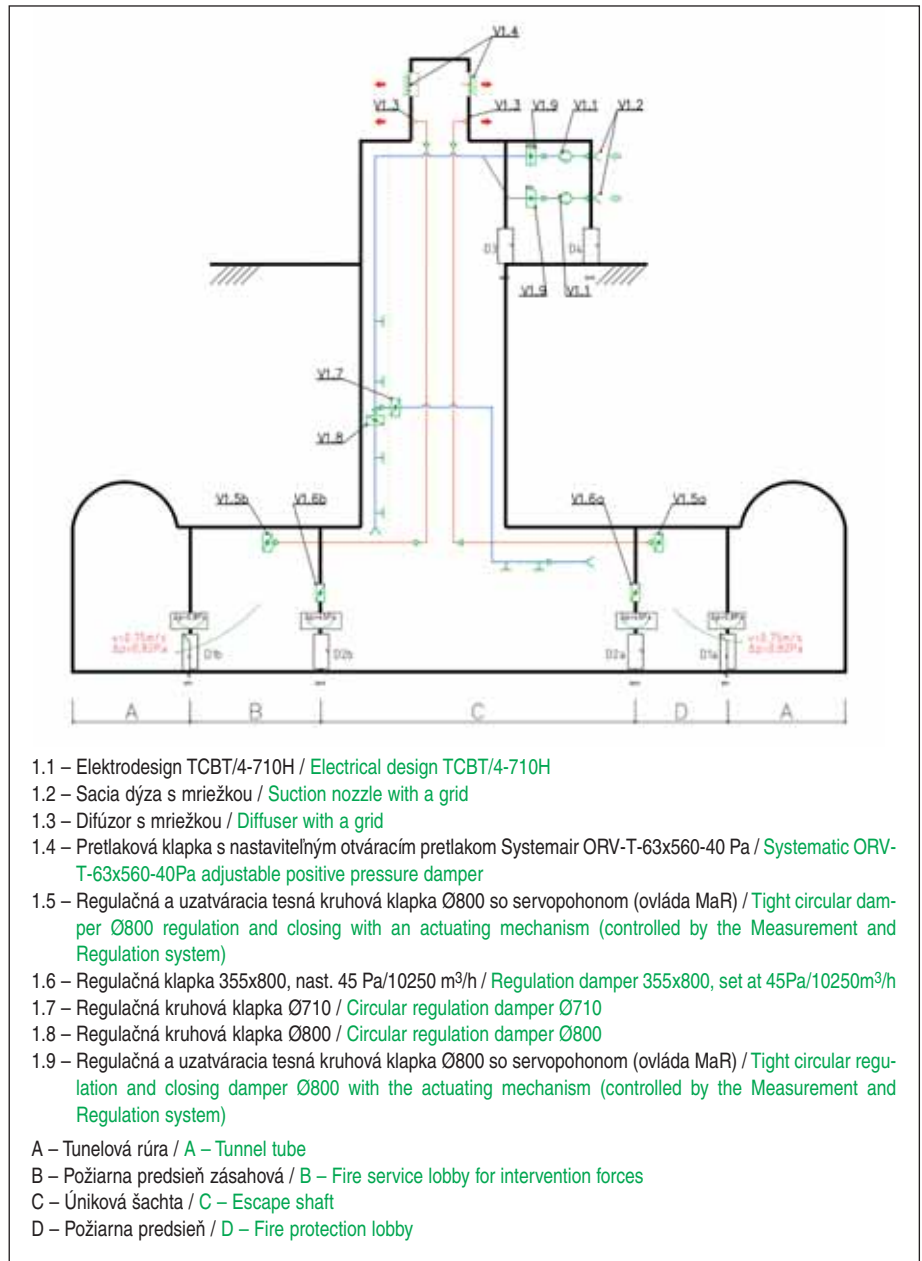
## Výtah

Výtah v novopostavenej šachte je osobný evakuačný elektrický výtah s nosnosťou 1275 kg/17 osôb. Má 5 staníc pri dopravnom zdvihu 35,04 m, dopravná rýchlosť je 1,6 ms<sup>-1</sup>.

Koncepcia pohonu výtahu je navrhnutá s bezprevodovým výtahovým strojom riadeným frekvenčne, umiestneným priamo v šachte v jej hornej časti.

Šachta výtahu je železobetónovej konštrukcie. V pôdoryse má svetlé rozmery šxh 2000x2910 mm. Rozmery šachty musia byť vyhotovené vo zvislici s toleranciou ±25 mm na každú stenu. Priehlbneň je hlboká 1550 mm. Prístup na podlahu priehlbne je rebríkom upevneným o bočnú stenu šachty (dodávka výtahu). Hlava šachty je vysoká 4000 mm. V jej stropě sú podľa dispozičného výkresu umiestnené montážne oká s udanou certifikovanou únosnosťou. Tieto oká majú vnútorný priemer min. Ø50 mm.

Šachtové dvere sú automatické dvojdielne stranové so širokou zárubňou. Majú rozmery 1100x2000 mm. Dvere sú s požiarou odolnosťou EW60. Výtah má hlavný vypínač umiestnený v paneli



- 1.1 – Elektrodesign TCBT/4-710H / Electrical design TCBT/4-710H
  - 1.2 – Sacia dýza s mriežkou / Suction nozzle with a grid
  - 1.3 – Difúzor s mriežkou / Diffuser with a grid
  - 1.4 – Pretlaková klapka s nastaviteľným otváracím pretlakom Systemair ORV-T-63x560-40 Pa / Systematic ORV-T-63x560-40Pa adjustable positive pressure damper
  - 1.5 – Regulačná a uzatváracia tesná kruhová klapka Ø800 so servopohonom (ovláda MaR) / Tight circular damper Ø800 regulation and closing with an actuating mechanism (controlled by the Measurement and Regulation system)
  - 1.6 – Regulačná klapka 355x800, nast. 45 Pa/10250 m<sup>3</sup>/h / Regulation damper 355x800, set at 45Pa/10250m<sup>3</sup>/h
  - 1.7 – Regulačná kruhová klapka Ø710 / Circular regulation damper Ø710
  - 1.8 – Regulačná kruhová klapka Ø800 / Circular regulation damper Ø800
  - 1.9 – Regulačná a uzatváracia tesná kruhová klapka Ø800 so servopohonom (ovláda MaR) / Tight circular regulation and closing damper Ø800 with the actuating mechanism (controlled by the Measurement and Regulation system)
- A – Tunelová rúra / A – Tunnel tube  
 B – Požiarna predsieň zásahová / B – Fire service lobby for intervention forces  
 C – Úniková šachta / C – Escape shaft  
 D – Požiarna predsieň / D – Fire protection lobby

**Obr. 6** Schéma požiarneho vetrania pri otvorených dverách únikového východu  
**Fig. 6** Fire ventilation chart for the escape exit door open

of 1275 kg / 17 persons. It has 5 stations, the lifting height is 35.04 m and the transport speed is 1.6 ms<sup>-1</sup>.

The lift drive concept is that of a frequency-controlled transmission-less lift machine installed directly in the shaft, in its upper part.

The lift shaft is a reinforced concrete structure. Net ground-plan dimensions of the shaft are 2000 mm wide x 2910 mm deep. The shaft dimensions must comply with the requirements for the vertical tolerance of ±25 mm on both sides. The shaft pit is 1550 mm deep. The access to the shaft pit bottom is on a ladder fixed to the side wall of the shaft (supplied together with the lift). The shaft head is 4000 mm high. According to the layout drawing, certified load-carrying capacity assembly hooks are installed in the shaft ceiling. The minimum inner diameter of the hooks is Ø50 mm.

Shaft doors are automatic, with one panel on either side, with a wide door frame. Their dimensions are 1100x2000 mm. The fire resistance rating of the doors is EW60. The main lift switch is installed on D-MAP panel, which is located on the door frame in the highest station. This panel contains all control elements required for a service intervention. The 200 lx intensity illumination (measured on the floor) is installed in front of the panel. At the same time there is a 500 mm wide and 700 mm deep free space for service purposes



D-MAP, ktorý je umiestnený na zárubni dverí v najvyššej stanici. Tento panel obsahuje všetky ovládacie prvky nutné pre servisný zásah. Pred týmto panelom je osvetlenie intenzity min. 200 lx, merané na podlahe. Zároveň je pred ním voľný obslužný priestor, široký 500 mm a hlboký 700 mm. Zvyšok riadenia má výtah umiestnený v samostatnom rozvádzači (SEP-panel), ktorý je umiestnený na vodiadle klietky v hornej časti šachty. Preto je vždy hlava šachty (od podlahy najvyššej stanice po strop šachty) považovaná za strojovňu a je osvetlená intenzitou min. 200 lx, meranou v osi šachty. V iných miestach šachty stačí intenzita osvetlenia 50 lx, meraná v jej osi. Vypínač osvetlenia šachty je dosiahnuteľný z otvorených šachtových dverí v najvyššej a v najnižšej stanici a sú navzájom zviazané.

V priehlbni je zásuvka 230V 50Hz. Osvetlenie šachty s vypínačmi a istením je dodávkou výtahu. Výtah má zariadenie, umožňujúce obojstrannú hlasovú komunikáciu so stálou vyslobodzovacou službou. Pod výtahovou šachtou nie sú žiadne priestory, v šachte nie sú žiadne zariadenia ani elektrické vedenia, ktoré nesúvisia s prevádzkou výtahu.

Kabína výtahu je priechodná, v pôdoryse má svetlé rozmery 1200x2300x2200 mm. Kabínové dvere sú tiež automatické dvojdielne stranové o rozmeroch 1100x2000 mm. Kabína môže byť vybavená pre osoby s obmedzenou schopnosťou pohybu a orientácie. V kabíne je centrálny ovládací panel (COP), v ktorom sú blokované tlačidlá staníc 1, 2, 3 a aktívne sú iba tlačidlá pre stanice 0 a 4. Šachtové dvere v blokovaných staniach slúžia ako núdzové dvere, aby bola dodržaná norma „Bezpečnostné pravidlá na konštrukciu a montáž výtahov. Časť 1: Elektrické výtahy (Konsolidovaný text) (STN EN81-1+A3)“, č. 5.2.2.1.2 o maximálnych medzипodlažných vzdialenostiach.

Riadenie výtahu je obojsmerné zberné FC.

*Zvláštna výbava výtahu:*

1. bezhalogénová kabeláž,
2. poklop na streche kabíny 500x700 mm,
3. kontakty pre napojenie na elektronickú požiarňu signalizáciu (EPS),
4. kontakty pre napojenie na náhradný zdroj (náhradný zdroj nie je dodávkou výtahu),
5. kľúčový ovládač v COP pre aktiváciu požiarnej jazdy.

*Fungovanie výtahu v prípade vyhlásenia evakuácie:*

1. Výtah dostane z EPS informáciu o existencii režimu evakuácie.
2. Výtah príde bez zastavenia do hlavného podlažia, ak ide práve tým smerom, otvorí dvere a čaká na osobu, ktorá bude riadiť evakuáciu. Ak práve ide opačným smerom, zastaví v najbližšej stanici, dvere neotvorí, ale otočí smer pohybu a bez zastavenia príde do hlavného podlažia, otvorí dvere a čaká na osobu, ktorá bude riadiť evakuáciu.
3. Osoba, ktorá riadi evakuáciu, zasunie kľúč do ovládača v COP, otočí ho a tým aktivuje požiarňu jazdu. Počas aktívneho režimu požiarnej jazdy sa dá výtah ovládať iba z kabíny, v nástupiskách sú privolávacie tlačidlá nefunkčné.
4. Ak výtah nedostane signál z EPS, bude fungovať v normálnom režime. Výtah splňa požiadavky Nariadenia vlády SR č. 571/2001 Z. z., ktorým sa ustanovujú podrobnosti o technických požiadavkách na výrobky a postupoch posudzovania zhody na výtahy. Pri jeho konštrukcii sa vychádzalo z STN EN 81-1+A3.

**ING. JÁN BOLTVAN, boltvan@reming.sk,  
ING. ARCH. RÓBERT MRŠTICA, mrstica@reming.sk,  
REMING CONSULT, a. s.**

Recenzoval: Ing. Miloslav Frankovský

in front of the panel. Remaining lift equipment is located on an independent switchboard (SEP-panel), which is installed in the upper part of the shaft, on the cabin guide rail. For that reason the lift shaft head (from the highest station floor to the shaft ceiling) is always considered to be the machine room and is illuminated by the intensity of 200 lx (measured on the shaft axis). The illumination intensity of 50 lx is sufficient for other shaft places (measured on the shaft axis). The shaft lighting switches are reachable from open lift door in the highest and lowest stations; they are interrelated with each other.

There is a 230V 50Hz socket in the shaft pit. The shaft lighting with the switches and circuit breakers are parts of the lift supply. The lift is equipped with a facility allowing two-way audio communication with the permanent entrapment rescue service. There are no spaces and no equipment or power lines not relating to the lift operation under the lift shaft.

The lift cabin is in the passable variant; the net dimensions are 1200x2300x2200 mm. The 1100x2000 mm double-sided sliding doors are also automatic. The cabin can be equipped for reduced mobility or orientation ability persons. There is a central control panel in the cabin with station buttons 1, 2 and 3 blocked and only buttons for stations 0 and 4 active. The shaft doors at the blocked stations serve as emergency doors so that the requirements of the standard "Safety regulations on the structure and assembly of lifts, Part 1: Electrical lifts (Consolidated text) (STN EN81-1+A3)" on the maximum distances between floors is adhered to.

The lift control is by the full collective (FC) system.

*Special lift equipment:*

1. Halogen-free cabling
2. A cover 500x700 mm on the cabin roof
3. Contacts for connecting to the fire alarm and detection system
4. Contacts for connecting to emergency power supply (the emergency power supply system is not part of the lift supply)
5. Keyed control access in the COP for the activation of a fire service travel.

*Elevator functioning in the case of the tunnel evacuation:*

1. The lift receives information on the existence of the evacuation regime from the fire alarm and detection system
2. The lift arrives without stopping from the main floor if it is just travelling in the correct direction, opens the door and waits for the person which will manage the evacuation. If it is just travelling in the opposite direction, it stops at the closest station; and, without opening the door switches the direction of travel and proceeds without stopping to the main floor, opens the door and waits for the person which will manage the evacuation.
3. The person managing the evacuation inserts the key into the COP panel, turns it to activate the fire service travel. During the active fire service travel the lift can be controlled only from the cabin and the calling buttons on the platforms are inoperative.
4. If the lift does not receive the signal from the fire alarm and detection system, it will work in the normal regime. The lift meets requirements of the Slovak Government Decree No. 571/2001 Coll. establishing the particulars of technical requirements for products and procedures of assessing conformance for lifts. Its design was based on the STN EN 81-1+A3 standard.

**ING. JÁN BOLTVAN, boltvan@reming.sk,  
ING. ARCH. RÓBERT MRŠTICA, mrstica@reming.sk,  
REMING CONSULT, a. s.**

## LITERATURA / REFERENCES

Archív firmy REMING CONSULT, a. s.

# ZKUŠENOSTI Z PROJEKTOVÁNÍ A VÝSTAVBY RAŽENÝCH STANIC PRODLOUŽENÍ TRASY A PRAŽSKÉHO METRA

## EXPERIENCE FROM DESIGNING THE CONSTRUCTION OF MINED STATIONS ON AN EXTENSION OF PRAGUE METRO LINE A.

JIRÍ RŮŽIČKA

### ÚVOD

Koncem roku 2009 byla zahájena výstavba V. provozního úseku trasy A pražského metra. Tento provozní úsek délky 6134 m má 4 stanice, z nich 3 stanice jsou ražené. Koncová stanice Motol je hloubená stanice jen částečně zapuštěná pod terén a proskleným obloukovým zastřešením má prostor nástupišťe přirozené denní osvětlení. Vratme se ale k raženým stanicím. V současné době jsou dokončeny ražby obou jednolodních stanic Petřiny a Červený Vrch a provádí se betonáž definitivního ostění. Trojlodní stanice Veveslavín má vyraženy boční staniční tunely a je v nich vybetonováno definitivní ostění. To byl předpoklad pro následnou ražbu středního staničního tunelu, která se nyní provádí. Realizace této významné stavby již pokročila tak daleko, že je možné z pohledu projektanta porovnat předpoklady návrhů technického řešení obsažených v zadávací dokumentaci stavby s technickým řešením realizační dokumentace a upozornit na některé zajímavosti z vlastní realizace.

### JEDNOLODNÍ STANICE PETŘINY

Jednolodní ražená stanice Petřiny má délku 217 m. Plocha příčného profilu výrubu je 256 m<sup>2</sup>, přičemž šířka výrubu je 22 m a max. výška v ose tunelu je 15,5 m. V krátkém úseku dlouhém 34,5 m je profil staničního tunelu zvýšen o 1,5 m. Pro výstavbu této stanice včetně navazujících tratových tunelů směrem ke stanici Motol byl v Břevnově vybrán prostor terénní deprese mezi ulicemi Bělohorská a Ankarská, v blízkosti křižovatky Na Vypichu. Toto místo je pro výstavbu tak rozsáhlé stavby velmi vhodné, protože díky terénní depresi překonávají přístupová díla do trasy metra menší výškový rozdíl. Rovněž velká vzdálenost od obytné zástavby eliminuje jakékoliv stížnosti obyvatel na prašnost a hluk v prostoru zařízení staveniště. Přínosem bylo i rozšíření původního záboru o plochu v blízkosti tramvajové smyčky pro deponii prstenců montovaného ostění jednokolejných tunelů ražených EPBS.

Bylo zde možno rozvinout sjezdovou rampu a přístupový tunel pro ražbu dvoukolejného tunelu ve směru ke stanici Motol, zázemí pro ražbu jednokolejných tunelů včetně kruhové šachty průměru 20 m, která byla využita pro montáž razicích štítů a dopravu montovaného ostění jednokolejných tunelů. Vlastní stanice Petřiny měla být podle zadávací dokumentace ražena z jednokolejných tratových tunelů po přemístění celého závěsu razicích štítů na plochu zařízení staveniště E2. To znamená, že před zahájením ražby stanice by musely být vyraženy oba jednokolejné tratové tunely v délce 1930 m včetně protažení rozestavěnou stanicí Veveslavín v délce cca 200 m.

Předpokladem bylo použití velkokapacitní kolejové dopravy rubaniny při ražbě tratových tunelů.

Zhotovitel po zvážení časové náročnosti jednotlivých operací při odtěžování rubaniny z tratových tunelů ve variantách kapacitní kolejová doprava nebo pásová doprava se rozhodl pro použití stroje s odtěžováním rubaniny pásovou dopravou. Tím by se následná ražba stanice značně zkomplikovala. Pro běžně

### INTRODUCTION

The development of the 5th operating section of the Line A of Prague metro (metro V.A) started at the end of 2009. This 6134m long operating section contains 4 stations, 3 of them of the mined type. Motol station, the terminus, is of the cut-and-cover type, only partially sunk under the terrain surface. It will have the platform space illuminated by natural day light owing to the glazed vaulted roofing. But let us return to mined stations. At the moment, the excavation for Petřiny and Červený Vrch single-span stations has been finished and the final concrete lining is being cast in them. As far as Veveslavín triple-span station is concerned, the driving of side-wall station tunnels has been finished together with the casting of the final lining. This means that a precondition for the commencement of the subsequent driving of the central tunnel, which is currently being carried out, has been satisfied. The work on this important structure has advanced that far that it is possible from designer's perspective to compare assumptions of proposals to the technical solution contained in tender documents (the final design) with technical solutions contained in the detailed design and bring forward some points of interest from the works realisation itself.

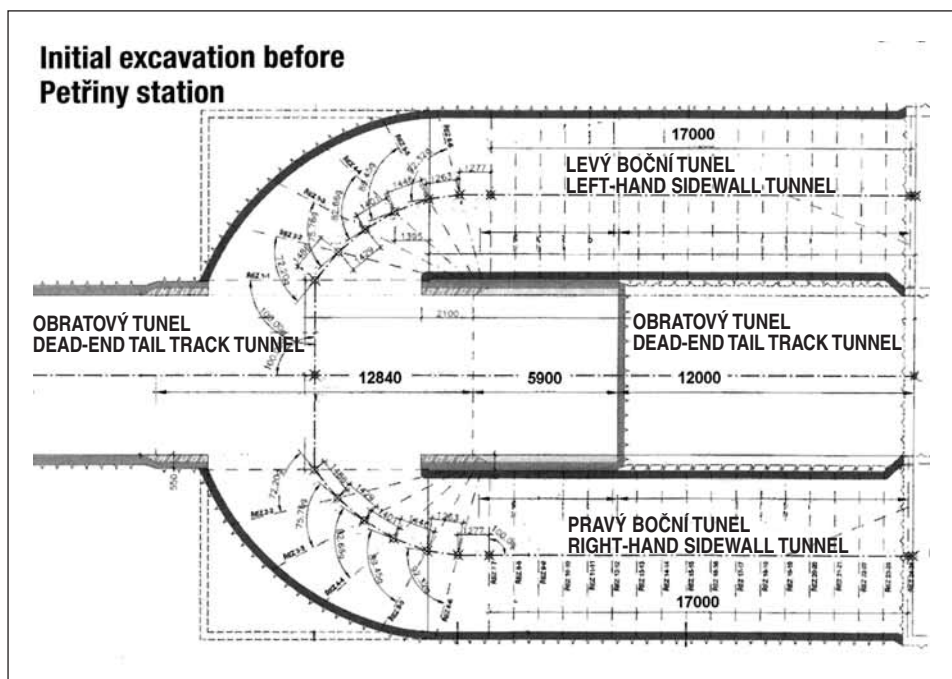
### PETŘINY SINGLE-SPAN STATION

Petřiny mined single-span station is 217 m long. The excavated cross-sectional area is 256 m<sup>2</sup>, the excavated opening width and height on the tunnel centre line are 22 m and 15.5 m, respectively.

The station tunnel profile height is enlarged by 1.5 m within a short, 34.5 m long section. The space of a terrain depression in Břevnov, between Bělohorská and Ankarská Streets, in the vicinity of the Na Vypichu intersection, was selected for the construction of this station and adjacent running tunnels heading toward Motol station. This location is very suitable for the development of such an extensive construction because of the fact that access routes to the metro alignment overcome smaller differences in levels owing to a terrain depression. In addition, the great distance from residential buildings eliminates all complaints from residents about dust emission and noise within the construction site area. Another benefit was the expansion of the original land acquisition area by adding an area in the vicinity of a tram loop to be used for a stockpile for segmental lining rings for single-track tunnels driven using EPB shields.

It was possible in this location to develop a descending access ramp and an access tunnel for the driving of the double-track running tunnel in the direction of Motol station and the operational hinterland for the excavation of single-track tunnels inclusive of a 20 m-diameter circular shaft, which was used for the assembly of full-face tunnelling machines and the transport of lining segments for single-track tunnels. According to the tender documents, Petřiny station itself was to be driven from single-track running tunnels after moving the complete tunnelling shield backup to E2 construction site. It means that the driving of both 1930 m long single-track running tunnels, including the





Obr. 1 Půdorys rozrážek před stanicí Petřiny  
Fig. 1 Ground plan of opening drifts before Petřiny station

používanou dopravu nákladními auty jsou světlé profily traťových tunelů nedostatečné a ve svém důsledku by to znamenalo prodloužení doby výstavby stanice. Z těchto důvodů byl ze zařízení staveniště v Břevnově vyražen nový přístupový tunel délky 343 m zaústěný do středního obrátového tunelu stanice Petřiny. Část tohoto tunelu v délce 143 m bude v definitivním stavu využívána pro strojovnu hlavního větrání metra a větrací kanál. Tyto technologické prostory měly být původně umístěny vně trasy tunelů. Nová poloha strojovny hlavního větrání je jak z hlediska výstavby, tak i z hlediska provozu příznivější než původní poloha. Tím, že byl střední obrátový tunel ražen v předstihu, muselo být primární ostění navrženo tak, aby umožňovalo následnou ražbu přilehlých traťových tunelů razičímí štíty bez jakýchkoli doplňkových opatření. Při realizaci se prokázalo, že deformace primárního ostění obrátového tunelu byly malé. Příznivé bylo i to, že sekundární monolitické ostění středního obrátového tunelu bude prováděno s velkým časovým odstupem, kdy bude již horninový masiv v okolí tunelů zcela stabilizován. V zadávací dokumentaci byl předpokládán opačný postup a uvažovalo se s rozepřením montovaného ostění traťových tunelů při následné ražbě středního obrátového tunelu. Z dnešního pohledu je možno konstatovat, že výše uvedenou změnou postupu výstavby stanice Petřiny byla doba potřebná pro realizaci zkrácena minimálně o 1 rok.

Velmi náročný byl způsob rozrážek pro přechod ražeb ze středního odstavného tunelu umístěného v ose stanice do bočních výrubů staničního tunelu. Boční výrubu musely umožnit následné protažení štítů, zároveň musel být zachován profil budovaného středního obrátového tunelu. Díky tomu vznikly velmi subtilní dělicí stěny mezi těmito výrubu, které byly na hraně statické únosnosti a jen díky velmi příznivým geotechnickým parametrům křídlových vrstev v nadloží tunelu nevznikly žádné problémy (obr. 1). Z dnešního pohledu, po dokončení ražeb a zhodnocení jejich časové náročnosti, lze konstatovat, že by bylo vhodnější tyto rozplety přesunout do prostoru staničního tunelu a protiražbou je v závěru prací při dokončování výrubu staničního tunelu likvidovat. Je nutné ale poznamenat, že realizované řešení bylo motivováno obavou zhotovitele, že nebudou včas dokončeny ražby bočních výrubů staničního tunelu pro protažení razičích štítů stanicí. Tím by se opoždily ražby traťových tunelů navazujících na stanici Petřiny.

pulling of the shields through the about 200 m long Velešlavín station, would have to be finished prior to the station excavation. There was a condition that a large-capacity rail-bound system of the transportation of muck during the driving of running tunnels would be used.

After taking into consideration the consumption of time for individual operations during the removing of muck from running tunnels in two variants – large-capacity rail-bound transport and transport on belt conveyors – it was decided that machines with belt conveyors removing the muck would be used. However, this system would have seriously complicated the subsequent underground excavation of the station. Net profiles of the running tunnels are insufficient for common transport by trucks and their use would mean extension of the station construction duration. The station was therefore excavated first. For these reasons a new, 343 m long,

access tunnel was driven from the construction site in Břevnov. It was connected to the dead-end tail track section of the central station tunnel of Petřiny station. In the final state, an about 143 m long section of this tunnel will be used for the main metro ventilation plant and a ventilation duct. Originally, these service rooms were to be located outside the alignment of the tunnels. The new location of the main ventilation plant is more advantageous than the original location in terms of both the construction works and the operation. Because of the fact that the dead-end tail track section of the central station tunnel was driven in advance, the primary lining had to be designed in a way guaranteeing that the subsequent excavation of the adjacent running tunnels by tunneling shields would be possible without any additional measure. It turned out during the construction that deformations of the primary lining of the dead-end tail tunnel were small. The fact that the cast-in-situ secondary lining of the dead-end tail tunnel was to be installed at a significant time lag, when the ground mass surrounding the tunnel had been completely stabilised, was also favourable. The tender documents assumed a reverse process with the bracing of the segmental lining of running tunnels during the subsequent excavation of the central station tunnel. In retrospect, it is possible to state that, owing to the above-mentioned change in the process of Petřiny station construction, the time necessary for the realisation was reduced at least by one year.

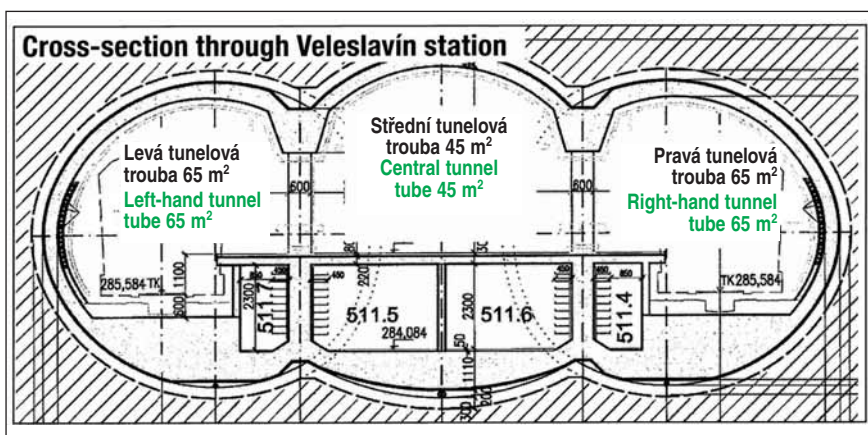
Very thin dividing walls therefore originated between the drifts owing to this system. The walls were at the limit of the carrying capacity and it was only thanks to very favourable geotechnical parameters of the Cretaceous strata in the tunnel overburden that no problems originated (see Fig.1). From today's perspective, after the completion of the excavation operations and after assessing their demands for time, it is possible to state that it would have been more advantageous to shift these wyes to the area of the station tunnel and liquidate them at the conclusion of the work by means of counter-headings when the station tunnel excavation was being finished. On the other hand, it must be stated that the realised solution was motivated by the construction contractor's fear that the excavation of the sidewall drifts for the station tunnel required for the pulling of the tunnelling shields through the station would not be completed in



Obr. 2 Veleslavín – portál ražené trojlodní stanice  
Fig. 2 Veleslavín – portal of the mined triple-span station

V době vjezdu štítů do jednolodní ražené stanice Petřiny byly vyraženy oba boční dílčí výruby a na začátku stanice byly tyto výruby propojeny do plného jednolodního profilu na délku cca 20 m. Pro protažení štítů stanicí bylo nutné v předstihu upravit čelní stěnu pro jejich vjezd, vybudovat lůžka pro protažení bočními výrubu a vyrazit startovací komory pro zahájení ražeb dalšího tratěvého úseku. Z prostorových důvodů nebylo možné v raženém díle použít pro start štítů opěrný obdélníkový ocelový rám. Místo toho byl ve startovací komoře navržen kotvený železobetonový věnec sprážený s vnitřním ocelovým pláštěm ve tvaru polygonu. Po zjetí štítů do komory byly k ocelovému věnci přivařeny konzoly podpírající ocelový roznašecí prsteneček. Ten umožnil opěření lisů a další start štítů.

U stanice Petřiny a obdobně i u stanice Červený Vrch bylo nutno vyřešit technicky velmi náročný uzel průniku profilu výtahové šachty do klenby staničního tunelu. Výtahová šachta této stanice má půdorys ve tvaru elipsy s délkou hlavní poloosy výrubu 5,5 m a vedlejší poloosy výrubu 4,6 m (plocha výrubu je 82,5 m<sup>2</sup>). Pro porovnání celková šířka výrubu staničního tunelu je 22 m a šířka otvoru pro výtahovou šachtu je 9,2 m. Byl navržen následující postup. Nejprve je prováděna betonáž klenby definitivního ostění staničního tunelu tak, aby pracovní spára mezi pasy byla umístěna přibližně do středu budoucího otvoru v klenbě staničního tunelu. Zároveň se provádí příčné provizorní rozeprání neuzavřené části klenby definitivního ostění staničního tunelu v místě budoucího prostupu. Po technologické pauze potřebné pro vytvrdnutí betonu je možné pokračovat ve hloubení výtahové šachty. Jako nosná konstrukce pro ochranný poval na dně výtahové šachty je využíváno provizorní rozeprání klenby staničního tunelu. Po dohloubení



Obr. 3 Veleslavín – řez trojlodní stanicí  
Fig. 3 Veleslavín – cross-section through the single-span station

time. It would have caused a delay in the excavation of the running tunnels linking Petřiny station.

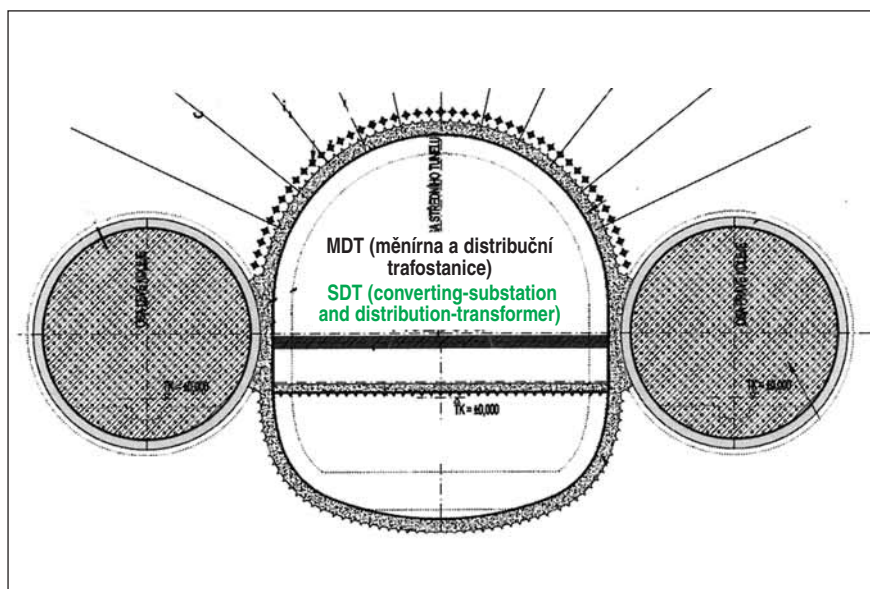
At the moment of the arrival of the shields at Petřiny single-span station, the excavation of both sidewall drifts had been finished and these drifts were interconnected at the beginning of the station to form an about 20 m long section with the full single-span tunnel profile. To allow the pulling of the shields through the station, it was necessary in advance to adjust the front wall to the requirements of their passage, to build beds for the pulling through the sidewall drifts and to excavate launching chambers for the starting of the excavation of the next track section. A rectangular thrust reaction steel frame could not be used in the completed excavation for the reasons of space. An anchored reinforced concrete collar interlocked with the polygonal internal steel jacket was designed for the launching chamber. When the shield had entered the chamber, brackets supporting the steel pressure-spreading ring were welded to the steel ring. It provided the reaction for rams and made the re-launching of the shield possible.

Regarding Petřiny station and Červený Vrch station alike, it was necessary to solve a technically very complicated node where the lift shaft intersected with the station tunnel vault. The lift shaft of this station is elliptical in ground plan, with the transverse semi-major axis and semi-minor axis of the excavated cross-section 5.5 m and 4.6 m long, respectively (the excavated cross-sectional area is 82.5 m<sup>2</sup>). For the purpose of comparison, the total width of the station tunnel excavated cross-section is 22 m and the width of the opening for the lift shaft is 9.2 m. The following procedure was proposed: The first operation comprises the casting of the concrete vault of the final lining of the station tunnel, with the construction joint between the casting blocks located approximately in the centre of the future opening in the station tunnel vault. At the same time, transverse temporary bracing of the unclosed part of the final station tunnel vault is installed in the location of the future opening. After the technological break required for the hardening of concrete is over, it is possible to proceed with the sinking of the lift shaft. The temporary bracing of the station tunnel vault is used as a carrying structure for a protective staging at the lift shaft bottom. When the sinking of the lift shaft is finished, the casting of the final concrete lining of the shaft is completed and it is possible to remove the temporary bracing of the station tunnel vault.

## VELESLAVÍN STATION

This is the only triple-span station on this metro extension line and, at the same time, the first mined triple-span station ever driven on Prague metro using the NATM (see Figures 2 and 3). The structural design was affected first of all by the following factors: The small height of the overburden and the less favourable geological conditions; the crossing of the metro alignment with Evropská Street, which is a very significant arterial transport route in Prague. Owing to this fact the construction of a cut-and-cover station is excluded. In addition, there was an effort to design the sizes of the cross-sections of the initial side-wall drifts for the station sufficient to allow the application of efficient tunnelling equipment and the subsequent effective realisation of the final reinforced concrete lining including a system of longitudinal internal girders and supports (columns in the platform space and dividing walls in the station part designed for equipment and service purposes). Of course, we also used our long-time experience in the construction of triple-span stations and tried to eliminate restrictions following from the technology of





Obr. 4 Veleslavín – řez technologické části stanice

Fig. 4 Veleslavín – cross-section through the equipment and services part of the station

výtahové šachty se dokončí betonáž definitivního ostění šachty a bude možné odstranit provizorní rozeprání klenby staničního tunelu.

## STANICE VELESLAVÍN

Je to jediná trojlodní stanice na této stavbě a zároveň první ražená trojlodní stanice na pražském metru realizovaná technologií NRTM (obr. 2, obr. 3). Její konstrukční řešení ovlivnily především následující faktory. Malá výška nadloží a méně příznivé geologické poměry. Dále je to křížení trasy metra s velmi významnou dopravní tepnou Prahy, ulicí Evropskou. To vylučuje možnost realizace hloubené stanice. Dále to byla snaha navrhnout úvodní výrubu bočních staničních tunelů dostatečně velké, aby umožňovaly nasazení výkonné razicí techniky a také usnadnily realizaci definitivního železobetonového ostění včetně systému podélných vnitřních průvlaků a podpor (sloupů v prostoru nástupiště a dělících stěn v technologické části stanice). Samozřejmě jsme využili i naše dlouholeté zkušenosti z projektování trojlodních stanic na pražském metru a snažili se eliminovat omezení, která vyplývala z technologie ražby staničních tunelů prstencovou metodou.

U dříve budovaných stanic byly prostory mezi pilíři zpočátku 3 m, později na dalších provozních úsecích metra byly rozšířeny na 3,75 m. Na stanici Veleslavín je osová vzdálenost sloupů 6 m a šířka prostupu je 5,2 m (půdorysné rozměry sloupů jsou 0,8x0,6 m). Stanice s takto velkou vzdáleností podpor v podélném směru bude působit prostorně a svým charakterem bude odpovídat hloubeným stanicím, např. stanice I. P. Pavlova na trase C.

V průběhu realizace bylo dispoziční řešení stanice Veleslavín zásadně změněno. Podle zadávací dokumentace mělo být v ražené části stanice umístěno nástupiště a na něj navazovat technologický tunel s největšími technologickými celky, jako je měničrna a distribuční transformovna (MDT) atd. Toto dispoziční řešení technologické části ražené stanice vyplývalo z osvědčené koncepce mnoha dříve realizovaných ražených trojlodních stanic pražského metra (obr. 4). V hloubené části stanice na opačné straně nástupiště byly umístěny především výstupní eskalátory, výtahy a podpovrchový vestibul. V průběhu realizace je do ní zaústěna sjezdová rampa sloužící pro výstavbu obou částí stanice.

Výstavba byla opožděna zejména kvůli nedořešeným majetkoprávním vztahům u některých pozemků, které bylo potřeba využívat při realizaci stanice. Také občasně potíže se stabilitou čelby při ražbě bočních staničních tunelů zpomalovaly postup výstavby. To vše umocňovalo obavy zhotovitele, že nebudou

the excavation of station tunnels using the Ring Method.

In stations constructed in the past, the openings between pylons were initially 3.0 m wide; later, on other operating metro sections, their width was enlarged to 3.75 m. As far as Veleslavín station is concerned, the columns are spaced 6.0 m on centres and the openings are 5.2 m wide (the ground plan dimensions of columns are 0.8 x 0.6 m). The space of the station with this large longitudinal spacing of supports will appear to be free and the station character will correspond to cut-and-cover stations, such as I. P. Pavlova station on the Line C.

The layout of Veleslavín station was principally changed during the course of the construction works. According to the final design, the platform was to be located in the mined part of the station and an equipment and services tunnel housing major equipment complexes, such as the converting-substation-and-distribution-transformer (the SDT) etc. was to be connected to it. This layout of the equipment and services part of the mined station followed

from the well-proven concept of the earlier constructed mined triple-span stations on the Prague metro network (see Fig.4). The cut-and-cover part of the station on the opposite side of the platform was to contain first of all exit escalators, lifts and a subsurface concourse. The descending access ramp used for the construction of both parts of the station is connected to this cut-and-cover part.

The construction of the station was delayed first of all because of the unfinished solution to real property rights regarding some plots of land the use of which was necessary during the construction of the station. In addition, occasional difficulties with the stability of the excavation face during the driving of side-wall station tunnels decelerated the construction progress. All of that amplified the fears of the contractor that the driving of the side-wall station tunnels would not be finished in time and, as a result, the driving of running tunnels to be carried out using earth pressure balance (EPBS) shields, which were to be pulled through the station and proceed further in the direction of Červený Vrch station, would be delayed. The designer submitted a proposal for a change in the concept of the construction of the station equipment and services tunnel and for the replacement of the enlarged-width running tunnels driven on its sides using the NATM by the excavation of running tunnels using the EPBS machines. The proposal for this change was approved by the project owner within a short interval of time and the side-wall station tunnels were prepared in the extent required for the construction of the platform for the pulling of the full-face tunnelling machines through. Anyway, the discussions about the possibilities of accelerating the construction of the equipment and services tunnel continued. Various proposals were examined. For example, it was the relocation of the SDT to a cut-and-cover structure located at the distance of about 200 m from the station (the unviability of this solution was proved). The variant containing the moving of the SDT to the opposite side of the station, to the cut-and-cover part, was eventually chosen (see Fig.5). A space for other service rooms will be created by expanding and deepening of the construction pit for the subsurface concourse and using the space of a part of the descending ramp. Even this change was approved by the project owner and is currently being realised. In the definite solution which is being realised, the mined station section is 100 m long. The total width of the excavated cross-section is 22.1 m (at the track centre distance of 15 m) and the maximum

včas vyraženy boční staniční tunely, a tím se opozdí ražba traťových tunelů prováděná zeminovými štíty EPBS, které měly být stanicí protaženy a pokračovat dále směrem ke stanici Červený Vrch. Projektant předložil návrh změny koncepce výstavby technologického tunelu stanice a náhradu rozšířených traťových tunelů, ražených technologií NRTM po jeho bocích, ražbou traťových tunelů zeminovými štíty EPBS. Návrh změny byl v krátkém časovém intervalu schválen investorem a boční staniční tunely byly v rozsahu nezbytném pro výstavbu nástupiště připraveny pro protažení razicích strojů. I nadále probíhaly diskuse, jak urychlit výstavbu technologického tunelu. Byly prověřovány různé návrhy. Například přemístění MDT do hloubeného objektu vzdáleného od stanice cca 200 m (prokázala se nereálnost tohoto řešení). Nakonec byla zvolena varianta přemístění MDT na opačnou stranu stanice do hloubené části (obr. 5). Rozšířením a prohloubením stavební jámy podpovrchového vestibulu a využitím prostoru části sjezdové rampy se vytvoří prostor pro další technologické prostory. I tato změna byla investorem schválena a v současné době se realizuje. V definitivním řešení, jak se stanice realizuje, má ražená část délku 100 m. Celková šířka výrubu je 22,1 m (při osové vzdálenosti kolejí 15 m) a max. výška výrubu ve středním tunelu je 10 m.

Navržené koncepční řešení stanice Veleslavín má jeden důležitý konstrukční detail. Je to vodotěsná mezilehlá izolace, respektive detaily napojování izolací v bočních staničních tunelech na izolace prováděné následně ve středním staničním tunelu. Po delších diskusích mezi projektanty a odpovědnými pracovníky zhotovitele stavby bylo rozhodnuto nahradit fóliovou izolaci z PVC, uvažovanou v zadávací dokumentaci, stříkanou izolací. Jedním z hlavních důvodů byla právě větší spolehlivost detailu napojování izolací. Jako pojistný systém izolací je uvažováno vodonepropustné definitivní monolitické ostění. Všechny pracovní spáry jsou ošetřeny jako vodotěsné a je zvětšeno množství ocelové výztuže tak, aby konstrukce vyhověla na vznik trhlin do velikosti 0,3 mm.

## STANICE ČERVENÝ VRCH

Tato stanice je další jednolodní stanice na trase V.A. Délka stanice je 193 m a v převážném rozsahu má plochu příčného profilu výrubu 223,7 m<sup>2</sup>. Úvodní západní část stanice v délce 35 m má zvýšený profil o 0,65 m, a tím je i zvětšena plocha výrubu na 243,2 m<sup>2</sup>. Šířka výrubu je 21,3 m a max. výška v ose tunelu je 14,2 m, ve zvýšeném profilu 14,85 m. Na rozdíl od

height of the central tunnel excavated cross-section is 10m.

The proposed conception of the Veleslavín station structure has one important structural detail, the intermediate waterproofing system, or details of the connection of waterproofing layers in the side-wall station tunnels to waterproofing layers installed subsequently in the central station tunnel. After rather lengthy discussions among designers and responsible personnel of the construction contractor, the decision was made that the PVC waterproofing membrane assumed in the final design would be replaced by a spray-on membrane. One of the main reasons was the higher reliability of the detail of jointing of the waterproofing membranes. The definite cast-in-place lining is considered to be watertight. All construction joints are treated as watertight structures and the amount of steel reinforcement is increased so as to ensure that they satisfy the criterion for cracks to be up to 0.3 mm wide.

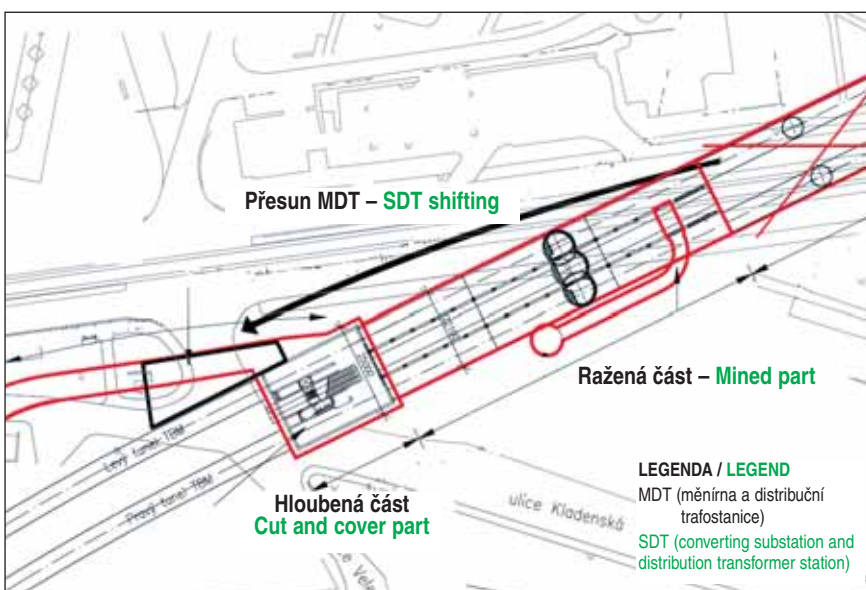
## ČERVENÝ VRCH STATION

This station is another single-span station on the Line V.A. It is 193 m long and the excavated cross-sectional area within a greater part of its length is 223.7 m<sup>2</sup>. The height of the cross-section of the initial 35 m long western part of the station is enlarged by 0.65m, which means that the cross-sectional area is increased to 243.2 m<sup>2</sup>. The excavated cross-sectional width is 21.3 m and its maximum height on the tunnel axis is 14.2 m (14.85 m in the enlarged-height profile). In contrast with Petřiny station, this station was constructed from a very constrained construction site located in a public greenery area in Kladenská Street, near the intersection with K Lánu Street. The roofed shed which was built at the foot of the slope where the access tunnel portal is located significantly reduced the negative impact of the construction on the neighbouring residential area.

It is paradoxical that the much larger and more suitable plot between Liberijská, Kladenská and Evropská Streets, which had been earmarked in the Prague Master Plan for the construction of metro, has recently been sold to a private company for the development of an administrative centre. This project has not been realised owing to the economic depression and the plot still remains undeveloped.

But let us return to the construction process for this station. The 120 m long access tunnel which was proposed for the construction of the station was connected to the upper part of the western face of the station tunnel. In the definite state, the major part of this tunnel will be used for the main metro ventilation system, which is the reason for this unusual position of the connection.

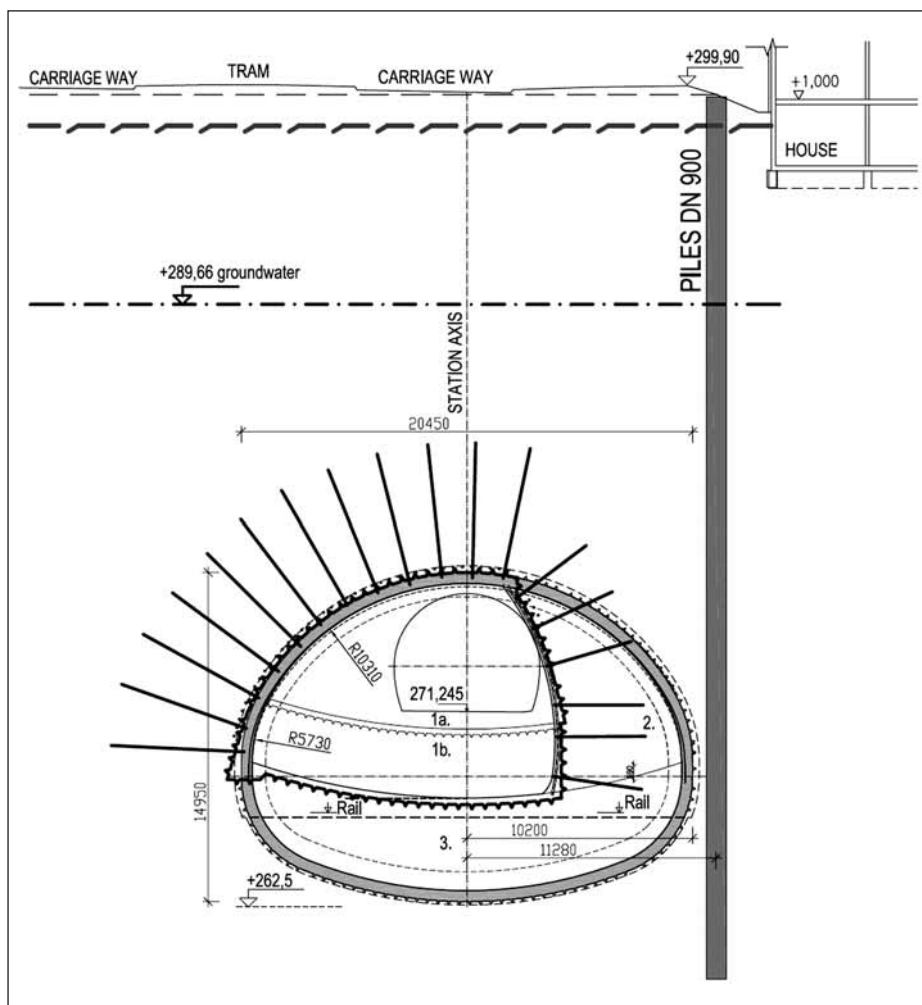
According to the final design, layers of competent Skalec quartzites were expected to be encountered in the area of the about 60 to 70 m long initial part of the station. The system of opening drifts which was designed on the basis of this assumption made the transition to the driving of the station tunnel side-wall drifts possible after approximately 35 m. It was planned that the central part of the top heading was to be excavated and be subsequently symmetrically enlarged up to the full top heading width. These assumptions were not confirmed during the course of the excavation of the final part of the access tunnel. Instead, clayey-silty shales with irregularly emerging relatively thin layers of sound quartzites were encountered. A critical situation existed first of all on the southern side of the station (on the right-hand side if viewed in the direction of the excavation), where weathered and intensely faulted shales were encountered. Survey boreholes



Obr. 5 Veleslavín – přesun technologické části stanice

Fig. 5 Veleslavín – transfer of the equipment and services part of the station

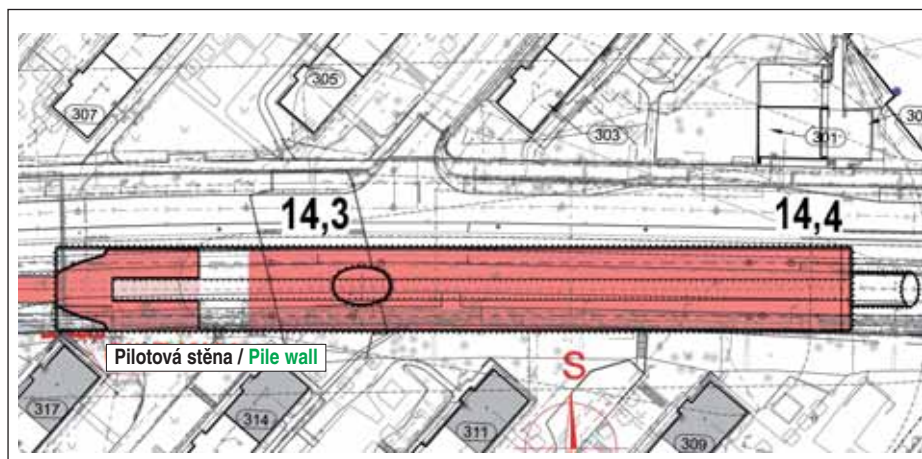




Obr. 6 Červený Vrch – pilotová stěna pro omezení poklesů  
Fig. 6 Červený Vrch – settlement restricting pile wall

stanice Petřiny byla tato stanice realizována z velmi stísněného zařízení staveniště situovaného do prostoru veřejné zeleně v ulici Kladenská u křižovatky s ulicí K lánu. Na úpatí svahu, kde je umístěn portál přístupového tunelu do trasy metra, byla postavena zastřešená hala, která výrazně omezila negativní vliv stavby na okolní obytnou zástavbu.

Je paradoxní, že mnohem větší a vhodnější pozemek mezi ulicemi Liberijská, Kladenská a Evropská dříve rezervovaný v územním plánu Praha pro výstavbu metra, byl před časem prodán soukromé společnosti pro stavbu obchodně-administrativního centra. Kvůli hospodářskému útlumu se tento objekt nerealizoval a pozemek je stále nezastavěný.

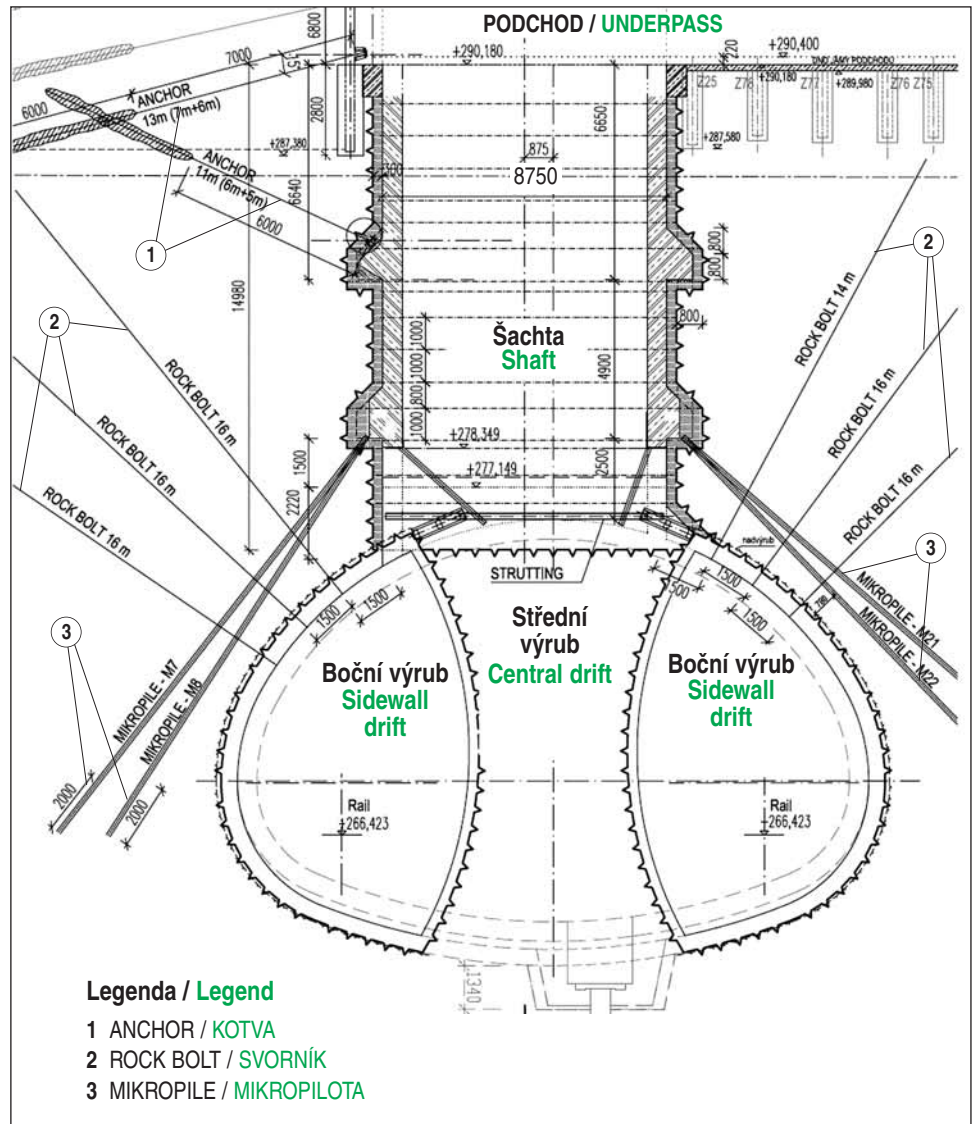


Obr. 7 Červený Vrch – situace  
Fig. 7 Červený Vrch – layout

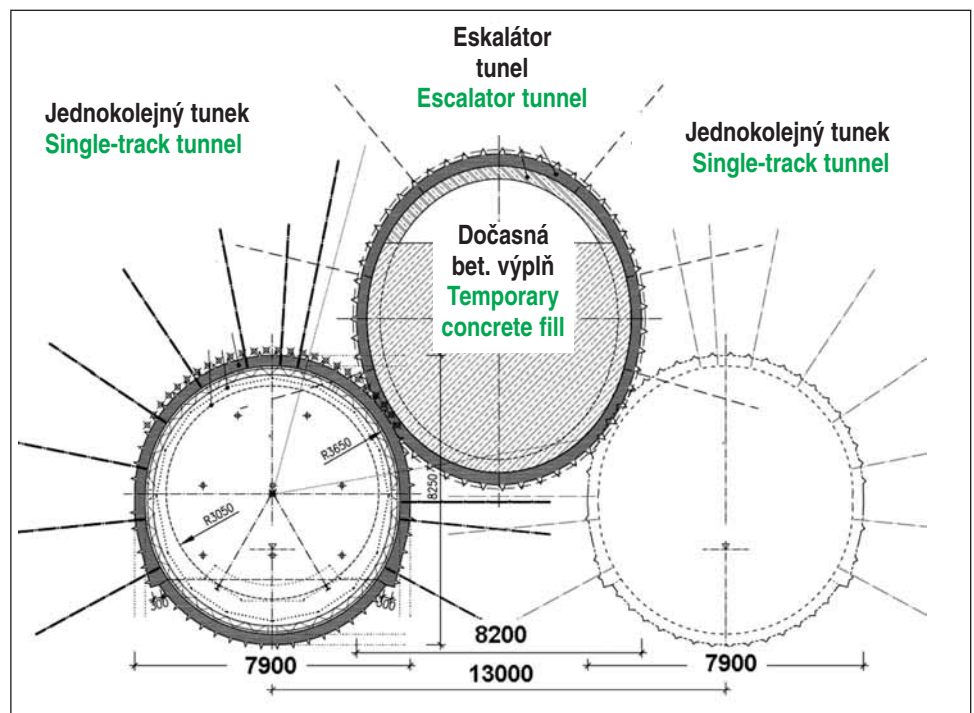
were carried out both from the access tunnel face and from the terrain surface. They were intended to locate the extent of the weakness zone. There were fears there that the terrain surface would settle during the enlarging of the top heading excavation width toward the southern (right-hand) side of the station tunnel, potentially causing defects to a block of panel houses in Kamerunská Street. The front wall of the block of buildings is situated nearly above the side wall of the station tunnel. The designer proposed as a supplementary measure that an about 10 m long pile wall should be installed along the station side in the critical location (see Figures 6 and 7). Bored piles 900 mm in diameter were carried out to the depth of 40 m. They were intended to reduce contingent settlement and, at the same time, to exclude the risk of the origination of overbreaks during the work on the side-wall drift for the station. A mathematical model was developed, simulating the further advance of the excavation. The model showed that the piles would not prevent the undesired settlement behind the pile wall, unless sufficiently competent ground was under the bottoms of the piles. After consultations with specialists of Zakládání a. s., it was proposed that the piles would be cast into a plastic membrane jacket. This system significantly reduced the skin friction and ensured the correct function of the piles. This assumption was confirmed during the construction, where only very small subsidence up to 18 mm originated during the underground excavation, with the maximum differential settlement amounting to 1:2872 and the tilting of the front wall reaching 1:1857. Identically with Petřiny station, it was necessary even in this case to solve the process of the construction of the station tunnel and a lift shaft in the point of their intersection. It was necessary to design a completely different procedure for this station. As mentioned above, the station tunnel excavation progress was decelerated owing to worsened geological conditions. Conversely, the shaft sinking operations were linked in terms of time with the construction of the pedestrian subway under Evropská Street and the deadline could not be changed. The deadline was determined by the deadline set for the closure of traffic on a half of the four-lane road and by the partial restriction of tram traffic running along this busy street. For these reasons the excavation of the shaft pit was completed during the time at which only the side-wall drifts for the station tunnel were completed. As obvious from Fig. 8, it was necessary to brace the tops of the vaults of the side-wall drifts prior to the excavation of the central part of the station and subsequently even during the casting of the final concrete lining. The lift shaft of this station is elliptical in ground plan, with the transverse semi-major axis and semi-minor axis of the excavated cross-section of 7.0 m and 5.0 m long, respectively (the excavated cross-sectional area is 105.95 m<sup>2</sup>).

Vrátíme se ale k postupu výstavby této stanice. Pro výstavbu stanice byl navržen přístupový tunel v délce 120 m, zaústěný do horní části západního čela staničního tunelu. Převážná část tohoto tunelu bude v definitivním stavu využívána pro systém hlavního větrání metra, což je důvodem neobvyklé polohy zaústění.

Podle zadávací dokumentace byly v prostoru úvodní části stanice očekávány v délce cca 60 až 70 m polohy pevných skalečných křemenců. Na základě tohoto předpokladu byl navržen způsob rozrážek, aby bylo možné po cca 35 m přejít na ražbu bočních výrubů staničního tunelu. Měla být vyražena střední část kaloty a následně rozšiřována symetricky až na její plnou šířku. Tyto předpoklady se při ražbě závěrečné části přístupového tunelu nepotvrdily. Byly zastíženy jílovitoprachovité břidlice s nepravidelně vystupujícími polohami pevných křemenců relativně malých mocností. Kritická situace byla zejména na jižním boku (ve směru ražby na pravém boku) stanice, kde byly zastíženy zvětralé břidlice, tektonicky intenzivně porušené. Byly provedeny průzkumné vrty jak z čela přístupového tunelu, tak i z povrchu, aby lokalizovaly rozsah poruchové zóny. Byla obava, že při rozšiřování výrubu kaloty do jižního (pravého) boku staničního tunelu budou na povrchu terénu poklesy, které mohou způsobit poruchy na bloku panelových domů v Kamerunské ulici. Čelní stěna bloku domů je situována téměř nad bokem staničního tunelu. Projektant navrhl jako doplňkové opatření provést v kritickém místě podél boku stanice pilotovou stěnu v délce cca 10 m (obr. 6, obr. 7). Byly realizovány vrtané piloty 900 mm do hloubky 40 m. Ty měly jednak omezit případné poklesy a zároveň vyloučit nebezpečí vzniku nadvylomů při ražbě bočního výrubu stanice. Byl vytvořen matematický model, který simuloval další postup ražby. Model ukázal, že pokud pod patou pilot nebudou dostatečně pevné horniny, nezabrání piloty nežádoucím poklesům za pilotovou stěnou. Po konzultacích se specialisty firmy „Zakládání“ byla navržena betonáž pilot do fóliového pláště. Tím bylo výrazně sníženo pláštové tření a zaručena správná funkce pilot. To potvrdila realizace a na povrchové zástavbě vznikly při ražbě jen zanedbatelné velmi malé poklesy cca do 18 mm,



Obr. 8 Červený Vrch – výtahová šachta  
Fig. 8 Červený Vrch – lift shaft



Obr. 9 Červený Vrch – řez eskalátorovým tunelem a traťovými tunelem na konci stanice  
Fig. 9 Červený Vrch – cross-section through escalator tunnel and running tunnels at the end of the station



příčměž poměr nerovnoměrného sedání je max. 1:2872 a náklon čelní stěny dosáhl hodnoty 1:1857.

Stejně tak jako u stanice Petřiny zde bylo nutné vyřešit postup výstavby staničního tunelu a výtahové šachty v místě jejich styku. Na této stanici to bylo nutné navrhnout zcela jiným způsobem. Jak již bylo výše uvedeno, byl kvůli zhoršeným geologickým poměrům zpomalen postup ražby staničního tunelu. Naopak hloubení šachty bylo časově svázáno s realizací podchodu pod ulici Evropskou a nebylo možné měnit termín. Ten byl stanoven termínem uzávěry poloviny čtyřpruhové komunikace a částečným omezením tramvajového provozu v této frekventované ulici. Z těchto důvodů byla výtahová šachta dohlubována v době, kdy byly vyraženy jen boční výrubu staničního tunelu. Jak je patrné z obrázku 8, bylo nutné provádět rozpírání vrcholů kleneb bočních výrubů před ražbou střední části stanice a následně i při betonáži definitivního ostění. Výtahová šachta této stanice má půdorys ve tvaru elipsy s délkou hlavní poloosy výrubu 7 m a vedlejší poloosy výrubu 5 m (plocha výrubu je 105,95 m<sup>2</sup>).

Dalším zajímavým detailem bylo zaústění eskalátorového tunelu do čela staničního tunelu. Zde opět kvůli opožděné ražbě staničního tunelu byla ražba eskalátorového tunelu dokončena v době, kdy byly vyraženy pouze boční výrubu. Po dobrých zkušenostech z ražby předchozích dvou stanic chtěl zhotovitel vyrazit do čela staničního tunelu startovací komory pro štíty. Jak je vidět z obrázku 9, je primární ostění startovacích komor a eskalátorového tunelu v kritickém místě (průnik eskalátorového tunelu do čelní stěny stanice) v přímém kontaktu. Je zcela logické, že by měly být nejdříve vyraženy startovací komory včetně osazení montovaného ostění traťových tunelů a pak by měla být dokončena ražba eskalátorového tunelu. To v daném případě nebylo z časových důvodů možné. Proto se zhotovitel rozhodl po dokončení sekundárního ostění eskalátorového tunelu jej v délce cca 3 m zabetonovat. Betonová zátka chránila definitivní ostění eskalátorového tunelu před nežádoucími deformacemi při následné ražbě startovacích komor. Po dokončení montáže ostění traťových tunelů byla odstraněna (obr. 10).

## ZÁVĚR

V posledních letech dosáhlo české tunelářské stavitelství výrazného pokroku. Důkazem toho jsou i realizovaná díla na stavbě trasy V.A pražského metra. Byly vyraženy další dvě jednolodní stanice a dokončuje se ražba trojlodní stanice s novou koncepcí konstrukčního řešení a postupem výstavby. Je třeba rovněž připomenout úspěšné dokončení výstavby traťových tunelů pomocí razicích štítů EPBS. Lze jen doufat, že zkušenosti českých tunelářských společností získané v posledních letech jak při výstavbě metra, tak i na jiných stavbách budou využity i při realizaci nové trasy D pražského metra, která se v současné době projekčně připravuje.

**ING. JIŘÍ RŮŽIČKA,**  
**METROPROJEKT Praha a. s.**

*Recenzoval: doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.*



**Obr. 10 Červený Vrch – pohled na konec stanice**  
**Fig. 10 Červený Vrch – view of the station end**

Another interesting detail was the connection of the escalator tunnel to the front end of the station tunnel. In this case, again owing to the delayed excavation of the station tunnel, the excavation of the escalator tunnel was finished at the moment when only the excavation of the side-wall tunnels was completed. After the good experience in driving the previous two stations, the contractor wanted to excavate launching chambers for the shields in the face of the station tunnel excavation. As visible in Fig. 9, the primary linings of the launching chambers and the escalator tunnel in the critical location (the intersection of the escalator tunnel with the station tunnel front wall) are at direct contact. It is fully logical that the launching chambers should be excavated in the first place, including the installation of the segmental lining of running tunnels, and only then should the driving of the escalator tunnel be completed. However, this sequence of operations was not possible for reasons of time. The contractor therefore decided to backfill an about 3 m long section of the escalator tunnel with concrete once its excavation was finished. The concrete plug protected the final lining of the escalator tunnel against undesired deformations during the subsequent excavation of the launching chamber. It was removed after the installation of the lining in the running tunnels (see Fig. 10).

## CONCLUSION

The Czech tunnel construction industry has achieved significant progress during previous years. The workings realised on the construction of the Line V.A of Prague metro also prove that this statement is true. The excavation of two new single-span stations was completed and the excavation of a triple-span station, using a new concept of the structural design and construction procedure, is being finished. It is also necessary to remember the successful completion of the driving of tunnels using EPB shields. It is only possible to hope that the experience gathered in previous years by Czech tunnel construction companies during the construction of the metro and other underground structures will even be applied to the development of the new line of Prague metro, the Line D, the design for which is currently under preparation.

**ING. JIŘÍ RŮŽIČKA,**  
**METROPROJEKT Praha a. s.**

## LITERATURA / REFERENCES

Dokumenty z archivu firmy Metroprojekt Praha a. s.

# PRÍKLADY VYUŽITIA CHEMICKEJ INJEKTÁŽE PRI RAZENÍ TUNELOV

## GROUTING FOR SOIL IMPROVEMENT AND WATERPROOFING: GROUTMASTER SR10 AND SELECTED CASE HISTORIES

CARLA L. ZENTI, JOZEF SŇAHNIČAN

### 1 ÚVOD

Technológia injektovania za účelom zníženia priepustnosti a zlepšenia fyzikálno-mechanických vlastností horninového prostredia sa používa desiatky rokov v rôznych stavebných aplikáciách. Tento príspevok sa venuje chemickej injektáži a výhodám výrobku Groutmaster SR10, ktorý je patentovaným výrobok firmy Elas Geotecnica vyvinutý pre použitie v zeminách s nízkym súčiniteľom filtrácie.

Injektáž je možné definovať ako proces riadeného injektovania „fyzikálnych vlastností“ do horninového prostredia pre geotechnické účely. Injektáž horninového prostredia môžeme rozdeliť na výplňovú injektáž, zhutňovaciu injektáž, klakáž, injektáž puklín, prúdovú injektáž, penetračnú injektáž. V tomto článku autori venujú pozornosť chemickej injektážnej zmesi, ktorá sa realizuje penetračnou injektážou. Penetračná injektáž je definovaná ako vyplňovanie dosiahnutelných pórov medzi pevnými časticami v priepustnej zemine injektážnou zmesou bez porušenia štruktúry zeminy. Táto technológia sa používa na znižovanie priepustnosti horninového prostredia a ovplyvňovanie prúdenia podzemnej vody, avšak dá sa použiť i na spevňovanie. Chemická injektážna zmes bola vyvinutá v reakcii na potrebu zvyšovať pevnosť a usmerňovať prúdenie podzemnej vody v geologických prostrediach, kde veľkosť pórov v skalnej hornine alebo v zemine bola príliš malá, aby umožnila použitie konvenčnej cementovej injektáže s použitím zmesi z portlandského cementu. Prvé injektážne zmesi boli dvojzložkové, kde reakcia bola medzi roztokmi solí kovov a kremičitanom sodným. Cieľom bolo spojiť častice zeminy alebo skalnej horniny a vyplniť priestor pórov, aby sa zmenšilo prúdenie kvapaliny. Táto technológia sa rozšírila o pridanie roztokov organického polyméru a prísad, ktoré môžu riadiť charakteristiky pevnosti a tuhnutie injektovanej kvapaliny [1].

### 2 CHEMICKÉ INJEKTÁŽNE ZMESI

#### 2.1 Všeobecne

Pri výbere chemickej injektážnej zmesi pre konkrétne použitie by sa mali posúdiť určité chemické a mechanické vlastnosti. Tieto zahŕňujú viskozitu, dobu gélovania, citlivosť a pevnosť [2].

Viskozita je vnútorný odpor kvapaliny, ktorý obmedzuje jej tok. Obvyklou jednotkou pre meranie viskozity je centipoise (cP). Viskozita je dôležitá, keďže určuje schopnosť injektážnej zmesi vniknúť do pórov a medzi póry horninového prostredia a pretekať ním. Tekutosť injektážnej zmesi má preto tiež vzťah k súčiniteľu filtrácie (priepustnosti) horninového prostredia. Empiricky platí, že pre zeminy so súčiniteľom filtrácie  $10^{-4}$  cm/s by viskozita injektážnej zmesi mala byť menšia ako 2 cP. Injektážne zmesi s viskozitou 5 cP sa dajú použiť pre zeminy so súčiniteľom filtrácie vyšším ako  $10^{-3}$  cm/s, a pre viskozitu 10 cP by súčiniteľ filtrácie mal byť vyšší ako  $10^{-2}$  cm/s.

Doba gélovania je interval medzi počiatočným zmiešaním komponentov injektážnej zmesi a vytvorením gélu. Časová kontrola doby gélovania je dôležitá z hľadiska čerpatelosti.

### 1 INTRODUCTION

Grouting in ground engineering can be defined as the process of controlled injection of physical characteristics of the ground for geotechnical engineering reasons.

Grouting for ground engineering can be subdivided into: permeation grouting, rock grouting, hydrofracture grouting, compaction grouting, jet grouting and compensation grouting. Compensation grouting is not a grouting process but may include grouting processes such as hydrofracture, permeation and compaction grouting.

In this paper the authors focused the attention on chemical grout which is realized by permeation grouting. Permeation grouting is defined as the filling by grout injection of accessible pores between the solid particles in a permeable soil by grout without disturbing the structure of the soil. It is a technique that is generally used to reduce ground permeability and control groundwater flow, but it also can be used to strengthen and stiffen the ground.

Chemical grouts were developed in response to a need to develop strength and control water flow in geologic units where the pore sizes in the rock or soil units were too small to allow the introduction of conventional Portland-cement suspensions. The first grouts used were two-stage grouts that depended on the reaction between solutions of metal salts and sodium silicate. The goal of this work was to bond the particles of soil or rock and to fill in the pore spaces to reduce fluid flow. The technology has expanded with the addition of organic polymer solutions and additives that can control the strength and setting characteristics of the injected liquid [1].

### 2 CHEMICAL GROUTS

#### 2.1 General

In the selection of a chemical grout for a particular application, certain chemical and mechanical properties should be evaluated. These include viscosity, gel time, sensitivity and strength [2].

Viscosity is the property of a fluid to resist flow or internally resist internal shear forces. A common unit of measure of viscosity is the centi-poise (cP). Viscosity is important in that it determines the ability of a grout to flow into and through the pore spaces in a soil. Thus, the flowability of the grout is also related to the hydraulic conductivity (permeability) of the soil. As a rule of thumb, for a soil having a hydraulic conductivity of  $10^{-4}$  cm/sec, the grout viscosity should be less than 2 cP. Grouts having viscosities of 5 cP are applicable for soils with hydraulic conductivity greater than  $10^{-3}$  cm/sec, and for a viscosity of 10 cP, the hydraulic conductivity should be above  $10^{-2}$  cm/sec.

Gel time or gelation time is the interval between initial mixing of the grout components and formation of the gel. Control of gel time is thus important with respect to pumpability. Gel time is a function of the components of the grout, namely, activator, inhibitor, and catalyst; varying the proportion of the components can change gel time. For some grouts, viscosity may be constant throughout the entire gel time or may change during this period.



Doba gélovania je funkciou komponentov injekčnej zmesi, konkrétne aktivátora, inhibítora a katalyzátora. Rôzny podiel týchto zložiek môže meniť dobu gélovania. Po vytvorení gélu zmes pokračuje v nadobúdaní tuhosti a pevnosti. Doba do dosiahnutia požadovaných vlastností sa nazýva doba tuhnutia. Niektoré zmesi sú citlivé na zmeny teploty, na zriedenie podzemnou vodou, chemizmus podzemnej vody (pH) a na kontakt s nerozpustenými pevnými časticami v čerpadlách alebo rúrkach. Citlivosť na tieto faktory môže ovplyvniť dobu gélovania.

Ďalšou aplikáciou je injektovanie zmesi do zeminy kvôli zvýšeniu pevnosti alebo zníženiu priepustnosti prostredia. Skúška pevnosti v prostom tlaku realizovaná na vzorkách injektovanej zeminy dáva informáciu o indexe pevnosti materiálu a môže slúžiť ako orientačná skúška účinnosti injektážnej zmesi. Vo väčšine prípadov sa môže injektážna zmes umiestniť a ponechať pod hladinou podzemnej vody. V takýchto prípadoch môže byť pevnosť nasýteného materiálu nižšia ako pevnosť suchej vzorky. Pevnosť preinjektovanej zeminy v teréne musí byť dostatočná, aby zemina plnila požadovanú funkciu [3].

Viskozity chemických injektážnych zmesí môžu byť veľmi nízke, výnimkou sú plnidla, ktoré môžu byť použité. Chemické injektážne zmesi neobsahujú žiadne pevné častice. Z tohto dôvodu sa môžu chemické injektážne zmesi použiť na injektovanie do materiálov obsahujúcich póry, ktoré sú príliš malé pre injektovanie cementovými alebo inými zmesami obsahujúcimi rozptýlené pevné častice. Chemické injektážne zmesi sa preto používajú na kontrolu pohybu vody v materiáloch a zvýšenie ich pevnosti. Chemické injektážne zmesi sa v zásade používajú na vyplňovanie dutín a pórov v jemne zrnitých materiáloch, na utesňovanie trhlín v rozpukaných skalných horninách alebo betóne. Sú často používané pre stabilizáciu a zvýšenie únosnosti jemne zrnitých materiálov, na kontrolu prítokov vody do banských šácht, tunelov a iných podzemných diel. Používajú sa tiež v kombinácii s inými materiálmi pre vyplňovanie dutín pri realizácii injekčných clôn pod priehradami budovanými na priepustnom alúviu a pre ďalšie úpravy ako plošná injektáž a injektáž škár. Chemické injektážne zmesi majú nevýhodu v tom, že sú často nákladnejšie ako zmesi obsahujúce drobné častice. Veľké póry sú bežne injektované cementovou zmesou a chemická injektáž sa realizuje podľa potreby.

## 2.2 Materiál

Dostupných je niekoľko druhov chemických injektážnych hmôt. Každá z nich má charakteristiky, ktoré ju predurčujú pre daný druh použitia. Najbežnejšie sú kremičitan sodný, akrylát, lignin, uretán a živica. Obecné zhodnotenie injektážnych hmôt a ich vlastností je obsahom v *tab. 1*. Typické aplikácie chemických injektážnych hmôt sú v *tab. 2*.

Penikanie injektáže do akéhokoľvek média je funkciou injektážnej zmesi, média, do ktorého sa injektuje a metód používaných pre injektovanie zmesi. Rýchlo géľujúce zmesi majú typicky obmedzený rozsah kontroly a vyžadujú malé rozstupy medzi injektážnymi vrtmi a umožňujú veľkú rýchlosť injektáže.

Rýchle zrenie sa používa tam, kde sa upravujú rôzne vrstvy s rozdielnou priepustnosťou a v situáciách, kde prúdenie podzemnej vody môže injektážnu zmes počas injektáže vytlačiť [5]. Keď gélovanie nastane pred zastavením čerpania, posledná injektovaná zmes sa normálne pohybuje smerom von z injektovaného masívu, a tak veľké ako i malé otvory sa zaplňujú. Zvolenie správnej injektážnej metódy je dôležité. Normálne injektážne zmesi, ktoré sa plynulo pohybujú, budú gélovatieť menej rýchlo a penikanie pri plynulom injektovaní

Thus, it is important to know variation with the gel time because of problems related to pumping high-viscosity liquids. After gelation, a chemical grout continues to gain strength. The time interval until the desired properties are attained is called the cure time. Some grouts are sensitive to changes in temperature, dilution by groundwater, chemistry of groundwater including pH, and contact with undissolved solids that may be in the pumps or piping. Sensitivity to these factors may influence the gel time.

Among other applications, grouts are injected into soils, to add strength or waterproofing to the soil matrix. The unconfined compression test on grout-treated samples offers an index of the strength of the material and may suffice as a screening test for the effectiveness of the grout. In many situations, the grout may be placed and remain under the water table, in which case the strength of the saturated material may be lower than that of a dry specimen. In all cases, the strength of the grouted soil in situ must be sufficient to perform its intended function [3].

The viscosities of chemical grouts can be very low, and except for fillers that may sometimes be used, chemical grouts contain no solid particles. For these reasons, chemical grouts can be injected into foundation materials containing voids that are too small to be penetrated by cementitious or other grouts containing suspended solid particles. Chemical grouts can therefore be used to control water movement in and to increase the strength of materials that could not otherwise be treated by grouting. Chemical grouts have been used principally in filling voids in fine granular materials; they have also been used effectively in sealing fine fissures in fractured rock or concrete. Chemical grouts have been frequently used for stabilizing or for increasing the load-bearing capacity of fine-grained materials in foundations and for the control of water in mine shafts, tunnels, trenches, and other excavations. Chemical grouts have also been used in conjunction with other void-filling materials for curtain grouting under dams constructed over permeable alluvium and for other treatments such as area grouting or joint grouting.

Chemical grouts suffer from the disadvantage that they are often more expensive than particulate grouts. Large voids are typically grouted with cementitious grout, and chemical grouting is done as needed.

## 2.2 Material

Several kinds of chemical grouts are available, and each kind has characteristics that make it suitable for a variety of uses. The most common are sodium silicate, acrylate, lignin, urethane, and resin grouts. A general ranking of grouts and their properties is presented in *Table 1*.

Typical applications of chemical grouts are presented in *Table 2*.

Penetration of grout in any medium is a function of the grout, the medium being injected, and the techniques used for grout injection. Typically, grouts that gel quickly have a limited range of treatment and require close spacing of injection holes and rapid injection rate.

Low-shear-strength grouts are frequently useful in extending the range of treatment to times beyond initial gelation. Rapid times of setting are of use when a variety of different strata with different permeabilities are being treated and in situations where groundwater flow may displace the grout during injection [5]. When gelling occurs before pumping is halted, the last injected grout typically moves to the outside of the grouted mass, and both large and small openings are filled. Methods of injection are also of importance. Typically, grouts that are continually moving will gel less quickly, and penetration from continuous injection will be greater than that from the same volume of grout used in batch injection.

This paragraph would provide a short description of chemical type listed in *Table 1* and in *Table 2*.

Tab. 1 Zhodnotenie hlavných vlastností injektážnych zmesí [4]  
Table 1 Ranking of Major Grout Properties [4]

Typ / Type	VLASTNOST / PROPERTY					
	Pronikání do injektovaných celků Penetration in Grouted Units	Trvanlivost Durability	Snadnost aplikace Ease of Application	Možná toxicita Potential Toxicity	Hořlavost materiálů Flammability of Materials	Relativní náklady Relative Costs
Směsi na bázi portlandského cementu Portland-cement-based grouts	L	H	M	L	N	L
Silikáty / Silicates	H	M	H	L	N	L
Akryláty / Acrylates	H	M	H	M	L	H
Ligniny / Lignins	H	M	H	H	L	H
Uretany / Urethanes	M	H	M	H	H	H
Přiskyřice / Resins	L	H	M	H	M	H

Legenda: N = nehořlavé; L = nízká; M = střední; H = vysoká.  
Legend: N = non-flammable; L = low; M = moderate; H = high.

Tab. 2 Zhodnotenie chemických zmesí a ich aplikácií [4]  
Table 2 Ranking of chemical mixtures and their applications [4]

Aplikace / Application	VLASTNOST / PROPERTY				
	Křemičitan sodný Sodium silicate	Akrylát Acrylate	Lignin Lignin	Uretan Urethane	Přiskyřice Resin
Zpevňování / Hardening	C	C	C	R	R
Snižování proudění vody Water flow reducing	C	C	C	U	R
Opravy betonu / Repairing of concrete	U	U	U	C	C
Opravy kanalizace Repairing of sewerage	U	U	U	C	C
Přenášení zatížení a zajištění Transfer of loads and support	U	U	U	C	U
Instalace kotev Installation of anchor	R	R	R	U	C

Legenda: C = běžně používaný; U = používaný; R = zřídka používaný.  
Legend: C = commonly used U = used R = rarely used

bude väčšie ako pri rovnakom objeme zmesi použitom pre dávkové injektovanie.

Injektážne zmesi používajúce křemičitan sodný sú najpopulárnejšie pre ich bezpečnosť a ekologické zloženie. Křemičitany sodné boli vyvinuté do rôznych systémov zmesí. Takmer všetky systémy sú založené na reakcii roztoku křemičitanu, ktorý vytvára koloidný roztok, ktorý ďalej polymerizuje a vytvára gél, ktorý spojuje častice zeminy alebo usadeniny dohromady a vyplňuje póry.

Roztoky křemičitanu sodného sú alkalické. Keď sa tento alkalický roztok neutralizuje, koloidný kyslíčnik křemičitý sa agreguje a vytvorí gél, ak je křemičitan sodný prítomný v koncentrácii nad 1 až 2 percenta (objemovo). Podľa reaktantov použitých spolu s roztokom kyslíčnika křemičitého sa rozlišujú tri typy alkalických křemičitanových injektážnych zmesí [6]:

- Kyslý reaktant (kyselina fosforová, hydrosíran sodný, fosforečnan sodný, roztok oxidu uhličitého).
- Alkalické zeminy a hlinité soli (chlorid vápenatý, fosforečnan horečnatý, síran horečnatý chlorid horečnatý, síran hlinitý).
- Organické zmesi (glyoxal, ester kyseliny octovej, etylén uhličitan formamid).

Roztok křemičitanu sodného a reaktantu sa môže injektovať ako samostatný roztok, alebo sa môže křemičitan sodný zmie-

Sodium silicate grouts are the most popular grouts because of their safety and environmental compatibility. Sodium silicates have been developed into a variety of different grout systems. Almost all systems are based on reacting a silicate solution to form a colloid which polymerizes further to form a gel that binds soil or sediment particles together and fills voids.

Sodium silicate solutions are alkaline. As this alkaline solution is neutralized, colloidal silica will aggregate to form a gel if the sodium silicate is present in concentrations above 1 or 2 percent (by volume). Three types of alkaline silicate grouts are recognized based on reactants used with silicate solutions [6]:

- Acid reactant (phosphoric acid, sodium hydrogen sulfate, sodium phosphate, carbon dioxide solution).
- Alkaline earth and aluminum salts (calcium chloride, magnesium sulfate, magnesium chloride, aluminum sulfate).
- Organic compounds (glyoxal, acetic ester, ethylene carbonate formamide).

Sodium silicate and a reactant solution can be injected as separate solutions, or the sodium silicate can be premixed with the reactant to form a single solution that is injected.

Acrylate grout is a gel formed by the polymerization of acrylates. The gelling reaction is catalyzed by the addition of triethanolamine and ammonium or sodium persulfate to a metal acrylate (usually magnesium acrylate). Methylene-bis-acrylamide is used as a crosslinking agent. Potassium ferricyanide is used





Obr. 1 GROUTMASTER SR10 Granulovaná zmes  
Fig. 1 GROUTMASTER SR10 Granular based product

šať s reaktantom dopredu, aby sa vytvoril jeden roztok, ktorým sa injektuje.

Akrylátová injektčná zmes je gél vytvorený polymerizáciou akrylátov. Reakcia gélovatenia sa urýchľuje pridaním trietanolaminu a amoniaku alebo persíranu sodného, aby sa vytvoril metalakrylát (obvykle horčkový akrylát). Metylén-bis-akrylamid sa používa ako sieťovacie činidlo. Ferrokyanid draselný sa používa ako spomaľovacia prísada, ak je požadovaná dlhá doba zrenia.

Ak sa skombinuje s okysličovadlom, ako je dvojchróman sodný, lignín (vedľajší produkt siričitanového spôsobu výroby papiera), vytvorí sa za krátku dobu nerozpustný gél. Viskozity rôznych roztokov lignínu sa dajú získať v takom rozsahu, ktorý umožňuje lignínu injektovať do dutín vytvorených v jemnozrnných pieskoch. Ligníny sú všeobecne nepriateľné, ak sa používajú látky obsahujúce chróm z dôvodu jedovatosti chrómu.

Uretánové injektážne zmesi existujú v niekoľkých rôznych formách, avšak všetko závisí na reakciách, v ktorých sú zahrnuté prepojujúce izokyanáty, aby sa vytvoril pryžový polymér. Jedna časť polyuretánových injektážnych zmesí sú predpolyméry, ktoré sa vytvárajú čiastočnou reakciou isokyanátu so sieťovacím činidlom a vytvárajú s nezreagovanými skupinami isokyanátu prepolymer. Jednozložkové injektážne zmesi reagujú s vodou, aby sa dokončila polymerizácia. Zmesi budú typicky gélovatieť alebo peniť v závislosti na množstve vody, ktorá je k dispozícii. Viskozity sa pohybujú od 50 do 100 cP. Dvojzložkové injektážne zmesi využívajú priamu reakciu medzi kvapalným isokyanátom a polyolom a, v závislosti na receptúre, vytvárajú tvrdú alebo pružnú penu. Viskozity sa pohybujú od 100 do 1000 cP.

Živičné injektážne zmesi sa v podstate skladajú z roztokov chemikálií tvoriacich živice, ktoré sa kombinujú, aby sa po pridaní katalyzátoru alebo tvrdidla vytvorila tvrdá živica. Niektoré živičné injektážne zmesi sú založené na vode alebo to sú vodné roztoky. Injektáž je jedno roztokový proces. Hlavné živice používané do injektážnych zmesí sú epoxidové a polyesterové. Pojmy epoxidové a polyesterové živice sa týkajú mnohých živičných látok, ktoré majú niektoré podobné a niektoré rozdielne vlastnosti. K dispozícii sú rôzne typy každej z nich a vlastnosti každého typu sa môžu meniť zmenami zložiek. Dajú sa vytvárať receptúry na živice tak, aby mali nízku viskozitu. Tieto viskozity sú ale obecné vyššie než viskozity iných chemických injektážnych zmesí. Pri tvrdnutí živíc sa všeobecne vyvíja veľké množstvo tepla. Zachovávajú si svoju počiatočnú viskozitu po väčšiu časť svojho tekutého

as an inhibitor if long times of setting are required.

When combined with an oxidizer such as sodium dichromate, lignin, a by-product of the sulfite process of making paper, forms an insoluble gel after a short time. Viscosities of various lignin solutions can be obtained over a range that makes the lignins capable of being injected into voids formed by fine sands and possibly coarse silts. Lignins are generally not acceptable if chromium compounds are used due to the toxicity of chromium.

Urethane grouts are available in several different forms, but all depend on reactions involving the isocyanates cross-linking to form a rubbery polymer. One-part polyurethane grouts are prepolymers formed by partly reacting the isocyanate with a cross-linking compound producing a prepolymer with unreacted isocyanate groups. The one-part grouts react with water to complete polymerization. The grouts will typically gel or foam depending on the amount of water available. Viscosities range from 50 to 100 cP. The two-component grouts employ a direct reaction between an isocyanate liquid and a polyol and produce a hard or flexible foam depending on the formulation. Viscosities range from 100 to 1,000 cP.

Resin grouts consist essentially of solutions of resin forming chemicals that combine to form a hard resin upon adding a catalyst or hardener. Some resin grouts are water based or are solutions with water. Injection is by the one-solution process. The principal resins used as grouts are epoxy and polyester resins. The terms epoxy and polyester resins apply to numerous resin compounds having some similarity but different properties. Various types of each are available, and the properties of each type can be varied by changing the components. Resins can be formulated to have a low viscosity; however, the viscosities are generally higher than those of other chemical grouts. A large amount of heat is generally given off by resins during curing. They retain their initial viscosity throughout the greater part of their fluid life and pass through a gel stage just before complete

hardening. The time from mixing to gel stage to hardened stage can be adjusted by varying the amount of the hardening reactant, by adding or deleting filler material, and by controlling the temperature, especially the initial temperature.

### 2.3 Groutmaster SR10

GROUTMASTER SR 10 is made by aggregation of inner co-granulate inorganic mineral products with a particular industrial technology. It is an active dry component produced in a granular form (see Fig.1) easily soluble in water at all temperatures. The reaction between GROUTMASTER SR 10 and water is a hydration and ionic exchange that provides a crystalline structure very similar to hydrated cement). As a consequence, these are not only low viscosity, highly penetrating mixes, but also result in a material with concrete like behaviour, minimally subject to creep and permanent load deformation.

GROUTMASTER SR 10 Mixtures have the same injectability characteristics of the other chemical mixtures such as silica gel. GROUTMASTER SR 10 is particularly suitable for finer soil or finely fissured rock. However, these blends can be injected into soils with large grain since they are stable and not subject to chemical or physical deterioration.

GROUTMASTER SR 10 Mixtures may be used either for consolidation purposes or for waterproofing both temporary and permanent applications. Its main properties are:

- low initial viscosity and absence of rigidity;
- absence of a solid phase that can become separated from the liquid to the effects of sedimentation or caking;
- adjustable setting time - increased consolidation and waterproofing effects of the treated soil;
- absence of shrinkage (reduction in volume);
- absence of syneresis (expulsion of a liquid from a gel).

stavu a prechádzajú štádiom gélovatenia tesne pred úplným stvrdnutím. Časový interval od zmiešania po štádium gélovatenia a po štádium tvrdnutia sa dá upravovať zmenami množstva vytvrdzovacieho reaktantu, pridaním alebo vynechaním plnidla a riadením teploty, zvlášť počiatocnej.

### 2.3 Groutmaster SR10

GROUTMASTER SR 10 sa vyrába ako suchá granulovaná zmes anorganických minerálnych produktov konkrétnou priemyselnou technológiou. Ide o aktívnu suchú zložku vyrábanú v granulovanej forme (obr. 1), ktorá sa ľahko rozpúšťa vo vode pri každej teplote. Reakcia medzi výrobkom GROUTMASTER SR 10 a vodou je hydratačná a iónová výmena, ktorá zaisťuje kryštalickú štruktúru veľmi podobnú hydratovanému cementu. Následkom toho nejde len o zmes s nízkou viskozitou a veľkou penetračnou schopnosťou, ale tiež o zmes vedúcu k materiálu s chovaním podobným betónu, minimálne v dotvarovaní a deformácii pod trvalým zaťažením.

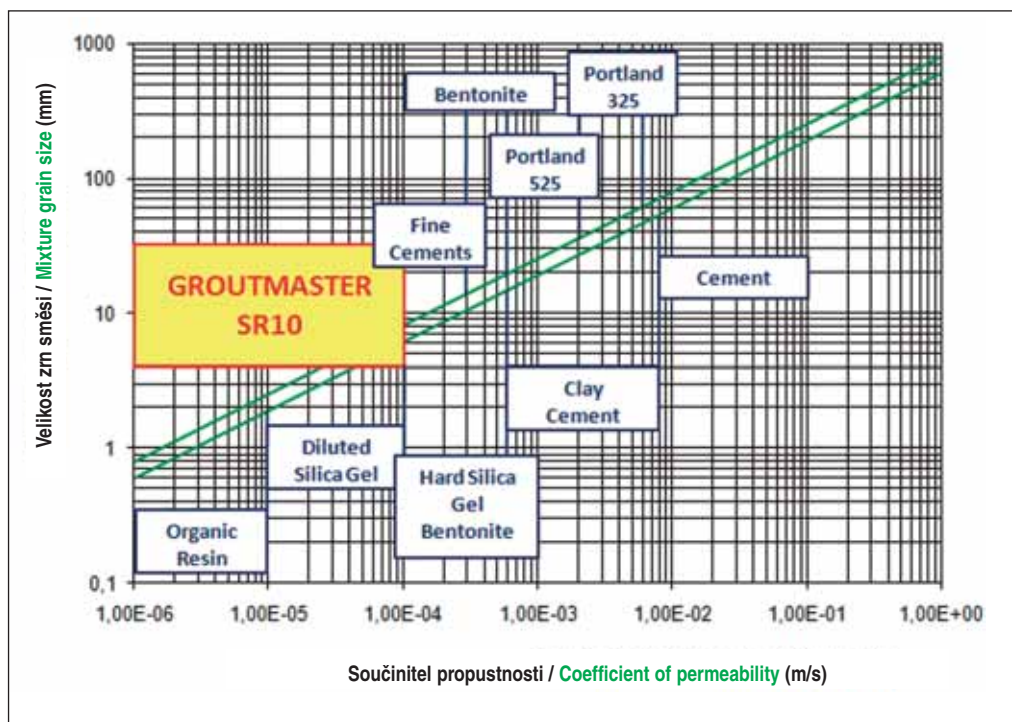
Zmes GROUTMASTER SR 10 má rovnaké charakteristiky injektovateľnosti ako iné chemické zmesi, napr. ako kremičitý gél. GROUTMASTER SR 10 je zvlášť vhodný pre jemnozrnné zeminy alebo skalné horniny s jemnými trhlinami. Tieto zmesi sa ale môžu injektovať i do zemín s veľkými zrnami, keďže sú stabilné a nepodliehajú zhoršovaniu v dôsledku chemických alebo fyzikálnych vplyvov.

Zmes GROUTMASTER SR 10 sa môže použiť pre znižovanie priepustnosti, alebo zlepšovanie fyzikálno-mechanických vlastností horninového prostredia pre aplikácie dočasné i trvalé. Hlavné vlastnosti sú:

- nízka počiatočná viskozita a neprítomnosť tuhosti;
- absencia pevnej zložky, ktorá sa môže separovať od kvapaliny v dôsledku sedimentácie alebo vysychania;
- regulovateľná doba zrenia – zvýšené spevnenie a tesniace účinky;
- neprítomnosť zmršťovania (znižovanie objemu);
- neprítomnosť synerézie (vylučovanie kvapaliny z tuhnutého gélu).

Tab. 3 GROUTMASTER SR10 vplyv na životné prostredie  
Table 3 GROUTMASTER SR10 environmental compatibility

Prvky Substances	D.L. 152/2006 – Limitné hodnoty / Limit values			
	Zelené plochy pre verejné, súkromné a obytné využitie Green Areas for public, private and residential use	Plochy pre komerčné a priemyselné využitie Areas for Commercial and Industrial use	GROUTMASTER SR10	
			Zmes Mixtures	Preinjektovaná zemina Treated soil
	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]
Uhlík / Organic Carbon	-	-	< 0,4	< 0,4
Kadmium [Cd] / Cadmium [Cd]	2	10	< 0,0002	< 0,0002
Ortuť [Hg] / Mercury [Hg]	1	5	< 0,0002	< 0,0002
Olovo [Pb] / Lead [Pb]	100	1000	< 0,002	< 0,002
Meď [Cu] / Copper [Cu]	120	600	< 0,003	< 0,002
Zinok [Zn] / Zinc [Zn]	150	1500	< 0,02	< 0,02



Obr. 2 Diagram použitia štandardných injektážnych zmesí v závislosti od súčiniteľa filtrácie  
Fig. 2 Typical injection mixture permeation range

Injection grouting is influenced primarily by the permeability of the ground. The substantial variation in permeability found in natural soils requires a range of grouts and grouting techniques for effective treatment.

The soil permeability coefficient should be known before choose injection mixture and designing the grout. The diagram in Fig. 2 shows GROUTMASTER SR 10 mixture injection capability, it can permeate soils characterized by low permeability ( $10^{-4}$ m/s -  $10^{-6}$ m/s). With only one product is possible to cover a range normally obtain by the use of two different product, i.e. Diluted Silica Gel ( $10^{-4}$ m/s -  $10^{-5}$ m/s) and Organic Resin ( $10^{-5}$ m/s -  $10^{-6}$ m/s).

The significant rise in the environmental awareness of the general public has conferred ever greater importance on the environmental compatibility of construction materials over the past years. Decisions in favour of certain materials and types of injection are influenced not only by technical and economic aspects, but increasingly also by ecological aspects these days.

The growing importance of environmental legislation for material is also reflected in regulations and standards. In Italy the reference rule is D.L. 152/2006 [7]. Laboratory Test carried out in compliance with this standard demonstrated GROUTMASTER SR10 environmental compatibility (see Table 3).



Injektáž zmesi je hlavne ovplyvňovaná priepustnosťou horniny. Podstatná premenlivosť priepustnosti v prirodzenom horninovom prostredí vyžaduje pre účinnú realizáciu injektáže celú škálu injektážnych zmesí a injektážnych metód.

Súčiniteľ filtrácie horninového prostredia by mal byť známy pred výberom injektážnej zmesi a jej návrhom. Diagram na obr. 2 ukazuje možnosti injektážnej zmesi GROUTMASTER SR 10. Môže prenikat' zeminami charakterizovanými nízkym súčiniteľom filtrácie ( $10^{-4}$  m/s –  $10^{-6}$  m/s). Jedným produktom je možné pokryť rozsah, ktorý sa normálne realizuje pomocou dvoch rôznych produktov, tj. silikátový gél ( $10^{-4}$  m/s –  $10^{-5}$  m/s) a organická živica ( $10^{-5}$  m/s –  $10^{-6}$  m/s).

Veľký nárast environmentálneho povedomia širokej verejnosti pridal v minulých rokoch ešte viac na význame zlučiteľnosti stavebných materiálov so životným prostredím. Výber určitých materiálov a typov injektáže je v súčasnosti ovplyvňovaný nielen technickými a ekonomickými, ale stále viac i ekologickými aspektmi.

Rastúca dôležitosť legislatívy životného prostredia pre materiály je premietnutá i do technických predpisov a noriem. V Taliansku je referenčným predpisom D.L. 152/2006 [7]. Laboratórna skúška realizovaná v súlade s touto normou ukázala, že GROUTMASTER SR10 nemá negatívny vplyv na životné prostredie (tab. 3).

Zmes GROUTMASTER SR10 je vhodná pre povrchové alebo hĺbkové aplikácie, a použiteľná tak pre radiálnu (obr. 3a) ako aj vertikálnu injektáž (obr. 3b).

### 3 REFERENČNÉ STAVBY

V nasledujúcich odsekoch sú uvedené typické príklady z razenia tunelov. Dve aplikácie popisujú zlepšenie horninového prostredia a tretia zníženie priepustnosti prostredia.

#### 3.1 Metro Brescia

Podzemná dráha v meste Brescia je automaticky riadený systém ľahkého metra (ALTR), ktorý je v súčasnosti vo výstavbe. Prepojí sever mesta s juhovýchodom pozdĺž historického stredu mesta.

Celá trasa je vedená v rôznych nadmorských výškových úrovniach. V oblasti viac na sever bude trasa realizovaná v zárezoch, v historickom centre je trať v tuneli budovanom pomocou metódy EPBM. Dĺžka tunela 5344 m, priemer 9150 mm, z geologického hľadiska razený v prostredí tufov, siltov, ílov a štrkov. Zvyšná časť trate je vedená nad terénom prípadne na viadukte.

Pod vysokou budovou v oblasti, ktorou prechádzalo razenie, nazývanou „Punto & Virgola“ bolo potrebné realizovať spevnenie horninového prostredia pre umožnenie razenia tunela



Obr. 3 GROUTMASTER SR10 Aplikácia: a) radiálna; b) vertikálna  
Fig. 3 GROUTMASTER SR10 Treatment: a) Radial; b) Vertical

GROUTMASTER SR10 mixtures are suitable for ground improvement and waterproofing treatment, ideal either for superficial or deep treatment, applicable both radial (Fig.3.a) or vertical (Fig.3.b) treatment.

### 3 CASE HISTORY

Notable tunnelling case histories are provided in the following sections. Two Case Histories referred to ground improvement treatment and one referred to waterproofing treatment. The cases will be set out by specific problem analysis and applied solution.

#### 3.1 Metro Brescia

The Brescia underground, is an automatic control light rail transit (ALTR), currently under construction that will link the north city with the south-east along the historic centre.

The entire line has being developed at different altitudes. In the area further north the line will be built in the trenches, crossing the historic centre is in tunnel, made by EPBM. The remaining line of will be built at grade and viaduct.

Under a building, inside the direction district, called "Punto & Virgola" has been necessary to perform ground improvement to enable the mechanized excavation of the tunnel by a full section drill EPBM (Earth Pressure Balance Machine), to minimizing subsidence led to the above structure.

Another problem has been related to the timing of intervention. All the consolidation must to be made within 20 calendar days.

The ground improvement injections covered a thickness of 3m around the profile of the excavation until approximately the rail line altitude. The mixtures have been injected in several passes according to the system to volume-controlled pressure limited by the value of waste, previously set.

Fig. 4a) shows a hypothesis of subsidence induced by excavation only. The green areas should be lowered to 4.5 mm (areas to be treated). In red areas (which are not treated) are expected subsidence between 4.5 and 8 mm, the previous twice are average value. The blue area indicates areas where have been expected the greatest settlement, between 8 and 11 mm. Fig. 4b) shows the settlement development suffered from monitoring points between the beginning of the shift in the drilling and milling.

The data analysis suggests the following sentences:

- Outside treated area there are settlements around a centimetre originated from the excavation and taken into account during the project phase in the case of specific treatment absence, as shown Fig. 4a).
- In the treated areas have been developed very low settlement included in a range of - 3 mm + 5 mm. In EPBM entry and exit areas the digging effect prevails, while toward the centre is still prevalent the lifting effect induced by treatment.
- Tall building "Punto & Virgola" settlements have not been noteworthy.

– The differential settlements are not relevant.

The treatment performed has achieved its objective: the structures have been contented settlements, they are lower than expected without ground improvement. This is despite the tight time schedule available for work, 20 calendar days that would drive to run about two-thirds of the radial injection in a single pass. This forcing resulted in the occurrence of upheavals that have not been fully absorbed by subsidence induced by the excavation. The mechani-

plnoprofilovým zeminovým štítom EPBS (Earth Pressure Balance Shield) tak, aby sa minimalizovalo sadanie konštrukcií nad tunelom. Ďalší problém bolo načasovanie realizácie. Všetky práce museli prebehnúť počas 20 kalendárnych dní.

Injektáž kvôli spevneniu bola realizovaná v dosahu i 3 m okolo profilu výrubu kopírujúci priebeh nivelety. Zmesi boli injektované v niekoľkých smeroch a fázach pre kontrolu tlaku a objemu injektáže. Injektáž bola realizovaná v prachovitých pieskoch.

Na obr. 4a je zobrazený predpoklad sadania vyvolaného razením. Predpoklad poklesu zelenej plochy je 4,5 mm (v injektovanej oblasti). V červených plochách (v neinjektovanej oblasti) sa očakáva sadnutie medzi 4,5 mm a 8 mm. Uvedené hodnoty sú priemerné. Modrá plocha označuje oblasť, kde sa očakáva najväčšie sadanie v rozmedzí 8 a 11 mm. Na obr. 4b je zobrazený priebeh vyvolaného poklesu získaný z monitorovaných bodov od začiatku razenia.

Záveru dátovej analýzy:

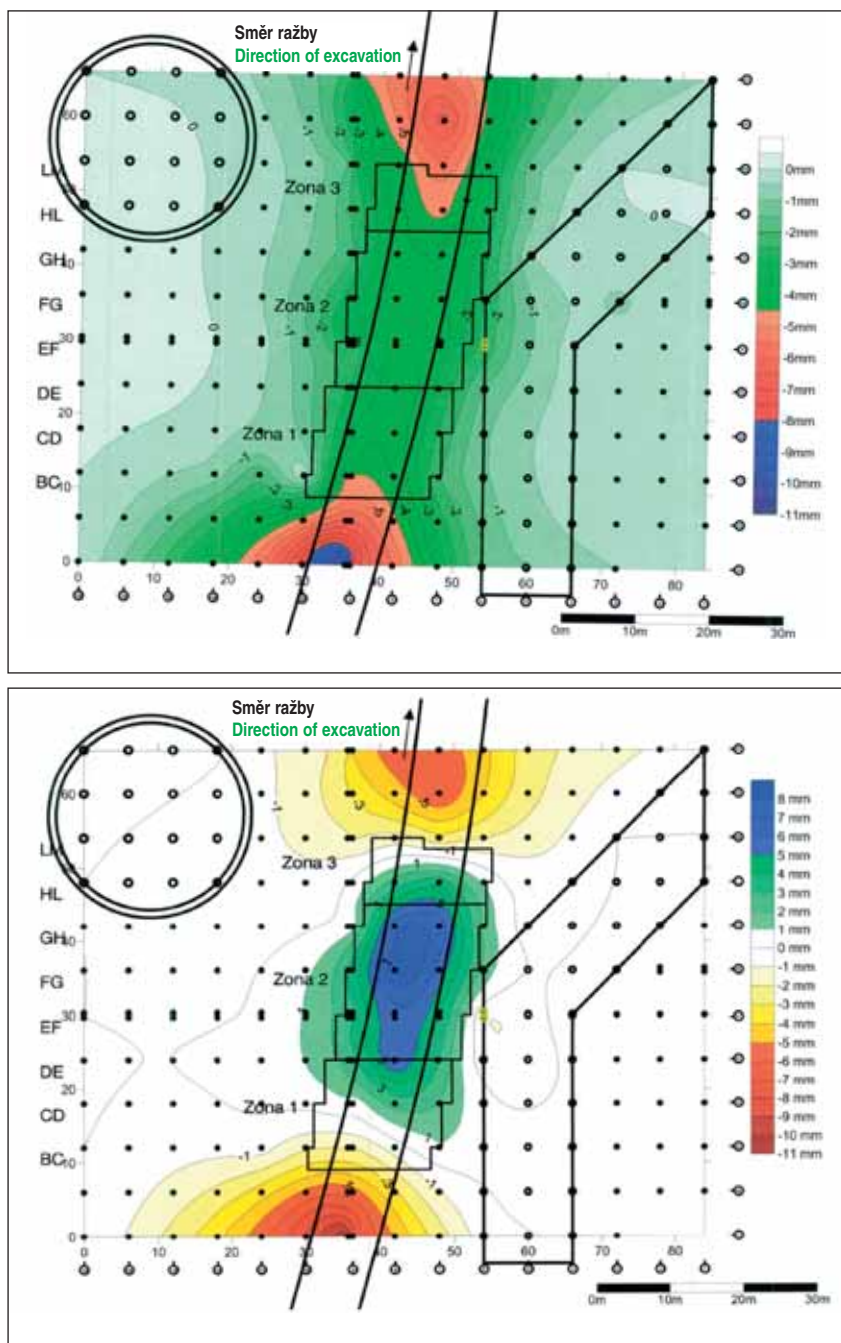
- Mimo preinjektovanej oblasti sú sadnutia vznikajúce v dôsledku razenia okolo centimetra. S týmito sa počítalo v projekte v prípade nerealizovania injektáže, ako je zobrazené na obr. 4a.
- V preinjektovaných oblastiach nastalo veľmi malé sadnutie v rozsahu – 4 mm + 7 mm. V oblastiach vstupu a výstupu raziaceho štítu EPBM prevládajú sadania, kým smerom k stredu prevláda účinok dvíhania vyvolaný injektovaním.
- Sadnutie výškovej budovy „Punto & Virgola“ nebolo zaznamenané.
- Rozdielne sadnutia neboli relevantné.

Realizovaná injektáž splnila svoj cieľ, deformácie sú nižšie ako boli očakávané i napriek napätému harmonogramu prác, 20 kalendárnych dní. Boli realizované jednostupňové radiálne injektáže. Tlak vyvolal dvíhanie povrchu, ktoré nebolo plne absorbované sadaním vyvolaným razením. Strojné razenie sa realizovalo bez problémov a bez dvíhania v okolí raziacej hlavy, alebo v nadloží. (obr. 5). Použitím zmesi Groutmaster SR10S boli dosiahnuté dobré výsledky z hľadiska realizovanej injektáže a zlepšenia horninového prostredia.

### 3.2 Metro Rím – trasa B1

Trasa B1 je časť trasy B metra, ktorá spája námestie Piazza Bologna s vonkajším cestným okruhom (GR.A). Trasa metra sa vybuduje podľa územného plánu rímskeho magistrátu. Zberná oblasť trasy B1 je severovýchod Ríma, územie oblasti II, III a IV s pol miliónom obyvateľov. Je to veľká oblasť, približne ako mesto Bologna. Táto oblasť je spojená s ostatnou časťou mesta tromi mostmi: „Ponte delle Valli“, „Ponte Tazio“ a „Ponte Nomentano“. Nová trasa metra umožní obyvateľom severovýchodného kvadrantu jazdiť priamo do centra alebo do „Eur“ verejnou dopravou. Tento úsek trasy vo výstavbe je celý v podzemí, dĺžky okolo 3,6 km a sú na ňom tri nové stanice:

- Annibaliano (na námestí Annibaliano piazza)
- Libia/Gondar (pozdĺž triedy Libia blízko námestia Palombara Sabina)
- Conca d'Oro (za Aniene, blízko námestia Conca d'Oro). Problémom bol most „Ponte delle Valli“ postavený v roku



Obr. 4 Sadanie: a) Predpoklad sadania vyvolaného prechodom EPBS; b) Zaznamenané sadanie od začatia injektáže po prechod EPBS

Fig. 4 Settlement: a) Hypothesized by the passage of the EPBS; b) Recorded between the beginning of treatment and the passage of the EPBS

zed excavation was conducted without any problems or insurgents around the mill, nor the structures above (Fig. 5). The Groutmaster SR10S, which is a mixture of single-phase component dry weight has been produced good results both in terms of consolidation achieved and in terms of injections conduct.

### 3.2 Metro Rome – Line B1

Line 'B1' is the Metro 'B' segment which connect Piazza Bologna with G.R.A. ( Great Ring Road). The metro lay out will be developed according to the Rome Municipality General Plan. The Line 'B1' catchment area is the North-east of Rome, in the territory of the municipalities II, III and IV, populated by half a million persons. It is a large area, more or less like the city of Bologna. This area connected with the rest of the city streets by three bridges: "Ponte delle Valli", "Ponte Tazio" and "Ponte Nomentano". The new metro line will allow residents of the north-east quadrant to go directly to the centre or to "Eur" by public





Obr. 5 Prerazenie štítu EPBS  
Fig. 5 EPBS breakthrough

1963, spájajúci centrum mesta s okolitou zástavbou. Ide o cestný most s chodníkom pre chodcov. Tunel linky metra B1 prechádza popod most, v dôsledku čoho bolo potrebné skrátiť dĺžku pôvodných pilót. Dĺžka tunela 6950 m, priemer 9755 mm, geologické prostredie štrky previazané s pieskom a ílom, prachovitý piesok.

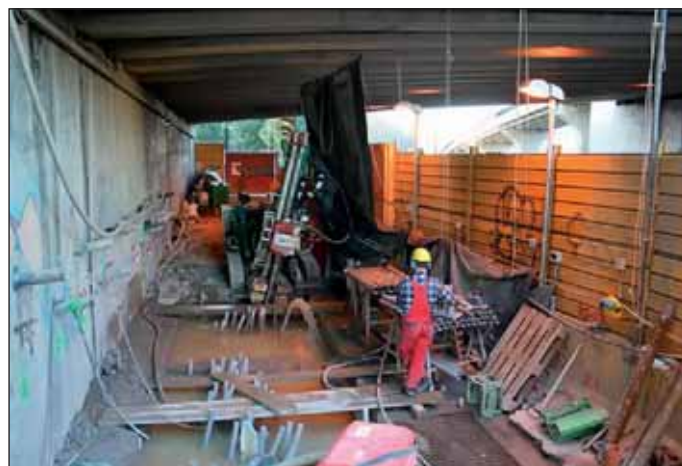
Pod základmi mosta „Ponte delle Valli“ bolo potrebné zrealizovať spevnenie. Projekt predpisoval len použitie cementovej injektáže, ale po prvej injektáži bolo nutné túto technológiu zmeniť z dôvodu malej priepustnosti horninového prostredia. Druhý projekčný návrh požadoval injektáž chemickou zmesou pri nízkom tlaku (obr. 6).

Postup prác:

1. Príprava pracovného plánu



Obr. 7 Zmiešavacie zariadenie  
Fig. 7 Mixture central station



Obr. 6 Inštalácia injekčných rúrok  
Fig. 6 Installation of grouting tubes

transportation service. The line section under construction is entirely underground for a length of about 3.6 km and includes three new stations:

- Annibaliano (at Annibaliano plaza)
- Libia/Gondar (along Libia avenue near Palombara Sabina square)
- Conca d'Oro (beyond Aniene, near Conca d'Oro square).

The problem was the “Ponte delle Valli” bridge, build on 1963, link the new districts with the city centre. It's a road bridge with pedestrian lane. The B1 line odd tunnel passes under this bridge and it has been necessary to cut the foundation piles (Fig. 6).

Consolidation work under the “Ponte delle Valli” foundations was necessary. The design prescribed to use only cement mixture, but after the firsts grouting it was necessary change technology due to the low soil permeability. The second design choice was the grouting with chemical mixture at low pressure (Fig. 6).

The complete intervention can be summarize as follow:

1. Working plan preparation
2. Bores setting out
3. Drilling

The drilling method was decided depending on soil characteristic, on site characteristic and design condition/requirement (bore length and/or bore angle).

4. Bores equipment

- After drilling, installation of the PVC grouting pipe with 2 valves per meter.
- Sheath making with mixture grouting at low pressure from down the hole to fill the cavity between pipe and bore wall.
- After the sheath making, internal pipe washing to guarantee the possibility to insert the packer for the injections at high pressure of each single valve.

5. Selective groutings

- After 12 and/or 24 hour from sheath making, execution of selective grouting for each valve with packer and continuous check of grouting pressure and grouting volume (Fig. 7).

To reach the established values there have been prescribed three grouting stages:

- 1<sup>st</sup> stage: cement grouting at 20-30 bar or 60 litres/valve.
- 2<sup>nd</sup> stage (after 12 or 24 hours): cement mixture grouting at 15 bar or 60 litres/valve.
- 3<sup>rd</sup> stage: chemical mixture grouting with maximum pressure of 15 bar or 60 litres/valve.

After each grouting it was made the internal PVC pipe washing. During the grouting have been made:

- constant grouting check of all volumes and pressures registered for each valves;
- building settlements monitoring with special equipment.

2. Vytýčenie vrtov
3. Vrtanie – O metóde vrtania bolo rozhodnuté podľa charakteristiky zeminy, podmienok na stavenisku a požiadaviek projektu (dĺžka vrtov, uhol vrtania).
4. Vystrojenie vrtov
  - Po skončení vrtania bola inštalované injektážna rúrka s PVC dvoma ventilmi na meter.
  - Realizácia púzdra injektovaním zmesi nízkym tlakom, postupne zdola od dna vrtu, aby sa vyplnil priestor medzi rúrkou a stenou vrtu.
  - Po vytvorení púzdra výplach vnútrajšku rúrky, aby sa zabezpečila možnosť vloženia obturátora pre injektáž vysokým tlakom pre každý ventil.
5. Selektívne injektáže
  - Po 12 alebo 24 hodinách od vytvorenia púzdra realizácia selektívnej injektáže do každého ventilu s obturátorom a kontinuálna kontrola injektážneho tlaku a objemu injektáže (obr. 7).

Pre dosiahnutie požadovaných hodnôt boli predpísané tri stupne injektáže:

1. stupeň: cementová injektáž tlakom 2–3 MPa alebo 60 litrov na ventil.
2. stupeň (po 12 alebo 24 hodinách): injektovanie cementovej zmesi tlakom 1,5 MPa alebo 60 litrov na ventil.
3. stupeň: injektovanie chemickej zmesi maximálnym tlakom 1,5 MPa alebo 60 litrov na ventil.

Po každej injektáži boli vnútra PVC rúrok vymyté.

V priebehu injektáži sa realizovali tieto opatrenia:

- neustála kontrola všetkých objemov a tlakov zaznamenaných na každom ventile,
- monitorovanie sadania budov špeciálnym zariadením.

Účinnosť tohto riešenia sa ukázala vtedy, keď hlava plnoprilového tunelovacieho stroja dosiahla spevnené podlažie: tlak na hlavu EPB stroja narástol o 30 percent.

### 3.3 Metro Rím – Trasa A

Trasa A rímskeho metra mala problém s vodonepriepustnosťou. V traťovom tuneli medzi stanicami Termini a Colli Albani a v tuneloch staníc Vittorio a Manzoni boli zistené výdatné prítoky vody. Cestujúci vo vnútri stanice pri čakaní na metro museli používať dáždniky pre permanentné kvapkanie vody.

Použitie riešenie zahŕňa rôzne práce pre zvyšovanie nepriepustnosti a spevňovanie horniny realizované v tuneloch a staniach trasy A. Geologické prostredie bolo veľmi podobné trase B1. Práce sa skladali z tesnenia škár polyuretánovými živcami a vrtania 1 m dlhých vrtov, injektáže cementovou zmesou a následne chemickej injektáže pomocou GROUTMASTER SR10 na vyplnenie zostávajúcich pórov (obr. 8, 9).

Tesniace injektáže chemickou zmesou boli realizované nasledujúcimi zariadeniami:

- EMP 27300 Flex-2C Pol: Dvojité mechanický obturátor pre injektovanie s dvomi koženými a plastovými tesniacimi čapčkami a ohybnou centrálnou rúrkou zabezpečujúcou lepšie prispôbenie deformáciám rúrok vybavených ventilmi série ETAM v priebehu jednotlivých fáz injektáže. Ide o špeciálny obturátor, ktorý má k dispozícii obidva priemery čapčiek.
- E-T.A.M 38/27 3V: Pevná injektážna PVC rúrka s ventilom, s tromi ventilmi/m, vybavená rýchlospojками.

Kombinované injektovanie cementovou maltou a zmesou GROUTMASTER SR10 rieši problémy s prítokmi vody v traťových tuneloch medzi Termini a Colli Albani, ako i v tuneloch staníc Vittorio a Manzoni.

## 4 ZÁVERY

Technológie injektovania pre zlepšenie fyzikálno-mechanických vlastností a zníženia priepustnosti zemín sa používajú už



Obr. 8 Príprava zmesi pre chemickú injektáž  
Fig. 8 GROUTMASTER Mixer

The effectiveness of this treatment has been demonstrated when the head of TBM reached the consolidated soil: the excavation pressure considerably increased.

### 3.3 Metro Rome – Line A

Rome Metro Line A had waterproofing problem. Abundant flow of water has been detected in the running tunnel Termini/Colli Albani and in Vittorio and Manzoni Station tunnels.

The applied solution consists of various treatment for waterproofing and ground improvement carried out within the tunnels and stations of Rome Metro Line A. The works consists of sealing joints and bolts with polyurethane resins and drilling with rotating probes and injection of cement mixtures and later chemical injections by GROUTMASTER SR10 (Fig. 8, 9).

The waterproofing injection made by chemical mixture were carried out using the following equipment:

- EMP 27300 Flex-2C Pol: Twin mechanical packer for grouting with two leather and plastic sealing caps and flexible central pipe which provides better adaptability to deformations of the ETAM series pipe, fitted with valves, during the grouting phases. It is a special packer with both cap diameters available.
- E-T.A.M 38/27 3V: Valved rigid PVC grouting pipe, with three valves each meter produced with quick coupling sleeve.

The combined treatment with cement grout and GROUTMASTER SR10 Mixture solves water inflow problems both in Termini/Colli Albani running tunnel and in Vittorio and Manzoni Station tunnels.

## 4 CONCLUDING REMARKS

Grouting technologies for improving the mechanical and hydraulic conductivity properties of soils have been used for decades in diverse civil engineering applications. Permeation Grouting is the most common and oldest form of soil grouting and chemical grouting is a form of Permeation grouting applied in soil with low permeability characteristics.

A key advantage of chemical grouting is the ability to introduce grout into soil without any essential change in the original soil volume and structure, thus changing the support capability or permeability characteristics of soils without disturbing them. Several kinds of chemical grouts are available, and each kind has characteristics that make it suitable for a variety of uses.

GROUTMASTER SR10 is an inorganic product that mixed with water generates a mixture capable of causing the formation of a uniform gel with specific mechanical properties under normal temperature conditions. The reaction between the water and the product produces a crystalline structure very similar to hydrated cement. As a consequence, these are not only low viscosity,



desiatky rokov v rôznych stavebných aplikáciách. Penetračná injektáž je najbežnejší a najstarší spôsob injektovania zemín; chemická injektáž je formou penetračnej injektáže používanej v zeminách s nízkym súčiniteľom filtrácie.

Hlavnou výhodou chemickej injektáže je schopnosť dopraviť injektážnu zmes do horninového prostredia bez spôsobenia podstatných zmien v jeho pôvodnom objeme a v jeho štruktúre, takže sa menia iba mechanicko-fyzikálne vlastnosti a charakteristiky priepustnosti. K dispozícii je niekoľko druhov chemických zmesí, a každý druh má špecifické vlastnosti a charakteristiky, ktoré ho robia vhodným pre dané účely.

Materiál GROUTMASTER SR10 je anorganický produkt, ktorý po zmiešaní s vodou vytvára gél so špecifickými mechanickými vlastnosťami pri normálnych teplotných podmienkach.

Reakcia medzi vodou a produktom vytvára kryštalickú štruktúru veľmi podobnú hydratovanému cementu. V dôsledku čoho nejde len o zmes s nízkou viskozitou a vysokou penetračnou schopnosťou, ale výsledne i o materiál s vlastnosťami podobnými betónu, ktorý minimálne podlieha dotvarovaniu a deformáciám vplyvom trvalého zaťaženia.

Zmes GROUTMASTER SR 10 sa môže používať buď pre účely spevňovania horninového prostredia, alebo zníženie priepustnosti pre aplikácie dočasné i trvalé. Ideálna je pre injektovanie plošné a hĺbkové, radiálne i vertikálne. Jeho hlavnými výhodami sú:

- nízka počiatková viskozita a neprítomnosť tuhosti;
- absencia pevnej zložky, ktorá sa môže separovať od kvapaliny v dôsledku sedimentácie alebo vysychania;
- regulovateľná doba zrenia;
- lepšie mechanicko-fyzikálne vlastnosti horninového prostredia;
- zníženie priepustnosti horninového prostredia;
- neprítomnosť znižovania objemu;
- neprítomnosť synerézie (vyučovanie kvapaliny z tuhúceho gélu);
- absencia negatívneho vplyvu na životné prostredie.

Uvedené referencie produktu GROUTMASTER SR10 boli použité pri realizácii podzemných stavieb, kde bolo možné plne využiť jeho výhody a poukázať na jeho efektívnosť a demonštrovať jeho skutočnú účinnosť.

CARLA L. ZENTI, [carla.zenti@elasgeotecnica.it](mailto:carla.zenti@elasgeotecnica.it),

Elas Geotecnica s. r. l, Italy,

JOZEF SŇAHNIČAN, [jozef.snahnican@maccaferri.sk](mailto:jozef.snahnican@maccaferri.sk),

MACCAFERRI CENTRAL EUROPE s. r. o., Slovakia

Recenzoval: Ing. Miloslav Frankovský



Obr. 9 Injektáž  
Fig. 9 GROUTMASTER treatment

highly penetrating mixes, but also result in a material with concrete like behaviour, minimally subject to creep and permanent load deformation.

GROUTMASTER SR 10 Mixtures may be used either for consolidation purposes or for waterproofing both temporary and permanent applications. Its main properties are:

- low initial viscosity and absence of rigidity;
- absence of a solid phase that can become separated from the liquid to the effects of sedimentation or caking;
- adjustable setting time - increased consolidation and waterproofing effects of the treated soil;
- absence of shrinkage (reduction in volume);
- absence of syneresis (expulsion of a liquid from a gel);
- environmental compatibility.

GROUTMASTER SR10 mixtures are suitable for ground improvement and waterproofing treatment, ideal either for superficial or deep treatment, applicable both radially or vertically.

Case histories of GROUTMASTER SR10 mixture soil treatment, as they apply to tunneling, are also rendered to demonstrate the real effectiveness of this product.

CARLA L. ZENTI, [carla.zenti@elasgeotecnica.it](mailto:carla.zenti@elasgeotecnica.it),

Elas Geotecnica s. r. l, Italy,

JOZEF SŇAHNIČAN, [jozef.snahnican@maccaferri.sk](mailto:jozef.snahnican@maccaferri.sk),

MACCAFERRI CENTRAL EUROPE s. r. o.,

Slovakia

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] PELLEGRINO, G., LOW, Z., BIANCHI, P., TAN, S. M. Soil Improvement Technologies for Tunnelling: Selected Case Histories. *ASCE Met Section Spring 1999 Geotechnical Seminar State-of-the-Art Technology in Earth and Rock Tunnelling, New York, NY, May 26-27, 1999*
- [2] LOMBARDI, G. Selecting the grouting intensity. *The International Journal on Hydropower & Dams, Volume Three, Issue Four, 1996, pp. 62-66*
- [3] LOMBARDI, G. Grouting of Rock Masses. *Grouting and Ground Treatment, Proceedings of the Third International Conference, Geotechnical Special Publication No. 120, ISBN: 0-7844-0663-4, 2003*
- [4] US Army Corps of Engineers. *Chemical Grouting Washington, DC, 1995*
- [5] BOWEN, R. *Grouting in Engineering Practice. 2nd ed., Applied Science, New York, NY, 1981*
- [6] YONEKURA, R., KAGA, M. *Current Chemical Grout Engineering in Japan Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, American Society of Civil Engineers, Geotechnical Special Publication 30(1), 1981, pp. 725-736*
- [7] D.L. 152/2006 *Norme in materia ambientale. G.U. n. 88 14 aprile 2006*
- [8] [www.herrenknecht.com](http://www.herrenknecht.com)

## PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2013

## UNDERGROUND CONSTRUCTIONS PRAGUE 2013

## KEYNOTE LECTURE No. 1:

# VÝSTAVBA PRAŽSKÉHO METRA – HISTORIE, SOUČASNOST A BUDOUCNOST

## PRAGUE METRO CONSTRUCTION – PAST, PRESENT AND FUTURE

ERMÍN STEHLÍK

## ÚVOD

Jak již název příspěvku předeseílá, zabývá se přehledem historie výstavby metra v Praze od zahájení výstavby v roce 1966 až do současné doby, s akcentem na použité technologie a mechanizaci pro výstavbu ražených tunelů. Výjimkou je podchod Vltavy na trase metra IV.C. Stručně je zmíněna i budoucnost výstavby metra, jmenovitě trasy D.

Období výstavby metra v Praze bylo poplatné politické situaci, začátky výstavby byly s pomocí importovaných sovětských technologií. Později po získání zkušeností byly použity vlastní technologie a po roce 1989 byla intenzivně používána zejména Nová rakouská tunelovací metoda (dále jen NRTM) jak pro výstavbu traťových tunelů, tak i stanic. Až v roce 2010 došlo k aplikaci moderních tunelovacích strojů na výstavbě prodloužení trasy metra V.A.

Při přípravě příspěvku bylo použito mnoho článků zejména ze *Zpravodaje Metro*, později přejmenovaného na *Tunel*. Uvést veškeré reference nebylo možné a autor se tímto všem autorům použitých článků, které nejsou uvedeny v referencích, omlouvá. V textu jsou užity pracovní názvy úseků metra na jednotlivých trasách, které jsou značeny římskými čísly označujícími pořadí výstavby jednotlivých úseků trasy, např. IV.C; V.A, atd.

### ZAČÁTKY VÝSTAVBY A STAV DO ROKU 1989

Výstavba metra v Praze začala v roce 1966 realizací podpovrchové tramvaje v úseku u hlavního nádraží na trase C, později v roce 1967 bylo rozhodnuto realizovat klasické hlubinné metro. Od té doby je do konce roku 2012 v provozu 59 km metra s 57 stanicemi, ze kterých je 24 ražených (obr. 1).

První trasa metra, trasa C, byla vzhledem k přechodu od podpovrchové tramvaje realizována

## INTRODUCTION

As the title of the lecture indicates, it has been devoted to the history of Prague Metro construction since its start at 1966 until present period, accenting used technologies and equipment for the mined tunnels; the exception is underpassing of the Vltava River on the line IV.B. Briefly is mentioned also future Metro construction, namely line D.

The period of Metro construction was affected by the political situation; the start of construction was based on imported Soviet technologies. Later, after gaining experience, the own constructions



Obr. 1 Mapa pražského Metra  
Fig. 1 Prague Metro map



s tunely i stanicemi s mělkým založením, v důsledku čehož byly stanice hloubené. K raženým stanicím se přešlo až na dalších trasách, kdy tunely a stanice v centrální části byly situovány do pražského skalního podloží. Podchody řeky Vltavy traťovými tunely metra byly rovněž realizovány ve skalním podloží, a tak výběr technologií a mechanizace pro ražbu tunelů byl situováním tras do skalního podloží ovlivněn.

Od začátku výstavby metra byly dominujícími organizacemi, tak jak je již zakotveno v jejich názvu, Metroprojekt Praha ve funkci generálního projektanta a Metrostav Praha ve funkci generálního dodavatele. Politická změna v roce 1989 přinesla i změny v zadávání zakázek, ale i přesto jsou tyto dvě organizace stále významnými partnery města Prahy při projektování a výstavbě metra. Za investora byla přípravou metra pověřena organizace Investor dopravních staveb (IDS), v současné době působící pod názvem Inženýring dopravních staveb.

### Charakteristické geologické podmínky Prahy

Vedení tras metra, zejména výškové, bylo ovlivněno konfigurací terénu, potřebou podchodů Vltavy a geologickými podmínkami. Výškový rozdíl nivelet mezi například stanicí Staroměstské náměstí a stanicí Petřiny na trase metra A je zhruba 200 m, což ukazuje velký vliv konfigurace terénu. Skalní podklad na území Prahy je převážně z hornin prvohorního stáří (převážně ordovik), v menší míře se vyskytují též horniny druhohor, což jsou svrchnokřídové uloženiny, zastížené např. při stavbě prodloužení trasy V.A na Petřinách. Skalní podloží vystupuje na povrch zřídka, je překryto zvětralínami a eluviálními a aluviálními sedimenty.

### Použitá technologie a ostění pro ražbu traťových tunelů

Začátek výstavby až do období po roce 1989 byl ovlivněn tehdejší politickou situací, kdy se pro výstavbu metra aplikovaly technologie a zkušenosti ze staveb metra ve městech tehdejšího Sovětského svazu.

První traťový tunel metra trasy C byl ražen nemechanizovaným štítem na stavbě tunelu na Pankráci, na staveništi Štětškova ulice (obr. 2). Ražba probíhala převážně mimo zástavbu, bylo ale nutné podejít ranně barokní kostel sv. Pankráce (skrývá v sobě rotundu z 12. století), což se podařilo bez poškození významné památky. Geologické podmínky byly občas složité, vyskytovaly se např. čočky tekutých písků, kdy bylo nutné postupovat s plným pažením čelby tunelu. I na dalších stavbách traťových tunelů na trase metra C byly použity nemechanizované štíty v kombinaci s montovaným ostěním profilu 5,1 m/5,5 m a šířce 1 m. Základní metodou pro výstavbu traťových tunelů byla ale prstencová metoda při použití sovětských erektorů pro montáž segmentového ostění. Jenom na úsecích, kde byla dodavatelem Výstavba kamenouhelných dolů



Obr. 2 Ražba prvního tunelu na trase Metra C na Pankráci  
Fig. 2 First bored tunnel on Metro Line C with open shield, Štětškova street site

and methods were applied and after the year 1989 the New Austrian Tunnelling Method (NATM) was extensively used for construction both of running and station tunnels. Only in 2010 the modern Tunnel Boring Machines (TBM) were introduced for the extension of Metro Line V.A.

For preparation of the lecture many papers, mainly from "Zpravodaj Metro", later renamed "Tunel", have been used. Introduction of all references was not possible, the author apologises to the authors of papers not included in references. In the text are used working names of metro line sections, marked by Roman numbers designating the order of construction of particular line sections, e.g. IV.C; V.A, etc.

### START OF CONSTRUCTION AND STATUS UNTIL 1989

Prague Metro construction started in 1966 by building of underground tramway system in the stretch of C line close to the Main Railway Station, only later in 1967 the decision was made to change construction to classical deep metro. Since, to the end of 2012, there have been 59 km of metro lines in operation, with 57 stations, 24 of them are mined stations (Fig. 1).

The first Metro line C was built with shallow tunnels and stations; as a result all the stations were built using open cut construction method. The mined stations have been built on following Metro lines, where the tunnels and stations are located into the Prague bedrock. Running tunnels underpassing the Vltava River were also located in the bedrock and therefore the choice of technologies and equipment was affected by tunnels location.

Since the start of Metro construction the dominating firms, as their names indicate, were Metroprojekt as a General Consultant and Metrostav as a General Contractor. The political changes in 1989 brought tendering processes, nevertheless these two organisations are still important partners of City of Prague for design and construction of Prague Metro. On the Client's side since the start of construction the firm Investor dopravních staveb, lately renamed to Inženýring dopravních staveb, has been present.

### Characteristic Prague's Geological Conditions

The routing of the metro lines, especially their elevation, was affected by the landscape configuration, underpassing of the River Vltava and geological conditions. The difference of the altitudes between e.g. station Staroměstské náměstí and Petřiny Station on the Metro line A is around 200 m, this showing significant impacts of landscape configuration. The bedrock consists mainly of palaeozoic age rocks (mostly ordovic), in lesser degree also the rocks of Mesozoic era, as chalk period sediments, were encountered during construction of Petřiny Station on extension of Metro Line V.A. The bedrock outcrops are rather rare, bedrock is covered by weathered materials and alluvial and fluvial sediments.

### Methods and linings used for running tunnels construction

The start of construction until 1989 was affected by then political situation, when for Metro construction the methods and experience from metro construction in Soviet cities were applied.

The first running tunnel of C line was bored by non-mechanized open shield on the Pankrác, Štětškova Street site (Fig. 2). The boring went mostly outside the built-up area, but it was necessary to go under the early baroque church of Saint Pancras (includes the rotunda from 12th century), which was achieved without any damage to the significant historical monument. Geological conditions were sometimes complex, with occurrence e.g. running sand lenses, when the full lagging of the tunnel face was required. Also in other sections of Metro Line C the shield method was used in combination with segmental lining 5.1 m/5.5 m and ring width 1.0 m. But the basic method was so called "ring method", with Soviet made erectors used for lining assembly. Only on sections, where the subcontractor Výstavba kladenských dolů (VKD) built the tunnels, their special erector with precast concrete segmental lining diameter of

Kladno (VKD), byl použit speciální ukladač vlastní konstrukce a rovněž betonové segmentové ostění průměru 5,2 m/5,6 m a šířce 0,75 m bylo navrženo VKD. Při prstencové metodě byly plošiny erektoru využity pro ruční navrtávání čelby a po provedení odpalu a odtěžení rubaniny pomocí kolejových nakladačů, zpočátku vesměs PPN (pneumatické přehazovací nakladače s obsahem lžice 0,4 m<sup>3</sup>), erektor najel k čelbě a pomocí otočné ruky smontoval další prstencový ostění [6]. Později byly pro kratší úseky ražeb vyvinuty Metrostavem speciální ukládací plošiny.

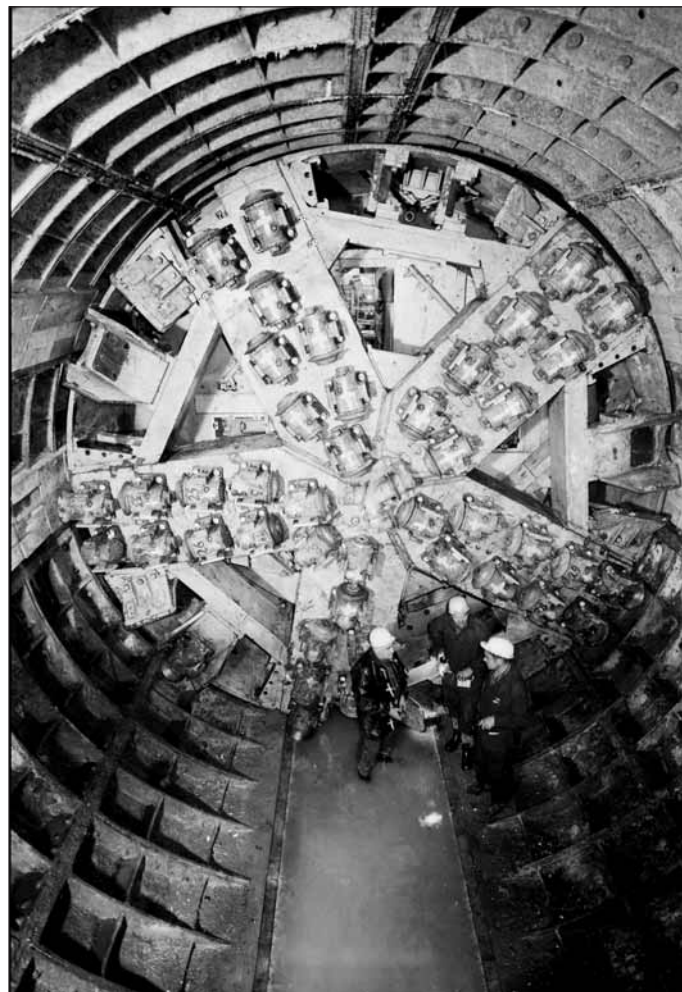
Další budovaná trasa metra byla trasa A, která byla jako hlubinná situována do skalního podloží Prahy. I přesto se stále používaly nemechanizované štíty i do skalních hornin, a to v kombinaci s trhačmi pracemi. Hlavní metodou však zůstávala prstencová metoda s použitím trhačích prací pro rozpojování hornin a erektoru pro montáž ostění.

Před prvním podchodem Vltavy, což bylo na trase I.A mezi Klárovem a Starým Městem, byly značné obavy, jak bude skalní nadloží nad tunelem a pod řekou reagovat na trhačí práce. Nakonec bylo rozhodnuto realizovat ražbu tunelů bez použití trhavin, a proto byly ze Sovětského svazu dodány dva mechanizované štíty, dnes by se nazývaly TBM (Tunnel Boring Machine), pod typovým označením TŠČB-3 (obr. 3) [1], [2]. Zajímavostí těchto tunelovacích strojů bylo použití ostění z lisovaného betonu. Celkem byly vyrobeny tři identické prototypy, dva z nich byly dodány pro stavbu pražského metra. V té době se technologie lisovaného betonu („extruded lining“) vyvíjela v Německu a Japonsku a předpovídala se jí velká budoucnost, pravděpodobně ale „předběhla svou dobu“. Proto v dané době k naplnění předpovědi nedošlo, ale poslední názory tunelářských expertů naznačují, že tato technologie, vzhledem ke značnému pokroku ve vývoji materiálů, přísad a zařízení, může mít v budoucnosti značné využití. Pro tento názor je mnoho důvodů – když zmizí segmenty, ubudou problémy s nimi spojené, jako jsou přítomnost spar, sedání, bezpečnost, atd. Současný stav tunelů pod Vltavou dává tomuto tvrzení určitou podporu, ostění z lisovaného betonu je z hlediska vodonepropustnosti stále v poměrně dobrém stavu.

Protože existovaly nejistoty ohledně toho, jak bude ražba pod Vltavou probíhat, před prvním nasazením byla pod Vltavou vyražena směrová štola, která sloužila pro upřesnění geologie a zároveň její betonové dno poskytl vedení pro tunelovací stroj. Nadloží tunelu bylo navíc sanováno pomocí injektáží prováděných z lodí. Tunelovací stroje nakonec vyrazily na trase I.A oba tunely z Klárova do stanice Staroměstská, jeden tunel ze Staroměstské na Můstek a na trase I.B severní tunel od stanice Můstek až do stanice Florenc. Dosažený maximální postup byl 132 m/měsíc (ražba na trase B), což je v porovnání s výkony štítů na prodloužení trasy V.A samozřejmě číslo malé, ale je potřebné si uvědomit, že se razily krátké úseky, a tak vliv zácivku a získání zkušeností měl velký dopad na postupy. Zásadním problémem ovlivňujícím maximální postupy byla potřeba čekat na dosažení potřebné pevnosti lisované betonové ostění pro jeho odbednění. Ale hlavní rozdíl je v tom, že TBM technologie udělala zejména v posledních 20 letech obrovský pokrok.

Od roku 1985 byl Metrostavem na stavbě tratových tunelů metra nasazován štít s frézou, první prototyp pod jménem RŠF-1. Jednalo se o první československý razicí štít a byl osazen frézou AM-100 od rakouské firmy Voest-Alpine [4]. Na vývoji se podílelo více než třicet firem a veškerou koordinaci prováděl Metrostav. Na úseku trasy metra II.B se tímto zařízením podařilo dosáhnout průměrný měsíční postup 80 m, při nejlepším měsíčním výkonu 164 m, což byl do té doby nejvyšší měsíční výkon dosažený při ražbě tratových tunelů. Při ražbách byly velké problémy se zabořováním štítu. Byly plány jak na vývoji a výrobě dalších štítů pokračovat, po roce 1989 šel vývoj ale jiným směrem.

V prvním období bylo u tratových tunelů používáno litinové ostění, které bylo jednak drahé a také nebylo k dispozici v dostatečném množství. Proto se stále častěji používalo i např. kombinované ostění (spodní dílec beton, ostatní litina), betonové



Obr. 3 Mechanizovaný tunelovací komplex TŠČB-3  
Fig. 3 Mechanized tunnelling complex TŠČB-3

5.2 m/5.6 m and ring width 0.75 m was used. With the ring method the erector's platforms were used for hand drilling of the tunnel face and after the blasting and mucking by mostly PPN loader (pneumatic overhead loader with shovel capacity of 0.4 m<sup>3</sup>), the erector moved again to the face and by help of turning arm erected the next ring [6]. Later Metrostav developed special assembly platforms, used for shorter tunnel stretches.

The next built Metro Line was line A, which as a deep line, was located into the bedrock. Nevertheless, non-mechanised shields were still used in combination with blasting, but the main method remained the ring method with blasting and erector for lining assembly.

Before the first Vltava River crossing, which was on the Line A between Klárov and Old Town, there were significant doubts how will the bedrock tunnel overburden under the river react to the blasting works. In the end it was decided to apply mechanical boring without blasting works and for this task two mechanized shields (today TBM), type designation TŠČB-3 were supplied from the Soviet Union (Fig. 3) [1], [2]. Interesting feature of these machines was application of extruded lining. In total three such prototypes were manufactured, two of them came to Prague for Metro construction. In this time period the technology with extruded lining was developed in Germany and Japan and "bright" future was forecasted for it, but it probably was "ahead of its time". Therefore in that period the forecast failed, but the latest opinions of tunnelling experts imply that this technology, owing to the huge development in materials, admixtures and equipment, might have in the future considerable usage. For such opinions are few reasons-if segments disappear, there might be less problems related to them such as existence of joints, settlements, safety, etc. The exist-



ostění (přebíral se typ ostění z Maďarska), u kterého postupem času docházelo k modifikacím, jako bylo rovné dno, nebo i oboustranně rovné dno. Injektáž za ostění byla dvojestupňová, po smontování prstence se vyzdilo čílko a vzestupně se udělala nízkotlaká výplňová injektáž cementovou maltou, s tlaky 3 bary. S odstupem se dělala tzv. těsnící injektáž cementovým mlékem a vyššími tlaky do 10 barů.

Výhodou u litinových ostění byla možnost dobrého utěsnění pomocí utemování těsnicích drážek olovem, i když s velkou pracností, u betonových ostění se aplikovalo těsnění nejprve rozpínavým cementem, později provazci s rozpínavým cementem, které samozřejmě mělo své slabiny. Obecně lze konstatovat, že otázka těsnění segmentových ostění nebyla vzhledem k daným možnostem optimální, a i proto začal Metrostav ke konci 80. let jednat o nákupu licence na výrobu železobetonového ostění s gumovými těsnicími pásy s firmou Wayss & Freytag, k uzavření smlouvy vzhledem k událostem roku 1989 již nedošlo.

### Použité technologie a ostění pro ražbu staničních a eskalátorových tunelů

První ražené stanice, které byly realizovány na trase I.A, byly pilířového (např. Muzeum I.A), nebo sloupového typu (např. Můstek I.A), oba typy s litinovým ostěním. Významnou úsporou byla náhrada nedostatkového dovažovaného litinového ostěním železobetonovým, vyráběným v Prefa Hýskov, závod Lužec. Stanicemi, ve kterých už bylo použito betonové ostění, byly stanice Hradčanská a Náměstí Míru, které předznamenaly další vývoj ražených stanic metra s betonovým ostěním. Použité železobetonové ostění bylo obdobné jako v Kyjevě. Prostupová část se realizovala s pomocí na místě betonovaného železobetonového průvlastku, který se opíral o pilíře budované po dokončení ražeb vyjmutím příslušných segmentů, následnou instalací výztuže a potom betonáží pilířů o šířce 1,5 m (šířka dvou prstenců železobetonového ostění 7,8/8,8 m). Tato činnost, kdy bylo v podzemí potřebné dosáhnout vysokou pevnost betonu (zejména u průvlastku) ve značně omezených a nepřístupných prostorách, vyvolala potřebu změny.

Zásadní změna se odehrála na stanici Jiřího z Poděbrad na trase II.A, kde se udělalo hned několik důležitých změn. Došlo k zmenšení šířky pilíře na šířku jednoho prstence ostění, tj. 0,75 m a byl navržen ocelový pilíř, v každém tunelu sestávající ze dvou dílců, kterých rozměry se příliš nelišily od rozměrů segmentů betonového ostění a mohly být proto ukládány erektorem současně s montáží ostění. Aby bylo umožněno zmenšení v příčném směru, byla zkrácena osová vzdálenost kolejí z 23,40 m na 21 m. Další změnou byla náhrada na místě betonovaného železobetonového průvlastku průvlastkem ocelovým, ukládaným po dokončení staničního tunelu osově na pilíř, přičemž šířka prostupu byla 3 m jako u původního typu stanice. Ocelový průvlastek byl aktivován drátko-betonem, lisovaným mezi horní pásnici průvlastku a opěrná žebra segmentů ostění.

Technologie výstavby stanice Jiřího z Poděbrad se osvědčila, tento typ stanice byl i nadále rozvíjen a vylepšován. V dalších fázích byly vyvíjeny pilíře, kde zatížení přenášela ocel, proti řešení na stanici Jiřího z Poděbrad, kde při přenosu zatížení působil i beton. Dále došlo ke zvětšení prostupu na 3,75 m a zmenšení spodního průvlastku s cílem úsporu na ocelových konstrukcích. Typ stanice byl nakonec unifikován a pojmenován jako „pražský typ“ (obr. 4) [3]. Celkem bylo na všech trasách realizováno 12 pilířových stanic s ostěním ze železobetonových segmentů, ve kterých byl aplikován princip montáže pilíře během stavby jednotlivých tunelů s následnou montáží ocelových průvlastků.

Všechny eskalátorové tunely byly realizovány v litinovém ostěním převážně o vnitřním průměru 7 m a technologie výstavby prstencovou metodou s erktorem. Pokud se procházelo zvodnělými polohami sedimentů, aplikovaly se cementové injektáže s pomocí PVC trubek s manžetami (metoda „tube a manchete“), které realizovala firma Vodní stavby.

ting status of extruded lining under the Vltava River gives such future some support, the extruded lining is in respect of watertightness still in good conditions.

Before the first bore by TBM, due to the existing uncertainty in respect of boring under the Vltava River, the advance gallery was built, serving for geological survey and its concrete invert also providing support to the TBM. The tunnel overburden was improved by grouting made from the boats. The TBM completed on the line I.A both tunnels under the river from Klárov to Staroměstská, one tunnel from Staroměstská to Můstek and on the line I.B northern tunnel from station Můstek to station Florenc. The maximum monthly progress was 132 m (on I.B line), comparing to advance rates on the extension of line V.A this is rather small number, but the stretches between the stations were short and therefore the learning curve had big impact on the rates. Main problem affecting the rates was a need to wait for the extruded concrete achieving required strength before formwork re-erection. But the main reason is that the TBM technology made in last 20 years huge step forward.

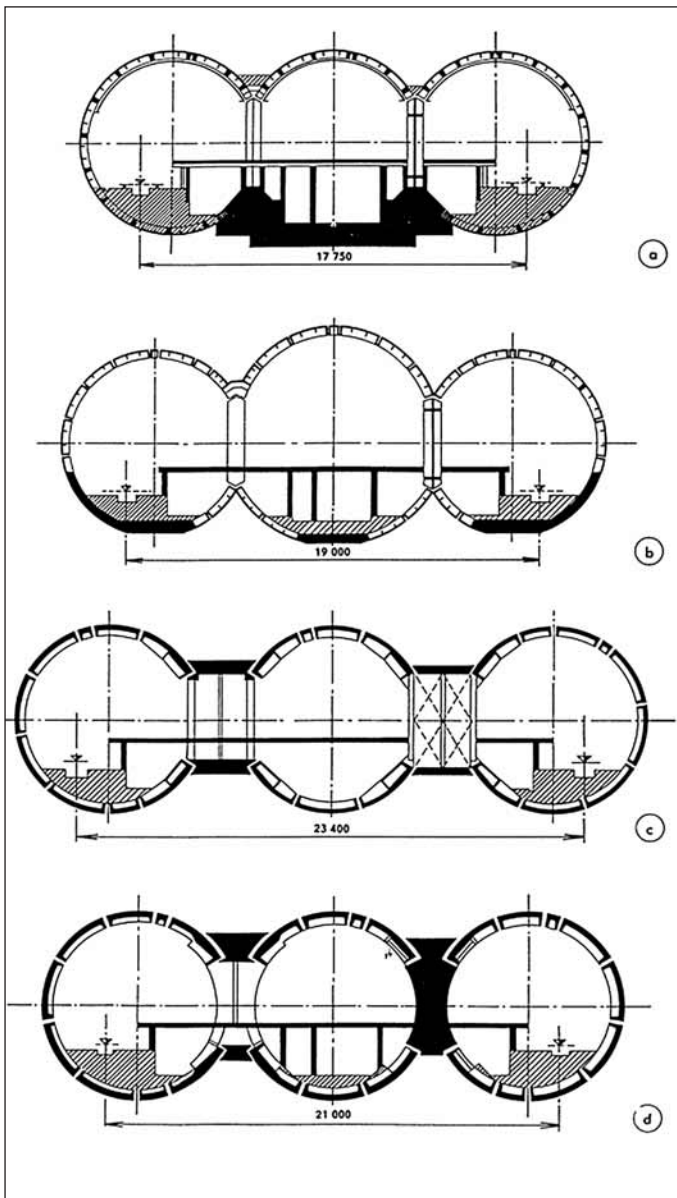
Since 1985 Metrostav used for boring the running tunnels the shield with roadheader boom, the first prototype named RŠF-1. It was the first Czechoslovak shield equipped with roadheader boom AM-100 produced by Austrian company Voest-Alpine [4]. On the machine development participated more than thirty firms, the coordination done by Metrostav. On the Metro line II.B this equipment achieved average progress of 80 m per month, the best monthly advance was 164 m, which has been the highest rate on running tunnels achieved at that time. During the boring there were problems with keeping correct vertical alignment. There were plans to develop and produce more machines, but after 1989 the development followed other path.

For running tunnels, during the first period, the cast iron lining was used, which was expensive and also was not available in required volumes. Therefore more often e.g. combined lining was used (invert segment concrete, the rest cast iron) and later concrete segmental lining (type from Hungary), which was gradually modified by having one-sided or two-sided flat invert segment. The grouting behind the lining was in two stages, after ring assembly the front space behind the lining was provided with brick wall and upwards filling with low pressure (up to 3 bars) cement mortar grouting followed. With some distance behind the face the so called sealing grouting with cement grout and higher pressures up to 10 bars followed.

The advantage of cast iron lining was, although with time consuming effort, the possibility to seal the joints with caulked lead. The concrete segment joints were sealed with expanding cement, later with chorda with expanding cement; this sealing having its own weaknesses. Generally could be stated that sealing of segmental linings was not optimal and therefore Metrostav to the end of eighties of the last century started negotiation with „Wayss & Freytag“, to gain licence for production of concrete segmental lining with sealing rubber gaskets. The agreement was not completed due to the events of 1989.

### Technologies and linings used for station and escalator tunnels

The first mined stations on the Line I.A were so called “pillar” type (e.g. Muzeum) or “column” type (e.g. Můstek), both stations with cast iron segmental lining. The stations with concrete segmental lining were stations Hradčanská and Náměstí míru, and since their construction further development of mined stations with concrete precast lining started. The used lining was similar to the lining used in Kiev (at that time USSR). The part with cross passages between station tunnels was created by help of in-situ cast reinforced concrete beam, which rested on pillars. These were built after the tunnels were excavated, starting with extraction of relevant segments, followed by reinforcement installation and in the end concreting the pillar width of 1.5 m (width of two rings of seg-



Obr. 4 Vývoj ražených stanic Metra; a – stanice sloupového typu na trase A; b – stanice sloupového typu na trase B; c – stanice pilířového typu trasy A (Náměstí Míru); d – stanice pilířového typu na trase B (Zlámal, J.)

Fig. 4 Development of mined metro stations; a – column type station, Line A; b – column type station, Line B; c – pillar type station, Line A (Náměstí Míru); d – pillar type station, Line B (Zlámal, J.)

### Zhodnocení období do 1989

Za daných podmínek se při výstavbě metra podařilo úspěšně vyrazit tunely a stanice často v obtížných geologických podmínkách, v husté městské zástavbě a s minimálními dopady na povrch. Během výstavby se aplikovala řada vlastních postupů a projekčních řešení a výsledkem byla stavba, která byla prezentována jako výkladní skříň stavebnictví. Z dnešního pohledu obrovskou výhodou byla kontinuita pro zpracovatele dokumentace i stavební firmy, kdy zakázky byly automaticky přidělovány jak generálnímu projektantovi, tak i generálnímu dodavateli. Nebylo nutné zpracovávat nabídky na soutěže a za podmínek jistoty zakázek bylo možné úsilí věnovat vývoji nových řešení a technologií. Samozřejmě toto úsilí často nahrazovalo nemožnost dovozu moderních technologií a zřízení.

Výstavba metra v tomto období a použité technologie byly zaměřeny na aplikaci montovaných segmentových ostění, velmi těžko se např. prosazovalo použití stříkaného betonu, i když o jeho zavedení byla trvalá snaha. Technologie používané na výstavbě metra ovlivnily i další významnou tunelovou stavbu v Praze,

mental lining 7.8 m/8.8 m). These activities, when in the complicated and confined underground condition the very high strength of concrete has to be achieved (mainly for beam), called for a change.

And such fundamental change happened during construction of station Jiřího z Poděbrad on the line II.A, where few significant changes took place. The width of the pillar was reduced to width of the ring, i.e. 0.75 m and steel pillar consisting of two parts, size of each being similar to the lining segment was designed, enabling installation of pillars by erectors already during the tunnel excavation. To enable reduction of pillar cross dimension, the distance between the tracks was reduced from 23.4 m to 21.0 m. Another change was in replacing the in-situ cast concrete by steel beam, installed after the tunnel completion axially on the pillar; the width of cross passage was 3.0 m, the same as in the original type. The steel beam was activated by steel fibre concrete, pressed between the steel beam upper flange and supporting rib of segmental lining.

The construction method used at station Jiřího z Poděbrad was successful and this type of station was further developed and improved. In the next phases the pillars with steel as a main bearing element were developed, comparing to station Jiřího z Poděbrad, where the bearing element was also concrete. Further, the width of cross passage was increased to 3.75 m, the size of lower steel beam was decreased with the aim to save the steel volume. The station type was in the end unified and named as “Prague type” (Fig. 4), [3]. In total on all metro lines 12 of such stations with precast concrete lining were built, where principle of pillar assembly already during the tunnel excavation, followed by installation of steel beams, was applied.

All escalator tunnels have been built using cast iron segmental linings, most of them with internal diameter 7.0 m and technology of construction was again by help of erectors. When the layers of sediments with underground water had to be tunnelled through, the cement grouting with „tube a manchette“ method was performed by the specialized contractor Vodní stavby.

### Review of period until 1989

Considering the given conditions, the construction of tunnels and stations in often difficult geological conditions, in densely built-up areas of historical city, and with minimum impacts on the surface, was successful. During the construction process a number of in-house methods and design solutions were developed and the result was a civil engineering project, which was presented as “display case” of construction industry. With the hindsight it could be stated that the arrangement with the projects automatically being awarded to the general consultant and general contractor for the metro construction had a great advantage of the continuity of works for both subjects. There was no need to go to tender processes and lot of the effort could be devoted to the new solutions and technologies. Of course such efforts often substituted the limited possibility to import modern technologies and equipment.

The mined metro tunnels construction at the mentioned time period was oriented to application of segmental linings, the application of e.g. shotcrete was not simple to introduce, although there was constant effort to do it. The methods used on metro construction affected even another important tunnelling project in Prague, Strahov Road Tunnel, where the application of segmental lining did not help to development of modern tunnelling method in former Czechoslovakia.

From today's perspective the waterproofing both of running and station tunnels was a weak point. With the cast iron lining the joint insulation using caulked lead was very time consuming, but the resulting watertightness was good. Nevertheless, in stations the protective sheeting collecting the seepage water had to be installed. To the watertightness, the use and quality of two-stage grouting applied behind the segmental lining, was closely related.

Significant problem was impossibility to use bigger equipment



Strahovský tunel, kde bylo rovněž použito segmentové montované ostění, což nepřispělo k rozvoji tunelářských technologií v tehdejší ČSSR.

Z dnešního pohledu byly slabým místem izolace železobetonových ostění jak tratových, tak i staničních tunelů. U litinových ostění byly izolace sice velmi pracné – temování spar olovem, ale dalo se dosáhnout dobré vodotěsnosti. Ve stanicích se přesto musely montovat tzv. zonty, které zachytávaly a sváděly průsakovou vodu. S izolacemi souviselo rovněž použití a kvalita dvojstupňové injektáže za montovanou segmentovou ostění.

Problémem bylo použití větší mechanizace pro dopravu, nakládání a vrtání. Stísněné prostory u erektorů a aplikace kolejové dopravy vyžadovaly použití malých nakladačů, i když se postupně zaváděly kontinuální nakladače, které nahrazovaly malé PPN nakladače. Slabým článkem byla po celou dobu technologie vrtání, v podstatě veškeré vrtání na tunelových čelbách bylo „ruční“, s nepříznivými dopady jak na výkony, tak i na zdraví tunelářského personálu.

Další slabinou bylo pažení ostění štol a pomocných výrubů, které se provádělo betonovými nebo ocelovými pažinami se zakládkou a až ke konci předmětného období se zavádělo použití stříkaného betonu, a to zejména pro dočasné výrubu, jako byly např. stropní štolu u staničních tunelů. Absence aktivního zajišťování výrubů pomocí kotev a stříkaného betonu chyběla, a proto rovněž docházelo k závalům, někdy i s dopady na povrch. Vliv a aktivita médií v té době nebyly ale takové jako v dnešní době, a tak tyto události nebyly natolik publikovány.

## VÝVOJ PO ROCE 1989

Ze změnou politického systému a otevřením možností dovozu moderních technologií došlo k zásadním změnám při výstavbě metra. Zásadní převahu získalo použití NRTM pro ražbu stanic, eskalátorových i tratových tunelů. Pro vrtání se začaly používat vrtací vozy a pro zajišťování výrubu se aplikovalo kotvení a stříkaný beton společně s příhradovými nosníky. Ostění tunelů jak tratových, tak i staničních je dvouplášťové, po aplikaci provizorního ostění následuje instalace fóliové izolace a betonáž definitivního ostění pomocí forem.

Na rozdíl od předchozího období se zcela opustilo od používání prefabrikovaného železobetonového montovaného ostění, což nebylo z hlediska budoucnosti ražeb tratových tunelů ideální, jak na to často upozorňoval Zdeněk Eisenstein, který byl velkým propagátorem tunelovacích strojů pro výstavbu tratových tunelů v Praze, a je škoda, že se ražeb na trase V.A nedožil. Převaha použití NRTM i pro výstavbu tratových tunelů skončila až v roce 2010, kdy Metrostav a. s. zakoupil pro výstavbu trasy metra V.A dva tunelovací stroje, typově zeminové štíty (dále jen EPBM-Earth Pressure Balance Machine).

Velmi významným počínem byl podchod Vltavy na trase metra IV.C. Použitá technologie je jedním z největších přínosů českého tunelářství k vývoji tunelářství světového.

### Aplikace NRTM

Bylo jenom otázkou času, kdy technologie ražby prstencovou metodou s použitím segmentových ostění bude postupně nahrazena NRTM, což bylo snem mnoha tunelářských odborníků již v průběhu 80. let. Zavedení technologie proběhlo přes státní výzkumný úkol, který byl odsouhlasen v roce 1989. Hlavním řešitelem úkolu byl Metrostav a úkol byl podle předpokladů zahájen v roce 1990 a probíhal i v roce 1991, přičemž na financování úkolu se kromě státu podílely Metrostav, Vojenské stavby, Subterra a Železniční stavitelství. V roce 1991 řešení úkolu skončilo z důvodů změn ve financování, ale výsledky získané v průběhu dvou let byly využity a aplikace NRTM se již přesouvala na stavby.

Již počátkem roku 1989 proběhla první experimentální aplikace NRTM, a to na objektu hygienické buňky ve stanici Florenc (tehdy Sokolovská). V rámci přípravy experimentu bylo potřebné ověřit

for transport, loading and drilling. Constrained spaces in erectors in combination with rail bound transport required use of small loaders, although later continual loaders were introduced to replace small PPN loaders. Another weak point was drilling; basically all the drilling at tunnel faces was done “by hand” with negative impacts on production and also health of tunnelling staff.

Another weak point has been in lagging of drifts and other temporary excavations, which has been done mostly by concrete or steel sheeting boards with backfill. Only to the end of mentioned period, the shotcrete, especially for temporary drifts, as a pilot drifts in station tunnels was used. The absence of active support by bolts and shotcrete was causing occasional overbreaks, sometimes even sinkholes on the surface. But the media activity and influence was not as today, and therefore such events were not so widely publicised.

## DEVELOPMENT AFTER YEAR 1989

The change of political system, and therefore possibility to import modern technologies, was a turning point in the metro construction. Application of NATM gained superiority and was used for stations, escalators and running tunnels. For drilling the jumbos were employed and for the primary support bolting and shotcrete with lattice girders were used. The lining of both running and station tunnels was double-lining, after primary lining application the installation of waterproofing layer followed, in the end the secondary final lining was cast into the formwork.

Comparing to previous period the application of precast segmental lining was completely abandoned, for future of running tunnels construction not quite ideal situation, as was often mentioned by Zdeněk Eisenstein. He was a keen promoter of TBM usage for running tunnels in Prague and it is regrettable he is not any more among those present to see them on metro extension V.A. Domination of NATM for construction of running tunnels ended in 2010, when Metrostav purchased for construction of metro extension V.A two TBMs (EPBMs-Earth Pressure Balance Machines).

Very significant achievement has been underpassing of Vltava River on the metro line IV.C. Applied technology is one of the biggest contributions of the Czech tunnelling to the world tunnelling.

### NATM application

It was only matter of time when the ring method with segmental lining will be gradually replaced by NATM, which was a dream of many tunnelling experts already during eighties of the last century. Introduction of the method was done with help of State Research Project, which was approved in 1989. The main coordinator was Metrostav and the research started as planned in 1990 and continued through 1991, financing of the research besides the state was by Metrostav, Vojenské stavby, Subterra and Železniční stavitelství. In 1991 the research ended due to the changes in financing, but the results gained during two years were used and NATM moved already to the sites.

At the beginning of 1989 the first experimental application of NATM happened on excavation of gallery for special purposes on the station Florenc (formerly Sokolovská). As a part of the experiment it was required to verify and evaluate the geological conditions, prepare the design documentation, evaluate new support elements, create monitoring documentation and prepare testing of shotcrete. After this first approach, few drifts and parts of station tunnels in primary lining were executed at stations Vysočanská and Hloubětín on metro line IV.B, and already more than 2 km of running tunnels with double-lining with intermediate waterproofing was built on the same line. The first double track metro tunnel built by NATM between 1995 and 1997 was also on the same line IV.B. For its construction already the machinery and equipment, customary used for NATM abroad, was first time in action. From four

a vyhodnotit geologické poměry, vypracovat projektovou dokumentaci, ověřit nové prvky ostění a sestavit metodiku měření poklesů a zkoušení stříkaných betonů. Po tomto prvním „otůkávání“ se realizovalo několik štol a částí staničních tunelů na stanicích Vysočanská a Hloubětín na trase metra IV.B a zejména přes 2 km traťových tunelů, kde již bylo použito dvouplášťové ostění s mezilehlou izolací. První dvojkolejný traťový tunel na metru byl rovněž realizován pomocí NRTM a bylo to rovněž na stavbě metra IV.B v letech 1995–1997 [5]. Při jeho ražbě se již použily klasické strojní sestavy, obvyklé při aplikaci NRTM ve světě. Ze čtyř eskalátorových tunelů na trase IV.B byly tři realizovány pomocí NRTM.

Dalším přelomovým krokem při aplikaci NRTM při výstavbě metra byla první jednodlná ražená stanice Kobylisy na trase IV.C [7]. Snahy o výstavbu jednodlné stanice začaly již v 80. letech minulého století a byl to další „sen“ celé generace tunelářů, který došel naplnění v roce 2002, kdy Metrostav razil stanici Kobylisy (obr. 5). Příčný profil stanice byl 228 m<sup>2</sup>, její délka 148 m. Tloušťka primárního ostění ze stříkaného betonu s příhradovými oblouky byla 400 mm, definitivní ostění s mezilehlou izolací má tloušťku 600 mm. Ražba profilu probíhala s vertikálním i horizontálním členěním výrubu s použitím rozpojování pomocí tunelových bagrů i trhacích prací. Trvalý monitoring zajišťovala Stavební geologie-Geotechnika a. s. Praha, která zdokumentovala maximální pokles terénu nad stanicí v hodnotě 45 mm, přičemž dopady na povrchovou zástavbu byly minimální.

#### Podchod Vltavy na trase IV.C

Podchod Vltavy metodou výsuvu v letech 2001 a 2002 byl a stále je jedním z nejvýznamnějších příspěvků českého tunelářství ve světovém měřítku [8]. Zvolená metoda spočívala v tom, že se jednotlivé tubusy traťových tunelů vybudovaly v suchém doku, kterým byla jáma pro budoucí hloubené tunely na trojském břehu řeky Vltavy (obr. 6). Na dně řeky se vyhloubila rýha nejprve pro jeden tubus, pro druhý tubus se těžila až po uložení prvního tubusu. Suchý dok byl od řeky oddělen štetovou stěnou, ve které se otevřel otvor po dokončení a vystrojení tubusu a zaplavení suchého doku. Vystrojení tubusu spočívalo v osazení vnitřních vyvažovacích nádrží na vodu a uzavření čel ocelovými víky. Ke kotevním prvkům zabetonovaným v horní desce tubusu se připevnily dva systémy závěsů – vodorovné závěsy (tažné a brzdný) zajišťovaly polohu tubusu během výsuvu a svislé závěsy korigovaly výšku



Obr. 5 První ražená jednodlná stanice metra Kobylisy (Husák, J.)  
Fig. 5 First single vault station Kobylisy (Husák, J.)

escalators tunnels on this line, three of them have been built by NATM.

Another turning point in NATM application was construction of first single vault station on the line IV.C [7]. The attempts to build single vault station started already in eighties of the last century and it was another “dream” of whole generation of tunnelling experts, being fulfilled in 2002, when the excavation of station Kobylisy was performed by Metrostav (Fig. 5). The cross sectional area of the station was 228 m<sup>2</sup>, the length of the station 148 m. The primary lining thickness with lattice girders was 400 mm, the final lining with intermediate waterproofing has thickness 600 mm. The excavation was with both vertical and horizontal subdivision of the tunnel face, using both mechanical excavation by tunnel excavator and drill & blast. Permanent monitoring was contracted to Stavební geologie-Geotechnika a.s. Prague, the maximum measured settlement above the station was 45 mm and the effects on buildings were minimum.

#### Underpassing the Vltava River on the line IV.C

The Vltava River underpassing by so-called “launching” method was, and still is, one of the most important contributions of the Czech tunnelling community in the worldwide scale [8]. The chosen method was based on construction of complete tunnel tube in the dry dock, which in later stages served as an open pit for construction of running tunnel structures on the Trója bank of the river (Fig. 6). The trench for the first tube was dug in the riverbed, the trench for the second one was dug after complete placement of the first tube. The dry dock was separated from the river by steel sheet pile wall, part of which was opened after completion and fitting out of the tube and flooding of the dry dock. Fitting out consisted of installation of internal water balance tanks and providing both faces with temporary steel cap. Two towing systems were fixed to the cast-in anchor elements in the ceiling slab, horizontal system (towing and braking) fixed the tube position during launching and vertical system in the form of suspension cables fixed the height of tube above the trench bottom. The rear part of tube was shifted on the pre-prepared track in the dry dock. Tube was moved by help of two towing suspensions anchored on the opposite Holešovice river bank. The rear brake suspension prestressed the cable system and enabled braking of the movement. Vertical suspension was connected to the



Obr. 6 Pohled na staveniště výsuvu tunelů na trase IV.C  
Fig. 6 View on the launching site, Line IV.C



přední části závěsu nad dnem rýhy. Zadní část tubusu se posouvala po předem připravené dráze v suchém doku. Tubus se posouval pomocí dvou tažných závěsů ukotvených na protějším, holešovickém břehu řeky. Zadní brzdový závěs předepínal lanový systém a umožňoval zabrzdění pohybu. Svislý závěs spojoval tubus s pontonem, který nesl tíhu tunelu v přední části, redukovanou vzlakem vody. Zadní klouzající podpora tubusu přenášela větší část tíhy a zajišťovala stabilitu celého tělesa. Ovládací síly pohybu tubusu byly relativně malé, protože jeho tíha ve vodě činila pouze 1 % jeho tíhy na suchu. Po dosažení podpory na holešovickém břehu, též v předem vybudované v jímce, se tubus opřel na obou březích a tím byl stabilizován. Následovalo podepření v korytě řeky pomocí podbetonování v pravidelných vzdálenostech a přikotvením ke dnu.

Hmotnost tubusu byla 6700 tun, délka 168 m, vnější rozměry 6,48 m x 6,48 m, tloušťka dna a stropu 700 mm a tloušťka stěn 730 mm. Směrový poloměr tubusu v pravé koleji je 750 m a v levé koleji 670 m, poloměr výškového zakřivení 3800 m.

Postup výstavby byl zcela nový a neobvyklý, a proto při plánování a realizaci bylo nutné řešit několik důležitých technických problémů, některé z nich s velkou mírou inovativních přístupů:

Vodotěsnost betonové konstrukce – tunel nemá žádnou bariérovou izolaci a bylo třeba vyřešit postupy betonáže, těsnění spár a vyztužení tak, aby se maximálně omezil vznik trhlin.

Vyvažování tubusu – zakřivený tvar tubusu (obr. 7) je příčinou jeho nestability ve vodě. Spolehlivé zjištění reakcí bylo podstatné pro dostatečnou spolehlivost konstrukce při manipulaci. Výpočet tíhy je zatížen vysokým stupněm nejistoty, proto bylo nutné experimentálně ověřit skutečnou tíhu tubusu a její rozdělení v příčném i podélném směru. K tomu byly využity hydraulické válce umístěné pod tubusem, které po zaplavení tubus nadzvedly a z tlaku ve válkách se stanovila tíha a reakce tubusu, následně se stanovila zátěž vodou v nádržích.

Systém dodatečného zatížení tubusu – rozměry tubusu byly zvoleny tak, aby konstrukce plavala, ale z důvodů nestability vzhledem k zakřivení toto bylo nežádoucí, a proto nádrže na vodu se plnily tak, aby tubus neplaval, ale současně byla jeho tíha přiměřená s ohledem na ohybové namáhání a stabilitu (cca 1 % tíhy na suchu).

Základové prahy – tunel byl v suchém doku betonován na speciálně upravené podloží, které umožňovalo přítok vody pod tubus a tím byla umožněna manipulace pomocí nadlehčování vodou. Betonové prahy, na které se tubus betonoval, zasahovaly pod něj pouze na vzdálenost 0,5 m a zbytek prostoru byl vyplněn šterkem a pomocí plastových trubek byl umožněn přívod vody.

Výsuv tunelu – pohyb musel být plynulý, což kladlo mimořádné nároky na hydraulická zařízení, a také přesný, protože tubus projížděl úzkým otvorem ve štetové stěně. Geodetické sledování umožnilo řízení tubusu i pod vodou.

Realizace traťového tunelu výjimečnou technologií výsuvu tunelu do řečiště Vltavy proběhla velmi úspěšně díky velmi dobré spolupráci všech zúčastněných, ze kterých se zejména jedná o IDS Praha, Metroprojekt Praha, Zakládání staveb a. s., VSL systémy CZ, firmu PERI, VUT Brno, prof. M. Tichého (riziková analýza), prof. Šmerdu (výpočty). Za Metrostav byla stavba realizována divizí 6; autorem technologie výstavby byl prof. J. L. Vítek z centrály Metrostavu. Navrženým a realizovaným řešením došlo k časovým a ekonomickým úsporám v porovnání s původními návrhy. Originální projekt přispěl ke spolehlivé a kvalitní výstavbě tunelů metra, a též získal prestižní ocenění od Mezinárodní federace pro konstrukční beton (fib) a od Inženýrské akademie České republiky.

## SOUČASNOST NA TRASE METRA V.A

### Traťové tunely, použití EPBS

Dlouho očekávaný zlom v použité technologii pro ražbu traťových tunelů přinesl rok 2010, kdy Metrostav pro ražbu traťových



Obr. 7 Tubus traťového tunelu v zaplaveném doku  
Fig. 7 Tube of running tunnel in flooded dock

ponton, which carried the weight of the tube in the front part, reduced by the buoyancy. The rear sliding part of the tube carried major part of the weight and secured the stability of the whole body. The forces required to move the tube were relatively small, the weight in the water was only 1% of actual weight. After the support structure, built in cofferdam on the Holešovice bank, was reached, the tube was supported on both banks and was stabilized. The support to the river bed by concreting in the regular intervals and anchoring the tube to the river bed followed.

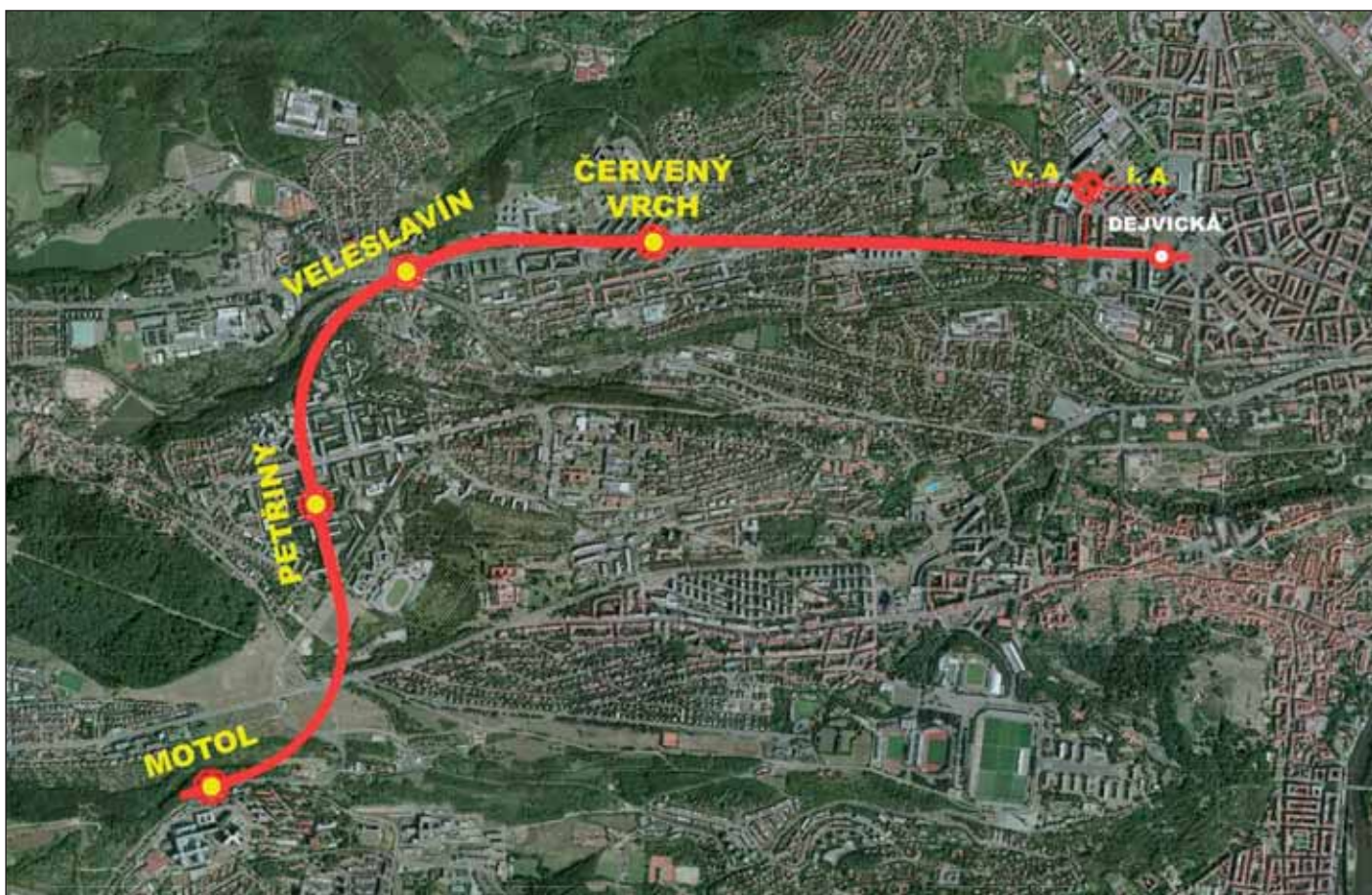
The weight of tube was 6700 tonnes, the length 168 m, outside dimensions 6,48 m x 6,48 m, the thickness of the invert and ceiling 700 mm and thickness of walls 730 mm. The horizontal curvature is 750 m in the right track and 670 m in the left track, vertical curvature 3800 m.

The construction method was completely new and unusual and therefore during planning and construction there was a need to solve few important technical problems, some of them requiring large rate of innovative approaches:

Watertightness of concrete structure-the tunnel has no insulation and therefore it was necessary to solve sequence of casting, joint sealing and reinforcement in a way to avoid creation of cracks.

The tube balancing - the curved shape of tube (Fig. 7) is the cause of its instability in the water. Reliable establishment of tube reactions was essential for sufficient structure stability during manipulation. The weight calculation might be encumbered with high degree of uncertainties, therefore the experimental verification of actual weight and its distribution both in transversal and longitudinal direction was required. This was achieved by help of hydraulic cylinders placed under the tube, which after the dock flooding lifted the tube and from pressures





Obr. 8 Plánek prodloužení trasy Metra V.A

Fig. 8 Map of Metro V.A extension

tunelů metra na trase V.A (obr. 8) zakoupil od firmy Herrenknecht dva tunelovací stroje [9], [10]. Typově se jedná o EPBS štíty, výrobních čísel S-609 (Tonda) a S-610 (Adéla), jména v závorkách byla strojům dána dětmi z nemocnice Motol. Štíty od roku 2011 razily traťové tunely o délce přes 4 km ze staveniště Vypich do stávající stanice Dejvická. Štíty mají průměr 6 m a segmentové ostění je o průměru 5,3 m/5,8 m, počet segmentů v prstenci o šířce 1,5 m je 5+1. Prstence ostění jsou univerzální, směrové a výškové vedení tunelu je docíleno natáčením kónických prstenců. Injektáž za ostění byla prováděna současně s ražbou metodou dvoukomponentní injektáže. Dopravu segmentů a dalších materiálů zajišťují multifunkční dopravní prostředky (Multipurpose Service Vehicle – MSV) o nosnosti 18 tun. Doprava rubaniny až na povrch byla zajišťována pásovými dopravníky. Celá logistika byla organizována tak, že ze staveniště Vypich (obr. 9), které sloužilo pro montáž štítů, bylo zásobování obou štítů až do prorážky do stanice Červený Vrch (Tonda), nebo těsně před ní (Adéla). Potom byla celá logistika přesunuta do E2, staveniště s otevřenou jámou v blízkosti Evropské třídy.

EPBS byly během ražeb protahovány rozestavěnými stanicemi Petřiny, Veleslavín (včetně krátké jámy před stanicí) a Červený Vrch a také otevřenou jámou staveniště E2. Před dojetím do stávající stanice Dejvická, kde byly štíty demontovány, musely ještě projít krátkým, kolmo ke trase raženým tunelem, který sloužil nejprve pro dopravu demontovaných dílů EPBS a později v něm budou umístěna technologická zařízení. Start na Vypichu a v jámě E2 byl zajištěn pomocí těžkých ocelových rámců, dodaných firmou Herrenknecht, pro re-start ve všech stanicích bylo nutné přijít s jiným řešením, vzhledem ke stísněným poměrům v tunelu. Na konci stanic byly klasicky vyraženy krátké startovací tunely a v nich realizovány ocelové límce kotvené do betonu primárního ostění. Po posunu štítu se na límce přivářily ocelové výztuhy, o které se při re-startu opíraly štítové lisy.

in cylinders the actual weight and reactions were recalculated and the final loading by water tanks designed.

Additional tube loading system—the tube dimensions were chosen to allow floating, but due to the instability caused by curved shape this was undesirable and therefore the water tanks were filled in such way that the tube was not floating, but at the same time its weight was adequate with respect to the bending stresses and stability (approximately 1% of actual weight).

Foundation strip – the tunnel in the dry dock was cast on specially treated sub-base, which allowed flowing of water under the tube, providing the required buoyancy for manipulation. Concrete foundation strips reached under the tube only to the distance of 0.5 m and the remaining part of the space was filled by gravel and plastic pipes served for water supply.

Tube launching – the movement had to be fluent, which superimposed considerable demands on hydraulic equipment, and also accurate, because the tube went through narrow opening in the sheet pile wall. Geodetic monitoring allowed steering of tube also when it was submerged.

Execution of the running tunnels by exceptional technology of launching into the Vltava River was very successful also thanks to all involved, namely IDS Praha, Metroprojekt Praha, Zakládání staveb, VSL Systems CZ, PERI, VUT Brno, prof. Tichý (risk analysis), prof. Šmerda (calculations). Division 6 of Metrostav was responsible for execution; the author of construction method was prof. J. L. Vítek from Metrostav Head Office. The designed method brought savings, both in construction time and also financial, comparing to other methods. Original project contributed to reliable and high quality construction of metro tunnels and received prestigious awards from International Federation for Structural Concrete (fib) and the Engineering Academy of the Czech Republic.





Obr. 9 Smontovaný EPBS S-610 Adéla při dnu otevřených dveří  
Fig. 9 Assembled TBM S-610 Adéla during "open door" day

Při jednáních s firmou Herrenknecht, při přebírání strojů ve výrobním závodě ve Schwanau a na stavbě, pracoval pro Metrostav přední britský specialista John Foster, se kterým byla vynikající spolupráce. Ražba pomocí EPBS byla úspěšná, podařilo se velmi rychle si osvojit potřebné dovednosti jak při montáži, tak i provozu strojů. Při zahájení montáže a později ražeb byla přítomna řada pracovníků firmy Herrenknecht a jeho dalších dceřiných společností jako H+E (pásová doprava) a VMT (řídicí systémy). Mnoho dalších firem se samozřejmě podílelo na dodávkách materiálů a technické pomoci, z hlavních jsou to firmy BASF, MAPEI, CONDAT.

Výroba ostění byla zajišťována Doprastavem Bratislava ve výrobně v Senci, kde bylo 9 stacionárních sad ocelových forem dodaných firmou Herrenknecht Formwork. Výroba probíhala bez ohřevu a denní výroba byla 9 prstenců (obr. 10). Segmenty byly opatřeny gumovými těsnicími pásy od firmy Phoenix. V pravém tratovém tunelu mezi stavenišťem E2 a stanicí Červený Vrch došlo k instalaci 10 prstenců s drátkobetonem, které byly rovněž vyrobeny v Senci.

S moderními EPBS technologiemi nebyla žádná zkušenost, poslední použití mechanizovaného komplexu na výstavbě metra bylo v sedmdesátých letech minulého století. Navíc byly i v rámci moderních EPBS aplikovány nové technologie a zařízení, stále ještě ne zcela běžné. Jedná se zejména o použití pásových dopravníků, dvoukomponentní injektáže a bezkolejové dopravy. Pásová doprava získává při kontinuálních ražbách stále větší uplatnění a kromě finanční výhody (byla v porovnání s kolejovou dopravou levnější), i to byl jeden z důvodů její preference před klasickou kolejovou dopravou. Pásová doprava fungovala nejprve ze staveniště Vypich, kde byly umístěny pohonné jednotky, přesypy a zásobníky, později byla celá logistika přenesena na staveniště E2. Společně s dodavatelem pásů firmou H+E byla řešena řada problémů, jako byly přesypy z pásů od obou strojů na jeden pás v dvoukolejovém NATM tunelu, délka pásů s použitím jedné pohonné jednotky z Vypichu až za jámu E2, nebo velký sklon pásů na staveništi E2.

Dvoukomponentní injektáž, jak již název napovídá, je míchána ze dvou komponentů, A a B. Komponent A je směs cementu (300 kg), bentonitu (35 kg), vody (800 l) a plastifikátoru (8 kg); v závorkách jsou udána množství na 1 m<sup>3</sup> směsi. Komponent A je míchán na povrchu (obr. 11) a do zásobníků na EPBS je dopravován trubním vedením. Z důvodů čerpatelnosti musí směs zůstat stabilní po dobu 72 hodin. Z nádrže na EPBS je směs čerpána přes trubky zabudované přímo v obálce štítu do prostoru za smontovaný prstenec ostění. Komponent B, což je vodní sklo, je přidáván v objemu 7 % a smíchán s komponentem A ve směšovači, který je 1,2 m od konce obálky štítu. Po přidání komponentu B dojde do



Obr. 10 Výroba segmentů ostění v Senci  
Fig. 10 Segment production in Senc

## PRESENT ON METRO EXTENSION V.A

### Running tunnels, EPBMs in action

The long expected turning point in construction of running tunnels brought year 2010, when Metrostav purchased from Herrenknecht GmbH two TBMs for metro V.A extension (Fig. 8) [9], [10]. The machines are EPB type, production numbers S-609 (Tonda) and S-610 (Adéla), their names in brackets given to the machines by children from Motol Hospital. From 2011 the TBMs bored running tunnels length of more than 4 km from the construction site Vypich to the existing metro station Dejvická. The shields diameter is 6 m and segmental lining is of 5.3 m/5.8 m diameter, configuration of ring with width 1.5 m is 5+1. Rings are universal type, the horizontal and vertical tunnel alignment is done by turning the tapered ring.

The two-component grouting behind the lining is performed continuously with boring. The transport of segments and other materials is by Multipurpose Service Vehicle (MSV) with capacity of 18 tonnes. The transport of excavated material to the surface was by belt conveyors. The whole logistic was organized in such way that from the Vypich site (Fig. 9), which served for TBM assembly and launching the logistic support was switched to E2 site only after TBM reached Červený vrch station (Tonda), or ended just before this station (Adéla). Afterwards the complete logistic was transferred to E2 site with open construction pit in close proximity to the Evropská třída.

EPBMs were during their journey pulled through stations Petřiny, Veleslavin (including short open pit in front of the station) and Červený vrch and also through construction pit on the site E2. Before reaching the existing station Dejvická, where they were dismantled, they had to pass through short, perpendicularly to the alignment mined tunnel, which will first serve for removal of dismantled TBM parts and later technology equipment will be put there. The start of machines at the Vypich site and in E2 open pit was by help of heavy starting frames supplied by Herrenknecht, for the re-start in all stations another way had to be found due to the limited space in tunnels. At the end of station a short starting tunnels were mined and in them steel collars anchored to the primary shotcrete lining of starting tunnels. After moving the shield inside the starting tunnel steel braces were welded to the collar and these gave the support to the shield thrust cylinders during re-start.

During the negotiation with Herrenknecht and for factory and site acceptances Metrostav employed John Foster, prominent TBM expert from UK, with whom the cooperation was excellent. The boring by EPBM was successful, the required skills for assembly and operation were mastered rather quickly. During the assembly and later during operation a number of specialists of Herrenknecht and its daughter companies as H+E and VMT (operation systems)



Obr. 11 Pohled na staveniště Vypich (míchací centrum vpravo)  
Fig. 11 View on the Vypich site (mixing centre on the right)

20 sekund ke gelaci směsi, což zabraňuje jejímu rozplavování v případě přítoků podzemní vody. Na začátku ražeb, kdy docházelo k častým přestávkám, se ukázalo, že systém bude přes všechny avizované výhody proti tradiční metodě injektování cementovou směsí vyžadovat pravidelnou údržbu, a to zejména poslední část vedení od směšovače ke konci obálky štítu. Značné zlepšení podmínek a prodloužení intervalů čištění přineslo patentované řešení (P. Hybský, J. Kafka, oba Metrostav), kdy se ve směšovači nasadila na vývod komponentu B silikonová hadice a ke směšování, a tudíž gelaci dochází až na samém konci obálky.

Oba stroje byly vybaveny řídicím systémem pod názvem „CBP-Tunnel Construction information system“, který dodala společně s dalšími systémy firma VMT GmbH. Systém kontinuálně sbírá a vyhodnocuje všechna dostupná data a předává je v přehledných výkazech a zprávách na displejích ať už přímo na razičím stroji, nebo na počítačích oprávněných osob.

Ražby EPBS byly ukončeny slavnostní prorážkou obou strojů najednou 26. 11. 2012.

### Stanice a průtahy EPBS

Na trase V.B jsou tři ražené stanice, z toho Petřiny (dodavatel Metrostav a. s.) a Červený Vrch (dodavatel Hochtief CZ) jsou jednolodní stanice; stanice Veleslavin (dodavatel Subterra a. s.) je třílodní stanice, která byla ražena s použitím principů NRTM a definitivní ostění je monolitický železobeton.

Jednolodní stanice jsou podobné stanici Kobylisy na trase metra IV.C s tím rozdílem, že jejich výstavba byla komplikována průjezdy obou EPBS ve fázi jejich rozestavenosti. V případě stanice Petřiny po realizaci bočních štol byla výstavba stanice přerušena a ve štolách se realizovaly úpravy sloužící pro protažení EPBS (obr. 12). Jednalo se o železobetonové kolíčky se zabetonovanými kolejnicemi, po kterých se přesouvaly štíty, závěs EPBS se pohyboval po lůžku ze segmentů ostění ukládaných do pískového lože. Provizorní železobetonové konstrukce byly později s postupem výstavby stanice vybourány. Specifikem u stanice Petřiny bylo to, že vzhledem k existenci samostatné přístupové štoly vedoucí mezi traťovými tunely před stanicí bylo možné provádět ražbu střední části stanice i během doby, kdy obě boční štoly sloužily pro logistiku EPBS (větrání, média, doprava). Celkový výrub stanice je 265 m<sup>2</sup>, šířka výrubu 22 m při výšce 15,5 m. Dvě třetiny horního profilu stanice byly ve vodonosných pískovcích, spodní třetina v jílovcích. Aby konstrukce stanice nepříznivě neovlivnila proudění podzemních vod, byl realizován systém drenáží instalovaných vně primárního ostění, umožňující proudění vody kolem stanice. Definitivní ostění stanice je z monolitického betonu, s mezilehlou fóliovou izolací, jenom čela stanice jsou opatřena izolací stříkanou.



Obr. 12 Stanice Petřiny, provizorní segmenty pro S-609 Tonda; S-610 Adéla ve stanici  
Fig. 12 Petřiny Station, temporary segments for S-609 Tonda; S-610 Adéla in the station

were present on the site. Many other companies supplied material and technical help, among the main are BASF, MAPEI, CONDAT.

The segment production was provided by Doprastav Bratislava in their segment factory in Senec, where 9 set of stationary formwork supplied by Herrenknecht Formwork. The production was without heating and daily production was 9 rings (Fig. 10). The segments were provided with neoprene gaskets from Phoenix company. In the right running tunnel from E2 site to the Červený vrch station 10 rings with steel fibre reinforcement were installed, produced also in Senec.

There was no experience with modern TBM technologies, the last experience with TBM was in seventies of the last century. Moreover, even in terms of modern TBM technologies some latest technologies, still not so common were applied, mainly belt conveyors, two-component grouting and railless transport. Belt conveyor transport gains more and more application for continuous excavation and besides financial advantage (it was cheaper comparing to railbound transport), such worldwide usage was also argument for preferring it to the rail transport. The belts started functioning from the Vypich site, where all the drives, transfers station and storage towers were, before transferring them to the E2 site. Together with the conveyor belt supplier, H+E Logistic, a lot of problems were solved, as was transfer of muck from two conveyor belts to the one in twin truck NATM tunnel, the length of belt using just one drive from Vypich beyond the E2 site, or big inclination of belts on the same site.

Two-component grouting, as already the term suggest, is mixed from two components, A and B. Component A is a mix of cement (300 kg), bentonite (35 kg), water (800 l), and plasticizer (8 kg); the volumes in brackets are valid for 1 m<sup>3</sup> of the mix. Component A is mixed on the surface (Fig. 11) and to the tank on the TBM is transported by pipes. To allow pumping the mix has to stay stable for 72 hours. From the tank on the TBM the mix is pumped via pipes integrated directly in the tail skin into the space behind the assembled ring. Component B, “water glass” is added in the volume of 7% and mixed with component A in the mixing box, which is 1.2 m from the end of tailskin. After adding component B approximately in 20 sec the mix has gel consistency, which prevents its washing out in the case of underground water inflow. At the start of boring there were often breaks and interruptions and it was obvious that the system, against all declared advantages against more conservative method with cement mortar, will require regular maintenance. This is valid mainly for the last section of pipes from the mixing box to the end of tailskin. Significant improvement brought patented improvement (P. Hybský, J. Kafka, both from Metrostav), when in the mixing box the silicon hose was attached to the component B





Obr. 13 Stanice Veleslavín, ražba středního tunelu (Metroprojekt)  
Fig. 13 Veleslavín Station, excavation of middle tunnel (Metroprojekt)

Stavební jámou před stanicí Veleslavín a dokončenými bočními tunely stanice v primárním ostění byly štíty, po zkušenostech z předchozích průtahů, protaženy s pomocí ocelových montovaných prvků, které umožňovaly opakované použití při průtazích jámou staveniště E2 a stanicí Červený Vrch. Montované ocelové prvky (pracovně nazývané „Lego“) navrhl tým pracovníků na stavbě a bylo možné je jednoduše nainstalovat a po protažení EPBS rychle demontovat a použít jinde.

Stanice Veleslavín, byla jako třílodní navržená také proto, že vzepětí kleneb tunelů je menší, nežli by to bylo v případě použití jednolodní stanice, a proto ražba v případě nízkého skalního nadloží neměla zasahovat do deluviálních sedimentů. Při vlastním ražbě byly ve vrcholu kleneb zastiženy silně zvětralé břidlice a místy i sedimenty. Po vyražení bočních tunelů v primárním zajištění a po průtazích EPBS a přesunu logistiky na sousední jámu E2 (otevřená stavební jáma v sousedství Evropské třídy) byla v bočních tunelech aplikována stříkaná izolace a vybetonováno definitivní ostění včetně sloupů. Až potom mohla být zahájena ražba středního tunelu (obr. 13). Zcela novým řešením je použití stříkaných izolací u stanice Veleslavín v plném rozsahu, ve všech třech tunelech.

Jednolodní stanice Červený Vrch má šířku výrubu 20 m, výšku 15 m a celkový profil výrubu je 225 m<sup>2</sup>. Stanice byla ražena ve zvětralých břidlicích a blokovitých křemencích, ražba komplikována přítomností rezidenční zástavby a nutností minimalizovat sedání. Pro stabilizaci výrubů byla aplikována řada dodatečných opatření jako injektáže a dešťníky, což zpomalilo plánované postu-



Obr. 14 Staveniště E1; v pozadí smontovaný tunel za EPBS Tonda  
Fig. 14 E1 site; assembled tunnel lining behind TBM Tonda in the background

outlet and therefore the mixing and gelling happened at the end of the tail skin.

The both machines were equipped with “CBP-Tunnel construction information system”, which was supplied together with another systems by firm VMT GmbH. The system continuously collects and evaluates all the available data and transfers them in the form of messages and reports on the displays, either directly on the TBM or in the offices of authorized staff.

Both TBMs completed their boring on 26. 11. 2012 by double breakthrough.

### Stations and pulling of TBMs through them

On the metro line V.A are three mined stations, stations Petřiny (Metrostav) and Červený vrch (Hochtief) are single vault stations; station Veleslavín (Subterra) is three vault station, built by NATM with reinforced concrete final lining.

Single vault stations are similar to Kobylisy Station on metro line IV.C, the difference is a complication by both TBMs being pulled through partially excavated stations. In the case of Petřiny Station, after completion of side drifts, the construction of station was partially interrupted and temporary structures for pulling the TBMs were built (Fig. 12). In this case these were reinforced concrete cradles with cast in rails serving for moving the shield, the backup moved on the temporary invert from concrete segments laid on the sand layer. Temporary concrete structures were later, as the station construction progressed, demolished. The specific feature of Petřiny Station was the fact that due to the existence of access tunnel located between the running tunnels, the middle part of the station could be excavated even during the period when both side drifts served for TBM logistic (ventilation, piping, transport). The total excavated profile of the station is 265 m<sup>2</sup>, width of excavation was 22 m with the height of 15.5 m. Two thirds of the excavated profile was in waterbearing sandstone layer, the lower third in claystone. To prevent negative impact of the station body on the underground water flow, the system of drainage outside the primary lining was put into operation, allowing water flow under the station. Final lining is cast in-situ reinforced concrete with intermediate waterproofing, only on both station face walls the sprayed waterproofing has been applied.

Through the construction pit in front of mined Veleslavín station and through both side tunnels with primary lining, based on experience with previous pulling of the shields, these were pulled through using prefabricated steel structures, which enabled repetitive usage for pulling through the open pit E2 and through the station Červený vrch. The steel structures (nickname “Lego”), which were easy to assemble and after TBM passage fast dismantle to be used elsewhere, were designed by the site Engineers.

Veleslavín Station was designed as three-vault station to minimize the height of vault (comparing to single vault station) to avoid the excavation exposure to the upper deluvial sediments in the case with low rock overburden. During the tunnels excavation in the upper parts of the face the heavily weathered shale and deluvial sediments were reached anyway.

After excavation of side tunnels with primary lining installed, the TBM were pulled through the station, but further activities had to wait for transfer of logistic to the E2 site in neighbourhood. These included application of sprayed waterproofing and final lining casting, including the columns. Only afterwards the excavation of middle tunnel could start (Fig. 13). A new feature is application of sprayed waterproofing in the Veleslavín Station for the whole station.

Excavated profile of a single vault station Červený vrch is 20 m wide, height is 15.5 m and the total excavated area is 225 m<sup>2</sup>. The station was excavated in weathered shale and blocky quartzite, the construction complicated by presence of residential building and therefore also the necessity to minimize settlements. To stabilize the excavated profiles a number of additional measures as grouting

py a před příjezdem EPBS nebyl výrub stanice dokončen. Proto po protažení EPBS byla ražba střední části ihned zahájena a na rozdíl od stanice Petřiny byly dočasné stěny bočních štol bourány současně při ražbě. Bezpečnost byla zajištěna instalací ocelových konstrukcí, které zabráňovaly pádu kusů ostění do prostoru bočních štol, kde probíhala logistika EPBS.

Za stanicí Červený vrch bylo ještě jedno místo, kde bylo nutné oba stroje dostat přes příčný tunel, který byl v předstihu realizován s nadloží pouhých 7 m. Jednalo se o staveniště E1 v těsné blízkosti Evropské třídy, ze kterého byl tunel o průřezové ploše 120 m<sup>2</sup> a délce 37 m vyražen pomocí NRTM s použitím řady doplňkových opatření, zejména tryskových injektáží. Před příjezdem EPBS byly v místě prostupů do tratových tunelů realizovány podpůrné „límce“ ze stříkaného betonu vyztuženého příhradovými nosníky a sítěmi (obr. 14). Aby nebylo nutné realizovat opěrné konstrukce nutné pro re-startování EPBS, jak tomu bylo v případě stanic a stavení jam, byl navržen speciální postup podobný tomu, který byl použit pro protažení štítu firmy Herrenknecht ve Švédsku. Byla vybetonována kolíbka z prostého betonu zhruba do poloviny profilu štítu, která uvnitř profilu byla odskákována tak, že EPBS řezalo jenom malou část profilu. Tímto způsobem bylo zajištěno směrové a výškové vedení strojů a při tomto návrhu nebyla potřeba žádné opěrné konstrukce, protože EPBS za sebou stavělo ostění, o které se opíralo. Stabilita ostění, kterého horní část byla „ve vzduchu“, byla zajištěna pomocí pojistných lan, kterými byly postavené prstence obehnuty a staženy, část v kolíbce byla zainjektována dvoukomponentní injektáží.

### Zhodnocení od roku 1989 do současnosti

Bez jakýchkoli pochyb lze říci, že české (a slovenské) tunelářství dosáhlo světovou úroveň, a to nejen při výstavbě metra v Praze. Posledním článkem, který chyběl, bylo použití tunelovacích strojů pro ražbu tunelů, které se s určitým zpožděním nakonec dostavilo. Pro NRTM se používají nejmodernější strojní sestavy, pro raziče je jistě nejmarkantnějším rozdílem absence ruční práce, zejména vrtání. Používají se izolační systémy se všemi posledními vylepšeními, stále častější je snaha aplikovat stříkané izolace.

Určitým, podle názoru autora ne příliš správným, vývojem prošlo navrhování primárního ostění s příhradovými nosníky a sítěmi. Základním prvkem NRTM je využití nosnosti horniny pomocí kotev a stříkaný beton s příhradovými nosníky je používán pro udržení integrity nosné horninové klenby. Ale původní myšlenka a záměr, aby se používala relativně měkká ostění a zatížení s pomocí kotev přenášela okolní hornina, se jaksi vytratily a dostáváme se k poměrně masivním primárním ostěním s tloušťkou betonu až do 50 cm, což je v podstatě proti deklarovaným principům NRTM. V některých případech je to ale způsobeno tím, že se tunely razí v městské zástavbě a s malým nadloží, kdy se v podstatě už nejedná o použití NRTM s jejími základními principy, ale o použití stříkaného betonu s výztuží pro realizaci primárního ostění. Naproti tomu krok dobrým směrem je používání nevyztuženého betonu pro definitivní ostění tunelů, i když to není případ tunelů metra.

Trend, kdy je snaha vše spočítat a modelovat, lze pozorovat od počátku 90. let a souvisí s vývojem výpočetní techniky a softwaru pro výpočet tunelů metodou konečných prvků. Dnes je možné v poměrně krátké době dodat klientům barevné výstupy výpočtů, zapomíná se, že výsledky a jejich interpretace jsou závislé na vstupních parametrech, které jsou často odhadované a navíc je v nich stupeň bezpečnosti nebo spíše jištění se zpracovatele. U tunelářského řemesla je krásné to, že vždy se jde prakticky do neznáma, existuje prvek překvapení, a proto se dalo o tunelářině mluvit jako o „umění – art“. To bychom se měli v našem řemesle snažit zachovat i do budoucna.

V čem se stále lišíme v porovnání s vyspělými tunelářskými zeměmi, a bylo tomu tak i na stavbě V.A, je nepřítomnost stálého

and protective umbrellas had to be applied, this consequently caused delays and before TBM arrival the excavation was not finished as planned. Therefore after the process of TBM pulling through the station was completed, the excavation of the middle part re-started and contrary to Petřiny Station the temporary drift side walls were removed at the same time. The safety was secured by installation of temporary steel walls, which prevented falling of pieces of primary lining into the space of side drifts, where the logistic of TBMs was continuing without interruption.

Beyond the station Červený vrch there was still one place, where it was necessary to get both machines through. It was to the alignment perpendicular tunnel, with overburden only 7 m, which was in advance excavated from E1 site, located in close proximity of Evropská Street. The tunnel of 120 m<sup>2</sup> cross section and length 37 m was excavated by NATM with number of additional measures applied, mainly jet grouting. Before the TBM arrival the support collars consisting of shotcrete with lattice girders and meshes were installed around the future opening for TBMs (Fig. 14). To avoid similar problems with re-start of the machines, as was the case with stations and open pits, the special method, similar to method used by Herrenknecht TBM in Sweden was applied. The concrete cradle to approximately half of the TBM diameter, with its inside shape stepped to enable only minimum cutting of cradle concrete, but at the same time sufficient support both in horizontal and vertical directions was provided. No other support structures were necessary, because the machines continuously built the segmental lining, which provided support for TBM pushing ahead. The stability of lining, of which half upper part was “in the air”, was secured by cables encircling and stiffening the lining, the lower part in the cradle grouted by two-component grouting.

### Review of period from 1989 until present

Without any doubts it could be said that the Czech (and Slovak) tunnelling reached the world standard, and not only during the Prague metro construction. The last missing link was application of modern TBM technology, which although with some delay, finally came. For NATM application the state-of-the-art equipment is used, for tunnelling crews the most striking difference is absence of hand work, mainly drilling. The latest systems of waterproofing are being used, more often even the sprayed waterproofing appears.

There was a development, according to the author not the right one, in the design of primary shotcrete lining (with lattice girders and meshes). The main element of NATM is utilization of bearing capacity of surrounding ground by help of bolting, the shotcrete with lattice girders and meshes is used to keep the integrity of load bearing ground arch. But the original idea of using relatively soft primary linings and let the ground, activated by help of bolting, to take the load, was somewhat lost on the way and we are getting the primary lining thicknesses up to 50 cm, which is basically against the declared NATM principles. But in some cases the reasons are that tunnels are mined with very low overburden in built-up areas, which is rather case of using reinforced shotcrete and not the NATM. On contrary, the step in the right direction is application of unreinforced secondary linings, but this is not the case of metro tunnels.

A trend, when there is attempting to calculate and model everything, could be observed since the start of nineties of the last century and is related to the development of hardware and software for finite element method. Today is possible, in relatively very short time, to give the clients coloured reports with calculation results and it is forgotten that the results and their interpretation are heavily dependant on applied parameters, which are often estimated only and usually are involving safety factors, or rather protection of the executor himself. The beauty of tunnelling is that there is always something “unknown ahead”, there are always some surprises and therefore the tunnelling is sometimes called “art”. We should protect this feature of our business even in the future.

There is still difference in comparison to other advanced countries in respect of tunnelling practises, and it was also the case of



dozoru investora při ražbě tunelů. Pravidlem by mělo být, že tak, jak pracuje dodavatel (např. 24 hodin denně, 7 dní v týdnu), musí pracovat i stálý dozor investora.

## BUDOUCNOST VÝSTAVBY METRA

### Trasa D

Pokud jde o výstavbu metra v Praze, nejbližší budoucnost je pravděpodobně v realizaci trasy D. Všichni zúčastnění doufají, že to bude opravdu blízká budoucnost. V posledním období došlo k určitým zásadním změnám jak ve vedení trasy, tak i v technologii provozu. Ale každopádně budou tratové tunely raženy opět pomocí tunelovacích strojů a ražené stanice budou budovány pomocí NRTM.

A proto by bylo dobré zmínit čerstvé zkušenosti z dodavatelského hlediska s ražbou pomocí dvou na prodloužení trasy V.A a jejich aplikaci do návrhu trasy D. Oba stroje na trase V.A bylo nutné během jejich zhruba 4 km dlouhé cesty z Vypichu do stanice Dejvická protáhnout přes tři rozestavěné ražené stanice a přes dva hloubené objekty (z toho jeden z nich je jáma před stanicí Veleslavin) a nakonec přes příčný tunel na staveništi E1. Kromě staveniště E1 bylo vždy potřebné stroje znovu startovat. A i když technici na stavbě přišli s inovativními postupy, protažení a následné starty vyžadují značné úsilí, jsou technicky náročné, nákladné a reprezentují časové zdržení nejen vlastních ražeb, ale zdržují výstavbu stanic, a tím celé trasy. Kromě průtahů je při ražbách pomocí tunelovacích strojů nutno rovněž minimalizovat počet úseků (pokud je nelze zcela vyloučit), ve kterých musí být stroj demontován a po částech stěhován. Zdržení a růst finančních nákladů je v takovém případě ještě markantnější.

Stávající systém metra se ukázal jako funkční a spolehlivý, proto by bylo dobré při návrhu trasy D navrhnout řešení kompatibilní se stávajícími trasami metra a zároveň využít již existující zázemí. Určitě by se neměl měnit průřez tratových tunelů, přejíždění vlaků mezi jednotlivými trasami dává možnost využití stávajících zařízení. Návrh stanic by měl v co největší míře respektovat reálné potřeby z hlediska potřebných kapacit a po technické stránce respektovat použití moderních tunelovacích strojů pro ražbu tratových tunelů.

## ZÁVĚR

Výstavba pražského metra má za sebou již bohatou a dlouhou historii, v příštím roce 2014 bude 40. výročí zahájení provozu metra. Přes krátké výpadky ve výstavbě, způsobené jednak politickými změnami a také ekonomickou situací, výstavba metra probíhá v podstatě nepřetržitě již po dobu 47 let. Tunelářská veřejnost by měla pro pokračování tohoto trendu udělat maximum, a to zejména návrhem a realizací ekonomických řešení, která umožní pokračování výstavby metra i v náročných ekonomických podmínkách.

**ING. ERMÍN STEHLÍK,**  
ermin.stehlik@metrostav.cz,  
Metrostav a. s., divize 5

metro V.A extension - absence of permanent supervision by the clients. The rule should be that the supervision shall work the same hours as the contractor (i.e. 24 hours daily, 7 days a week).

## FUTURE OF THE METRO CONSTRUCTION

### Line D

As far as the metro construction is concerned, the near future is probably in construction of new Line D, all involved hoping that the future is really near one. In the last period some basic changes happened, both in the line layout and the operation technology as well. But in any case, the running tunnels will be built by TBM technology and mined stations by NATM.

And therefore it would be helpful to summarize the latest experience from the contractor point of view, gained during the construction of line V.A and apply them to design of Line D. The both machines on the V.A line had to pass during their journey more than 4 km long, through 3 stations in construction and through 2 open pits (one of them is construction pit in front of the Veleslavin Station) and finally through tunnel on E1 site. Except for E1 site there was always need to re-start the machines. And although the site engineers came with innovative approaches, pulling through and following re-starts require substantial effort, they are technically difficult, costly and they represent time delays not only to the TBM themselves, but they delay station construction and consequently the whole line construction. Besides pulling the TBMs, the eventual dismantling and moving the TBM should be minimized, if not avoided at all. Delays and growing costs would be even more prominent.

The existing metro system show itself as functional and very reliable, therefore the new metro Line D should be compatible with other metro lines and shall use their facilities. For sure the running tunnels diameter shall stay the same, allowing interchange of trains between the metro lines. The design should, to maximum extent, respect the realistic required capacities, and also the full and economic utilization of TBM shall be a priority.

## CONCLUSION

The construction of metro in Prague has already long and rich history, in the next year 2014 it will be 40th anniversary of opening the first metro line. Despite the short interruptions in the metro construction, caused by either political or economic situation, the metro construction is already in progress for 47 years. The tunneling community should make a maximum to help the trend continuation by design and construction of economical solutions, which enable continuation of metro construction even in hard economical conditions.

**ING. ERMÍN STEHLÍK,**  
ermin.stehlik@metrostav.cz,  
Metrostav a. s., divize 5

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] Hřebíček, D. Montáž mechanizovaného tunelovacího komplexu TŠčB-3. *Zpravodaj Metro 1976*
- [2] Janda, P., Hess, J. Provoz mechanizovaného tunelovacího komplexu TŠčB-3. *Zpravodaj Metro 1976*
- [3] Zlámal, J. Pražský typ pilířové stanice. *Zpravodaj Metro 3/1985*
- [4] Černý, J., Lipčák, P. Ražení tratového tunelu metra razícím štítem s frézou RŠF-1. *Zpravodaj Metro 2/1988*
- [5] Zelenka, M. Ražba dvoukolejného tunelu technologií NRTM na trase IV.B-odd.07, II. část pražského metra. *Tunel 26-4-95*
- [6] Závora, K. Jak začalo projektování tunelů v Praze. *Tunel č. 2/2001*
- [7] Kutil, J., Hasík, O., Růžička, J. První jednoduché ražené stanice na pražském metru. *Tunel č. 1/2002*
- [8] Vitek, J. Podchod tunelů Metra pod Vltavou, realizace výsuvu. *Tunel č. 1/2002*
- [9] Bäßler, K., Stehlík, E. Two Earth Pressure balance Shields for Metro Line Extension of Prague Metro. *Tunnel 1/2012, Official Journal of the STUVA*
- [10] Stehlík, E., Cyroň, D. Prague Metro's return to TBM. *Tunnels & Tunnelling International, August 2012*

## PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2013

## UNDERGROUND CONSTRUCTIONS PRAGUE 2013

## KEYNOTE LECTURE No. 2:

# HISTORIE A SOUČASNOST NRTM V ČESKÉ REPUBLICĚ

## THE HISTORY AND PRESENT OF NATM IN THE CZECH REPUBLIC

LIBOR MAŘÍK

### 1 ÚVOD

V loňském roce oslavila Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM) 50 let od svého vzniku. Bez nadsázky lze říci, že zcela novým přístupem k horninovému masivu jako součástí nosného systému „ostění–hornina“, používáním subtilního, poddajného ostění ze stříkaného betonu, vyztužováním horninového prstence systémovým kotvením a variabilitou nasazených prostředků k zajištění stability výrubu způsobila v pozitivním slova smyslu revoluci v konvenčním tunelování. V České republice historie NRTM tak daleko nesahá. Poválečný vývoj způsobil mimo jiné i izolaci jednotlivých stavebních oborů od moderních technologií používaných v zemích za železnou oponou. Stejně tomu bylo i v oblasti tunelového stavitelství. Výstavba silničních i železničních tunelů se výrazně omezila. Zelenou dostala pouze výstavba metra v Praze spojená nejen s řešením dopravní situace v hlavním městě, ale i jako strategická stavba koncipovaná v období studené války s civilní obranou obyvatelstva. Traťové tunely i stanice byly navrhovány jako kryty před hrozbou jaderné války, součástí tras byly podzemní nemocnice, hygienické buňky i sklady zemřelých. Pro ražbu tunelů v tomto období byla typická prstencová tunelovací metoda s ražbou na plný profil a okamžitým uzavíráním líce výrubu prefabrikovaným litinovým nebo později železobetonovým ostěním. Počet projekčních kanceláří i stavebních firem zabývajících se výstavbou tunelů bylo možné spočítat na prstech jedné ruky.

Počátky úvah o změně tunelovací metody a využívání NRTM jsou spojeny s politickým vývojem po roce 1989. Otevření hranic bylo však jen podmínkou nutnou, nikoli postačující. Absence profesních kontaktů se západním světem i jazyková bariéra komplikovala v počátcích přístup k novým informacím. V České republice neexistovala odborná literatura, odpovídající technické normy ani předpisy. Na velmi nízké úrovni bylo vybavení výpočetní technikou i potřebnými programy. Hlad po informacích zprvu vedl k návštěvám staveb prováděných NRTM nedaleko od našich hranic. Jednalo se především o tunely na vysokorychlostních tratích v SRN a stavbu metra ve Vídni. Infocentra zřízená pro styk stavby s veřejností a řada k tomu určených propagačních materiálů sloužily jako jedny z prvních informací o NRTM. Nová tunelovací metoda byla zpočátku obestřena tajemstvím a velkou dávkou alchymie. V počátku 90. let zpracoval tým Výzkumného ústavu inženýrských staveb Brno pod vedením prof. Jiřího Mencla státní výzkumný úkol „*Modernizace oboru podzemních staveb k dosažení vyspělé zahraniční úrovně*“, jehož dílčím úkolem bylo navrhování podzemních staveb s využitím samonosnosti horniny. Ale nestačilo jen vybavit projekční kanceláře programy a počítači, zajistit projektantům přístup k informacím nebo zmodernizovat strojový park stavebních firem pro nasazení nové technologie. Bylo především třeba změnit myšlení lidí, kteří se dosud pohybovali ve světě masivních konstrukcí, mohutných staničních pilířů a průvlaků. Bylo třeba znovu získat „inženýrský cit“, pěstovaný

### 1 INTRODUCTION

Last year, the New Austrian Tunnelling Method (NATM) celebrated the 50<sup>th</sup> year since its creation. Without exaggeration, we can say that the entirely new approach to a rock mass as part of the support system "lining - rock", the use of the subtle, supple lining of sprayed concrete, the reinforcement of the rock zone with an anchoring system, and a variability of deployed resources to ensure the stability of the excavation, has resulted in a revolution in conventional tunnelling, in the positive sense of the word. In the Czech Republic the history of NATM is not very long. Postwar developments have, inter alia, caused the isolation of individual construction fields from modern technologies used in countries behind the Iron Curtain. It was no different in the field of tunnel construction. The construction of road and rail tunnels was significantly reduced. Only the construction the Prague Metro was given a green light; it was not only associated with the solution to the traffic situation in the capital, but also as a strategic construction conceived in the time of the Cold War with civil defense of the population. Running tunnels and stations were designed as shelters from the threat of nuclear war; the routes included underground hospitals, hygiene bunkers, and storehouses for the deceased. During this period the annular tunnel excavation method was typical, with full-face excavation and immediate closing of the excavation face with prefabricated cast iron, or later with iron-concrete lining. The number of engineering offices and construction companies engaged in the construction of tunnels could be counted on the fingers of one hand.

The first considerations of a change in the tunnelling method and using NATM are linked to the political development after 1989. Opening the borders, however, was only a necessary requirement, not a sufficient one. The absence of professional contacts with the Western world, as well as the language barrier, hindered access to new information in the beginning. There was no specialized literature, relevant technical standards, or regulations in the Czech Republic. Computer technology and the necessary programs were at a very low level. The hunger for information initially led to visits to constructions conducted by NATM near our border. These were mostly tunnels on high-speed rails in Germany, and the construction of the metro in Vienna. Information centers established for the contact of construction with the public, and many promotional materials designed for this purpose belonged to the first information about the NATM. The new tunnelling method was initially shrouded in mystery and a large dose of alchemy. In the early 90's a team from the Civil Engineering Research Institute in Brno, under the guidance of professor Jiří Mencl, prepared the national research project "Modernization of the underground construction industry in order to reach an international advanced level", whose sub-task was the design of underground structures using self-supporting rock. However, it was not enough to equip engineering offices with programs and computers, to provide planners with



po desetiletí ve zcela jiných podmínkách. Přijmout myšlenku, že horninový masiv není nepřítel, který chce tunel poškodit, ale mnohdy kvalitní stavební materiál, který při vlídném zacházení může převzít nosnou funkci a spolu s kotvami a primárním ostěním zajistit potřebnou stabilitu výrubu. Zatímco nové vybavení projekčních i stavebních firem bylo pouze otázkou investičních nákladů, změna myšlení znamenala dlouhou cestu s mnoha úskalími. Některá z nich přetrvávají dodnes, resp. přístup k nim může být různými tuneláři chápán různě. Jedná se zejména o problematiku zohlednění prokotvené oblasti do matematických modelů, stanovení zatížení primárního ostění, zohlednění příhradových nosníků při dimenzování primárního ostění nebo stanovení zatížení definitivního ostění. Nejdiskutovanější otázkou je zřejmě životnost a dlouhodobá funkce primárního ostění.

Pro úspěšnou aplikaci NRTM je třeba splnit následující podmínky:

- vytvoření právních a technických podmínek umožňujících ražbu tunelů pomocí NRTM;
- dostatečná prozkoumanost prostředí a vytvoření prognózy chování horninového masivu při ražbě v celé délce tunelu;
- kvalitní projektová dokumentace, která navrhne pro jednotlivé geotechnické typy horninového prostředí odpovídající způsob zajištění stability výrubu;
- zadávací dokumentace postihující specifika NRTM, především možnost operativně měnit způsob zajištění stability výrubu s ohledem na skutečně zastížené geotechnické podmínky. Transparentně stanovující podmínky pro provádění a proplácení provedených výkonů;
- stavební firma s odpovídajícím technickým vybavením a zkušeným personálem pro vedení stavby a provádění jednotlivých prací při ražbě tunelu;
- zkušený tým geotechniků na straně investora i zhotovitele, který na základě sledování geotechnických podmínek při výstavbě a interpretace výsledků geomonitoringu dokáže správně předvídat chování horninového masivu v každém záběru ražby;
- technický dozor investora, který zajistí stálou kontrolu při provádění jednotlivých prací v podzemí, dosažení kvality požadované v zadávací dokumentaci a bude schopen posoudit oprávněnost prováděných činností s ohledem na konkrétní geotechnické podmínky;
- smluvní podmínky umožňující optimalizaci technického řešení během výstavby a motivující zhotovitele k jejímu provádění.

I tyto faktory prošly v průběhu času vývojem a jejich dodržení i kvalita provádění dotvářejí celkový obraz o úrovni tunelového stavitelství v České republice.

## 2 POČÁTKY NRTM V ČESKÉ REPUBLICE

V České republice se o NRTM začíná hovořit ve druhé polovině 80. letech minulého století. I když v té době probíhala ražba III. Vinohradského železničního tunelu pomocí prstencové metody a výstavba Strahovského automobilového tunelu pomocí pološtitu a také prstencové metody, začala si tunelářská veřejnost pomalu uvědomovat existenci NRTM. Na pražské konferenci Podzemní stavby 1988 se objevil příspěvek Ing. Štátného z firmy VUIS Brno s názvem *Zaměření výzkumu a otázky zavádění NRTM na podzemních stavbách v ČSSR*, který uváděl hlavní principy tunelovací metody a upozorňoval na disproporce mezi úrovní tunelového stavitelství u nás a ve světě. Určité prvky NRTM se již v tomto období použily při výstavbě kaveren podzemní čistírny odpadních vod v Peci pod Sněžkou, přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně a na stavbě pražských a brněnských kolektorů.

Prvním liniově raženým objektem pomocí NRTM byl **traťový tunel pražského metra na trase IV.B-05** mezi stanicemi Kolbenova – Hloubětín. Jednalo se o část levého jednokolejného

access to information, or to upgrade the machinery of construction companies to deploy new technologies; it was first necessary to change the thinking of people who have been operating in a world of massive structures, station pillars, and girders. They had to regain the "engineering feel", which was nurtured for decades in very different conditions, to accept the idea that the rock mass is not an enemy that wants to damage the tunnel, but very often a quality building material, which, when handled gently, can assume a supporting function and together with the anchors and primary lining provide the necessary stability of the excavation. While new equipment in engineering and construction companies was only a matter of investment costs, a change in thinking represented a long journey with many pitfalls. Some of them remain to this day; respectively the approach to them can be understood in different ways by different tunnel builders. In particular, the issues of including the anchored areas in mathematical models, determining the load of the primary lining, taking into account lattice trusses when sizing the primary lining, or determining the load of the final lining. The most discussed question is obviously the durability and long-term function of the primary lining.

For the successful application of the NATM the following conditions must be met:

- creating legal and technical conditions that allow the excavation of tunnels using the NATM;
- sufficient inspection of the environment and the establishment of a forecast of the rock mass behavior during the excavation of the entire length of the tunnel;
- good-quality project documentation that suggests an appropriate method of ensuring the stability of the excavation for individual geotechnical types of rock environments;
- Project documentation affecting the NATM specifics, especially the possibility to flexibly change the method of ensuring stability of the excavation, with regard to actually encountered geotechnical conditions. Transparently appointing the conditions for the implementation and payment of performed procedures;
- a construction company with appropriate technical equipment and experienced personnel for construction management and the implementation of the work during the excavation of the tunnel;
- An experienced team of geotechnical engineers on the side of the investor and the contractor, which, on the basis of the monitoring of geotechnical conditions during the construction and the interpretation of the results, can correctly predict the behavior of the rock mass in each frame of the excavation.
- Technical supervision by the investor, who will ensure constant inspection during the completion underground work, the achievement of the quality required in the project documentation, and will be able to assess the legitimacy of the activities conducted with regard to specific geotechnical conditions.
- Contract terms enabling the optimization of technical solutions during construction, and motivating the contractor to implement it.

These factors have also undergone development over time, and their compliance and implementation quality create the overall picture of the level of tunnel construction in the Czech Republic.

## 2 BEGINNINGS OF NATM IN THE CZECH REPUBLIC

People began to talk about the NATM in the Czech Republic in the second half of the 1980's. Even though the excavation of the III. Vinohrady railway tunnel using the annular method was in progress, as well as the construction of the Strahov road tunnel using the half-face and annular methods, the tunnelling public began to slowly realize the existence of the NATM. At the

tratového tunelu o ploše výrubu 28 m<sup>2</sup> v délce 347 m. Před zahájením ražby tohoto tunelu byl pomocí prstencové metody paralelně vyražen pravý tunel v osové vzdálenosti cca 21 m, takže byly poměrně dobře známy geotechnické poměry. Ražba probíhala v prostředí prachovitých břidlic záhořanských vrstev. Úsek byl v projektu rozdělen do tří technologických tříd výrubu s tloušťkou primárního ostění pouze 30 mm, 80 mm a 100 mm. Definitivní ostění z vodostavebního betonu B30 o tloušťce 350 mm bylo betonováno do posuvného bednění po blocích betonáže délky 9 m. Spáry mezi bloky betonáže byly těsněny těsnicími pásy. Ražba tunelu byla součástí experimentu prováděného v rámci státního výzkumného úkolu „*Modernizace oboru podzemních staveb k dosažení světové úrovně*“ a byla mu věnována mimořádná pozornost i z hlediska geotechnických měření. Z celkové délky tratových tunelů v tomto úseku 2x1410 m bylo pomocí NRTM následně vyraženo celkem 2120 m.

První nasazení NRTM na silničním tunelu se uskutečnilo na **tunelu Hřebeč** na silnici I/35 spojující města Svitavy a Moravská Třebová. Že se nejednalo o jednoduchou úlohu napovídají základní parametry tunelu.

Tunel byl navržen jako třípruhový s šířkou jízdního pruhu 3,65 m. Při ploše výrubu 150 m<sup>2</sup> až 160 m<sup>2</sup> se výška nadloží pohybovala od 5 m do 18 m. Východní portál tunelu byl navíc situován do dlouhodobě nestabilního sesuvného území. O historii svahových pohybů svědčilo i zakřivení kmenů stromů východního svahu. Z geologického hlediska tvořily horninový masiv kvartérní sedimenty, opuky, slínovce a v nejnižších polohách jílovce. Z celkové délky tunelu 354 m bylo pomocí NRTM vyraženo 270 m. Vzhledem k podélnému sklonu tunelu 6,3 % byla ražba zahájena dovrčně od východního portálu s vertikálním členěním plochy výrubu. Kalota severní boční štoly byla v profilu tunelu vyražena jako průzkumná v délce cca 50 m s dvouletým předstihem před



Obr. 1 Tunel Hřebeč (v provozu od r. 1997)  
Fig. 1 Hřebeč tunnel (in operation from 1997)

Underground Construction Prague Conference in 1988 an article by Ing. Štátný from the company VUIS Brno called "Research and the issue of implementing NATM in underground constructions in Czechoslovakia", which featured the main principles of the tunnelling method and pointed out disparities between the level of tunnel construction in our country and in the rest of the world. Certain elements of NATM have already been used in this period in the construction of caverns of the underground sewage treatment plant in Pec pod Sněžkou, the hydroelectric power station in Dlouhá Stráň, and in the construction of utility tunnels in Prague and Brno.

The first linearly excavated object using the NATM was **the running tunnel of the Prague Metro on route IV. B-05** between stations Kolbenova - Hloubětín. This was a part of the left single track running tunnel with an excavation area of 28 m<sup>2</sup> at a length of 347 m. Before the excavation of this tunnel began, a parallel right tunnel at an axial distance of 21 m was excavated using the annular method, so the geotechnical conditions were quite well known. The excavation took place in the environment of silty shales of Záhořany layers. In the project, the sector was divided into three technological excavation classes with a primary lining thickness of only 30 mm, 80 mm and 100 mm. The final lining of waterproof concrete B30 with a thickness of 350 mm was concreted into formwork by concrete blocks of 9 m. The gaps between the concrete blocks were sealed with gaskets. The tunnel excavation was part of an experiment carried out in the framework of the national research project "Modernization of the underground construction industry in order to achieve world class", and it was given special attention even in terms of geotechnical measurements. Out of the total length of running tunnels in this section, 2x1,410 m, a total of 2,120 m was subsequently excavated using NATM.

The first deployment of NATM on a road tunnel was carried out on **tunnel Hřebeč** on road I/35 connecting the towns Svitavy and Moravská Třebová. The basic parameters of the tunnel suggest that it was not a simple task. The tunnel was designed as a three-lane tunnel with a lane width of 3.65 m. With an excavation area of 150 m<sup>2</sup> to 160 m<sup>2</sup>, the height of the overburden ranged from 5 m to 18 m. Moreover, the eastern portal of the tunnel was situated in an unstable landslide area. The curving of the tree trunks on the eastern slope bore evidence of the history of the slope movement. From a geological point of view, the rock mass was formed of Quaternary sediments, marl, marlstone, and in the lowest positions clay stone. From the total length of the tunnel 354 m, 270 m were excavated using NATM. Due to the longitudinal slope of 6.3%, the excavation was started upward from the eastern portal with a vertical sequencing of the excavation area. The top heading of the side wall drift was excavated in the tunnel profile as a reconnaissance in the length of approx. 50 m, two years before the tunnel excavation began. The tunnel excavation began in June 1994. After the obstruction of the southern side wall, an intermediate rock pillar was left in the portal area, both side excavations were connected in the mountain, and so the full profile of the top heading was excavated. The excavation then proceeded with a horizontal sequencing toward the west as well as the east. The primary lining of the tunnel consisted of shotcrete with a thickness of 200 mm to 500 mm according to the support class of the excavation, reinforcing lattice girders, and steel mesh. The anchoring was done hydraulically with clamping anchors. In 1995 hurling of the rock occurred on the east portal, which was initiated by the collapse of the pillars between the vertically excavated side wall drifts. First, there was an increase in deformations on the internal side of the north adit; its invert was at a lower level than the subsequently excavated south side wall drifts. The rupture in the primary lining and the jamming of the pillar rock into the side wall drift was followed by the hurling of blocks of marl above the tunnel profile and the destruction of the lining of both side wall drifts.





Obr. 2 Tunel Hřebeč (v provozu od r. 1997)  
Fig. 2 Hřebeč tunnel (in operation from 1997)

zahájením ražby tunelu. Ražba tunelu byla zahájena v červnu 1994. Po zaražení jižní boční štoly byl v oblasti portálu ponechán mezilehlý horninový pilíř, v hoře byly propojeny oba boční výrubu a vyražen tak plný profil kaloty. Ražba pak probíhala s horizontálním členěním jak směrem západním, tak východním. Primární ostění tunelu tvořil stříkaný beton tloušťky 200 mm až 500 mm podle technologické třídy výrubu, výztužné příhradové rámy a ocelové sítě. Kotvení bylo prováděno hydraulicky upínatelnými kotvami. V roce 1995 došlo na východním portále ke skalnímu řícení, které bylo iniciováno kolapsem pilíře mezi vertikálně raženými bočními štolami. Nejprve došlo k nárůstu deformací na vnitřním boku severní štoly, její počva byla na nižší úrovni, než následně vyražené jižní boční štoly. Po prolomení primárního ostění a natlačení horniny pilíře do prostoru boční štoly následovalo skalní řícení bloků opuky nad profilem tunelu a destrukce ostění obou bočních štol.

V prostoru kaloty zůstala uvězněna tunelovací technika, osádka stačila před havárií tunel opustit. Aby bylo možné zjistit rozsah poškození uvnitř tunelu, byla z povrchu území vyhloubena šachta a následně přístupová štola do prostoru kaloty tunelu. Po místním šetření bylo zjištěno, že primární ostění kaloty zůstalo neporušeno a je schopno i nadále zajistit stabilitu výrubu. Stroje v prostoru kaloty zůstaly nepoškozené. Směrem k východnímu portálu byl tunel zavalen skalními bloky opuky. Klenba kaloty v prostoru tunelu byla před odtěžováním závalu podepřena rovinaninou ze železničních prážců. Následně došlo k zajištění stability východního portálu systémem kotev a postupnému odtěžování závalu. Nad tunelem byly vytvořeny železobetonové prahy rozepržené ocelovými trubkami a vytvořeno „falešné“ primární ostění. Současně probíhala úpadní ražba vertikálním členěním od západního portálu s minimálním nadložím cca 5 m zeminy. Situaci komplikoval i nedaleko stojící kostelík, jehož konstrukce byla již před výstavbou tunelu značně zchátralá. Stavební jáma západního portálu byla zajištěna kotveným záporovým pažením, nad profilem kaloty byl vytvořen ochranný mikropilotový deštník. Úpadní ražba probíhala bez větších komplikací a tunel byl v celé délce úspěšně vyražen. Po instalaci mezilehlé izolace probíhala betonáž definitivního ostění tloušťky 500 mm. Vzhledem k vedení trasy ve složeném směrovém oblouku 250 m a 500 m byla použita délka bloku betonáže jen 5 m. Dokončením tunelu v listopadu 1997 jeho smolná historie neskončila. V jarních měsících roku 1999 došlo na západním svahu v oblasti portálu k proudovému sesuvu půdy. Sesuv postihl jižní bok tunelu a způsobil nesymetrické zatížení ostění hloubené části tunelu, na které konstrukce tloušťky 600 mm nebyla dimenzována. V ostění vznikly trhliny a výztuž na vnitřní straně byla na mnoha místech přerušena. Trhliny bylo nutné sanovat injektáží a ostění na vnitřním líci zesílit pomocí uhlíkových

The tunnelling equipment remained trapped in the top heading, the crew managed to leave the tunnel before the accident. In order to determine the extent of damage inside the tunnel, a shaft was dug from the surface of the area, followed by an access adit into the top heading of the tunnel. A local investigation found that the primary lining of the top heading remained intact and is able to continue to ensure the stability of the excavation. The machines in the top heading were undamaged. The tunnel was buried in blocks of marl in the direction of the eastern portal. The vault of the top heading in the tunnel was supported by a rock fill from railway sleepers before the extraction of the clutter. Subsequently, stability of the eastern portal was ensured by a system of anchors and gradual extraction of the clutter. Iron-concrete thresholds strutted with steel pipes were built above the tunnel, creating a "false" primary lining. At the same time, downhill excavation with vertical sequencing from the western portal was taking place, with a minimal overburden of approx. 5 m of soil. The situation was also complicated by a nearby church, whose structure was already greatly dilapidated before the construction. The construction pit of the western portal was secured with anchored rider bricking, and a protective canopy tube was created above the profile of the top heading. The downhill excavation proceeded without major complications, and the tunnel was successfully excavated in full length. After the installation of intermediate isolation, the casting of the final lining, which was 500 mm thick, proceeded. Due to the routing in a composite direction arch of 250 m and 500 m, the length of the concreting block used was only 5 m. The completion of the tunnel in November 1997 did not end its unlucky history. In the spring of 1999 a landslide occurred on the western slope near the portal. The landslide hit the southern side wall of the tunnel and caused an unbalanced load on the lining of the excavated part of the tunnel, for which the construction with a thickness of 600 mm was not designed. Cracks formed in the lining, and the excavation support on the inside was broken in many places. The cracks had to be fixed with grouting, and the lining on the inner face was strengthened with carbon fibers. Another massive landslide accompanied by rock hurling of layers of marl hit the eastern portal in April 2006. The material of the northern side wall of the tunnel blocked the road in front of the portal almost in the entire width, thus disabling the operation of the tunnel. The landslide had no negative impact on the lining, however, it was necessary to extract the material and stabilize the slope with reinforced soil structures.

The first tunnel in the Czech railways network excavated with the NATM was the **tunnel Vepřek** on the I. transit corridor between Prague – Děčín - Dresden. It is named after the village situated on the bank of Vltava approx. 40 km north of Prague. The existing railway originally ran along the river, and the directional ratios did not allow the desired ground speed of 160 km/h. In the initial stages of designing the tunnel, it was meant to be implemented in a deep construction pit. The documentation for zoning considered 4 other variants of the digging. The mining variant was eliminated without further assessment as uneconomic. A change in attitude only occurred prior to the processing of the project for a building permit. After a detailed examination of the engineering geological conditions, with regard to the height of the overburden, which amounted to 20 m, the high volume of excavations (340 000 m<sup>3</sup>) and backfills (240 000 m<sup>3</sup>) the variant of a tunnel excavated using the NATM was designed next to the cut-and-cover variants. Based on a detailed techno-economic assessment of the options, the variant of excavation using NATM was selected for further projecting. A detailed geotechnical survey was carried out in the project. Marlstone with a zone of strong weathering, to a depth of approx. 13 m, was found under a layer of loess loam in the given location. Below this level, slightly weathered marlstone with a large discontinuity density of approx. 15 cm to

lamel. Další mohutný sesuv doprovázený skalním řícením vrstev opuky postihl východní portál v dubnu 2006. Materiál tentokrát severního boku tunelu zavalil silnici před portálem téměř v celé šířce a znemožnil provozování tunelu. Sesuv neměl na konstrukci ostění negativní vliv, bylo však nutné materiál odtěžit a stabilizovat svah konstrukcí z vyztužené zeminy.

Prvním tunelem v síti Českých drah raženým NRTM byl **tunel Vepřek** na I. tranzitním koridoru v úseku Praha – Děčín – Drážďany.

Je pojmenován podle obce ležící na břehu Vltavy cca 40 km severně od Prahy. Stávající trat' zde původně vedla podél řeky a směrové poměry nedovolily dosažení požadované tratě rychlosti 160 km/h. V počátečních fázích projektování tunelu se počítalo s jeho prováděním v hluboké stavební jámě. Dokumentace pro územní rozhodnutí ještě sledovala 4 varianty jeho hloubení. Ražená varianta byla bez podrobnějšího posouzení vyloučena jako neekonomická. Ke změně přístupu došlo až před zpracováním projektu pro stavební povolení. Po podrobnějším prostudování inženýrsko-geologických poměrů, s ohledem na výšku nadloží, která dosahovala až 20 m, vysokému objemu výkopů (340 000 m<sup>3</sup>) i zásypů (240 000 m<sup>3</sup>) byla k variantám hloubeným navržena i varianta tunelu raženého pomocí NRTM. Na základě podrobného technicko-ekonomického posouzení variant byla pro další projektování zvolena varianta ražená pomocí NRTM. V rámci projektu byl proveden podrobný geotechnický průzkum. V dané lokalitě se pod vrstvou sprašových hlín nacházely slínovce se zónou silného zvětrání až do hloubky cca 13 m. Pod touto úrovní se již nacházely slabě zvětralé slínovce s velkou hustotou diskontinuit cca 15 cm až 25 cm. Délka úseků prováděných v otevřené stavební jámě byla 58 m v oblasti pražského portálu a 60 m v místě děčínského portálu. Stabilita stavební jámy hluboké až 30 m byla po dobu výstavby zajištěna svahováním, stříkaným betonem se sítěmi a kotvami SN délky 4 až 6 m osazovanými do vrtů vyplněných cementovou záplivkou. Ostění hloubených tunelů bylo navrženo jako monolitické se spodní klenbou. Rozhraní mezi hloubeným a raženým úsekem tunelu bylo situováno do míst, kde mocnost nadloží neklesala pod 6 m, přičemž kritickým místem nebyl vrchol tunelu, ale jeho bok přivrácený k řece Vltavě. Ostění raženého tunelu bylo navrženo jako dvoupláštěvé s mezilehlou deštníkovou izolací v oblasti horní klenby a boků. Spodní klenba tunelu nebyla izolována. Ražená část tunelu délky 272 m byla rozdělena na základě prognózy do tří technologických tříd výrubu. Primární ostění tvořil stříkaný beton se sítí, kotvami SN a příhradovými ramenaty. Zpočátku byla používána suchá směs a beton byl stříkán „z ruky“. Později byl zhotovitelem nasazen zkušebně manipulátor na mokrou směs. V oblasti ohrožené nestabilitou přístropí se stabilita výrubu zajišťovala předražnými ocelovými jehlami. Po instalaci polyetylenové hydroizolační fólie probíhala betonáž monolitického, definitivního ostění v blocích betonáže délky 10 m. V každém druhém bloku betonáže byl situován záchranný výklenek sloužící jako úkryt pro personál provádějící údržbu v tunelu. Výpočet primárního ostění byl proveden metodou konečných prvků jako 2D model se zohledněním jednotlivých fází výstavby při členění výrubu na kalotu, lavici a počvu. Výstavba byla zahájena na podzim roku 2000 prováděním přístupových komunikací a odtěžením stavebních jam na obou portálech. Vzhledem k reliéfu terénu se jednalo o náročné práce vyžadující přesné dodržování projektem předepsaných postupů. Ražba kaloty tunelu byla zahájena začátkem roku 2001. Původně předpokládané rozpojování horniny tunelovým bagrem nahradily postupně trhací práce. Hornina byla pevná, ale silně rozpukaná, což vedlo k tvorbě nadvylomů. Přítoky do čelby byly minimální a neovlivňovaly její stabilitu. Délka záběru se pohybovala od 1,0 m do 1,7 m, naměřené deformace výrubu při ploše výrubu více než 100 m<sup>2</sup> nepřesáhly 30 mm. Velmi dobře probíhala úprava prvků zajištění stability výrubu podle skutečně zastižených geo-



Obr. 3 Tunel Vepřek (v provozu od r. 2002)

Fig. 3 Vepřek tunnel (in operation from 2002)

25 cm was found. The length of the segments carried out in the open construction pit was 58 m in the Prague portal area, and 60 m at the Děčín portal. The stability of the construction pit up to 30 m deep was secured with embankment, shotcrete, and mesh and SN anchors 4 to 6 m long, mounted into boreholes filled with cement mortar. The lining of excavated tunnels was designed as monolithic with an invert. The interface between the excavated and mined tunnel section was located in areas where the overburden thickness never drops below 6 m, whereas the critical area was not the top of the tunnel, but its side wall facing the river Vltava. The lining of the mined tunnel was designed as double-walled, with intermediate umbrella insulation in the area of the upper vault and side walls. The invert of the tunnel was not insulated. The mined section of the tunnel, 272 m long, was divided into three excavation support classes based on the prognosis. The primary lining consisted of sprayed concrete with a mesh, SN anchors, and lattice girders. Initially, a dry mixture was used and the concrete was sprayed "by hand". Later on the contractor deployed a manipulator for the wet mixture. In the area threatened by instability of the top heading, the stability of the excavation was provided with pre-drilled steel needles. After the installation of waterproof membrane, the concreting of the monolithic final lining in concrete blocks 10 m long was carried out. In every other concrete block a rescue niche was situated, serving as a refuge for personnel performing maintenance in the tunnel. The calculation of the primary lining was carried out using the method of finite elements as a 2D model, taking into account the different stages of construction during the excavation sequencing into the top heading, bench, and invert. Construction began in the fall of year 2000, with the implementation of access roads and the excavation of construction pits on both portals. Due to the relief of the terrain, this was demanding work requiring strict compliance with the procedures prescribed in the project. The excavation of the top





Obr. 4 Tunel Vepřek (v provozu od r. 2002)  
Fig. 4 Vepřek tunnel (in operation from 2002)

technických podmínek. Na základě výsledků geomonitoringu a posouzení stability tunelu došlo v některých úsecích ke zkrácení délky kotev, vypuštění vnitřní vrstvy sítí, nebo výztužných rámu v ostění lavice tunelu. Z dnešního pohledu nebyl tunel po technické stránce ničím výjimečný. Jeho jedinečnost spočívala v prvním nasazení NRTM na železničním tunelu v České republice.

V průběhu výstavby probíhaly velké diskuse o interpretaci výsledků geotechnického monitoringu, možnosti či nemožnosti měnit projektem definované prvky zajištění stability výrubu a způsobu proplácení prací i použitých materiálů, které přesně neodpovídaly projektu. Zcela nový musel být přístup technického dozoru investora i evidence skutečně provedených prací při výstavbě tunelu. Ražba, betonáž definitivního ostění i další práce proběhly bez velkých problémů a stavba byla v roce 2002 uvedena do provozu. V roce 2004 byl tunel Vepřek oceněn za uplatnění nových technologických postupů a přínos ke zkvalitnění parametrů železničních koridorů titulem Dopravní stavba roku.

### 3 NRTM Z HLEDISKA ZÁKONŮ, VYHLÁŠEK A PŘEDPISŮ

NRTM je považována za metodu umožňující operativně reagovat na skutečně zastížené podmínky při ražbě. Efektivní využití investičních nákladů je podmíněno možností upravovat podle geotechnických podmínek technologické třídy výrubu a použít jen takové prvky jeho zajištění, které jsou nezbytně nutné pro bezpečnou ražbu díla, případně umožňují řídit deformace nadloží s ohledem na zástavbu a inženýrské sítě. Aby bylo možné úpravy způsobu zajištění aplikovat v praxi, je tomu nutné přizpůsobit zadávací dokumentaci stavby a vytvořit odpovídající rámec zákonů, vyhlášek, technických i smluvních předpisů. Ražba tunelů spadá v České republice jako činnost prováděná hornickým způsobem do kompetence Báňského úřadu. Projektování a ražba tunelů tak probíhají z hlediska bezpečnosti práce podle zákonů a vyhlášek vydávaných Českým báňským úřadem. Jedná se zejména o zákon 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a státní báňské správě, a vyhlášku 55/1996 Sb., o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem v podzemí. Oba předpisy byly v roce 2012 přepracovány a s přispěním tunelářské komunity i zástupců Báňského úřadu se do nich částečně podařilo implementovat i požadavky na ražbu tunelů pomocí NRTM. Zákon v § 5b uvádí, že projekt tunelů může vypracovat pouze osoba s osvědčením odborné způsobilosti báňského projektanta. Nově definuje i požadavky na komplexnost projektové dokumentace a statické výpočty, u kterých klade důraz na jejich kontrolovatelnost. Zadavateli projektu zákon nepřímo ukládá

heading of the tunnel was started in early 2001. The originally anticipated rock disintegration with a tunnel excavator was gradually replaced with blasting. The rock was solid but heavily fractured, which led to the formation of overbreaks. Inflows to the tunnel face were minimal and did not affect its stability. The length of the advance ranged from 1.0 m to 1.7 m; the measured excavation deformations with an excavation surface of more than 100 m<sup>2</sup> did not exceed 30 mm. The adjustment of elements for providing stability of the excavation according to actually encountered geotechnical conditions proceeded very well. Based on the results of geomonitoring and the assessment of the stability of the tunnel, in some sections the length of the anchors was shortened, the inner layer of mesh and lattice girders in the lining of the tunnel bench were released. In retrospect, there was technically nothing special about the tunnel. Its uniqueness lay in the first deployment of NATM on a railway in the Czech Republic. During the construction great debates took place about the interpretation of the results of geotechnical monitoring, the possibility or impossibility to change the elements defined in the project for excavation support, and the method of payment for labor and the materials used, which did not correspond exactly with the project. A completely new approach of the investor's technical supervision, and records of actually carried out work during the construction of the tunnel, was needed. The excavation, concreting of the final lining, and other work, was carried out without any major problems, and the structure was put into operation in 2002. In 2004 tunnel Vepřek was awarded for the implementation of new technological procedures and its contribution to the improvement of the quality of railway corridor parameters, with the Transport Construction of the Year title.

### 3 NATM IN TERMS OF LAW, REGULATIONS, AND PROVISIONS

The NATM is considered a method that enables flexible reaction to actually encountered conditions during the excavation. Efficient use of investment costs is conditional to the option to adjust geotechnical conditions of the excavation support class and to use only such elements for its support that are essential for safe excavation, or which allow the control of ground movements with respect to the installation and utilities. In order to apply the support method in practice, it is necessary to adapt the project documentation of the construction and create an appropriate framework of laws, regulations, and technical and contractual provisions. The excavation of tunnels in the Czech Republic is a mining activity within the competence of the Mining Office. Therefore, the designing and excavation of tunnels in terms of work safety takes place in accordance with laws and regulations issued by the Czech Mining Office. In particular, Act 61/1988 Coll. on mining activities, explosives, and national mining administration, and Regulation 55/1996 Coll. on requirements for safety and health protection at work, and safety in work carried out underground with mining methods. Both regulations were revised in 2012, and with the contribution of the tunnelling community and representatives of the Mining Office, they have managed to partially implement requirements for excavation of tunnels using NATM into them. In §5b the act states that a tunnel project can only be drawn up by a person with a certificate of qualification as a mining designer. It also defines the requirements on the complexity of the project documentation and static calculations, emphasizing their controllability. The act indirectly obliges the project owner to provide such materials so that the project executed according to them allowed safe implementation and use of underground structures and buildings in accordance with their purpose. According to §37 of the act, road, highway, and railway tunnels are not considered an underground object.

Regulation 55/1996 Coll. underwent big changes for the bene-



Obr. 5 Tunel Mrázovka (v provozu od r. 2004) – foto: Archiv IKP CE  
Fig. 5 Mrázovka tunnel (in operation from 2004) – photo IKP CE archive

poskytnout takové podklady, aby projekt podle nich zpracovaný umožnil bezpečné provedení a užívání podzemních děl a staveb v souladu s jejich účelem.

Velkých změn ku prospěchu použití NRTM doznala vyhláška 55/1996 Sb. V textu se objevují termíny, které v předchozí verzi zcela chyběly. Především se jedná o pojem „observační metoda“, který připouští změnu způsobu zajištění stability výrubu na základě skutečně zastížených podmínek při ražbě. Nejedná se pouze o NRTM, ale obecně o tunelovací metody, které využívají sledování projevů horninového masivu k optimalizaci postupu ražby. To je v českém právním prostředí zcela nová situace. Stejně důležité je i zavedení pojmu „technologická třída výrubu“, která je definována jako soubor stavebních opatření a technologických postupů vedoucích k dosažení požadované stability výrubu a ovlivněných objektů v konkrétních geologických a inženýrskogeologických podmínkách. Zásadní význam pro projektování i provádění tunelů pomocí NRTM má § 16 vyhlášky, kde se hovoří o rozdělení horninového masivu do kvazihomogenních celků, ke kterým je přiřazen způsob zajištění stability výrubu i technologický postup provádění ražby. Tím se ustupuje od původní představy, kdy projekt přesně definoval v celé délce tunelu způsob jeho provádění a v případě odchylky od projektu musel být přepracován. V některých případech se pak v projektové dokumentaci objevovaly i výkresy polohy jednotlivých ocelových rámců primárního ostění, rozkreslené předem na celou délku tunelu. Současná vyhláška umožňuje zařítovat horninový masiv do technologických tříd výrubu podle skutečně zastížených podmínek při ražbě. Zařítování provádí autorizovaný geotechnik na základě hodnocení chování horninového masivu při ražbě a interpretace výsledků geomonitoringu. Ražbu v konkrétní technologické třídě výrubu schvaluje závodník, který plně odpovídá za bezpečnost práce při ražbě. V rámci přípustných změn uvedených v projektové dokumentaci lze modifikovat i jednotlivé prvky konkrétní technologické třídy výrubu.

Správným rozhodnutím je i úzká vazba mezi geotechnickým monitoringem a projektem. Požadavky na rozsah a náplň geomonitoringu určuje v projektu báňský projektant. Jeho účast na stavbě byla před uvedením vyhlášky v platnost zpravidla závislá jen na vůli investora. Ten vyzýval projektanta k návštěvě stavby v rámci provádění autorského dozoru. Nyní je účast projektanta na stavbě tunelu vázána požadavkem § 18c vyhlášky, který mu ukládá za povinnost stavbu kontrolovat minimálně jednou týdně a výsledek kontroly zapsat do knihy kontrol. Užší vazba projektanta a reálného prostředí stavby je prospěšná pro obě strany.

Někteří investoři zadávají inženýrskogeologický průzkum současně s projektem tunelu. To má za následek, že projektant dostává v průběhu zpracování projektové dokumentace pouze dílčí výsledky průzkumu a jeho celkové výsledky se odevzdávají

fit of the NATM. The text contains terms that were completely missing in the previous version. In particular, the term "observational method", which allows a change in the excavation support system based on actual conditions encountered during the excavation. It is not only the NATM, but tunnelling methods in general, which use monitoring of manifestations of the rock mass to optimize the excavation procedure. This is a completely new situation in the Czech legal environment. The introduction of the term "excavation support class", which is defined as a set of construction measures and technological methods for achieving the desired stability of the excavation and the affected objects in specific geological and engineering geological conditions. §16 of the act is essential for the design and implementation of tunnels using NATM; it refers to the distribution of rock mass in quasi homogeneous units, to which the method of ensuring the stability of the excavation and the technological implementation process of the excavation is assigned. This moves away from the original idea when the project precisely defined the method of implementation in the entire length of the tunnel, and had to be redesigned in case of deviations from the project. In some cases, the project documentation included drawings of the position of the primary lining steel frames, drawn in advance for the entire length of the tunnel. The current regulation enables the classification of the rock mass into excavation support classes, according to actual conditions encountered during the excavation. The classification is performed by an authorized geotechnician based on the evaluation of the rock mass behavior during the excavation, and the interpretation of the geomonitoring results. The excavation in a specific excavation support class is approved by the mine supervisor, who is fully responsible for work safety during the excavation. Within permissible variations specified in the project documentation, individual elements of a specific excavation support class can also be modified.

The close link between geotechnical monitoring and the project is also a good decision. Requirements for the scope and content of the geomonitoring are determined in the project by the mining designer. Before the regulation was in force, his participation in the construction was generally dependent on the investor, who called the designer to visit the construction for authorial supervision. Now the designer's participation in the construction of the tunnel is bound to the requirement of §18c of the regulation, which obliges him to check on the construction at least once a week and record the result of his inspection in the book of inspections. A closer link between the designer and the real environment of the construction is beneficial for both parties.

Some investors order an engineering geological survey along with the tunnel project. This means that the designer only receives partial results of the survey during the fabrication of the project documentation, and the overall results are only handed over to him at the worst, together with the tunnel project. The regulation requires that the basis for the project be a geological and engineering-geological survey, which must be fabricated and evaluated before work on the project begins. The results must then provide enough information for the preparation of project documentation. This contributes to the designer's better awareness of the rock mass in which the tunnel will be excavated, and reduces the risk of a wasteful or dangerous tunnel design.

The approach to a warning status has also changed. While the original regulation only required the indication of the value of the warning status, in §28 the new version allows determining the progression of the monitored variable in time, which is a much more favorable situation from a security standpoint. A mere maximally acceptable value of the monitored variable, usually an excavation deformation, did not take into account the time course in which the value was approaching the limit. Under the original regulation it was even necessary to stop the excavation if the warning status was exceeded. The new approach to the warning status can predict aty-





Obr. 6 Tunel Malá Huba (v provozu od r. 2005)  
Fig. 6 Malá Huba tunnel (in operation from 2005)

v nejhorším případě až současně s projektem tunelu. Vyhláška ukládá, že podkladem pro zpracování projektu je geologický a inženýrskogeologický průzkum, který musí být zpracován a vyhodnocen před zahájením prací na projektu. Jeho výsledky pak musí poskytnout dostatek informací pro zpracování projektové dokumentace. To přispívá k lepší informovanosti projektanta o horninovém masivu, ve kterém tunel bude ražen, a snižuje riziko nevhodného nebo naopak nebezpečného návrhu tunelu.

Změnil se i přístup k varovným stavům. Zatímco původní znění vyhlášky vyžadovalo pouze uvedení hodnoty varovného stavu, její nové znění už připouští v § 28 i stanovení průběhu sledované veličiny v čase, což je z bezpečnostního hlediska výrazně příznivější situace. Pouhá maximálně přípustná hodnota sledované veličiny, zpravidla deformace výrubu, nezohledňovala časový průběh, jakým se veličina k limitní hodnotě blíží. Podle původního znění vyhlášky bylo dokonce nutné při překročení varovného stavu ražbu zastavit. Nové pojetí varovného stavu dokáže predikovat atypické chování horninového masivu při ražbě mnohem dříve a efektivně nasadit doprovodná opatření tak, aby se minimalizovalo riziko vzniku mimořádné události nebo havárie v tunelu. Projekt by měl nově definovat nejen varovné stavy, ale zároveň navrhnout i doprovodná opatření nasazená při jejich dosažení. Ta by měla nepříznivý vývoj z hlediska stability výrubu nebo poškození objektů v nadloží včas eliminovat.

Zákony a vyhlášky Báňského úřadu definují práva a povinnosti báňského projektanta nebo organizace, která tunel raží. Nijak však neupravují práva a povinnosti investora. Realizační dokumentace bývá obvykle součástí dodávky tunelu, takže práva i povinnosti se ve smyslu báňských předpisů týkají pouze jedné ze zúčastněných stran. Pouze nepřímo, pokud investor zajišťuje inženýrskogeologický průzkum, mu ukládají zajistit jeho odpovídající rozsah a obsah pro účely projektu a bezpečnou ražbu díla.

Významnou roli při ražbě tunelů hraje rozdělení rizik mezi investora a stavební firmu. Tato problematika pro konkrétní podmínky ražby tunelů v právních předpisech u nás podchycena není. Při ražbě se rozlišují dvě základní rizika, a to geotechnické riziko a technologické riziko. Podle rakouské praxe geotechnické riziko spojené s prozkoumaností daného prostředí, se získáním potřebných informací o skladbě horninového masivu a s jeho očekávaným chováním při ražbě tunelu nese investor. Ten zajišťuje zpravidla i projektovou dokumentaci, podle které se tunel staví. Stavební firma nese technologické riziko, které je spojeno s nasazením takové techniky a personálního nasazení, aby bylo možné tunel v avizovaných podmínkách a podle předložené zadávací dokumentace bezpečně, hospodárně a včas vyrazit. To je v rozporu s běžně u nás používanými podmínkami červené knihy

pical behavior of the rock mass during excavation much sooner, and effectively deploy accompanying measures in order to minimize the risk of an accident in the tunnel. The project should redefine not only the warning status, but also propose accompanying measures as they arise. These measures should eliminate unfavorable developments in the stability of the excavation or damage to objects in the overburden in time.

Laws and regulations of the Mining Office define the rights and obligations of the mining designer or organization that is excavating the tunnel. However, they do not govern any rights or obligations of the investor. The project documentation is usually supplied with the tunnel, so the rights and obligations by course of the mining regulations only cover one of the parties. Only indirectly, if the investor provides an engineering geological survey, do they impose him to ensure the appropriate scope and content for the purposes of the project and safe excavation.

The allocation of hazards between the investor and the construction company plays an important role in the excavation of tunnels. This issue is not captured in the legislation in this country for specific conditions of tunnel excavation. There are two basic types of hazard during excavation: geotechnical hazard and technological hazard. According to the Austrian practice, the geotechnical hazard associated with the prospecting of the environment and obtaining the necessary information about the composition of the rock mass and its expected behavior during the excavation, is borne by the investor; he also generally provides the project documentation according to which the tunnel will be constructed. The construction company bears the technological hazard, which is associated with the deployment of such technology and personnel to be able to safely, efficiently, and punctually excavate the tunnel in the advised conditions and according to the submitted project documentation. This is contrary to the conditions of the FIDIC Red Book commonly used in our country, in which Article 4.10 states that the project owner is required to provide the contractor with all information about the geological and hydrological conditions at the site, however, the contractor is responsible for the interpretation of the survey results.

Standards and technical qualitative conditions are used to ensure the technical level of the design and implementation of the tunnel. In particular, standards ČSN 737507 Design of Road Tunnels, and ČSN 737508 Railway Tunnels. Both standards undergo a process of updating to incorporate changes related to not only technical progress and development in the tunnels, but also the requirements of generally applicable regulations of the European Union. A major problem in updating standards for road and railway tunnels is finding a consensus between technical requirements and requirements of the Fire and Rescue Service. Their requirements exceed the general framework for safe operation in tunnels in many ways, making the construction of tunnels much more expensive.

Technical qualitative conditions for the design and construction of road tunnels are issued by the Ministry of Transport, Department of Infrastructure. Documentation is subject to regulation TKP-D7 Tunnels, Underground Structures, and Galleries (tunnels). The construction of road tunnels is subject to regulation TKP 24 Tunnels. Both provisions were updated and are valid since May 2007. The updating of both regulations was caused by the need to incorporate requirements for the design and implementation of tunnels using NATM, and thus enable its "legal" used in tunnelling.

The planning and construction of railway tunnels is subject to a regulation issued by the Railway Infrastructure Administration (RIA), labeled TKP 20 Tunnels. This regulation was updated in 2002 following the construction of the first railway tunnel Vepřek excavated using NATM. During the excavation it became evident that the current regulations prevent the use of NATM, and it was necessary to solve a number of problems directly in the project

FIDIC, ve kterých se sice v článku 4.10 uvádí, že objednatel je povinný poskytnout zhotoviteli veškeré informace o geologických a hydrologických podmínkách na staveništi, za interpretaci výsledků průzkumu je však odpovědný zhotovitel díla.

K zajištění technické úrovně projektování i provádění tunelů slouží normy a technicko-kvalitativní podmínky. Jedná se o normu ČSN 737507 *Projektování tunelů pozemních komunikací* a ČSN 737508 *Železniční tunely*. Obě normy procházejí procesem aktualizace s cílem zapracování změn souvisejících nejen s technickým pokrokem a vývojem v oblasti tunelů, ale i s požadavky obecně platných předpisů Evropské unie. Velkým problémem při aktualizaci norem pro silniční i železniční tunely je nalezení konsenzu mezi technickými nároky a nároky zástupců Hasičského záchranného sboru. Jejich požadavky v mnohém obecný rámec zajištění bezpečného provozu v tunelech překračují, a tím výstavbu tunelů výrazně prodražují.

Technické kvalitativní podmínky pro projektování a výstavbu silničních tunelů vydává Ministerstvo dopravy, odbor infrastruktury. Pro dokumentaci platí předpis *TKP-D7 Tunely, podzemní stavby a galerie (tunelové stavby)*. Pro výstavbu silničních tunelů platí předpis *TKP 24 Tunely*. Oba předpisy byly aktualizovány a platí od května 2007. Aktualizaci obou předpisů vyvolala právě potřeba zapracovat požadavky na projektování a provádění tunelů pomocí NRTM a umožnit tak její „legální“ nasazení v tunelářské praxi.

Pro projektování a realizaci staveb železničních tunelů platí předpis vydaný Správou železniční dopravní cesty (SŽDC) s označením *TKP 20 Tunely*. Aktualizace tohoto předpisu proběhla již v roce 2002 v návaznosti na výstavbu prvního železničního tunelu Vepřek raženého pomocí NRTM. Při výstavbě se ukázalo, že stávající předpisy brání nasazení NRTM a bylo nutné řadu problémů řešit přímo v projektové dokumentaci.

#### 4 GEOTECHNICKÝ MONITORING A GEOTECHNICKÁ SLUŽBA

Ražbu tunelu pomocí NRTM bez provádění geotechnického monitoringu si lze jen obtížně představit. Postupy, kterými jsou dnes sledované veličiny měřeny, vyhodnocovány a zpřístupňovány jednotlivým účastníkům výstavby, se v počátcích používání této metody zdály spíše fikcí než realitou. Dnešní metody monitoringu umožňují použití bezobslužných čidel s možností zaslání naměřených hodnot pomocí sítě GSM nebo bezdrátovým přenosem WiFi. Měření deformací výrubu se stále zpřesňuje a doba od naměření veličin po jejich vyhodnocení se zkracuje. Data v grafické i číselné formě jsou dostupná na zabezpečených webech na internetu a umožňují volbou zobrazení sledovat konkrétní veličiny v potřebném měřítku i časovém intervalu od provedení záběru.

K nejčastěji sledovaným veličinám patří měření deformací výrubu v měřicích profilech na primárním ostění, měření průběhu poklesové kotliny na povrchu území, měření deformací horninového masivu okolí výrubu pomocí extenzometrů nebo inklinometrů. V některých případech se používá i sledování kontaktního napětí nebo napětí v ostění pomocí tlakoměrných podušek nebo tenzometrů. Interpretace výsledků těchto měření však bývá v mnohdy problematická, zejména pokud není aplikováno měření kontinuální. Při ražbě tunelů v horninách citlivých na přítomnost podzemní vody je nutné v případě propojení tunelu puklinovým systémem s povrchovými zvodněmi komplexně vyhodnocovat přítoky do výrubu a množství srážek na povrchu.

Provádění geotechnického monitoringu se v případě tunelů na pozemních komunikacích řídí technickými podmínkami *TP237 Geotechnický monitoring tunelů pozemních komunikací*, který platí v první verzi od roku 2007. Jedná se o velmi rozsáhlý dokument, který na 88 stranách popisuje cíle, metody i způsob provádění geotechnického monitoringu. Při definování rozsahu geotechnického monitoringu je potřeba mít stále na paměti, jak budou jeho výsled-



Obr. 7 Tunel Hněvkovský I (v provozu od r. 2006)  
Fig. 7 Hněvkov I tunnel (in operation from 2006)

documentation.

#### 4 GEOTECHNICKÝ MONITORING AND GEOTECHNICKÁ SLUŽBA

It is difficult to imagine the excavation of a tunnel using NATM without geotechnical monitoring. Procedures with which the monitored variables are measured, evaluated, and made available to each participant in the construction, seemed to be more fiction than reality in the early days of using this method. Today's monitoring methods allow the use of unattended sensors with the option of sending the measured values through GSM or wireless WiFi transmission. The measurement of excavation deformations is continuously refined, and the time from the measuring to the evaluation of the values is reducing. Data in graphical and numerical form are available on secured websites on the internet, and they enable the monitoring of a specific variable in the required scale and time interval since the round.

The most commonly monitored variables include the measurement of excavation deformations in surveying profiles on the primary lining, the measurement of subsidence troughs on the ground surface, and the measurement of deformations in the rock mass surrounding the excavation, using extensometers or inclinometers. In some cases, monitoring of contact strain or strain in the lining using pressure gauge cushions or strain gauges. However, the interpretation of the results of these measurements is often



Obr. 8 Tunel Libouchec (v provozu od r. 2006)  
Fig. 8 Libouchec tunnel (in operation from 2006)





Obr. 9 Tunel Libouchec (v provozu od r. 2006) – foto: Archiv ŘSD  
Fig. 9 Libouchec tunnel (in operation from 2006) – photo ŘSD archive

ky použity při ražbě tunelů a co přinesou z bezpečnostního a ekonomického hlediska. Monitoring by rozhodně neměl být omezen pouze na měření a grafické vyhodnocování naměřených veličin, případně na pasportizaci čelby. Výsledky měření jsou pouze částí komplexního geotechnického sledování projevů ražby v zájmovém území. Geotechnik, který geotechnický monitoring provádí, by měl být přítomen na čelbě minimálně v případě, kdy probíhá ražba, vrtání pro osazování kotev, nebo vrtání pro trhací práce. Mechanismus rozpojování, způsob rozpadu horniny při mechanickém těžení tunelovým bagrem, fragmentace horniny po odpalu, přítoky vody do čelby, vymývání jemné frakce z puklin, rychlost vrtání nebo postupná tvorba nadvylomů po provedení záběru jsou indicie, které umožňují společně s naměřenými hodnotami deformací či napětí zpřesnit představu o reakci horninového masivu na ražbu.

V mnoha případech je skutečnost od této představy zcela odlišná. Ražba probíhá nejen bez účasti geotechnika, ale i technického dozoru investora. Geotechnik je přivolán až po odtěžení rubaniny a někdy i po zastříkání líce výrubu. Proveďte fotodokumentaci a pasportizaci nezastříkané čelby z hlediska orientace diskontinuit, přítoků vody a geologického zatřídění. V případě tvorby nadvýrubu nad hranici smluvně dohodnuté meze je přivolán ještě před zastříkáním líce výrubu, aby mohl nadvýrub zdokumentovat a dát tak podklad pro fakturaci víceprací spojených s jeho sanováním. Tento způsob provádění geomonitoringu není správný a neposkytuje potřebné informace pro predikci chování horninového masivu v dalším záběru.

Důvodem různých představ o obsahu a náplni geomonitoringu je nejasné definování kompetencí při ražbě a rozhodování o zatřídování do technologických tříd výrubu. Nejasná je i hranice mezi náplní geomonitoringu a funkcí geotechnika stavby. Tento pojem není dosud nikde definován. V posledním znění vyhlášky 55/1986 Sb. se sice v § 4 objevuje pojem „geotechnik“, jako odborně způsobilá fyzická osoba oprávněná k zatřídování horninového masivu do technologických tříd výrubu, jeho práva a povinnosti však nejsou nijak vymezeny. V § 28 vyhlášky se pouze uvádí, že zatřídění do technologických tříd výrubu provádí geotechnik, schválení jeho rozhodnutí je však opět na závodním, tj. na zástupci stavební firmy. Určení osoby geotechnika bude proto nutné definovat v zadávací dokumentaci stavby a jeho kompetence definovat smluvním vztahem. Lze předpokládat, že bude zástupcem na straně investora, optimálně členem týmu geomonitoringu. Podporou tohoto předpokladu může být článek 3.7 předpisu TKP237, který pojednává o součinnosti účastníků výstavby při provádění geomonitoringu. To opět souvisí s podmínkami nastavenými konkrétně v báňských zákonech

problematic, especially if continuous measurement is not applied. During the excavation of tunnels in rocks sensitive to the presence of underground water, it is necessary to comprehensively evaluate the inflow into the excavation and the amount of precipitation on the surface, if the tunnel is connected with the fissure system with surface aquifers.

In the case of road tunnels, geotechnical monitoring abides by technical conditions TP237 Geotechnical Monitoring of Road Tunnels, which is valid in its first release since 2007. This is a very comprehensive document, which describes the objectives, methods, and manner of the execution of geotechnical monitoring on 88 pages. In defining the scope of geotechnical monitoring, it is necessary to keep in mind how its results will be used during the excavation of the tunnels, and what it will bring from a safety and economic perspective. Monitoring should certainly not be limited to the measurement and graphical evaluation of measured variables, or the passportization of the tunnel face. The measurement results are only part of a comprehensive geotechnical monitoring of the manifestations of the excavation in the area of interest. The geotechnician who carries out the geotechnical monitoring should be present at the tunnel face at least when excavation, drilling for anchor mounting, or drilling for blasting is taking place. The mechanism of disintegration, the mode of disruption of the rock during mechanical mining with a tunnel excavator, a rock fragmentation after blasting, inflows of water in the tunnel face, washing of fine fractions from the cracks, drilling speed, or gradual formation of overbreaks after the mesh, are clues that allow us to refine the picture of the response of the rock mass to the excavation, together with the measured values of deformation or strain.

In many cases, reality is quite different from this picture. Excavation is carried out not only without the participation of a geotechnician, but also without the technical supervision of the investor. The geotechnician is only summoned after the excavation of the muck, and sometimes only after the shotcreting of the excavation face. He executes photo documentation and passportization of the tunnel face before shotcreting, in terms of orientation and discontinuities, water inflows, and geological classification. If an overbreak forms beyond the contractually agreed limit, he is also summoned before the shotcreting of the excavation face in order to document the overbreak and thus give a basis for the billing of extra work associated with its sanitation. This method of geomonitoring is not correct and it does not provide the necessary information for predicting the behavior of the rock mass in the next round.

The reason for different ideas about the content and description of geomonitoring is the unclear definition of competencies during the excavation and deciding on the classification into excavation support classes. The line between the scope of geomonitoring and the function of the geotechnician of the construction is also unclear. This term has not yet been defined. In the last amendment of regulation 55/1986 Coll. in §4 the term "geotechnician" is defined as a professionally qualified natural person authorized to classify the rock mass into excavation support classes, however, his rights and obligations are not defined. §28 of the regulation only states that classification into excavation support classes is performed by a geotechnician, however, the approval of his decision is again up to the project owner, i.e., the representatives of the construction company. Determining the geotechnician's person will therefore have to be defined in the project documentation of the construction, and his competencies will have to be defined by contractual relationship. We can assume that he will be the investor's representative, and ideally a member of the geomonitoring team. Article 3.7 of regulation TKP237, which deals with the interaction of participants in the construction during the implementation of geomonitoring, may support this assumption. This again is pertinent to the conditions established specifically in the mining laws



Obr. 10 Tunel Libouchec (v provozu od r. 2006)

Fig. 10 Libouchec tunnel (in operation from 2006)

a předpisech. Odpovědnost za bezpečnost provádění je v nich přisuzována pouze báňskému projektantovi a organizaci, která tunel razí. Paradoxně neukládá žádné povinnosti investorovi stavby. Vzhledem k tomu, že realizační projekt tunelu zajišťuje zpravidla stavební firma, leží na ní i veškerá odpovědnost. V praxi to vede k situaci, kdy je ze strany investora zasahováno do vyhodnocování výsledků geomonitoringu a zařídování do technologických tříd výrubu pouze formou doporučení, tj. bez odpovědnosti za rozhodování. Další postup ražby pro každý záběr určuje záběrový list, který je podepsán ze strany geotechnika investora a závodního stavební firmy. Zařídování do technologických tříd výrubu probíhá bez přímé účasti projektanta, který není trvale na stavbě přítomen. Tento stav funguje, pokud ražba probíhá bez komplikací a nedojde při ní k havárii. V případě mimořádné události se postupuje podle platných zákonů a vyhlášek, tj. prověřuje se správnost projektové dokumentace a splnění technologické kázně ze strany stavební firmy.

Úloha báňského projektanta při výstavbě tunelu byla a pravděpodobně i nadále bude velmi problematická. V přímém protikladu je jeho odpovědnost definovaná báňskými předpisy a možnost tuto odpovědnost reálně naplnit ovlivněním postupu výstavby přímo na stavbě. I když nové znění vyhlášky 55/1996 Sb. přímo nařizuje účast projektanta na stavbě min. 1x týdně, nemůže tím být nahrazena jeho aktivní účast při každodenním zařídování do technologických tříd výrubu a hodnocení chování horninového masivu. I když má projektant díky modernímu vyhodnocování geotechnických měření a on-line přístupu k výsledkům možnost sledovat časový vývoj sledovaných veličin, má k dispozici hodnocení čeleb, nemůže operativně reagovat na vzniklou situaci v případě neočekávaného vývoje při ražbě. Právě tyto situace jsou z hlediska výstavby tunelu nejrizikovější.

## 5 STATICKÉ VÝPOČTY

Snad nejvíce tajemstvím opředenou oblastí NRTM je přístup k matematickému modelování ražby tunelu a dimenzování jak primárního, tak definitivního ostění. Faktem zůstává, že v době vzniku NRTM nebyly možnosti matematického modelování zdaleka na takové úrovni, jako v dnešní době. Přesto nebo možná právě proto NRTM nahradila klasické tunelovací metody a z tunelu vytlačila masivní výdřevu, složité členění výrubu i mohutné konstrukce tunelového ostění. Čím menší byly možnosti nasazení výpočetní techniky a použití programů matematického modelování, tím větší byl při návrhu i realizaci tunelu podíl empirie založený na zkušenostech a znalostech chování horninového masivu při ražbě. V počátku 90. let, kdy se začala NRTM prosazovat na projektech tunelů v České republice, byla situace s dostupností výpočetní techniky a programového vyba-

and regulations. In these laws, responsibility for implementation safety is only attributed to the mining designer and the organization that is excavating the tunnel. Paradoxically, they do not impose any obligations on the investor. Due to the fact that the tunnel implementation project is usually provided by the construction company, all the responsibility lies on them. In practice, this leads to a situation where the investor interferes in the evaluation of geomonitoring results and the classification of excavation support classes only in the form of recommendations, i.e., without the responsibility for the decisions. The next course of excavation for each round is determined by an excavation stability assessment document, which is signed by the investor's geotechnician and the construction company. Classification into excavation support classes takes place without the direct participation of the designer, who is not permanently present on the site. This situation works if the excavation is carried out without complications and no accidents occur. In the event of an emergency, the proceeding shall be in accordance with applicable laws and regulations, i.e. the correctness of the project documentation and compliance with technological discipline by the construction company shall be verified.

The role of a mining designer in the construction of a tunnel has been and will probably continue to be very problematic. His responsibility is defined by mining regulations in direct contrast, and the ability to actually fulfill this responsibility by affecting the construction process directly on site. Although the new version of regulation 55/1996 Coll. directly commands the participation of the designer in the construction at least 1x a week, this can not replace his active participation in everyday classification into excavation support classes and the evaluation of the rock mass behavior. Although the designer has the possibility to monitor the time evolution of measured values thanks to modern evaluation of geotechnical measurements and online access to the results, and has access to the evaluation of the tunnel face, he can not respond quickly to a situation in the event of unexpected developments during the excavation. It is these situations that are most hazardous in terms of tunnel construction.

## 5 STATIC CALCULATIONS

Perhaps the most mysterious area of the NATM is its approach to the mathematical modeling of tunnel excavation and the dimensioning of both the primary and the final lining. The fact remains that in the beginning of the NATM the possibilities of mathematical modeling were not at the level they are at today. Despite this, or perhaps because of this, NATM replaced the classic tunnelling methods and got rid of massive timbering, complex excavation sequencing, and massive tunnel lining constructions. The smaller the possibility of using computer technology and mathematical modeling programs, the greater the participation of empiricism





Obr. 11 Tunel Panenská (v provozu od r. 2006)  
Fig. 11 Panenská tunnel (in operation from 2006)

vení žalostná. Velké projekční kanceláře se stovkami zaměstnanců měly zpravidla výpočetní střediska se sálovými počítači obsluhovanými pomocí textových terminálů. Masivní nasazení osobních počítačů potřebného výkonu nebylo běžné a jejich cena neumožňovala jejich větší rozšíření. Pro výpočty tunelových ostění byla ve většině případů používána polygonální metoda, která poskytovala pro předem zadané zatížení hodnoty vnitřních sil a deformací ostění, nebyla však schopna plně postihnout interakci ostění a horninového prostředí. Horninový masiv byl modelován systémem radiálních, případně tangenciálních pružin s možností vyloučení jejich funkce v případě tahového namáhání. Pracovišť disponujících programy pro matematické modelování pomocí metody konečných prvků bylo jen několik. Komunikace s programy probíhala formou textových vstupů i výstupů, orientace ve výsledcích byla velmi pracná. Modelování výpočtů primárního ostění pro ražbu členěným výrubem bylo za tohoto stavu problematické. Proto docházelo při statických výpočtech v porovnání s reálným chováním tunelového ostění k výrazným zjednodušením a předmětem zájmu se stávala statická analýza ostění, tj. vliv změny geotechnických parametrů nebo vlastností materiálu ostění na vnitřní síly a deformace.

Použitá tunelovací metoda, využívající zpravidla ražbu tunelu po dílčích výrubech, i použití primárního ostění ze stříkaného betonu vyžadovaly zohlednit ve výpočtech kromě nelineárního chování horniny případně stříkaného betonu a faktor času.



Obr. 12 Tunel Valík (v provozu od r. 2006)  
Fig. 12 Valík tunnel (in operation from 2006)

during the design and implementation of the tunnel, based on experience and knowledge of the behavior of the rock mass during excavation. In the early 90's, when NATM began to assert itself in tunnel projects in the Czech Republic, the situation with the availability of computer technology and software was pitiful. Large design offices with hundreds of employees generally had computer centers with mainframe computers operated with text terminals. Massive deployment of personal computers with the required performance was not common, and their price did not allow their greater expansion. In most cases, the polygonal method was used for tunnel lining calculations, which provided values of internal forces and deformations in the lining for pre-defined strain; however, it was not able to fully capture the interaction between the lining and the rock mass. The rock mass was modeled by a system of radial or tangential springs, with the possibility to exclude their function in the case of tensile stress. There were only a few workplaces with programs for mathematical modeling using the finite element method. Communication with programs took place in the form of text inputs and outputs; orientation in the results was very laborious. Modeling primary lining calculations for partial excavations was problematic in this situation. Therefore, substantial simplification of static calculations in comparison with the real behavior of the tunnel lining took place, and static analysis of the lining became the subject of interest, i.e. the impact of changes in geotechnical parameters or material properties of the lining on the internal forces and deformations.

The tunnelling method used, generally using partial tunnel excavation, and the use of a shotcrete primary lining, required the inclusion of the nonlinear behavior of the rock mass, the shotcrete, and the time factor in the calculations. In time, not only the load value of the excavation face and subsequently the primary lining has changed, but also the strength and modulus of the elasticity of the lining. In the tunnel face of each partial excavation it was also necessary to convert the spatial task associated with the rearrangement of tension surrounding the excavation to a two-dimensional task, which could be solved with available resources.

In the years 1991 and 1992, the team of authors Zapletal, Bucek, and Barták concerned themselves with the issue of determining the load function and the function of the primary lining resistance, in the "Standard for the design of linings constructed with NATM". This standard introduced both the concept of time-dependent technological load function and the concept of the function of the primary lining resistance. These were two boundary curves, dependent on its material properties and the properties of the rock mass material for the given shape of the construction of the primary lining. The first curve determined the load value, which at the



Obr. 13 Tunel Klimkovič (v provozu od r. 2008)  
Fig. 13 Klimkovič tunnel (in operation from 2008)

V čase se měnila nejen hodnota zatížení líce výrubu a následně primárního ostění, ale i pevnost a modul pružnosti ostění. V oblasti čelby každého z dílčích výrubů bylo navíc nutné převést výrazně prostorovou úlohu spojenou s přeskupováním napětí v okolí výrubu na dvojrozměrnou úlohu, kterou bylo možné dostupnými prostředky řešit.

Problematikou stanovení funkce zatížení a funkce únosnosti primárního ostění se v letech 1991 a 1992 zabýval kolektiv autorů Zapletal, Bucek, Barták ve „*Směrnici pro navrhování ostění budovaných NRTM*“. Tato směrnice zaváděla kromě pojmu časově závislá technologická zatěžovací funkce i pojem funkce únosnosti primárního ostění. Jednalo se o dvě hraniční křivky závislé pro daný tvar konstrukce primárního ostění na jeho materiálových vlastnostech a vlastnostech materiálu horninového masivu. První křivka udávala hodnotu zatížení, které by v daném časovém okamžiku mohlo na dosud nezatížené ostění dolehnout, aniž by došlo k vyčerpání jeho únosnosti. Druhá křivka popisovala v každém okamžiku hodnotu zatížení, které naopak udržuje primární ostění neustále v mezním stavu únosnosti. Křivky nazvali autoři na počest profesora Jiřího Mencla jako první a druhá Menclova mez. Všechny funkce zatížení ostění ležící pod první Menclovou mezí jsou zaručeně únosné, všechny funkce zatížení ležící nad druhou Menclovou mezí jsou zaručeně neúnosné. Oblast mezi těmito křivkami vymezuje funkce zatížení jak únosné, tak neúnosné. I když je možné teorii použít i v případě ražby členěným výrubem, složitost dosažení výsledků to prakticky znemožňuje. Výpočet podle Menclových mezí byl použit při výpočtu primárního ostění u prvního nasazení NRTM na jednokolejném tunelu trasy IV.B pražského metra.

Zlepšování cenové dostupnosti osobních počítačů umožnilo tunelovým statikům použití sofistikovanějších programů a využití MKP se zohledněním nelineárního chování horniny při ražbě tunelu. Ke zlepšení uživatelského komfortu a zrychlení složitých geotechnických úloh přispělo použití grafických pre- a postprocesorů, které umožňují díky grafickému znázornění lepší kontrolu zadaných vstupních dat i názornější interpretaci výsledků. V současné době umožňují programy matematické modelování ve 3D. To se využívá zejména u tvarově složitých podzemních staveb, kde by zjednodušení na 2D úlohu již výrazně ovlivnilo výsledky výpočtu. U standardních liniových podzemních staveb jsou výpočty prováděny jako rovinné.

U statických výpočtů geotechnických úloh spojených s modelováním ražby tunelu je třeba mít na paměti, za jakých předpokladů získané výsledky platí, jakých zjednodušení se projektant při modelování dopustil a s jakou přesností jsou vstupní hodnoty schopny postihnout reálné chování horninového masivu. Proto je vhodné provádět parametrické studie a získat tak představu o citlivosti výsledků na změnu geotechnických parametrů.

## 6 DALŠÍ VÝVOJ V RAŽBĚ ŽELEZNIČNÍCH TUNELŮ

Ražba tunelu Vepřek zahájila poměrně rozsáhlou a rychlou výstavbu dalších železničních tunelů zejména ve spojitosti se snahou České republiky o začlenění do evropské infrastruktury. Nutnost zlepšení přepravních parametrů tratí iniciovala vznik tranzitních železničních koridorů. Jedná se o vybrané železniční tratě, které po úpravě směrového i výškového vedení zajistí přepravu vyššími rychlostmi, než umožňuje stávající železniční síť z větší části postavená na tratích z 19. a z první poloviny 20. století.

Na území České republiky vznikly 4 tranzitní železniční koridory umožňující kvalitní železniční propojení přes celé území republiky v úsecích:



Obr. 14 Tunely Nové spojení (v provozu od r. 2008)  
Fig. 14 Nové spojení tunel (in operation from 2008)

given time could befall the yet unloaded lining without exhausting its capacity. The second curve described the load value in every moment, which in turn keeps the primary lining constantly in the limit state of resistance. In honor of Professor Jiří Mencl, the authors named the curves the first and second Mencl limit. All lining load functions lying below the first Mencl limit are definitely acceptable, and all load functions lying above the second Mencl limit are definitely unacceptable. The area between these curves defines both acceptable and unacceptable load functions. Although it is possible to use this theory in partial excavation, the complexity of achieving results makes it practically impossible. Calculation according to the Mencl limits was used in calculating the primary lining in the first deployment of NATM on the single-track tunnel on route IV.B of the Prague Metro.

An improvement in the affordability of personal computers enabled tunnel structural designers to use more sophisticated programs, as well as the use of FEM taking into account the nonlinear behavior of the rock during the excavation of the tunnel. The use of graphical pre- and post-processors, which enable better supervision of the specified input data and a clearer interpretation of results, helped improve user comfort and accelerate complex geotechnical problems. Today's programs enable mathematical modeling in 3D. This is used especially for underground constructions with complex shapes, where the 2D simplification would significantly affect the calculation results. In standard linear underground constructions calculations are performed as planar.

In static calculations of geotechnical tasks associated with the modeling of the tunnel excavation, it is necessary to bear in mind the conditions under which the results apply, what simplifications the designer used in the modeling, and with what precision the input values are able to capture the actual behavior of the rock mass. Therefore, it is advisable to perform parametric studies and get an idea of the sensitivity of the results to changes in geotechnical parameters.



Obr. 15 Tunely Nové spojení (v provozu od r. 2008)  
Fig. 15 Nové spojení tunel (in operation from 2008)



Tab. 1 Provozované železniční tunely vyraženy NRTM po roce 1989  
Table 1 Operated railway tunnels excavated with the NATM after 1989

Název tunelu Name of tunnel	Délka Length	Trať Route	Zprovozněn	Poznámka Opened	Note
Vepřek	390 m	Kralupy nad Vltavou – Děčín	2002	I. koridor / Corridor I.	
Krasíkovský I.	1098 m	Česká Třebová – Bohumín	2004	III. koridor / Corridor III.	
Krasíkovský II.	141 m	Česká Třebová – Bohumín	2004	III. koridor / Corridor III.	
Malá Huba	324 m	Česká Třebová – Bohumín	2005	III. koridor / Corridor III.	
Hněvkovský I.	180 m	Česká Třebová – Bohumín	2006	III. koridor / Corridor III.	
Hněvkovský II.	462 m	Česká Třebová – Bohumín	2006	III. koridor / Corridor III.	
Severní Vítkovský	1316 m	Praha – Kolín	2008		
Jižní Vítkovský	1364 m	Praha – Kolín	2008		
Olbramovický	480 m	Benešov u Prahy – České Budějovice	2011	IV. koridor / Corridor IV.	
Zahradnický	1044 m	Benešov u Prahy – České Budějovice	2012	IV. koridor / Corridor IV.	
Tomický I.	324 m	Benešov u Prahy – České Budějovice	2012	IV. koridor / Corridor IV.	
Tomický II.	254 m	Benešov u Prahy – České Budějovice	2012	IV. koridor / Corridor IV.	

- I. tranzitní koridor: Děčín st. hr. – nádraží Praha-Holešovice – Pardubice – Brno hlavní nádraží – Břeclav st. hr.
- II. tranzitní koridor: Petrovice u Karviné st. hr. – Ostrava hlavní nádraží – Přerov – Břeclav st. hr.
- III. tranzitní koridor: Mosty u Jablunkova st. hr. – Ostrava hlavní nádraží – Přerov – Praha – Plzeň – Cheb st. hr.
- IV. tranzitní koridor: Děčín st. hr. – Praha – České Budějovice – Horní Dvořiště st. hr.

S výstavbou železničních koridorů je spojena i ražba většiny železničních tunelů na území naší republiky po roce 1989. Provozované tunely postavené po roce 1989 přehledně uvádí tabulka 1.

Za 10 let bylo zprovozněno 12 železničních tunelů, jejichž společným znakem je kromě ražby pomocí NRTM dvoukolejnost, osová vzdálenost kolejí 4 m a v porovnání s alpskými zeměmi malá výška nadloží. Tomu odpovídají poměrně malé deformační projevy při ražbě, kdy se při ploše výrubu kolem 100 m<sup>2</sup> naměřené deformace primárního ostění standardně pohybují do 50 mm. U žádného z provozovaných železničních tunelů ražených NRTM zatím nedošlo při ražbě k havárii spojené se závalem. Výjimkou bude ražba tunelu Jablůnkov, který je v současné době ve výstavbě. Jedná se o zvětšení profilu stávajícího tunelu Jablůnkovský II. délky 608 m s odstraněním původní obezdívky z kamenných kvádrů a přeprofilováním na



Obr. 16 Komořanský tunel (v provozu od r. 2010)  
Fig. 16 Komořany tunnel (in operation from 2010)

## 6 FURTHER DEVELOPMENTS IN RAILWAY TUNNEL EXCAVATION

The excavation of tunnel Vepřek started quite an extensive and rapid construction of other railway tunnels, especially in connection with the Czech Republic's efforts to integrate into the European infrastructure. The need to improve railway transport parameters initiated the emergence of railway transit corridors. These are selected railway lines, which, after the adjustment of the directional and vertical pipes, enable transportation at higher speeds than the existing rail network allows, which was mostly built on railways from the 19th century and the first half of the 20th century.

4 railway transit corridors were formed in the Czech Republic, allowing quality railway connection across the entire country in sectors:xs

- Transit corridor I.: Děčín state border - station Praha-Holešovice - Pardubice - Brno Central Station - Břeclav state border
- Transit corridor II.: Petrovice u Karviné state border - Ostrava Central Station - Přerov - Břeclav state border
- Transit corridor III.: Mosty u Jablunkova state border - Ostrava Central Station - Přerov - Praha - Plzeň - Cheb state border
- Transit corridor IV.: Děčín state border - Praha - České Budějovice - Horní Dvořiště state border

The construction of railway corridors is associated with the excavation of most railway tunnels in the Czech Republic after year 1989. Operated tunnels built after year 1989 are clearly illustrated in Chart no. 1.

In 10 years, 12 railway tunnels were put into operation, whose common feature in addition to excavation using NATM is a double-track, an axial distance of 4 m between the tracks, and a low overburden height, in comparison with Alpine countries. This corresponds with relatively small deformations during the excavation, where with an excavation area of about 100 m<sup>2</sup> the measured deformations in the primary lining normally do not exceed 50 mm. Not one accident with a collapse has occurred in any of the railway tunnels excavated with NATM yet. The excavation of tunnel Jablůnkov, which is currently under construction, is an exception. This is an enlargement of the profile of the existing Jablůnkovský tunnel II, which is 608 m long, with the removal of the original stone block brickwork and a new double-track

Tab. 2 Provozované tunely na pozemních komunikacích vyražené NRTM po roce 1989  
Table 2 Operated road tunnels excavated with the NATM after 1989

Název tunelu Name of tunnel	Délka Length	Trat' Route	Zprovozněn Opened	Poznámka Note
Hřebeč	354,5 m	Silnice I/35 Svitavy – Moravská Třebová I/35 Svitavy - Moravská Třebová road	1997	
Pisárecký	510,5 m	Silnice I/23 – Brno / I/23 - Brno road	1997	První trouba / First tube
	497,2 m	Silnice I/23 – Brno / I/23 - Brno road	1998	Druhá trouba / Second tube
Mrázovka	1300 m	Městský okruh – Praha City area - Prague	2004	Západní trouba Western tube
	1254 m	Městský okruh – Praha / City area - Prague		Východní trouba / Eastern tube
	236 m	Odbočná větev A / Secondary branch A		
	153 m	Odbočná větev B / Secondary branch B		
Valík	390 m	Dálnice D5 / D5 Highway	2006	Severní trouba / Northern tube
	380 m	Dálnice D5 / D5 Highway		Jižní trouba / Southern tube
Panenská	2167,7 m	Dálnice D8 / D8 Highway	2006	Západní trouba / Western tube
	2115,7 m	Dálnice D8 / D8 Highway		Východní trouba / Eastern tube
Libouchec	519,8 m	Dálnice D8 / D8 Highway	2006	Východní trouba / Eastern tube
	504 m	Dálnice D8 / D8 Highway		Západní trouba / Western tube
	166,7 m	Dálnice D8 / D8 Highway		Galerie / Gallery
Klimkovice	1076,8 m	Dálnice D1 / D1 Highway	2008	Brno – Ostrava
	1088,1 m	Dálnice D1 / D1 Highway		Ostrava – Brno
Komořanský	1937 m	SOKP 513	2010	Třípruhový tunel / Three-lane tunnel
	1921,5 m	SOKP 513		Dvoukruhový tunel / Double-circular tunnel
Lochkovský	16662 m	SOKP 514	2010	Třípruhový tunel / Three-lane tunnel
	1649 m	SOKP 514		Dvoukruhový tunel / Double-circular tunnel
Dobrovského	1237 m	Silnice I/42, VMO Dobrovského B Road I/42, VMO Dobrovského B	2012	Královopolský I.
	1258 m	Silnice I/42, VMO Dobrovského B Road I/42, VMO Dobrovského B		Královopolský II.

dvoukolejný tunel s osovou vzdáleností kolejí 4 m. Jedna z opěr starého tunelu je ponechána. Během ražby tunelu došlo po uzavření profilu primárního ostění k jeho destrukci horninovým tlakem a k závalu v délce cca 80 m. V současné době je již tunel znovu úspěšně vyražen.

V průběhu času došlo na straně zhotovitelů k lepší vybavenosti technikou. Jednalo se zejména o zlepšení možností vrtání kotev i vrtů pro použití trhacích prací a o použití manipulátorů pro nástřik mokré betonové směsi. Z hlediska projekčního se podařilo prosadit použití nevyztuženého definitivního ostění na tunelech Nového spojení v Praze a na Olbramovickém tunelu na tratovém úseku Votice – Benešov u Prahy. Byly vytvořeny vzorové listy dvoukolejného i jednokolejného železničního tunelu, kterými se podařilo unifikovat tvar železničních tunelů. Vzorový list dvoukolejného železničního tunelu bude nutné novelizovat vzhledem k požadavku bezpečnostních předpisů EU na rozšíření únikového chodníku z 500 mm na min. 750 mm.

## 7 DALŠÍ VÝVOJ V RAŽBĚ TUNELŮ NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH

Po ražbě silničního tunelu Hřebeč se další výstavba orientovala na ražbu dálničních a městských tunelů. Jednalo se o tunely na dálnici D1, D5, D8 a městské tunely v Brně a Praze. Zvláštní kategorií jsou tunely na silničním okruhu kolem Prahy, které spadají pod Ředitelství silnic a dálnic ČR, tvoří však vnější pražský okruh. Tabulka 2 uvádí provozované tunely na pozemních komunikacích, které byly raženy NRTM.

tunnel profile with an axial distance of 4 m between the tracks. One of the abutments of the old tunnel was retained. During the excavation of the tunnel after the closure of the profile of the primary lining, the lining was destroyed by the rock pressure and a collapse in the length of approx. 80 m occurred. Currently, the tunnel is successfully excavated.

In the course of time the construction companies have become equipped with better technology. There was especially an improvement in the drilling of anchors and boreholes for blasting, and the use of manipulators for the spraying of wet concrete. In terms



Obr. 17 Komořanský tunel (v provozu od r. 2010)  
Fig. 17 Komořany tunnel (in operation from 2010)





Obr. 18 Tunel Lochkov (v provozu od r. 2010)  
Fig. 18 Lochkov tunnel (in operation from 2010)

Z hlediska technologie výstavby je zajímavý Pisárecký tunel, kde je primární ostění uvažováno jako trvalé. Je tvořeno stříkaným betonem SB30 tloušťky 200 mm, ocelovými výztužnými sítěmi. K trvalému vyztužení horninového prstence jsou použity laminátové lepené kotvy průměru 20 mm a délky 2,5 až 4,5 m. Definitivní ostění je potom navrženo z prostého betonu, nepředpokládá se u něj nosná funkce a tvoří vnitřní pohledový líc ostění. Jeho tloušťka ve vrcholu klenby je 300 mm a směrem k bokům se zvětšuje až na 750 mm.

Jako první nevyztužené nosné definitivní ostění se podařilo v České republice prosadit na dálničním tunelu Libouchec. To bylo impulzem k dalšímu použití nevyztuženého ostění na železničních tunelech Nového spojení v Praze a na Olbramovickém tunelu. Na žádných dalších tunelech nebylo dosud nevyztužené definitivní ostění použito.

Dosud největší profil provozovaného tunelu byl vyražen na tunelu Mrázovka a jeho plocha činí 340 m<sup>2</sup>. Jednalo se o tunelový rozplet v místě odbočení a jeho šířka dosahovala až 23,5 m. V současné době jsou ve výstavbě dva dvoutroubové tunely na dálnici D8, a to tunely Prackovice a Radejčín. Po jejich dokončení bude zajištěno dálniční propojení hlavního města Prahy se státní hranicí se SRN a dále směrem na Drážďany.

Nejvýznamnějším tunelovým dílem co do délky a rozlohy podzemních prostor je městský tunelový komplex Blanka v Praze. Ražba byla již ukončena a v současné době probíhá betonáž definitivního ostění a montáž vnitřního vybavení. Z celkové délky tunelů 12 139 m je 5539 raženo pomocí NRTM. Složitost provádění tunelů, tunelových křížení i technologických prostor ukazuje, že ražba tunelů pomocí NRTM je již z hlediska provádění na vysoké úrovni.

I když již zmíněná norma ČSN 737507 obsahuje požadavky na šířkové uspořádání tunelů podle kategorie komunikace, zatím se unifikace tunelových průřezů jako v případě železničních tunelů ne-  
daří.

of design, the use of an unreinforced final lining was enforced on tunnels of Nové spojení in Prague, and in the Olbramovice tunnel on the railway section Votice - Benešov u Prahy. Sample sheets of the double-track and single-track railway tunnel were created, which succeeded in unifying the shape of the railway tunnels. The sample sheet of a double-track railway tunnel will need revising due to requirements EU safety regulations on the extension of the escape walkway from 500 mm to at least 750 mm.

## 7 FURTHER DEVELOPMENTS IN ROAD TUNNEL EXCAVATION

After the excavation of road tunnel Hřebeč, further construction was focused on the excavation of highway and city tunnels. This included tunnels on highways D1, D5, D8, and city tunnels in Brno and Prague. A special category of tunnels are the ones on the ring road around Prague, which fall under the Directorate of Roads and Highways of the Czech Republic, but form the outer Prague circle. Chart no. 2 shows tunnels that are operated on roads and were mined with NATM.

The Pisárecký tunnel is interesting in terms of construction technology, where the primary lining is considered the permanent lining. It consists of shotcrete SB30 with a thickness of 200 mm, and reinforcing steel mesh. Laminate bonded anchors with a diameter of 20 mm and a length of 2.5 to 4.5 m are used for permanent reinforcement of the rock zone. The final lining is then devised of plain concrete, it is not expected to have a supporting function, and it forms the inner face of the lining. Its thickness at the top of the arch is 300 mm, and towards the side walls it increases to up to 750 mm.

The first unreinforced bearing lining enforced in the Czech Republic was the highway tunnel Libouchec. This was an impulse for further use of unreinforced lining in railway tunnels in Nové spojení in Prague, and in the Olbramovice tunnel. Unreinforced lining has not been used on any other tunnels until then.

The so far largest profile of an operating tunnel was excavated in the Mrázovka tunnel; its surface area is 340 m<sup>2</sup>. This was a tunnel divergence at the turn, and its width reached up to 23.5 m. There are currently two double-tube tunnels in construction on the D8 highway, tunnels Prackovice and Radejčín. After their completion there will be a highway connection linking Prague to the state border with Germany and further towards Dresden.

The most important tunnel in terms of length and area of underground spaces is the tunnel complex BLANKA in Prague. The excavation has been completed, and now the concreting of the final lining and the installation of interior equipment is taking place. From the total length of the tunnels 12.139 m, 5.539m were



Obr. 19 Tunel Tomický I (v provozu od r. 2011)  
Fig. 19 Tomice I tunnel (in operation from r. 2011)



Obr. 20 Tunel Tomický II (v provozu od r. 2011)  
Fig. 20 Tomice II tunnel (in operation from 2011)

## 8 ZÁVĚR

Nová rakouská tunelovací metoda se v České republice stala dominantní metodou pro výstavbu silničních i železničních tunelů. Důvodem je jejich obvyklá délka, která se standardně pohybuje do 1 km a spíše výjimečně přesahuje 2 km. Za těchto podmínek se většinou nevyplatí nasazovat nákladné tunelovací stroje a díky schopnosti přizpůsobit se jak z hlediska tvaru raženého tunelu, tak mnohdy pestrému složení horninového masivu nemá NRTM v těchto podmínkách konkurenci. Téměř 30 let trvajícím časovým handicapem oproti používání NRTM v kolébce jejího vzniku pomalu dotahujeme. Z hlediska vybavenosti zhotovitelů i projekčních firem se nám podařilo srovnat krok a podmínky jsou stejné jako ve vyspělých tunelářských zemích.

Samostatnou kapitolou a širokým tématem k zamyšlení je obsah a struktura zadávací dokumentace, která skutečné použití NRTM se všemi výhodami a možnostmi ekonomicky efektivní výstavby tunelů buď neumožňuje vůbec, nebo jen částečně. Mnohdy se tak děje jen za cenu osobní odvahy zástupců investora, projektanta či zhotovitele. Výrazným posunem kupředu by v tomto směru bylo jasné definování práv, povinností a odpovědností jednotlivých účastníků výstavby. Vzhledem k tomu, že technologická třída výrubu není pouze ukazatelem ekonomického výsledku ražby tunelu, ale i nástrojem k bezpečnému provádění díla, musí zařizování při ražbě provádět pouze kompetentní osoby, které jsou za svá rozhodnutí ochotny nést odpovědnost. Ve smluvních vztazích je třeba přesně definovat náplň činnosti a kompetence jak zástupců geomonitoringu, tak především geotechnika stavby. V tunelářsky vyspělých zemích tato problematika souvisí s jednoznačně určenou dělbu rizik při výstavbě.

Značné rezervy máme ve znění báňských zákonů a vyhlášek. I když změny zákona 61/1988 Sb. i vyhlášky č. 55/1966 Sb. již oproti původnímu znění akceptovaly existenci NRTM, její plné využití dosud neumožňují. Absencí povinností na straně investora vzniká nerovnováha, která se může promítnout jak do ekonomické, tak bezpečnostní stránky provádění tunelů. Technické normy, předpisy nebo smluvní podmínky nemohou tuto mezeru vyplnit, neboť zákony a vyhlášky jsou jim nadřazeny.

Náměty ke zlepšení je možno nalézt i v oblasti intenzivnějšího a fundovanějšího provádění technického dozoru investora a výkonu funkce báňského projektanta při výstavbě tunelu. Rozsah činnosti projektanta musí odpovídat odpovědnosti, která je na něj ze zákona kladena. Zpětná vazba mezi projektem a jeho realizací poskytuje cenné zkušenosti a vede ke zvyšování úrovně projektové dokumentace.

excavated using NATM. The complexity of the implementation of the tunnels, the tunnel crossings, and the technological premises, shows that the excavation of tunnels with NATM is at a high level even in terms of implementation.

Although the aforementioned standard ČSN 737507 contains requirements for width configuration of tunnels according to road category, the unification of tunnel cross sections, as in the case of railway tunnels, has failed so far.

## 8 CONCLUSION

The New Austrian Tunnelling Method has become the dominant method for the construction of road and rail tunnels in the Czech Republic. The reason is their usual length, which is normally max. 1 km and rarely exceeds 2 km. Under these conditions, it is usually not worth deploying expensive tunnelling machines, and thanks to its ability to adapt both in terms of the shape of the excavated tunnel and often the varied composition of the rock mass, NATM is unrivaled under these conditions. We are slowly catching up with the almost 30-year time handicap in comparison to using NATM in the cradle of its creation. In terms of the equipment of construction and engineering companies, we have managed to catch up, and the conditions are the same as in developed tunnelling countries.

A chapter on its own, and a broad topic to think about, is the content and structure of the project documentation, which either disables or only partially enables the actual use of NATM with all the advantages and possibilities of economically efficient tunnelling. This often happens at the cost of the personal courage of the investor's representatives, the designer, or the contractor. A significant step forward in this direction would be a clear definition of the rights, obligations, and responsibilities of participants in the construction. Given that the excavation support class is not only an indicator of the economic result of the tunnel excavation, but also an instrument for the safe performance of the work, the classification during the excavation must be carried out by competent persons, who are willing to take responsibility for their decisions. In contract relations it is necessary to clearly define the activities and competencies of the geomonitoring representatives, and especially the construction geotechnician. In countries with developed tunnelling this issue is related to the clearly intended division of hazards during construction.

We have substantial reserves in the mining laws and regulations. Although the amendments to Act 61/1988 Coll. and Regulation no., 55/1966 Coll. accept the existence of NATM unlike the original version, they still do not allow its full utilization. The lack of responsibility for the investor creates an imbalance, which can translate into the economics and security of the implementation of tunnels. Technical standards, regulations, or contractual conditions can not fill this gap, because the laws and regulations are superior to them.

Suggestions for improvement can be found in the area of a more intensive and more funded implementation of technical supervision by the investor, and the function of the mining designer in the construction of the tunnel. The designer's scope of activity must correspond with the responsibility that is legally placed on him. Feedback between the project and its implementation provides valuable experience and leads to an increase in the level of project documentation.

The entire process of tunnelling is degraded by the "policy of the lowest price" as the best criterion for choosing the executor of the project documentation, or the construction contractor. The participants in the construction are forced to use the same criterion in providing subcontracting, as well as in selecting materials and products. The use of this criterion is completely incomprehensible in setting up teams for the creation of technical standards,



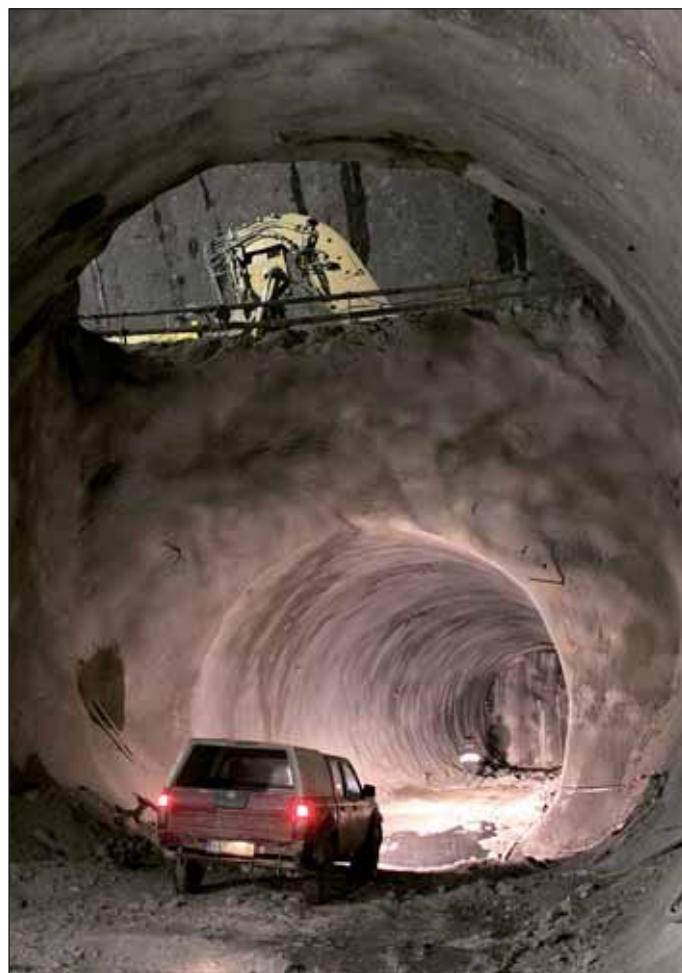


Obr. 21 Tunel Olbramovický (v provozu od r. 2011)  
Fig. 21 Olbramovice tunnel (in operation from 2011)

Celý proces výstavby tunelů degraduje „politika nejnižší ceny“ jako nejlepšího kritéria pro výběr zpracovatele projektové dokumentace nebo zhotovitele stavby. Stejně kritérium jsou pak účastníci výstavby nuceni používat jak při zajišťování subdodávek, tak při výběru materiálů a výrobků. Zcela nepochopitelné je použití tohoto kritéria při sestavování týmů na tvorbu technických norem, směrnic, technických podmínek, nebo technických kvalitativních podmínek pro projektování a výstavbu tunelů. Kvalita zpracování takových dokumentů má výrazný dopad jak na celkovou výši investičních i provozních nákladů tunelů, tak i na životnost díla. Tyto náklady o mnoho řádů převyšují honoráře členů zpracovatelského týmu. Není výjimkou, že tito pracují na tvorbě zásadních předpisů zcela bez nároku na honorář s tichým souhlasem svého zaměstnavatele, nebo ve svém volném čase.

Budoucnost výstavby tunelů závisí na koncepci silniční a železniční dopravy v naší republice. Světový nebo minimálně evropský trend leží ve zvyšování rychlosti a kapacity železniční dopravy. V okolních státech vzniká síť vysokorychlostních nebo vysokovýkonných tratí, které jsou schopny nabídnout ekonomicky zajímavou a ekologicky přijatelnou alternativu k silniční nebo dokonce i letecké dopravě. Navrhování takových tratí klade zvýšené nároky na směrové i výškové vedení trasy a bez navrhování tunelů se neobejde. Stejná situace je v oblasti dopravního řešení městských aglomerací a ve snaze o zvyšování kvality života ve městech. Jen málokterá moderní metropole vede hlavní dopravní tepny na povrchu území v centru města. Naše republika se proto dříve nebo později bez další výstavby dopravních tunelů neobejde. Proto je potřeba tunelové stavitelství ve všech směrech zdokonalovat a zohledňovat v něm moderní trendy. Vývoj v oblasti ražby tunelů pomocí NRTM lze v zahraničí pozorovat jak ve zlepšování strojního vybavení a používaných materiálech, tak především v propracovaném a transparentním zpracování zadávací dokumentace a smluvních vztahů umožňujících principy NRTM aplikovat v praxi.

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



Obr. 22 Tunel Blanka (foto: Jakub Karlíček)  
Fig. 22 Blanka tunnel (photo: Jakub Karlíček)

guidelines, technical specifications, or technical qualitative conditions, for the design and construction of tunnels. The quality of these documents has a strong impact on both the total amount of investment and operating costs of the tunnels, and the durability of the work. These costs exceed the salary of the members of the manufacturing team many times. It is not uncommon that they work to create fundamental laws free of charge, with the silent consent of their employer, or in their free time.

The future of tunnel construction depends on the concept of road and rail transport in our country. The world trend, or at least the European trend, is to increase the speed and capacity of rail transport. In neighboring states, a network of high-speed or high-power lines is emerging, which can offer an economically attractive and environmentally acceptable alternative to road or even air travel. Designing such tracks places increased demands on the directional and vertical alignment of the track, and it cannot do without the designing of tunnels. The situation is the same in the area of transport solutions of urban agglomerations, and in the aspiration to improve the quality of life in cities. Few modern metropolises lead the main traffic arteries on the surface in the city center. Our Republic will therefore sooner or later need further constructions of traffic tunnels. This is why it is necessary to improve tunnel construction in all directions, and to reflect modern trends in it. The development in the field of tunnelling with NATM can be seen abroad both in the improvement of machinery and materials used, and especially in the elaborate and transparent project documentation and contract relations, which enable the application of NATM principles in practice.

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

## PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2013

## UNDERGROUND CONSTRUCTIONS PRAGUE 2013

## KEYNOTE LECTURE No. 3:

# ZÁKON VELKÝCH ČÍSEL V PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ – ŘÍZENÍ RIZIK U MEGAPROJEKTŮ – PONAUCENÍ Z BÁZOVÉHO TUNELU GOTTHARD

## THE LAW OF LARGE NUMBERS IN UNDERGROUND CONSTRUCTION – RISK MANAGEMENT FOR MEGAPROJECTS – LESSONS LEARNED FROM THE GOTTHARD BASE TUNNEL

HEINZ EHRBAR

**ABSTRAKT**

Zákon velkých čísel je teorém v oblasti teorie pravděpodobnosti. Popisuje výsledek mnohokrát opakovaného provádění stejného experimentu. Podle tohoto zákona by se průměr výsledků získaných z velkého počtu pokusů měl blížit očekávané hodnotě a bude mít tendenci přiblížit se tím více, čím více pokusů se provede.

Megaprojekty a podzemní stavby nejsou náhodnými experimenty. Zákon velkých čísel není proto aplikovatelný přímo. Moderní návrhové a stavební postupy, nejnovější technologie a nejmodernější řízení rizik každý den pomáhají zajišťovat plnění různých požadavků stavby. Nicméně, i při tom nejlepším projektu a stavebních postupech mají megaprojekty řadu zbytečných rizik s velkými důsledky. Zákon velkých čísel pouze ukazuje, že některá z těchto rizik se prakticky během realizace megaprojektu jistě vyskytnou. Historie mnoha megaprojektů tento fakt potvrzuje.

I bazový tunel Gotthard, který se v roce 2016 stane nejdelším železničním tunelem na světě, je takovým megaprojektem. Všechny požadavky stavby, jako jsou požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví, aspekty životního prostředí, požadavky na kvalitu a funkčnost, náklady, dobu výstavby, procesy, organizaci a názory veřejnosti, byly ohroženy dlouhou řadou významných rizik.

Tento článek ukáže některá důležitá opatření ke snížení rizik použitá na bazovém tunelu Gotthard. Důraz se klade na důležitost profesionálního řízení rizik jako nástroje řízení stavby, na včasné rozpoznání rizik a na vytvoření dostatečného času na akci.

Ponaucení z bazového tunelu Gotthard ukazují důležitost dalšího zlepšování na příštích megaprojektech.

### 1 ZÁKON VELKÝCH ČÍSEL – DŮSLEDKY PRO MEGAPROJEKTY

Megaprojekty jsou extrémně velké investiční stavby, které se charakteristicky definují takto [1]:

- Jejich cena je vyšší než jedna miliarda USD.
- Přitahují velkou pozornost veřejnosti z důvodu podstatných dopadů na obce, životní prostředí a rozpočty.

V teorii pravděpodobnosti je zákon velkých čísel teorém, který popisuje výsledek velmi mnohokrát prováděného stejného experimentu. Podle tohoto zákona by se měla průměrná hodnota výsledků získaných na velkém počtu pokusů blížit očekávané hodnotě. Průměrná hodnota výsledků bude mít tendenci blížit se k očekávané hodnotě tím více, čím více pokusů se provede.

**ABSTRACT**

The law of large numbers is a theorem in probability theory. It describes the result of performing the same experiment a large number of times. According to the law, the average of the results obtained from a large number of trials should be close to the expected value, and will tend to become closer as more trials are performed.

Megaprojects and underground constructions are not random experiments. The law of large numbers is therefore not directly applicable. Modern design and construction procedures, latest technology and a state of the art risk management help to guarantee each day the fulfilment of the different project requirements. Nevertheless even with the best design and construction procedures, megaprojects have a big portfolio of residual risks with big consequences. The law of the big numbers indicates only, that some of these risks will occur during the realisation of a megaproject practically for sure. The history of many megaprojects confirms this fact.

Also the Gotthard Base Tunnel, which will be the longest railway tunnel of the world in 2016, is such a megaproject. All the project requirements, such as requirements on health and safety, environmental aspects, quality and functionality, costs, construction time, processes, organisation and on the public opinion were threatened by a long list of hazards.

This paper will indicate some important mitigation measures used at the Gotthard Base Tunnel. The importance of a professional risk management is emphasized as a management tool in order to recognize risks as early as possible and by creating sufficient time for action.

The lessons learned from the Gotthard Base Tunnel show the necessity for further improvement in future megaprojects.

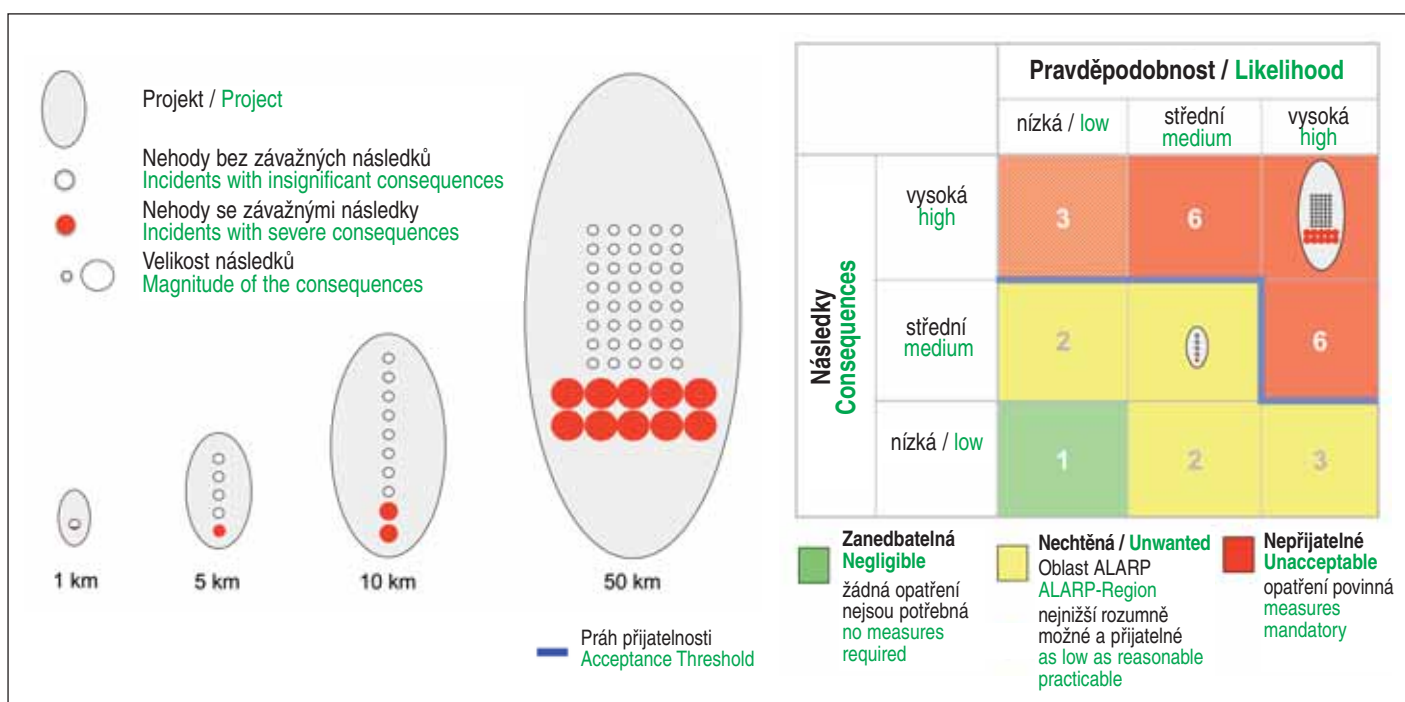
### 1 THE LAW OF LARGE NUMBERS – CONSEQUENCES FOR MEGAPROJECTS

Megaprojects are an extremely large-scale investment projects and are typically defined [1]:

- Costing more than US\$1 billion
- Attracting a lot of public attention because of substantial impacts on communities, environment, and budgets

In probability theory, the law of large numbers is a theorem that describes the result of performing the same experiment a large number of times. According to this law, the average value of the results obtained from a large number of trials





Obr. 1 Počet výskytů závažných případů ve vztahu k velikosti stavby a dopadu na portfolio rizik  
Fig. 1 Number of occurrences of negative events in relation to the project size and impact on the risk portfolio

Realizace megaprojektů a podzemních staveb není čistě náhodným experimentem. Dobře definované a osvědčené procesy, jako jsou nejmodernější postupy projektování, realizace, řízení kvality a řízení rizik, pomáhají zajistit plnění všech různých požadavků stavby, jako jsou:

- Požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví.
- Požadavky na ochranu životního prostředí.
- Požadavky na kvalitu, čas a náklady konkrétní stavby.
- Požadavky na vysoce profesionální projekční a stavební procesy, organizaci stavby a řízení stavby.
- Požadavky vyplývající z názorů veřejnosti.

Nicméně, každá stavba má své vlastní portfolio zbytkových rizik charakteru náhodných jevů, které mohou ohrozit plnění požadavků na stavbu.

Megaprojekty nevytvářejí jen vysoké náklady. Jsou obecně charakterizovány velkými čísly, jako je dlouhá doba výstavby, velká množství stavebních materiálů, velké množství odpracovaných hodin atd. I když je pravděpodobnost výskytu rizika považována za nezávislou na velikosti stavby, absolutní počet výskytů některé události je daleko vyšší u megaprojektu než u malé stavby.

Typickým příkladem je výskyt závažných nehod. Ve vztahu ke konkrétnímu počtu nehod na milion odpracovaných hodin se takové nehody u malé stavby mohou, nebo nemusí vyskytnout. U megaprojektů se takové nehody bohužel vyskytnou z důvodu velkého množství odpracovaných hodin potřebných pro realizaci stavby.

Některá rizika mají větší dopady u větší stavby než u malé (např. systematické selhání standardního stavebního prvku). Portfolio rizik u megaprojektu je obecně zcela jiné než u malé stavby, protože absolutní hodnoty rizik se zvětšují (počet výskytů násobený dopady). Megaprojekty proto vyžadují zvláštní úsilí vynaložené na řízení rizik od samého počátku stavby, aby se rizika poznala co nejdříve a vytvořila se příležitost na ně včas reagovat.

## 2 ŘÍZENÍ RIZIK PRO MEGAPROJEKTY OBSAHUJÍCÍ PODZEMNÍ STAVBY

Stavební práce obecně, a podzemní práce obzvláště, spočívají v realizaci prototypů. Řízení rizik musí zaručit jejich systematické

should be close to the expected value. The average value of the results will tend to become closer to the expected value as more trials are performed.

The realisation of megaprojects and of underground constructions is not a pure random experiment. Well defined and proven processes such as state of the art design, construction, quality control and risk management procedures help to guarantee to fulfil all different project requirements, as there are

- Health and safety requirements
- Environmental requirements
- The project specific requirements on quality, time and costs
- Requirements on highly professional design and construction processes, project organisation and project management
- The requirements of the public opinion

Nevertheless each project has its own portfolio of residual risks with the character of random experiments, which may thread the fulfilment of the project requirements.

Megaprojects create not only high costs. They are generally characterised by big numbers, such as a long construction period, big quantities of construction materials, large amount of working hours spent etc. Even if the relative likelihood of the occurrence of a hazard is assumed independent from the size of the project, the absolute number of occurrences of an event is far higher in a megaproject compared to a smaller project.

A typical example is the occurrence of severe accidents. In relation to the specific number of accidents per million working hours such incidents may occur or not in a small project. In megaprojects such accidents will unfortunately occur due to the large amount of working hours needed for the realisation.

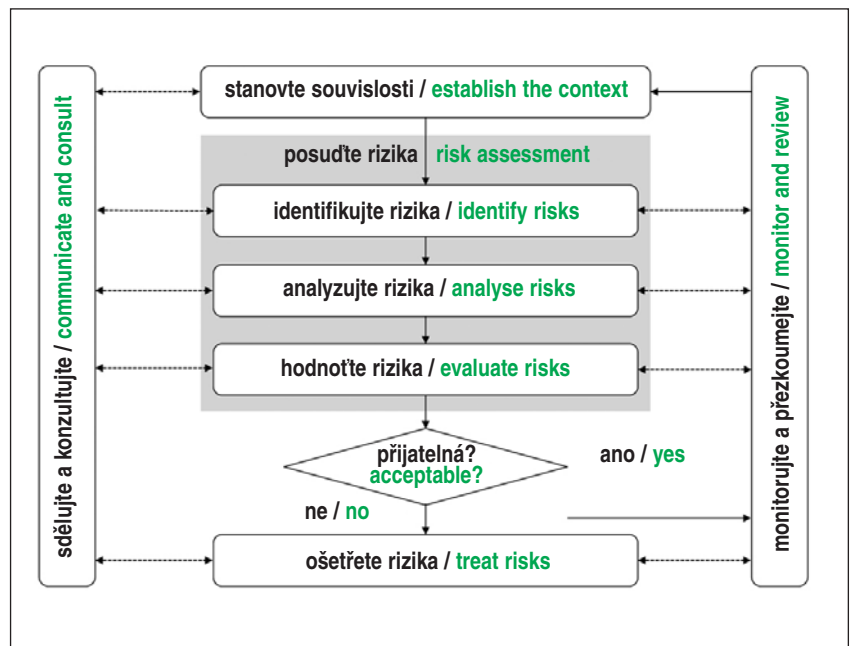
Some risks have higher consequences in bigger project than in a smaller project (e.g. systematic failure of a standard construction element). The risk portfolio of a megaproject is in general completely different from a smaller project, as absolute risk values become bigger (number of occurrences multiplied by consequences). Megaprojects need therefore special efforts on risk management from the earliest beginning of a project in order to recognise risks as early as possible and creating the opportunity to react on time.

poznávání, analýzu, oceňování, nakládání s nimi, jejich monitoring a ovládání ve všech fázích stavby (začínající již od té nejčasnější fáze studií). Zásadním problémem řízení rizik u megaprojektů není výběr použité metodiky. Dobře známý obecný proces řízení rizik (ISO 31000) je užitečným návodem i u megaprojektů. Velkou výzvou je zavedení dobře známých postupů u organizací na velkých stavbách, kde je velký počet zúčastněných stran. Rozdílné zájmy, nedostatečné zdroje nebo jiné priority jsou některé z překážek, které se mají překonat. Tyto překážky se musí překonat, pokud organizace stavby nehodlá některá rizika ignorovat. Ignorování určitých rizik je největší strategickou chybou při řízení jakékoliv stavby.

Řízení rizik na megaprojektu vypadá jako komplikovaný a časově náročný úkol. Tento předpoklad je ale nesprávný.

Použití sofistikovaných kvantitativních matematických modelů není u podzemních staveb normálně potřebné. Jejich použití zůstává omezené na zvláštní případy, kde mohou být užitečné. Kvalitativní metody s druhovou klasifikací pravděpodobnosti a důsledků rizik jsou ve většině těchto případů dostačující. Klasifikace se normálně provádí v rozsahu tří až pěti tříd. Společnost AlpTransit Gotthard Ltd. (ATG) úspěšně používala jako hlavní pro stavbu bazového tunelu Gotthard (GBT) jednoduchou matici 3x3.

Široký seznam kategorií rizik a velké počty (až stovky) jednotlivých rizik v různých kategoriích k megaprojektům patří. Řízení rizik proto potřebuje jasně definované procesy, zdroje a odpovědnosti v organizaci stavby. Jasně definice kategorií rizik jako standard pro stavbu a zavedení systémů podporovaných databázemi usnadňují spravování rizik a komunikaci mezi různými zúčastněnými stranami. Do promyšlení, oceňování a snižování rizik se dá investovat více času. Typ kultury řízení rizik v organizaci je nakonec stanoven osobním přístupem vrcholového vedení. K vytvoření profesionální kultury řízení rizik je potřebné vedení. Manažeři megaprojektů by ve svém vlastním zájmu měli zavádět řízení rizik u megaprojektů od samého počátku stavby.



Obr. 2 Obecný proces řízení rizik (ISO 31000)  
Fig. 2 General risk management process (ISO 31000)

## 2 RISK MANAGEMENT FOR MEGAPROJECTS WITH UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

Civil construction works in general and especially underground works consist in the realisation of prototypes. Risk management has to guarantee the systematic identification, analysis, assessment, treatment, monitoring and control of the risks in all project phases (beginning with the earliest study phase). The big challenge of risk management in megaprojects is not the selection of the methodology applied. The well-known general risk management process (ISO 31000) is a useful guideline also for megaprojects. The big challenge is the implementation of the well-known procedures in big project organisations with many stakeholders. Differing interests, insufficient resources or other priorities are some of the

		Pravděpodobnost Likelihood			Pravděpodobnost Likelihood	1 nízká – low	2 střední – medium	3 vysoká – high
		nízká low	střední medium	vysoká high	Define / Definition	Na základě zkušeností výskyt nepravděpodobný Based on experience unlikely to occur	V průběhu stavby nelze vyloučit Cannot be ruled out during construction	Výskyt se musí očekávat Occurrence must be expected
Následky Consequences	vysoká high	3	6	9	Následky Consequences	1 nízká low	2 střední – medium	3 vysoká – high
	střední medium	2	4	6	○ Náklady Costs	Méně než 1 mil. CHF Less than CHF 1 mio.	1 – 10 milionů CHF 1 to 10 milion	Více než 10 mil. CHF More than CHF 10 mio.
	nízká low	1	2	3	◇ Harmonogram Time schedule	Méně než 2 měsíce Less than 2 months	2 až 6 měsíců 2 to 6 months	Více než 6 měsíců More than 6 months
				□ Bezpečnost a ochrana zdraví Health and safety	Žádné trvalé postižení No permanent impairment	Trvalé poškození zdraví Permanent health impairment	Závažné trvalé poškození zdraví Severe permanent health impairment or death	
				○ Kvalita/funkčnost Quality/functionality	Nezávažné postižení Insignificant impairment	Nějaké postižení Some impairment	Závažné postižení Severe impairment	

<span style="color: red;">■</span> <b>Unacceptable Nepřijatelné</b> opatření požadována measures required	<span style="color: yellow;">■</span> <b>Nechtěné / Unwanted</b> Oblast ALARP / ALARP-Region nejnižší rozumné možné a přijatelné as low as reasonable practicable	<span style="color: green;">■</span> <b>Zanedbatelné / Negligible</b> žádná opatření nejsou potřebná / no measures required	<span style="color: blue;">■</span> <b>Práh přijatelnosti Acceptance Threshold</b>
--	--	--	--

Obr. 3 Matice rizik a definování kategorií rizik použité firmou ATG  
Fig. 3 Risk matrix and definition of risk categories used by ATG



Jisté množství neidentifikovaných rizik je nevyhnutelné, i když všechny práce na analýze rizik jsou provedeny profesionálně. K tomuto faktu by se mělo přihlížet v rozpočtech (viz. obr. 11) a v předávání informací o všech nejistotách výstavby.

### 3 BYLY POŽADAVKY NA STAVBU SPLNĚNY? – PONAUCENÍ Z BÁZOVÉHO TUNELU GOTTHARD

#### 3.1 Obecný účel stavby bazového tunelu Gotthard

Bázový tunel Gotthard (GBT) je ústředním bodem Nového železničního spojení přes Alpy (NRLA) (obr. 4). Stane se komerčně provozuschopným ve smíšeném režimu (osobní vlaky a nákladní vlaky) v prosinci 2016. Maximální rychlost v tunelu bude 250 km/hod. pro osobní vlaky a 160 km/hod. pro nákladní vlaky. Systém tunelu se skládá ze dvou samostatných jednokolejných tunelů s minimální osovou vzdáleností 40 metrů, maximálním podélným sklonem 6,76 ‰ a minimálním poloměrem směrového oblouku 5000 m. Tyto jednokolejné tunely jsou propojeny každých 312,5 m tunelovými spojkami. Ve třetinách délky, u Sedrunu a Faida, jsou vybudovány víceúčelové stanice s technologickými prostory, systémem větrání a nouzovými stanicemi.

Hlavním účelem této nové železniční infrastruktury je přesunutí těžké transalpské nákladní přepravy přes Švýcarsko ze silnice na železnici. Celkem 220 až 260 nákladních vlaků za den nabídne vyšší přepravní kapacity s vyšší rychlostí použitím prvního rovinného železničního přechodu přes Alpy na Evropském tranzitním koridoru č. 24 mezi Rotterdame a Janovem. Celkem 50 až 80 osobních vlaků za den nabídne rychlejší spojení hospodářské oblasti jižního Německa, Švýcarska a severní Itálie. Vyšší cestovní rychlost v pohodlných vlacích vytvoří reálnou alternativu cestování autem nebo letadlem.

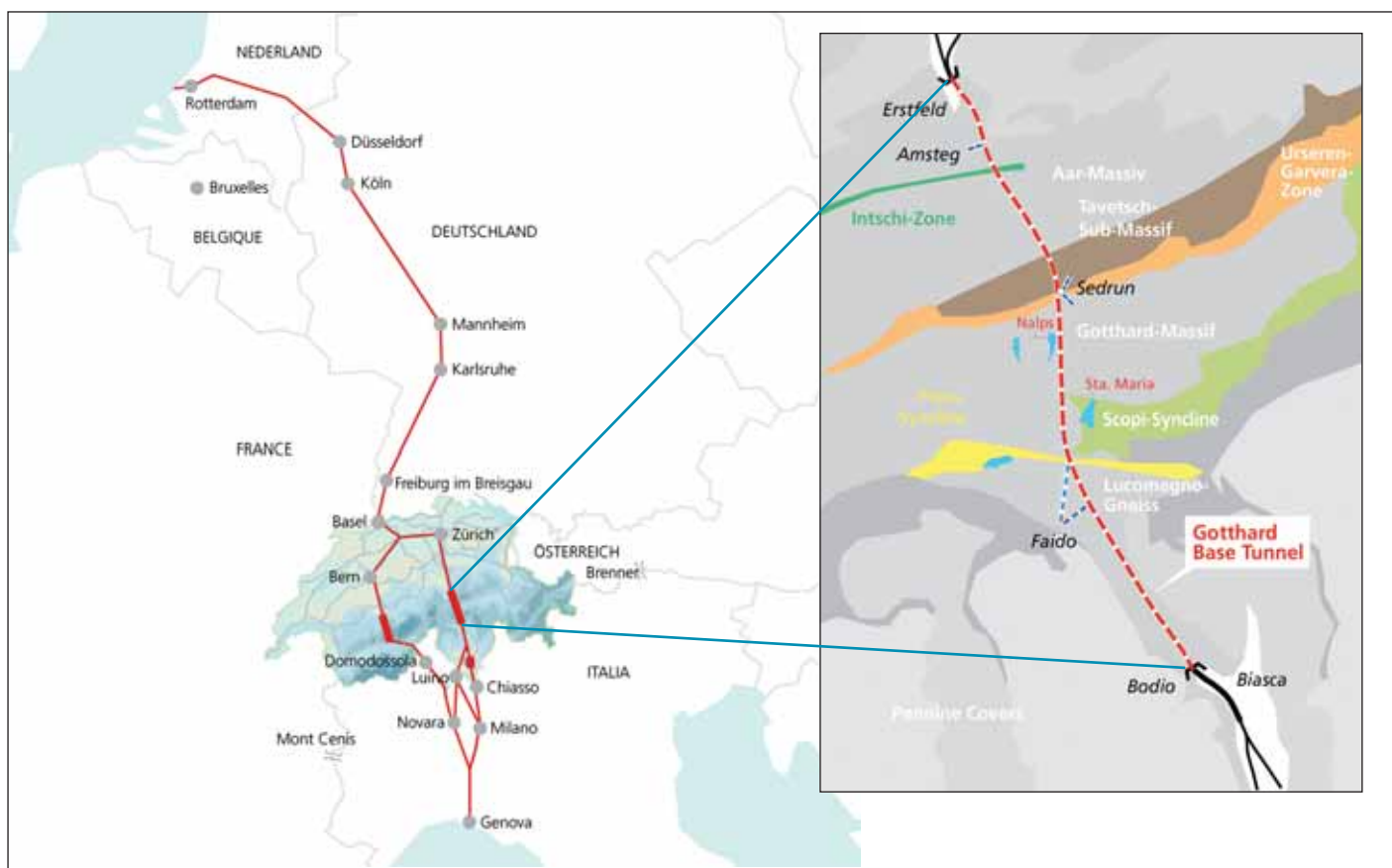
Aby se zkrátila celková doba výstavby, tunel byl rozdělen na pět různých stavebních úseků, umožňujících souběžné práce na

obstacles to be overcome. Unless a project organisation intends to ignore some risks, these obstacles have to be overcome. Ignoring certain risks is the biggest strategic error in the management of any project.

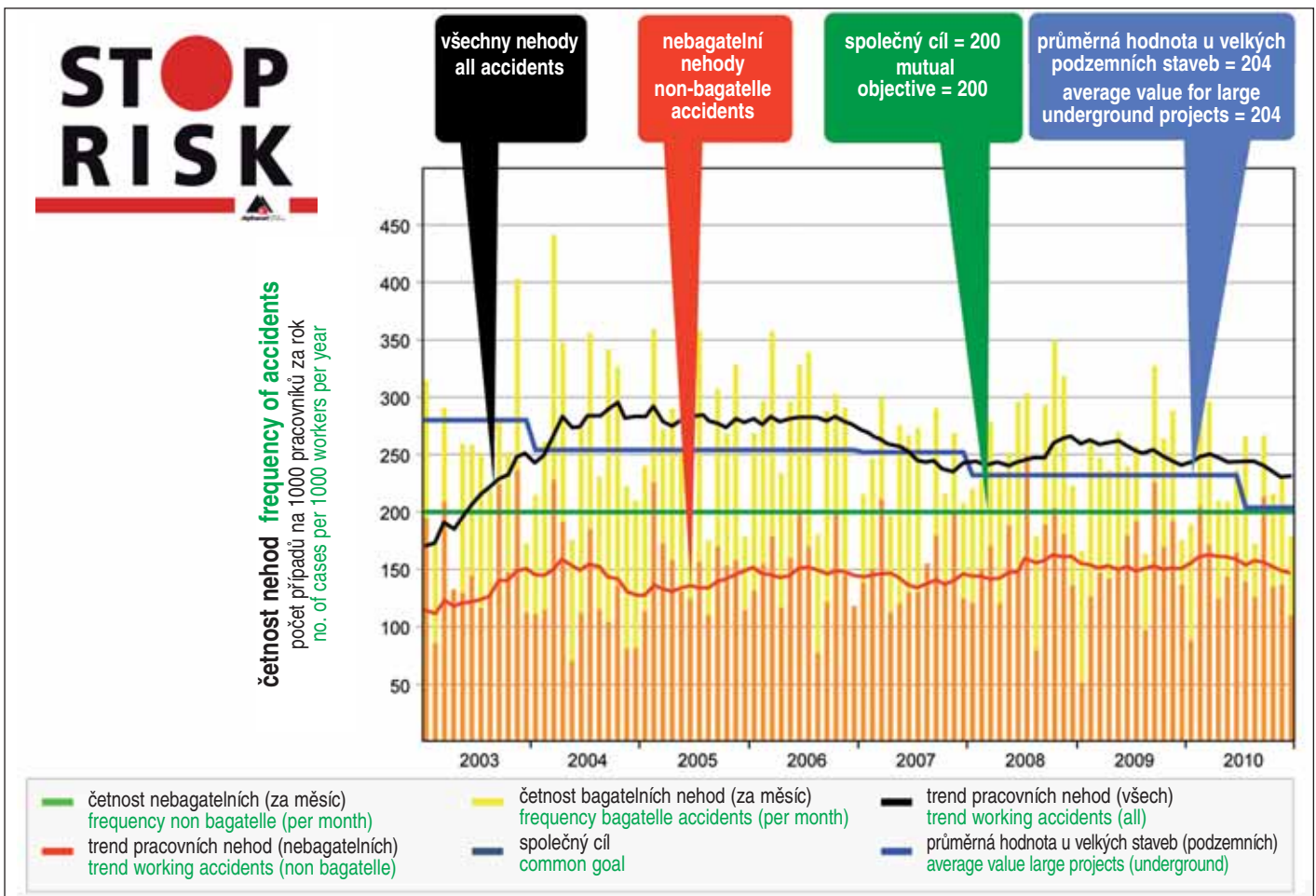
Risk management for megaprojects sounds like a complicated and time consuming task. This assumption is wrong.

The application of sophisticated quantitative mathematical models is normally not needed for underground construction projects. Their application remains restricted to special cases where they may be helpful. Qualitative methods with a generic classification of the likelihood and the consequences of the risks are sufficient in most of the cases. The classification is normally done in a range of three to five classes. AlpTransit Gotthard Ltd. (ATG) as the principal of the Gotthard Base Tunnel (GBT) project used a simple 3 x 3 matrix successfully.

A wide catalogue of risk categories and large numbers of individual risks (up to hundreds) in different categories is inherent to megaprojects. Risk management needs therefore its clear processes, resources and responsibilities in the project organisation. Clear definitions of the risk categories as a project standard and the implementation of database-supported systems facilitate the administration of the risks and the communication between the different stakeholders. More time can be invested for thinking, for the assessment and the mitigation of risks. The personal attitude of the top management finally defines the type of the risk culture in an organisation. Leadership is required to establish a professional risk culture. Managers of megaprojects should implement risk management in megaprojects in their own interest from the earliest beginning of a project.



Obr. 4 Situace bazového tunelu Gotthard, ústředního bodu Evropského dopravního koridoru č. 24  
Fig. 4 Situation of the Gotthard Base Tunnel, centrepiece of the European Transport Corridor 24



Obr. 5 Kampaň Stop rizikům a konkrétní počty nehod (zpráva staveb ATG a NAD 2010)  
Fig. 5 Stop risk campaign and specific number of accidents (ATG and NAD Report 2010)

pěti hlavních stavenišť: Erstfeld, Amsteg, Sedrun, Faïdo a Bodio (od severu k jihu).

### 3.2 Požadavky na bezpečnost a ochranu zdraví

Jako všude jinde, i u projektu GBT bylo stanoveno, že každý dělník by měl opouštět své pracoviště na konci své směny tak zdravý a bezpečný, jako když začínal pracovat.

Ve fázi projektování se za hlavní bezpečnostní rizika považovaly různé typy nehod, obzvláště požáry v tunelu s dělníky nacházejícími se před místem požáru. Vysoké počáteční teploty hornin a podzemní vody přesahující 50 °C byly velkou výzvou pro vytvoření přijatelných pracovních podmínek. Společnost ATG ve výběrovém řízení stanovila opatření k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví velmi detailně, aby se vyhnula jakýmkoliv spekulacím dodavatelů. Specifikace zdravotních a bezpečnostních požadavků byly vydány proto, aby je dodavatelé brali v úvahu ve svých stavebních postupech (např. kabiny blízko čelby chránící proti kouři, napojené na chráněné potrubí se stlačeným vzduchem vedoucí z vnějšku, tunelové spojky do druhé trouby ražené každých 1500 m za prvním čelem výrubu, uspořádání systému větrání přihlížející k různým scénářům požáru, systémy chlazení atd.).

V průběhu výstavby došlo pouze k velmi málo požárům v podzemí, které byly hlavně způsobeny poruchami motorů. Díky moderním hasicím systémům na všech hlavních strojích (jako jsou např. lokomotivy) nedošlo k žádným závažným následkům. Velký požár systému pásových dopravníků v oblasti montáže Sedrun ukázal, jak důležitá je kvalita dopravníkových pásů v podzemí. Stejná nehoda, v případě nedostatečné kvality pásů pro práce v podzemí, by měla v podzemí katastrofální důsledky.

Even if all the risk analysis work has been done professionally, a certain amount of unidentified risks is unavoidable. This fact should be considered in budgets (see Fig. 11) and in the communication of the entire project uncertainties.

## 3 PROJECT REQUIREMENTS ACHIEVED? – LESSONS LEARNT GOTTHARD BASE TUNNEL

### 3.1 General purpose of the Gotthard Base Tunnel Project

The Gotthard Bas Tunnel (GBT) is the centrepiece of the New Railway Link through the Alps (NRLA) (Fig. 4). It becomes commercially operable in a mixed mode (passenger trains and freight trains) in December 2016. The maximum speed in the tunnel will be 250 km/h for passenger trains and 160 km/h for freight trains. The tunnel system consists of two separate single-track tunnels with a minimum axial distance of 40 metres, a maximum slope of 6.76 ‰ and a minimum horizontal radius of 5,000 m. The single-track tunnels are linked every 312.5 metres by cross passages. Multifunction stations, containing technical rooms, ventilation systems and emergency stations are constructed in the third points at Sedrun and Faïdo.

The main purpose of the new railway infrastructure is to shift a major part of the heavy transalpine freight traffic through Switzerland from the road to the rail. 220 to 260 freight trains per day will offer higher transport capacities with higher velocities by using the first flat rail link through the Alps on the European transit corridor No. 24 between Rotterdam and Genoa. 50 to 80 passenger trains per day will offer faster connections linking the economic regions of southern Germany, Switzerland and northern Italy. Faster travel



Velká chladicí zařízení (např. ve Faido s výkonem 12 MW) musela omezit teploty na pracovištích na 28 °C. U některých zvláštních pracovištích postupů se tato teplota nedala dosáhnout. V takových případech se musela zkrátit délka pracovní směny v souladu s předpisy národní agentury pro bezpečnost a ochranu zdraví (SUVA).

Riziko nehody u stavby AlpTransit je definováno jako počet nehod na zaměstnance na plný pracovní úvazek za rok. Tento počet zahrnuje všechny úrazy (i bagatelní případy). Od roku 2002 se úrazovost sleduje systematicky (obr. 5). Dodavatelé, stavební dozor a objednatel se společným úsilím (kampaň „Stop rizikům“) pokoušeli tuto specifickou hodnotu dostat pod předem definovanou cílovou hodnotu 200 nehod na 1000 pracovníků za rok. I když se úrazovost dařilo od začátku hlavních ražeb GBT podstatně snížit, monitorovanou měsíční hodnotu úrazovosti se nikdy nepodařilo snížit pod cílovou hodnotu.

Je politováníhodné, že během stavby GBT přišlo o život 9 pracovníků. Osm z těchto nehod souvisí se stroji a dopravou; jeden případ souvisel se závalem. Každý jednotlivý smrtelný úraz až příliš a dramaticky ovlivňuje životy příbuzných často po zbytek jejich života. To, že konkrétní počet smrtelných úrazů je relativně nízký ve srovnání s dřívějšími podzemními stavbami, ukazuje, že tento obor již během posledních desetiletí dosáhl velkých zlepšení, avšak konečný cíl dosud nebyl dosažen. Další snižování počtů nehod je trvalou povinností všech partnerů na pracovišti. „Cíl nula“, který je v současné době uplatňován na stavbě Crossrail (Spojené království), musí být budoucím stavem myslí na všech megaprojektech.

Ponaučení:

- Většina nehod při moderní výstavbě tunelů souvisí se stroji a dopravou v podzemí.
- K požárům v tunelech došlo pouze ve výjimečných případech a bez závažných následků díky nejnovější technice, jako jsou automatické hasicí systémy.
- Pásové dopravníky v podzemí vyžadují velkou požární odolnost pásů. Špatná kvalita může způsobit katastrofu.
- Externí hasiči nemohou dorazit včas. Pracovní směny proto musí být vybaveni a vycvičeni stejně jako hasiči.
- „Cíl nula“ musí být stavem myslí u všech budoucích megaprojektů (Crossrail).

### 3.3 Požadavky na životní prostředí

Hlavním cílem stavby GBT je zásadní zlepšení aspektů životního prostředí v alpských oblastech přesunutím těžkých nákladních vozidel ze silnice na železnici. Znečišťování ovzduší, emise hluku a rizika nehod by se měly v provozní fázi snížit na značně nižší úroveň. Ochrana před prachem, ochrana proti znečišťování ovzduší, ochrana proti hluku, ochrana vod, ochrana fauny a flóry, ochrana přírodních zdrojů vhodnými stavebními metodami a vyhýbání se poškozování majetku a práv třetích stran, jsou také nutností ve fázi výstavby.

Snižování rizik pro životní prostředí mělo pro stavbu GBT tu nejvyšší důležitost od samého začátku. Hlavní opatření pro snižování byla tato:

- Využívání rubaniny na výrobu kameniva do betonu pro zajištění výrubu a definitivní ostění. Z vyrubaného materiálu pocházejícího z ražeb plnoprofilovými stroji a z konvenčních ražeb se vyrobilo celých 100 % šterku do betonu pro tunelové konstrukce.
- Všechn hromadný materiál se dopravoval po kolejích nebo pásovými dopravníky.
- Filtry na odstranění kouřových částic u všech dieselových motorů na povrchu i v podzemí byly vyžadovány dávno předtím, než se staly zákonnou povinností.
- Každá oblast montáže byla vybavena technologicky vyspělou čistírnou odpadních vod, čistící širokou škálu znečištěných vod.
- Velké investice byly vloženy do nakládání s bahnem různých kvalit.

speeds in more comfortable trains will create a real alternative to travelling by car or by airplane.

In order to shorten the total construction time the tunnel was divided into five different construction sections allowing the parallel work on the five main sites of Erstfeld, Amsteg, Sedrun, Faido and Bodio (from north to south).

### 3.2 Requirements on health and safety

As everywhere, also in the GBT Project was stipulated, that each worker should leave the job site at the end of his shift as healthy and safe as he started his work.

In the design phase, different types of accidents and especially fires in the tunnel with inclusion of workers in front of the fire were seen as the main safety risks. High initial rock and ground water temperatures of more than 50 °C were a big challenge for creation of acceptable working conditions. ATG tendered the health and safety installation measures in detail in order to withdraw them from any speculation of the contractors. Specifications on the health and safety requirements were given in order to be considered by the contractors in their construction processes (e.g. smoke protection containers close to the excavation front connected to a protected compressed air pipe from outside, cross passages to the 2nd tube excavated 1'500 metres behind the first excavation front etc., layout of the ventilation system taking various fire scenarios into account, cooling systems).

Only very few fires occurred below ground during the construction period, mainly caused by engine failures. Thanks to modern extinguishing systems on all major machines (such as locomotives) no severe consequences occurred. A big fire of the conveyer belt system at the rig area of Sedrun showed the high importance of the adequate quality of the conveyer belts below ground. The same accident (with an inadequate belt quality for underground work) would have had disastrous consequences below ground.

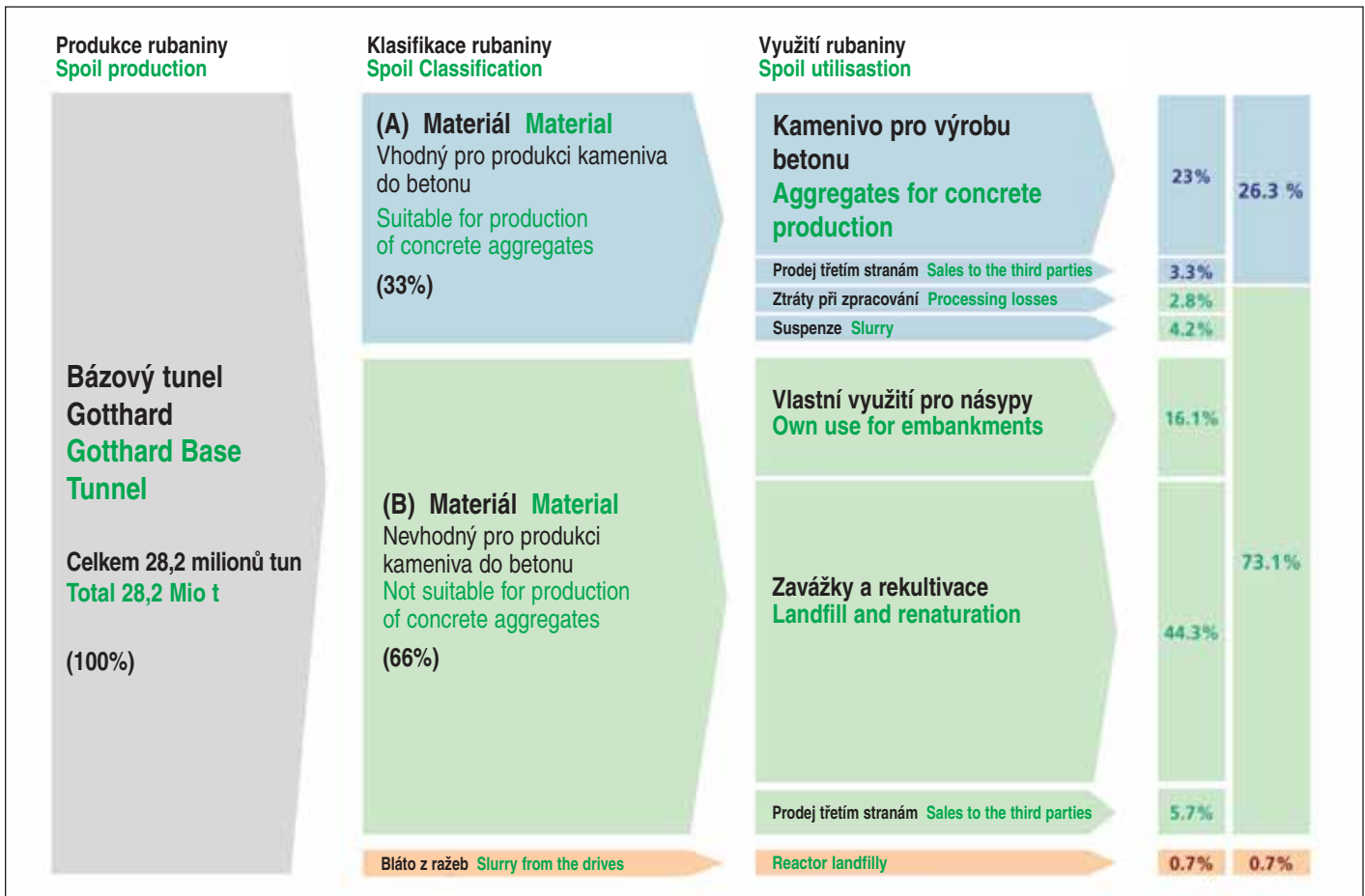
Huge cooling installations (e.g. 12 MW capacity Faido) had to limit the working place temperatures 28 °C. In some special working sequences this temperature could not be reached. In such cases the working time per shift had to be reduced according to the regulations of the national health and safety agency (SUVA).

The accident risk in the AlpTransit project is defined as the number of accidents per full-time employee per year. This number includes any injury (also bagatelle cases). Since 2002 the accident rates were monitored systematically (Fig. 5). In a common effort ("stop risk" campaign) the contractors, the site supervision and the client tried to bring this specific rate below the predefined target value of 200 accidents per 1000 workers per year. Even if the accident rates could be substantially reduced since the beginning of the main tunnelling work at the GBT, the monitored monthly accident rate never could generally be reduced below the target value.

Regrettably 9 workers lost their lives during the construction of the GBT. Eight of these accidents are related to installations, machinery and transportation; one case was related to a rock-fall. Each fatality is one too much and affects dramatically the live of relatives often for the rest of their lives. The fact, that the specific number of fatalities is comparatively low compared to earlier underground projects indicates that the industry has reached major improvements in the last decades, but the final goal is not reached yet. A further reduction of accidents is a continuous obligation for all partners on the job site. "Target zero" as it is exercised actually in the Crossrail-Project (UK) must be the future state of mind in all megaprojects.

Lessons learned:

- Most accidents in modern tunnelling are related to machinery and underground traffic.



Obr. 6 Vývojový graf vyléženého materiálu a výborný příklad navážky  
Fig. 6 Flow chart of the excavated material and excellent example of landfill

- Nevyhnutelné zásahy do flóry a fauny se musely kompenzovat předem určenými opatřeními ke zmírnění jejich vlivu.
- Dobrá spolupráce s organizacemi ochrany životního prostředí a specialisty.

#### Ponaučení:

- Respektování environmentálních požadavků musí mít vysokou prioritu.
- Musí se vložit potřebné investice.
- Respektování environmentálních požadavků vytváří podporu veřejnosti.
- Použití vyrubaného materiálu na výrobu kameniva do betonu je žádoucí všude, kde je to technicky možné, aby se tak šetřily přírodní zdroje!
- Použití vyrubaného materiálu na výrobu kameniva do betonu je technicky možné i při velké proměnlivosti kvality rubaniny.
- Poslední nejmodernější technologie snižují dopady na životní prostředí a vytvářejí ekonomické pobídky pro dodavatele.
- Opatření ke zmírnění vlivů na životní prostředí, kterými se kompenzují nevyhnutelné zásahy do flóry a fauny, jsou úspěšná, pokud je realizují profesionálové.
- Společným cílem musí být žádné environmentální nehody („Cíl nula“).

### 3.4 Požadavky na kvalitu

Švýcarský spolkový úřad pro dopravu (FOT) požadoval u staveb přesně stanovené standardy a životnost stavebních prací 100 let. V této době nejsou povoleny žádné sanační práce vyžadující podstatná provozní omezení.

Tento požadavek může splňovat pouze dvouplášťové ostění s dočasnou výstrojí tvořící vnější plášť (primární ostění) a trvalým vnitřním (sekundárním) betonovým ostěním s minimální tloušťkou 30 cm (obr. 7). Drenážní systém mezi těmito dvěma ostěními

- Tunnel fires occurred only in rare cases without severe consequences thanks to the modern state of the technique such as automatic fire extinguishing systems.
- Conveyer belts below ground need high fire resistance quality of the belts. Wrong qualities can cause catastrophes.
- External fire fighters cannot arrive in due time. The working shifts have to be equipped and trained as fire fighters.
- “Target Zero” must be the state of mind in all megaprojects of the future (Crossrail).

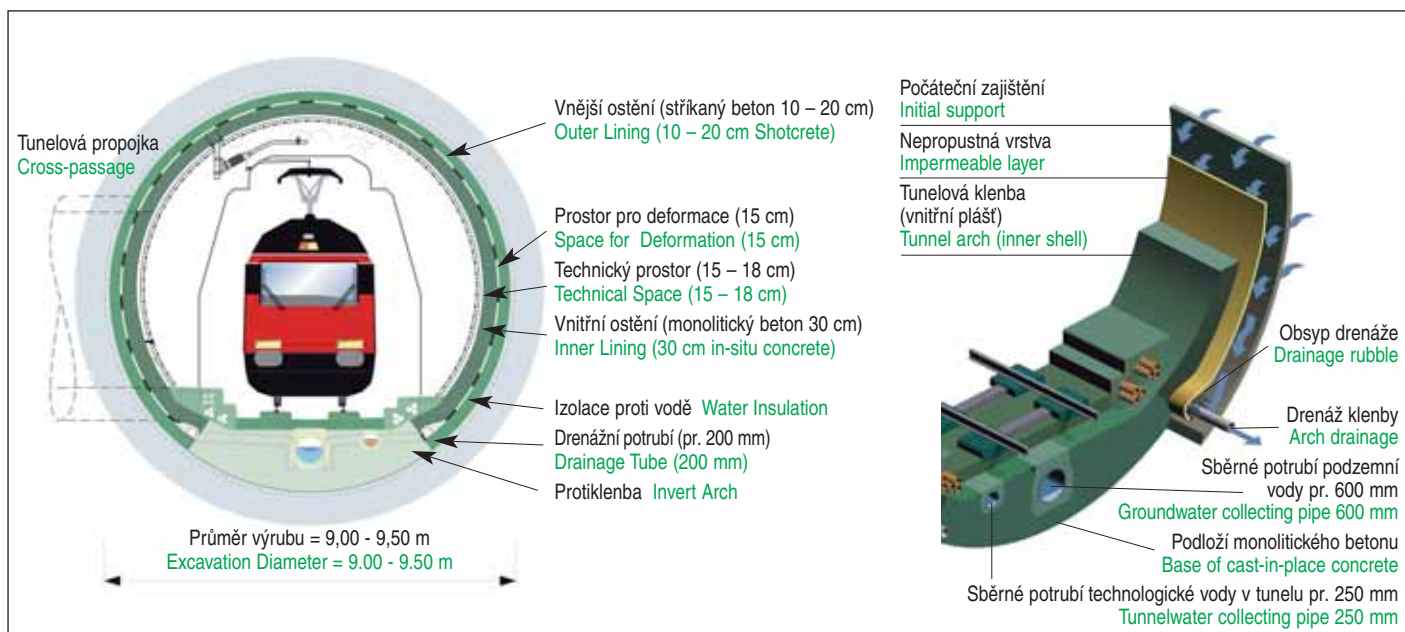
### 3.3 Environmental requirements

The main goal of the GBT is the major improvement of the environmental aspects in the alpine regions by shifting the heavy load trucks from the road to the rail. Air pollution, noise omissions and the risks of accidents should be reduced to a significant lower level in the operational phase. Dust protection, protection against air pollution, noise protection, water protection, protection of fauna and flora, protecting natural resources by adequate construction methods and the avoidance of damages to third parties properties and rights are also a must during the construction phase.

The reduction of environmental risks was of highest importance in the GBT Project from the earliest beginning. The main mitigation measures were:

- The use of the spoil for the production of concrete aggregates of the rock support and the final lining. 100% of the concrete gravel for the tunnel construction has been produced from excavated rock material with origin from the TBM-drives and the conventional drives.
- All mass goods had to be transported by rail or by conveyer belts.





Obr. 7 Životnost 100 let – tunel s dvouplášťovým ostěním  
Fig. 7 100 years lifetime – double lined tunnel

trvale snižuje počáteční tlaky vody až na 150 barů. Vodotěsná fólie po celé délce tunelu (114 kilometrů) chrání vnitřní ostění proti prosakování vody po dobu 100 let. Vysoké nadloží vytváří vysoké počáteční napětí v hornině, velký hydrostatický tlak a vysoké počáteční teploty horniny. Tyto hraniční podmínky vyžadovaly vyvinutí speciálních projekčních řešení a stavebních materiálů, aby se splnil požadavek na životnost.

Několik let před zahájením výběrových řízení společnost ATG uznala velké riziko u požadavků na kvalitu vyplývající z používání „pouze“ standardních výrobků. Musely se vyvinout nové systémy betonáže a zajišťování vodotěsnosti, aby splňovaly tuto vysokou úroveň a dlouhodobé požadavky. Objednatel, odborníci z oboru a vědečtí experti spolupracovali na vývoji nových výrobků. Proces končil prekvalifikací. Nové výrobky musely prokázat svou schopnost plnit vysoké požadavky na kvalitu při různých zkouškách. Ve fázi výběrových řízení se připouštěly pouze prekvalifikované výrobky.

Aby se zajistily vysoké standardy kvality, byly do smluv zahrnuty i plány zajištění kvality zpracované konkrétně pro tuto stavbu. Pro určité prvky byly za uspokojivé považovány současné průmyslové standardy a odpovídající řízení kvality, založené na odpovídajících normách (např. drenážní potrubí). Do konce roku 2012 se problémy s kvalitou vyskytly pouze u výrobků odpovídajících průmyslovým „standardům“, zatímco materiály vyrobené konkrétně pro tuto stavbu nezpůsobily žádný velký problém.

Ponaučení:

- Megaprojekty mají specifické požadavky na stavební materiály.
- V některých případech nemohou „standardní“ výrobky těmto specifickým požadavkům vyhovět. V takových případech se musí před podáním soutěžních nabídek vyvíjet nové výrobky.
- Aby se co nejdříve rozeznaly odchylky od požadované úrovně kvality, musí se zavádět plány zajištění kvality specifické pro danou stavbu (i pro standardní výrobky).
- Na délce 114 km vysoce kvalitního vnitřního ostění se nevykytl jediný problém s kvalitou kameniva do betonu vyrobeného z vlastní rubaniny!
- Běžné standardy a normy jsou užitečné nástroje, ale nejsou dostatečné. Plány zajištění kvality všech materiálů, specifické pro danou stavbu, jsou u megaprojektů nutností.
- U megaprojektů mohou mít i malé, ale systematické problémy s kvalitou závažné důsledky.

- Particle filters for all Diesel engines above and below ground were required longtime before there was a legal obligation.
- Each rig area was equipped with a high tech sewage treatment plant cleaning a broad variety of polluted water.
- High investments were made for the treatment of the various qualities of mud.
- The inevitable interventions to flora and fauna had to be compensated by predefined mitigation measures.
- A good collaboration with environmental organisations and specialists.

Lessons learned:

- Environmental requirements have to be respected with high priority.
- The necessary investments have to be made by the owner.
- Respect on the environmental requirements creates public support.
- The use of the excavated rock material for concrete aggregate production is a must wherever it is technically feasible in order to save natural resources!
- The use of the excavated rock material for concrete aggregate production is technically feasible even with big variations in the quality of the muck.
- Latest state of the art technology reduces the environmental impact and creates economic incentives for the contractors.
- Environmental mitigation measures to compensate inevitable interventions to flora and fauna are successful if professionals implement them.
- No environmental incidents (“target zero”) must be the common objective.

### 3.4 Quality requirements

The Swiss Federal Office of Transport (FOT) required in the project specific standards a lifetime of 100 years for the civil work. No rehabilitation work with significant operational limitations (with regard on scope and duration) is allowed during this time.

A double lined tunnel with the provisional rock support as outer lining (first lining) and the permanent in the minimum 30 cm thick inner concrete lining (second lining), can only achieve this high requirement (Fig. 7). Between the two linings a drainage system reduces permanently the initial water pressures of up to 150 bars. A waterproofing membrane on the entire length of the tunnel

### 3.5 Požadavky na harmonogram stavby

Švýcaři hlasovali o stavbě při třech příležitostech (v roce 1992 o stavbě samé, dvakrát v roce 1998 o modelu financování). V roce 1992 byla stavba ještě ve fázi předběžné studie. Byl stanoven pouze pravděpodobný rozsah trvání stavby, ale ne přesné datum uvedení do provozu. Přípravné stavební práce pro průzkumné štoly a šachty byly zahájeny v letech 1994–1996. Pro hlasování v roce 1998 byla předpověď uvedení tunelu do komerčního provozu na konec roku 2012.

V roce 2002 byly podepsány tři ze čtyř hlavních smluv a byly zahájeny stavební práce s cílem zahájit komerční provoz v prosinci 2014. Dodatečné dva roky měly svůj důvod v celkovém odložení stavby o jeden rok a v uzavření smlouvy na dva oddíly, Faido a Bodio, s jediným společným podnikem, což vytvořilo důležitý finanční prospěch s důsledky prodloužení výstavby o další rok.

Stavba hlavního tunelu byla zahájena bez jakýchkoliv problémů v roce 2002 na severní straně (Amsteg) a ve středním stavebním úseku (Sedrun). Na jižní straně (Faido a Bodio) se naproti tomu od samého počátku ražby naráželo na neočekávaně obtížné horninové podmínky. Po roce prací se muselo očekávat zpoždění související s termínem zahájení o jeden rok. Neočekávaně nepříznivé horninové podmínky u Faido (neidentifikované riziko) si vyžádaly 66 měsíců doby ražby místo předpokládaných 33 měsíců. Toto zpoždění a několikaleté zpoždění v zahájení hlavních prací ze severního portálu (Erstfeld), způsobené politickými vlivy, vedlo nakonec ke stanovení data uvedení do provozu v prosinci 2016 (obr. 8).

Situace byla analyzována ve čtvrtletních hodnoceních. Opatření ke zmírnění dopadů, jako posunutí rozhraní mezi úsekem Faido a úsekem Sedrun o 2 kilometry směrem na sever, se musela definovat několik let před jejich realizací, aby se získal dostatečný čas pro získání stavebního povolení a pro jednání s dodavateli [4], [6].

Ponaučení:

- Milníky se u megaprojektů s významnými podzemními stavbami nedají předpovídat přesně, dokud není hotová poslední prorážka.
- Předpovědi milníků se vždy musí sdělovat spolu s riziky vlastními pro práce v podzemí (časová rizika, obr. 8).
- Časová rizika u velkých podzemních staveb jsou často větší, než se na začátku předpokládalo (měsíce a roky namísto týdnů).
- Politická a řídicí rozhodnutí ovlivňují milníky ve stejném rozsahu jako nepříznivé horninové poměry.
- Opatření k zajištění plnění smluvních termínů se musí definovat ve značném předstihu.
- Smlouvy by měly předvídat možnosti takových opatření v případě nepředvídaných podmínek.

### 3.6 Požadavky na náklady a financování

V roce 1998 přijali Švýcaři financování ve výši 30,5 miliardy CHF pro moderní železniční infrastrukturu novým veřejným fondem. Úvěry a později vládní půjčky tomuto fondu byly omezeny na maximální částku 4,1 miliardy CHF v průběhu existence fondu stanovené na 23 let.

Příjem fondu se vytváří z následujících zdrojů (obr. 9):

- Nová daň pro těžká silniční vozidla (65%)
- Část stávající daně z minerálních olejů (25%)
- Další 0,1 % k dani z přidané hodnoty (10%)

Z celkových investic ve výši 30,5 miliardy CHF bylo 13,6 miliard vyhrazeno pro projekty NRLA (koridory Lötschberg a Gotthard). Podle prvních modelů financování by budoucí provozovatelé měli splatit 25 % investic. V této době úřad FOT a společnost ATG dohodly pro bázový tunel Gotthard a přístupové trasy rozpočet nákladů ve výši 6,323 miliardy CHF. V tomto rozpočtu nebyly obsaženy žádné náklady na nepředvídané podmínky. Rozpočet na nepředvídané podmínky zůstal v odpovědnosti spolkové vlády. Právo na investování této rezervy měla pouze spolková vláda.

Na konci roku 2011 předpověď možných konečných nákladů na stavbu GBT dosáhla 9,956 miliardy CHF (+ 57 %) [9]. Tento

(114 kilometres) protects the inner lining against water filtration during 100 years. The big overburden creates high initial rock stress, high water pressure and high initial ground temperatures. These boundary conditions required the development of special design solutions and construction materials in order to fulfil the lifetime requirement.

Several years before the tender process started, ATG recognised the big risk on the quality requirements by using “only” standard products. New concrete systems and waterproofing systems had to be developed in order to fulfil the high level and long-term requirements. Client, industry and scientific experts participated in the development of new products, which ended with a prequalification process. The new products had to prove their ability to fulfil the high quality requirements in different tests. Only prequalified products were allowed in the tender phase.

Project specific quality assurance plans were integrated in the contracts in order to guarantee the high quality standards. For certain elements the actual industrial standard and the corresponding quality control based on the corresponding codes were considered to be satisfactory (e.g. drainage pipes). Until the end of 2012 quality problems occurred only with industrial “standard” products, whereas the project specific materials caused no major problem.

Lessons learned:

- Megaprojects have project specific requirements on construction materials.
- In some cases “standard” products cannot fulfil these specific requirements. In such cases new products have to be developed before tendering the project.
- Project specific quality assurance plans (also for standard products) have to be implemented in order to recognize deviations from the required quality level as early as possible.
- On a length of 114 km of high quality inner lining not one single quality problem occurred with the concrete aggregates produced from the own muck!
- Common standards and codes are helpful instruments but not sufficient. Project specific quality assurance plans for all materials are a must for megaprojects.
- In a megaproject small, but systematic quality problems can cause severe consequences.

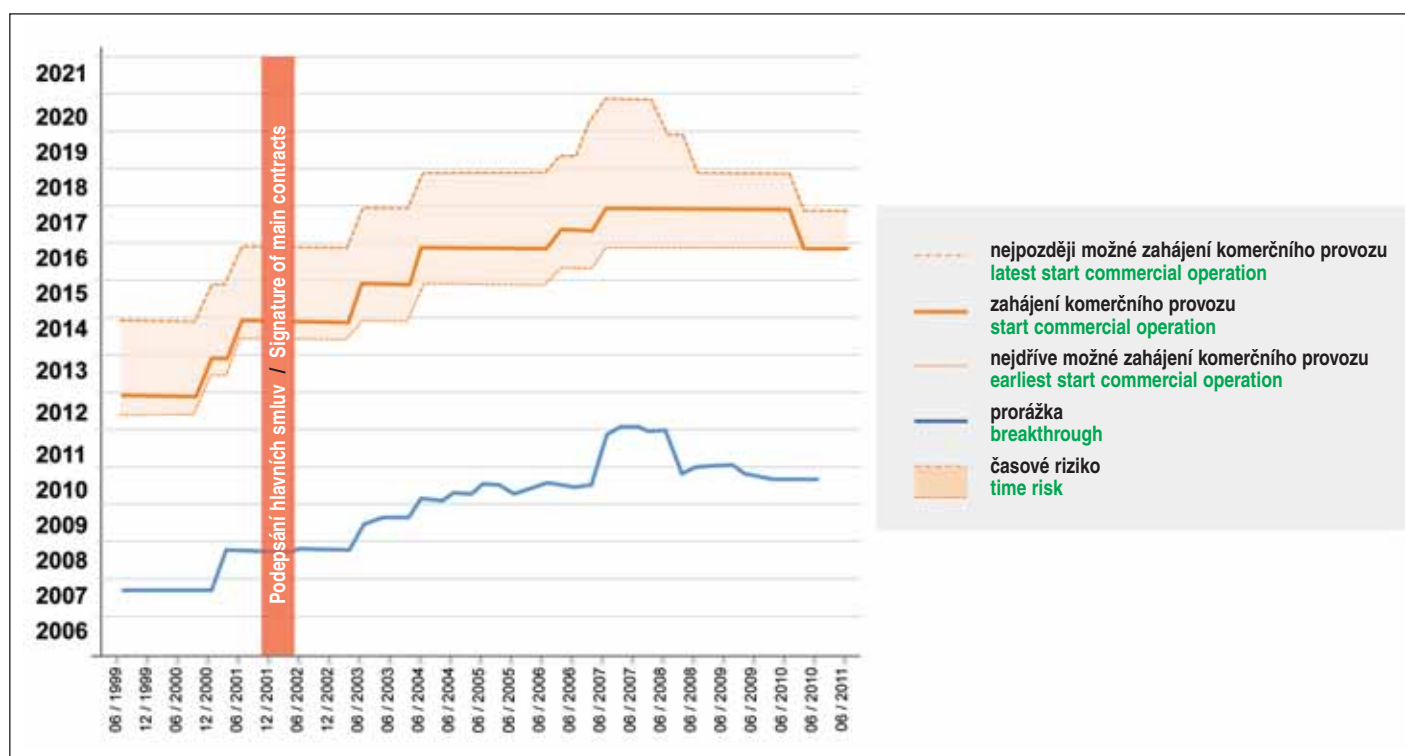
### 3.5 Requirements on the construction schedule

The Swiss people voted on 3 occasions on the project (1992 on the project itself, 1998 twice on the financing model). 1992 the project was still in the preliminary study phase. Only a probable range of the construction period was defined, but no exact opening date. In 1994/1996 the preliminary construction work for exploratory galleries and shafts started. For the votes in 1998 the forecast for the opening of the tunnel for commercial operation was given per end of 2012.

In 2002 three of the four main contracts were signed and the construction work started with the aim to start the commercial operation in December 2014. The additional two years had its reason in a general postponement of the project by one year and in the award of the contract for the two lots Faido and Bodio to one and the same joint venture creating an important financial benefit with the consequences of an additional year of construction time.

The construction of the main tunnel started in 2002 on the northern side (Amsteg) and in the central construction section (Sedrun) without any problems. On the southern side (Faido and Bodio) in contrast unexpected difficult ground conditions were encountered from the earliest beginning of the excavation work. After one year of work a delay of one year related to the opening milestone had to be predicted. The unexpected bad ground conditions in Faido (unidentified risk) needed 66 months of excavation time instead of the foreseen 33 months. This delay and a delay of several years in the beginning of the main work of the northern portal section (Erstfeld) caused by political reasons lead finally to the actual opening date of December 2016 (Fig. 8).





Obr. 8 Vývoj milníků pro prorážku a zahájení komerčního provozu

Fig. 8 Development of the milestones final breakthrough and begin of commercial operation

nárůst cen na stavbě GBT a u dalších projektů (bázový tunel Lötschberg + 32 %) [9], ale i skutečnost, že provozovatelé nebudou nikdy schopni splatit 50tiprocentní díl investic, vedl k situaci, že kapitál veřejného fondu musel být zvýšen až na 10,1 miliardy CHF. Životnost fondu (do splacení všech dluhů) se zvýšila až na 30 let (obr. 9). Aby se nepřekročila celková výše investic 30,5 miliardy CHF, musely se další projekty odložit nebo zrušit.

Jaké jsou důvody tohoto vývoje nákladů u projektu NRLA, který je veřejnou stavbou s vůbec největším vládou řízenou stavbou ve Švýcarsku? Jelikož čas jsou peníze, vývoj nákladů odráží hlavně velké změny v harmonogramu stavby z důvodu rizik souvisejících s horninou (jižní strana) a politických rizik (severní strana). Tyto dvě složky vysvětlují pouze část celkového nárůstu nákladů. Dalšími důležitými složkami u megaprojektů s dlouhou dobou realizace jsou změny projektu a změny příkazů různých zúčastněných stran. Po třech dramatických tunelových požárech, v silničním tunelu Mont Blanc (1999), Tauernském silničním tunelu (1999) a v silničním tunelu Gotthard (2001), byly vyžadovány změny projektu systému větrání, aby se původně již dostatečné bezpečnostní standardy dostaly na vyšší úroveň. Další větrací štoly, šachty a tunelové spojky, které se musely razit, vyžadovaly další dobu výstavby a další náklady. Uspořádání 15 km dlouhého bázového tunelu Ceneri bylo změněno z dvoukolejné trouby na dvě jednokolejné trouby, což způsobilo velké překročení nákladů (obr. 10).

Dlouhé trvání stavby překračující 10 let samo o sobě také znamená velkou sumu dodatečných nákladů i z důvodu malých změn projektu. Jisté změny se musely přijmout z technických nebo politických důvodů, i při přísné kontrole všech požadavků na změny projektu, vedením objednatele. Při předpokladu dodatečných nákladů způsobených tímto efektem ve výši 1 % za rok dosahuje výsledný nárůst času a peněz 10 až 15 %!

Dosud bylo zpracováno několik studií snižování nákladů. Všechny ukázaly velmi omezený dopad do konečných nákladů na současných staveništích. Podstatného snížení nákladů by se dalo dosáhnout pouze strategickými rozhodnutími, jako jsou zkrácení doby výstavby a odložení nebo zrušení jiných projektů.

The situation was analysed in quarterly reviews. Mitigation measures, such as the shift of the interface between Faido and Sedrun of 2 kilometres in southern direction, had to be defined several years before their execution in order to get sufficient time to receive the construction permit and for negotiations with the contractors [4], [6].

Lessons learned:

- Milestones in megaprojects with relevant underground structures cannot be predicted accurately as long as the final breakthrough is not done.
- Milestone predictions have always to be communicated together with the inherent uncertainties for underground works (time risks, Fig. 8).
- Time risks for large underground structures are often bigger than initially assumed (months and years instead of weeks).
- Political and management decisions affect the milestones in the same magnitude as unfavourable ground conditions.
- Strategic measures to guarantee that the deadlines are met must be defined well in advance.
- Contracts should foresee options for such measures in case of unforeseen conditions.

### 3.6 Requirements on costs and financing

In 1998 the Swiss people accepted the financing of CHF 30.5 billion for a modern railway infrastructure by creating a new public fund. The credits and later the governmental loans to the fund were limited to a maximum of CHF 4.1 billion during the lifetime of the fund of 23 years.

The income of the fund is created by the following sources (Fig. 9):

- A new heavy road vehicle tax (65%)
- Part of the existing mineral oil tax (25%)
- New additional 0.1% of the value added tax (10%)

From the total investments of CHF 30.5 billion, CHF 13.6 billion were reserved for the NRLA-Projects (Lötschberg- and Gotthard-Axis). According to first financing model, the future operators should pay back 25% of the investments back. At this time the FOT and ATG agreed a cost budget of CHF 6.323 Billion [9] for the Gotthard Base Tunnel and the access links. No costs for unforeseen conditions were included in this budget. The budget for the unfore-

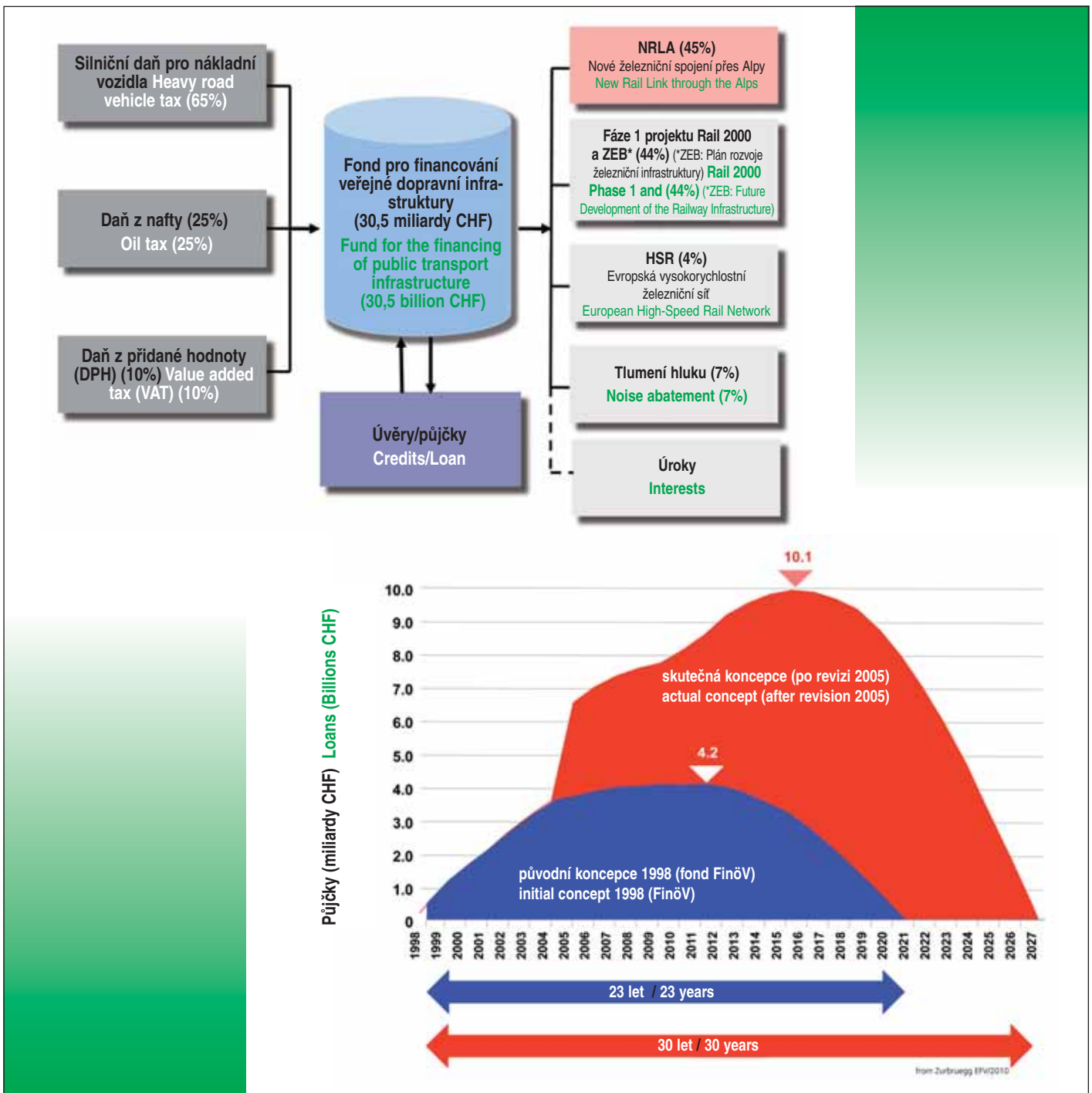
## Ponaučení:

- Náklady u megaprojektů vykazují vysokou nejistotu z důvodu jejich přímé vazby na dobu výstavby.
- Nákladová rizika u megaprojektů jsou větší než hodnota neplacení (?) daná národními standardy (pro standardní projekty).
- Rizika vztahující se k nejistotám u hornin jsou pouze jednou částí nákladových rizik. Stejně rozhodující jsou změny stavby a příkazy ke změnám od různých zúčastněných stran.
- Model financování se také musí průběžně kontrolovat, aby byly možné včasné úpravy.
- Programy kompenzace nákladů v rámci jednoho dílčího projektu mají pouze omezený dopad.
- Relevantní snižování ceny jsou možná pouze pomocí strategických rozhodnutí o stavbě.

seen (approx. 15% of the total investments) remained in the responsibility of the federal government. Only the federal government was entitled to invest this reserve if necessary.

At the end of 2011 the forecast of the potential final costs for the GBT reached the sum of CHF 9.956 billion (+ 57%) [9]. This cost increase at the GBT and in other projects (Lötschberg Base Tunnel + 32%) [9], but also the fact, that the operators will never be able to pay back their 25%-portion of the investments lead to the situation that the capital of the public fund had to be increased up to CHF 10.1 billion. The lifetime of the fund (until the payback of all debts) increased up to 30 years (Fig. 9). Other projects had to be postponed or cancelled in order to not exceed the total investment of CHF 30.5 billion.

What are the reasons for this cost development in the NRLA-project, the public project with the highest governmental control ever in Switzerland? As time is money, the cost development reflects pri-



Obr. 9 Model fondu pro stavby železniční infrastruktury a řízení úvěrů/půjček  
Fig. 9 Fund model for railway infrastructure projects and management of credits/loans



- Megaprojekty by se měly dělit na dílčí projekty, aby bylo možné snižovat relevantní náklady odkládáním nebo rušením dílčích projektů (projekt nákladů).
- Švýcarský model financování prokázal svou hodnotu, ale již dosáhl svých hranic [3].
- Současná situace příjmů provozovatelů železnic v Evropě neumožňuje splácení investic na megaprojekty obsahující tunely. Část nákladů musela být přesunuta z budoucích provozovatelů na daňové poplatníky [3].

### 3.7 Požadavky na proces projektování a organizaci stavby

Procesy projektování a stavební procesy musí zajistit požadovanou vysokou kvalitu a bezchybné stavební procesy. Hlavní výzvou je opět dlouhé trvání stavby u megaprojektů. V počáteční fázi byly jasné modely procesů, založené na požadavcích ISO 9000, zavedeny na straně objednatele a jeho projektantů. Nabídky dodavatelů byly přijímány pouze od dodavatelů s certifikovaným systémem řízení kvality podle ISO 9000. Objednatel také měl právo provádět některé audity vlastní silami a kontrolovat zavádění systémů řízení kvality na různých staveništích.

Technické specifikace byly založené na prakticky nezměněných švýcarských normách SIA. Úřad FOT požadoval pomocí zvláštní „expertní směrnice“ kontrolu statických výpočtů projektanta nezávislými odborníky, aby byla zajištěna správná aplikace příslušných bezpečnostních norem. Tento proces byl potřebný, ale byl náročný na čas. Díky včasnému zpracování podrobných harmonogramů projekčních prací nebyla zaznamenána žádná zpoždění v dodávání výkresů.

Dodavatel měl právo na optimalizaci svých výrobních procesů. V určitých případech se dodavatelé rozhodli pozdě, což způsobovalo potřebu dalšího úsilí projektanta. Projektant tyto případy zvládal a žádný výkres nedorazil na stavbu opožděně. Důsledky byly odpovídající – vyšší náklady na projekt.

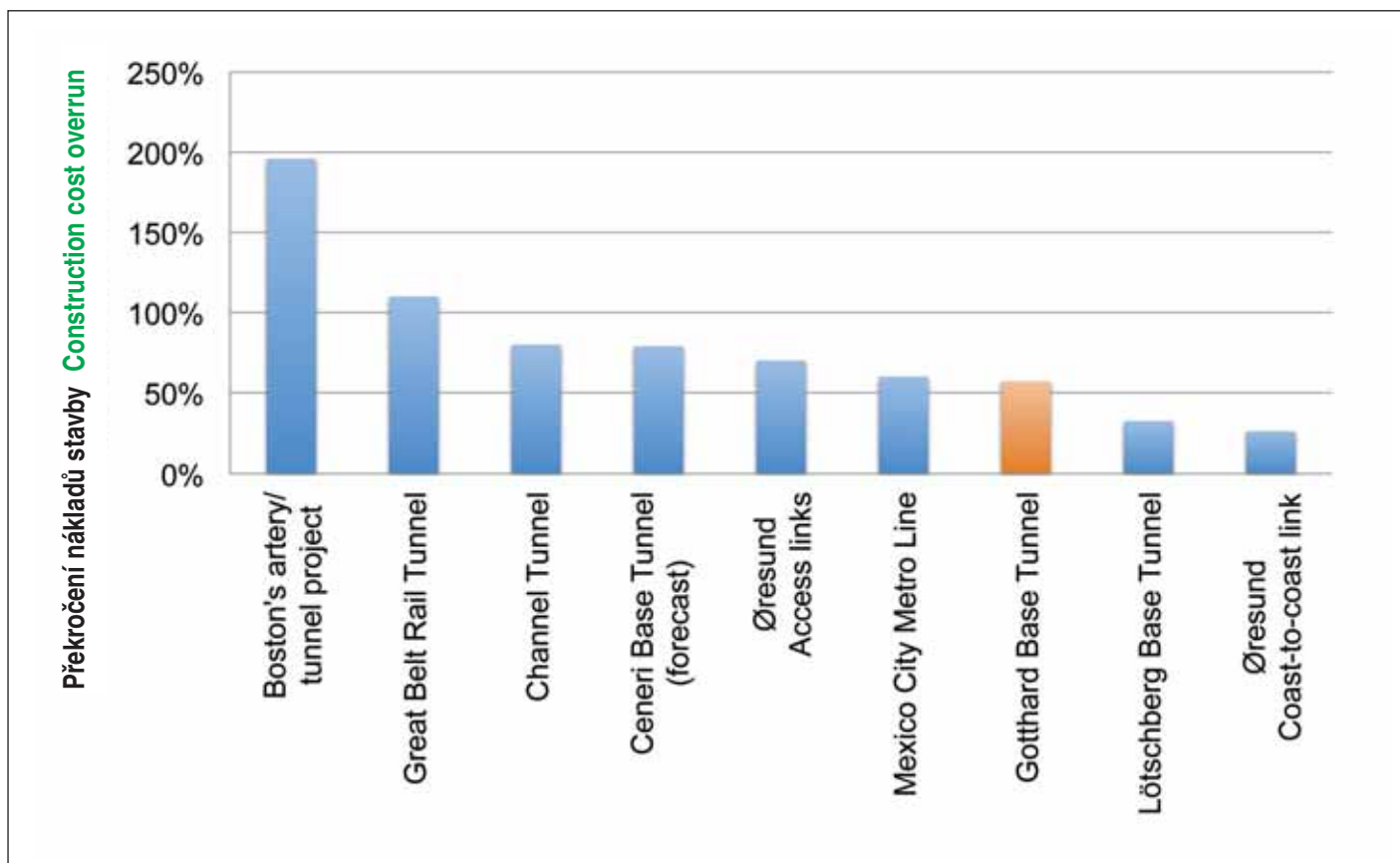
marily the big changes in the construction schedule due to the ground risks (southern side) and to political risks (northern side). These two elements explain only a part of the total cost increase. Other important elements in megaprojects with a long realisation time are design changes and change orders required from the different stakeholders. After the three dramatic tunnel fires in the Mont Blanc Road Tunnel (1999), in the Tauern Road Tunnel (1999) and in the Gotthard Road Tunnel (2001) design changes of the ventilation system were required in order to put the initially already sufficient safe standard on a higher level. Additional ventilation galleries, shafts and cross passages had to be excavated causing additional construction time and costs. The layout of the 15 km long Ceneri Base Tunnel was switched from one double track tube to two single-track tubes creating an important cost overrun (Fig. 10).

The long project duration of over 10 years itself creates also an important sum of additional costs due to small design changes. Certain changes had to be accepted for technical or political reasons, even with a strict control of all requests on design changes by the owner's management. Assuming 1% additional costs per year caused by this effect a final cost increase of 10 to 15% is the result (time is money)!

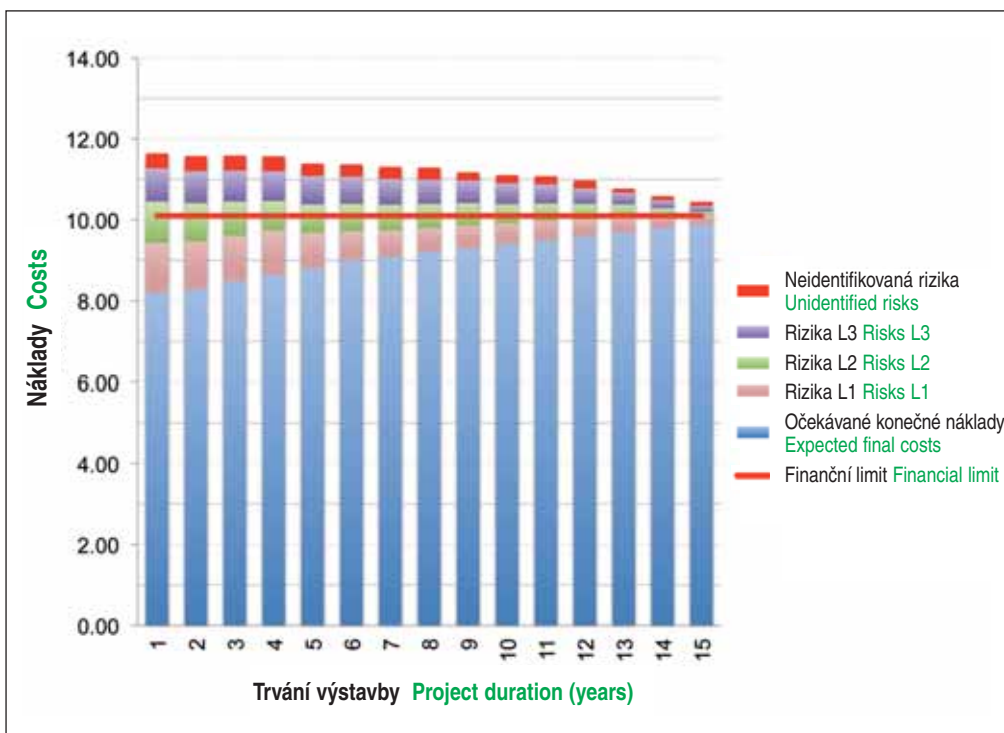
Several cost reduction studies have been carried out. All of them showed a very limited impact on the final costs at current sites. Significant cost reduction could only be achieved by strategic decisions, such as the reduction of the construction time, the postponement or cancellation of other projects.

Lessons learned:

- Costs in megaprojects have a high uncertainty due to their direct relation with the construction time.
- Cost risks for megaprojects are greater than the default values given by national standards (for standard projects).
- Risks related to the uncertainties of the ground are only one part of the cost risks. Equally decisive are project changes and



Obr. 10 Překračování nákladů u megaprojektů  
Fig. 10 Cost overrun in megaprojects



Obr. 11 Sdělování nákladových rizik (fiktivní příklad)  
Fig. 11 Communication of cost risks (fictitious example)

Doba realizace u megaprojektů je 10 let a více. V případě stavby GTB to je 25 let, téměř jedna generace. Je jasné, že požadavky na organizaci a řízení stavby se během této doby mění. Na začátku jsou důležité odborné schopnosti, které jsou vyžadovány od investorské organizace, schopnosti zpracování studií proveditelnosti stavby, úvodního projektu a systému řízení rizik. Ve fázi výběrových řízení a výstavby jsou hlavním úkolem projektové řízení a řízení stavby. Ke konci stavby se nejdůležitějším stávají postupy uvádění do provozu. Všechny tyto rozdílné úkoly vyžadují zvláštní schopnosti personálu celého projektu. Prakticky nikdo není schopen pokrýt všechny tyto různé aspekty. Včasné plánování personálních zdrojů na všech úrovních organizace projektu a přizpůsobení organizace času jsou nutností.

Velká rizika megaprojektů a obzvláště velkých projektů podzemních staveb vyžadují zkušený personál na všech úrovních a u každého partnera. V průběhu posledních dvou desetiletí skončilo svá studia ve Švýcarsku velmi málo stavebních inženýrů. Nedostatek zkušených inženýrů byl zřejmý. Projektanti byli často nuceni přidělovat velké odpovědnosti nezkušeným inženýrům. Z tohoto a jiných důvodů potřebuje investorská organizace svůj vlastní vysoce kvalifikovaný profesionální personál.

Ponaučení:

- Certifikáty řízení kvality podle ISO 9000 jsou základní věcí ve fázi výběrového řízení, ale nejsou dostatečné ve fázi výstavby.
- Důležité jsou audity zavádění systémů řízení kvality, specifických pro projekt, nezávislými institucemi v počáteční fázi.
- Včasné a podrobné plánování procesů projektování je nutné pro zajištění společné základny pro dodávání výkresů. V harmonogramu projekčních prací musí být uvažován čas pro kontrolní smyčky.
- Organizace zapojené do projektu se musí přizpůsobit fázi projektu, od developera projektu po projektanta, od vedoucího stavby a po konečné uvádění do provozu.
- Velká rizika megaprojektů vyžadují zkušený personál v každé fázi a u každého partnera.
- Všeobecný nedostatek zkušených inženýrů vyžaduje schopný profesionální personál na klíčových pozicích u investora.

change orders by the different stakeholders.

- The funding model has to be checked continuously in order to allow adaptations on time.
- Cost compensation programs within a single subproject have only a limited impact.
- Relevant cost reductions are only possible by strategic decisions on the project.
- Megaprojects should be subdivided in subprojects in order to allow relevant cost reductions by postponing or the cancellation of subprojects (design to cost).
- The Swiss funding model has proven its value but has reached its limits [3].
- The actual income situation of railway operators in Europe does not allow the payback of the investments

for mega-tunnel projects. Cost elements had to be shifted from the future operator to the taxpayers [3].

### 3.7 Requirements on the design processes and the project organisation

Design and construction processes have to guarantee the required high quality and error free construction processes. The main challenge is once more the long project duration of megaprojects. Clear process models based on the requirements of ISO 9000 were implemented at an early stage on the side of the client and his design engineers. Contractor's bids were only accepted from contractors with certified quality management systems based on ISO 9000. Additionally the client had the right to carry out some audits on its own, checking the implementation of the quality management systems on the various sites.

The technical specifications based on the practically unchanged Swiss SIA codes. The FOT required with a special "experts directive" a check of the design engineer's static calculations by independent experts in order to ensure the correct application of the relevant safety codes. This process was necessary but time consuming. Thanks to an early elaboration of detailed design schedules no delays in the delivery of the drawings had to be noticed.

The contractor had the right for the optimisation of his production processes. In certain cases the contractors took their decisions late, causing additional efforts for the design engineer. The design engineer mastered these cases and no drawing arrived to late on the site. The consequences were relevant higher design costs.

Megaprojects have a realisation time of 10 years and more; in the case of the GBT 25 years – nearly one generation. It's obvious that the requirements on the project organisation and management change during this time. At the beginning of the project feasibility studies, preliminary design and risk management are important skills required from the client's organisation. In the tender and construction phase project and contract management are the main tasks. Towards the completion of the project commissioning procedures become most important. All these different tasks require special skills from the project staff. Practically nobody is able to cover all the different aspects. Forward-looking planning of the personal resources at all levels of the project organisation and on time adaptations of the organisation are a must.

The high risks of megaprojects and especially of large underground projects require experienced staff on each level and by each





Obr. 12 Konvenční ražba tunelu Sedrun sever (vlevo), instalace závěsu plnoprofilového tunelovacího stroje (vpravo)

Fig. 12 Conventional drive Sedrun North (left), TBM backup installation in Faïdo (right)

- Standardní inženýrské smlouvy nereflakují zvláštní požadavky megaprojektu (obzvláště ne vlivy dlouhého trvání). Jsou potřebné úpravy specifické pro daný projekt, aby byla zaručena požadovaná úroveň kvality po dobu trvání celého projektu.

### 3.8 Požadavky na stavbu a řízení smluv na stavbu

Podzemní stavba se liší od všech jiných typů staveb z toho důvodu, že stavební materiál, hornina, často není dobře známý nebo se může v krátkém úseku měnit. Kromě toho je chování horninového masivu také často výsledkem vzájemného působení s použitými stavebními metodami. Důležitá zbytková rizika jsou pro velké podzemní stavby charakteristická. Modely smluv musí k této speciální situaci podzemních staveb přihlížet a měly by umožnit rychlou reakci na změněné nebo nepředvídané horninové poměry.

Spravedlivé sdílení rizik a partnerství jsou užitečnými nástroji k usnadnění rychlých rozhodnutí na stavbě. Spravedlivé sdílení rizik mezi objednatelem a zhotovitelem pomáhá při vyhýbání se ne nezbytným zvyšováním v nabídkách uchazečů, a proto při snižování celkových nákladů na projekt.

Švýcarská norma SIA 118/198 (bývalá norma 198) poskytuje standardní řešení a řídí se široce přijímaným principem sdílení rizik prací na podzemních stavbách, znamenajícím:

1. Horninový masiv patří objednateli. Změněné horninové podmínky, mimo hranice vymezené smlouvou, jsou proto rizikem objednatele.
2. Prostředky a metody použité pro zvládnutí horninových poměrů v rozsahu smluvních hranic patří do sféry rizik zhotovitele.

Tento princip funguje, pokud objednatel poskytne úplný a přesný popis horninových poměrů a očekávaného chování podle jeho projektu. Všechna relevantní data z geologického průzkumu a všechny ostatní relevantní hraniční podmínky musí být přístupné pro zhotovitele.

Volba prostředků a metod, zvláště metod ražby, je jedním z velkých rizikových faktorů u podzemních megaprojektů. Zvolené metody by měly být schopné překonat řadu očekávaných horninových podmínek. Spolu s katalogem doplňujících stabilizačních opatření by zvolené metody ražby měly být také schopné zvládat obtížné a neočekávané změněné horninové poměry. Pokud objednatel má přesvědčivé důvody, měl by zvolit metodu ražby ještě před vyhlášením soutěže. Takovými důvody mohou být rizika vztahující se k horninovým poměrům, ale i environmentální nebo logistické důvody. Jestliže horninové poměry dovolí použití různých metod, a hlavně pokud se ekonomické požadavky stanou rozhodujícími, dodavatelé by měli mít právo zvolit si vlastní oblíbenou metodu. Nicméně objednatel vždy musí definovat spravedlivé podmínky pro soutěž (nabízení dvou metod nebo povolení

partner. During the last two decades too few civil engineers finished their studies in Switzerland. A lack of experienced engineers had to be recognised. The design engineers were often forced to give high responsibilities to inexperienced engineers. For this and other reasons the client's organisation needs his own highly qualified professional staff.

Lessons learned:

- Quality management certificates according to ISO 9001 are essential in the tender phase but not sufficient during the construction phase.
- Audits of the implementation of the project specific quality management systems by independent institutions at an early stage are important.
- An early and detailed planning of the design processes is a must in order to have a common base for the delivery of the drawings. Realistic time budgets for checking loops must be regarded in the design schedule.
- Project organisations have to be adapted phase dependent, from the project developer to the designer, to the construction manager and finally for the commissioning.
- The high risks of megaprojects require experienced staff in each phase at each partner.
- The general lack of experienced engineers requires competent professional staff in the client's key functions.
- Standard engineering contracts don't reflect the special requirements of a megaproject (especially not the effects of a long duration). Project specific adaptations are necessary, in order to guarantee the required quality level during the whole project duration.

### 3.8 Requirements on the construction and the management of the construction contracts

Underground construction is different from any other type of construction, due to the fact, that the construction material, the ground, is often not well known or may change within a short distance. Additionally the behaviour of the ground is also a result of the interaction with the construction methods applied. Important residual risks are characteristic for large underground projects. Contract models have to take into account this special situation of underground construction and should allow a fast reaction on changed or unforeseen ground conditions.

Fair risk sharing and partnering are helpful tools to facilitate fast decisions on site. Fair risk sharing between the client and the contractor helps to avoid unnecessary risk surcharges in the contractor's bid and therefore to reduce the total project costs.

uchazečům nabízet alternativy v případech, kde objednavatel uvádí v soutěžních podmínkách pouze jednu metodu).

Společnost ATG se rozhodla povolit pouze řešení vycházející ze známých technologií. Na největším tunelu na světě by se neměly provádět žádné experimenty. V souladu s těmito principy společnost ATG dala ve většině případů do soutěžních podmínek nejméně dvě proveditelné metody (např. konvenční ražbu a ražbu plno-profilovými TBM, nebo dvě technicky rozdílná řešení pomocí TBM), aby tak získala přímo porovnatelné nabídky. Výběr metody ražby pro stavbu GTB se těmito principy úspěšně řídil. Na každém z pěti stavebních oddílů se zvolila optimální metoda, a to i ve stavebních oddílech s neočekávanými horninovými poměry.

Klíčovým faktorem úspěchu je partnerství. Partnerství znamená definování společných cílů, společné monitorování referenčních výkonů a společné řešení problémů v případě odchylek. Partnerství vyžaduje kulturu důvěry a otevřených diskusí na každé úrovni. Velké odchylky od cílových nákladů a cílů na stavbě GBT způsobovaly vážné smluvní dohady. Řešení se dala nalézt až po tvrdých a časově náročných jednáních, která zanechávala oba partnery na stejné úrovni „nešťastnosti“. Podrobné smlouvy o jednotkových cenách, transparentní modely pro kalkulace jednotkových cen a časově závislých nákladů, jasné definování sdílení rizik a kultury partnerství, tento výsledek umožnily.

Ne všechny rozpře se daly vyřešit přímo mezi smluvními partnery. Pro tyto případy se smluvní dohodou na každém hlavním stavebním oddílu ustavily rady pro řešení sporů, řídicí se Švýcarským doporučením pro řešení sporů (VSS 641'510). Do konce roku 2011 členové rady pro řešení sporů (RRS) řešili 12 případů od 0,5 mil. CHF do 84 mil. CHF. V té době neexistoval žádný nevyřešený soudní případ. RRS jedná jako rozhodčí komise pouze do omezených částek, které jsou předmětem sporu. Ve všech ostatních sporech dává RRS doporučení, které může být smluvními partnery přijato, nebo odmítnuto. V případě odmítnutí doporučení RRS jedním nebo oběma smluvními partnery jsou otevřeny dveře pro soudní jednání. Největší efekt RRS byl vlastními silami vyvinutý psychologický tlak na organizaci na staveništi, aby partneři hledali vlastní řešení.

Přes pozitivní zkušenosti s řízením smluv na stavbě GBT je i ve Švýcarsku možné pozorovat trend k rychlému přesunování rozdílu na právníky a na rozhodování soudem. Zkušenosti ukazují, že soudní rozhodnutí nejsou ani rychlejší, ani lacinější, ani lepší pro pověst stavby a velmi často nejsou ani lepší než kompromisy přijaté partnery přímo nebo na základě doporučení RRS. Nastal čas přemýšlet o skutečném trendu a změnit kulturu zpět na partnerství, kde vedení stavby s pomocí technických specialistů a právníků nachází dobré kompromisy.

Ponaučení:

- Smlouvy o jednotkových cenách, včetně regulace časově závislých nákladů, poskytují tu největší flexibilitu v případě změněných podmínek.
- Časově závislé náklady často způsobovaly ty největší diskuse.
- Spravedlivé smlouvy vyžadují spravedlivé sdílení rizik; standardní řešení podle švýcarských norem prokázala svou hodnotu.
- Rada pro řešení sporů (RRS) je užitečnou institucí, která pomáhá vyhýbání se soudním případům.
- Doporučení RRS nezaručují konečné řešení sporu, jelikož smluvní partneři mají volnost při rozhodování zda doporučení přijmou, nebo ne.
- Partnerství je u megaprojektu klíčovým faktorem úspěchu.

The Swiss Code SIA 118/198 (former SIA 198) gives a standard solution and follows the widely accepted principle of risk sharing for underground construction work, meaning:

1. The ground belongs to the client. Changed ground conditions outside the contractual limits are therefore client's risk.
2. Means and methods applied for ground conditions within the contractual limits belong to the contractor's risk sphere.

This principle works only if the client gives a complete and accurate description of the ground conditions and the expected behaviour according to his project. All relevant data from the ground investigation and all other relevant boundary conditions must be accessible to the contractors.

The selection of means and methods, especially the selection of the excavation method is one of the big risk factors for an underground megaproject. The selected methods should be able to overcome the whole range of the expected ground conditions. Together with a catalogue of auxiliary construction methods the selected excavation methods should also be able difficult to master unexpected changed ground conditions. If the owner has compelling reasons he should select the excavation method before tendering. Such reasons can be risks related to the ground conditions, but also environmental or logistic requirements. If the ground conditions allow different methods and mainly the economic requirements become decisive, the contractors should be entitled to select his favourite method. Nevertheless the client has anyway to define fair conditions for the competition (tendering two methods or allowing contractors alternatives in cases where the client tenders only one method).

ATG took the decision to allow only solutions basing on known technologies. No experiments should be made on the longest tunnel of the world. Following these principles ATG tendered in most of the cases at least two feasible methods (e.g. conventional tunnelling and TBM, or two technically different TBM solutions) in order to receive directly comparable bids. The selection of the excavation method for the GBT followed these principles successfully. In each of the five different construction lots the optimum method was chosen, also in the construction lots with unexpected worse ground conditions.

Partnering is a key factor for success. Partnering means the definition of mutual objectives, the joint monitoring of the performance benchmarks and the common problem resolution in the case of divergences. Partnering needs a culture of confidence and open discussions on each level. Big deviations from the cost and time



Obr. 13 Právní spory  
Fig. 13 Legal disputes



### 3.9 Požadavky dané veřejným míněním

Megaprojekty přitahují pozornost veřejnosti již ze své definice. Negativní veřejné mínění může vytvořit velké riziko pro úspěšné dokončení stavby. Již jen z důvodu velikosti stavby mohou megaprojekty vytvářet obavy a negativní pocity. Otevřená komunikace, respekt vůči odlišným názorům a konstruktivní dialogy se zúčastněnými stranami, začínající již v nejčasnějších fázích stavby, jsou nezbytnou podmínkou pro úspěšný vývoj stavby.

Švýcarsko, jako malá země, zná politický systém se širokými právy lidí na účast při rozhodování. Byli to švýcarští voliči, kdo měl konečné právo rozhodnout o stavbě samé a modelu jejího financování. Výsledkem byla většina hlasů mezi 57 % (nové daně) a 63,5 % (stavba a financující fond). Tyto výsledky byly možné pouze proto, že stavba obsahovala nezbytné kompromisy. Aspekty životního prostředí měly velkou prioritu a bylo přihlíženo k zájmům různých stran všude tam, kde to bylo možné. Jednání o kompromisech potřebovala svůj čas a způsobovala některá zdržení v harmonogramu stavby. Alternativa právních procesů a soudních rozhodnutí by ale nebyla rychlejší, pouze by vytvářela velká rizika pro pověst stavby.

Ponaučení:

- Tři národní hlasování o stavbě a modelu jejího financování, s většinami hlasů téměř až 2 : 1, dala stavbě velkou podporu obecně i v obtížných situacích.
- Řešení dojednaná s oponenty stavby vyžadují čas a mohou způsobovat zpoždění.
- Dohodnuté kompromisy jsou dlouhodobě lepší než soudní rozhodnutí.
- Se zájmy zúčastněných stran se musí nakládat seriózně. Pomáhá plánování u kulatého stolu a otevřené diskuse.
- Veřejně financované stavby by měly být otevřené veřejnosti. Návštěvnická centra a několik dnů otevřených dveří na stavenišťích pro veřejnost vytvářejí pozitivní podporu veřejnosti stavbě.

### 4 ZÁVĚR/DOPORUČENÍ

U megaprojektů existuje portfolio důležitých rizik bezprostředně hrozících čistě z důvodů jejich velikosti. Profesionální řízení rizik přihlížející ke všem různým typům rizik, ale i neidentifikovaných rizik, je nutností od samého počátku stavebního projektu. Jestliže se nezavede řízení rizik včas, budou rizika ignorována s tím, že to bude mít závažné důsledky. Hlavní ponaučení získaná na projektu GTB jsou:

- Včasné profesionální řízení rizik poskytuje adekvátní informace o rizicích a je „pojistkou“ pro vedení projektu.



Obr. 14 Megaprojekty potřebují podporu veřejnosti – návštěvnické centrum Pollegio (ATG)

Fig. 14 Megaprojects need public support – visitor centre Pollegio (ATG)

targets at the GBT caused important contractual disputes. Solutions could be found after tough and time-consuming negotiations leaving both partners on an equal level of “unhappiness”. The detailed unit price contracts, transparent models for the calculation of the unit prices and of the time dependent costs, a clear definition of the risk sharing and a culture of partnering made this result possible.

Not all disputes could be solved directly between the contractual partners. For those cases, dispute resolution boards were implemented by contractual agreement in each main construction lot following the Swiss Recommendation on Dispute Resolution (VSS 641'510). Until the end of 2011 the members of the dispute resolution board (DRB) treated 12 cases from CHF 0.5 Mio up to CHF 84 Mio. No court case was pending at that moment. The DRB acts only up to limited amounts in dispute as an arbitration panel. In all other disputes the DRB gives a recommendation, which can be accepted or rejected by the contractual partners. In the case of rejection of the DRB's recommendation by one or both contractual partners the doors are open for a court case. The biggest effect of the DRB was the self-made psychological pressure on the site organisation to find an own solution.

Despite the positive experiences with the contract management of the GBT, also in Switzerland a trend to shift differences quickly to the lawyers and to court decision can be observed. Experiences show, that court decisions are not faster, not cheaper, not better for the project reputation and are substantially often not better than the compromises taken by the contractual partners directly or based on a DRB recommendation. It's time to think about the actual trend and to change the culture back to partnership where the site management with the help of technical specialists and lawyers find fast and good compromises.

Lessons learned:

- Unit price contracts including regulations of the time dependent costs give the highest flexibility in the case of changed conditions.
- Time dependent costs caused often the biggest discussions.
- Fair contracts require a fair risk sharing; the standard solutions of the Swiss Codes have proved of value.
- A dispute resolution board (DRB) is a useful institution helping to avoid court cases.
- DRB recommendations do not guarantee the final dispute resolution, as the contractual partners are free to agree on the recommendations or not.
- Partnering is a key factor for success in a megaproject.

### 3.9 Requirements of the public opinion

Megaprojects attract public attention per definition. A negative public opinion can create a high risk for the successful project completion. Due to the sheer size of the project, megaprojects may create fears and negative feelings. Open communication, respect for conflicting opinions and constructive dialogs with all stakeholders starting at the earliest project phases are preconditions for a successful project development.

Switzerland as a small country knows a political system with wide participation rights for the people. The Swiss voters had finally to decide on the project itself and its financing model. Majorities between 57.2% (new taxes) and 63.5% (project and financing fund) approval were the result. These results were only possible because the project contained the necessary compromises. Environmental aspects had a high priority and the interests of the different parties were considered as far as possible. Negotiation of compromises needed its time and caused some delays in the construction schedule. The alternative of legal processes and court decisions would not have been faster, but would have created a high reputation risk for the project.



Obr. 15 Vysoce motivovaný profesionální personál – klíčový faktor pro úspěch  
Fig. 15 Highly motivated professional staff – the key factor for success

- Velké počty rizik se dají řídit včas a s úsilím, které je možné si dovolit.
- U megaprojektů je úměrně vyšší riziko než u „normálních“ staveb. Tato skutečnost by měla být brána v úvahu.
- „Cíl Nula“ musí být přijímán jako cíl pro bezpečnost a ochranu zdraví (Crossrail).
- Znovupoužití rubaniny je technicky možné a je nutností z hlediska ochrany přírodních zdrojů.
- Moderní metody ražby a logistika prokázaly své kvality i v těch nejtěžších podmínkách.
- Smlouvy o jednotkových cenách se spravedlivým sdílením rizik, partnerství a zavedení rady pro řešení sporů mohou pomoci při vyhýbání se časově náročným soudním případům.
- Realizace megaprojektu se stává obtížnou, pokud není možná bez pozitivního veřejného mínění.
- Nejdůležitějším klíčovým faktorem pro úspěch je stále vysoce kvalifikovaný a motivovaný personál na všech úrovních organizace projektu.

**HEINZ EHRBAR,**  
*heinz.ehrbar@heinzehrbarnpartners.com,*  
*Heinz Ehrbar Partners LLC<sup>1)</sup>*

<sup>1)</sup> od roku 2001 do března 2012: AlpTransit Gotthard Ltd., Luzern, hlavní vedoucí stavby bázevového tunelu Gotthard (2006 – 03/2012)

#### Lessons learned:

- 3 national votes on the project and its financing model with majorities up to nearly 2 : 1 gave a strong support to the project, also in difficult situations.
- Negotiated solutions with opponents of a project need time and can cause delays.
- Negotiated compromises are better on the long term than court decisions.
- Stakeholder concerns have to be treated seriously. Round table planning and open discussions are helpful.
- Public financed projects should be open to the public. Visitor centres and some open days of the sites to the public create a positive public support to the project.

#### 4 CONCLUSIONS / RECOMMENDATIONS

Megaprojects have an immanent important risk portfolio due to their sheer size. A professional risk management taking into account all different types of risks, also the unidentified risks, is a must from the earliest beginning of a project. If risk management is not implemented on time risks will be ignored taking severe consequences into account. The main lessons learned from the GBT are:

- Professional risk management provides the adequate information on the risks on time and is the “insurance policy” for the project management.
- Big numbers of risks can be managed on time with an affordable effort.
- Megaprojects have proportionally significant higher risks than “normal” projects.
- This fact should be communicated.
- “Target Zero” must be the future state of mind on health and safety (Crossrail).
- The reuse of the muck is technically feasible and a must in order to save natural resources.
- The modern tunnelling technique and logistics has proved of value even in the most difficult conditions.
- Unit price contracts with fair risk sharing, partnering and the implementation of a dispute resolution board help to avoid time-consuming court cases.
- The realisation of a megaproject becomes difficult if not impossible without a positive public opinion.
- The most important key factor for success is a still a highly qualified and motivated staff on all levels of the project organisation.

**HEINZ EHRBAR,** *heinz.ehrbar@heinzehrbarnpartners.com,*  
*Heinz Ehrbar Partners LLC<sup>1)</sup>*

<sup>1)</sup> from 2001 until March 2012: AlpTransit Gotthard Ltd., Luzerne, Chief Construction Manager of the Gotthard Base Tunnel (2006 – 03/2012)

#### LITERATURA / REFERENCES

- [1] Flyvbjerg, B., Bruzelius, N., Rothengatter, W. *Megaprojects and Risk – An Anatomy of Ambition*. Cambridge University Press, 2003
- [2] Ehrbar, H., Kellenberger, J. *Risk Management During Construction of the Gotthard Base Tunnel*. Karlsruhe 2003
- [3] Zurbrugg, F. *Can we afford a fiscally bottomless pit?* NRLA-Conference, Federation Infra Switzerland, Lucerne 2010
- [4] Ehrbar, H., Beeler, P., Neuenschwander, M., Bianchi, M. *Tough decisions for mega-projects, A methodology for decision making on time-relevant measures at the Gotthard Base Tunnel*. World Tunnel Congress, Vancouver 2010
- [5] Status Report 2010 of the NRLA-Delegation of the Swiss Parliament (“NAD\_Standbericht”), Berne 2011
- [6] Lieb, R., Ehrbar, H. *Gotthard Base Tunnel, Risk Management for the World's longest Railway Tunnel – Lessons Learnt*. World Tunnel Congress, Helsinki 2011
- [7] Ehrbar, H. *New railway link through the Alps (NRLA) – The Swiss approach for financing and contracting large tunnel railway infrastructure projects*. Athens 2012
- [8] Ehrbar, H., Sala, A., Wick, R. *Drives in the Gotthard Base Tunnel – a Review*. Proceedings Swiss Tunnel Congress. Lucerne 2012
- [9] Status Report 2011 of the NRLA-Delegation of the Swiss Parliament (“NAD-Standbericht”). Berne 2012



## PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2013

## UNDERGROUND CONSTRUCTIONS PRAGUE 2013

## KEYNOTE LECTURE No. 4:

## POTŘEBA ZVÝŠENÉHO VYUŽITÍ PODZEMNÍHO PROSTORU THE INCREASED USE OF UNDERGROUND SPACE NEEDS

MARTIN KNIGHTS

Růst požadavků na městské prostory se bude zrychlovat. Očekává se, že do roku 2050 bude 70 % světové populace žít ve městech a v zastavěných oblastech (v současnosti je to více než 50 %). To znamená, že potřeba ochrany prostoru na povrchu je pro města prvořadá, pokud mají být atraktivní a mít udržitelné kvality. Naše města tedy potřebují, aby v budoucnu bylo do strategických městských plánů zahrnuto územní plánování pro povrch i pro podzemí. Tlak na megaměsta, jak jsou definována OSN, bude největší u těch, v jejichž strategiích pro budoucnost není využití podzemí tím hlavním. Organizace ITA podporuje více integrovaný a aktivní přístup našich architektů, plánovačů a inženýrů. Existují dobré příklady jako měřítka pro porovnávání toho, co je možné. Aby se to mohlo uskutečnit, bude zapotřebí dosáhnout v současné strojní technologii pokroku, umožňujícího vytvoření podzemních prostor v složitých prostředích.

Společnost ITA stojí v čele úsilí o usnadnění iniciativ našeho oboru, aby se využití podzemí stalo atraktivnějším, nákladově efektivnějším a přijatelnějším pro veřejnost z hlediska bezpečí. Nově ustavená technická komise ITA rází cestu k vytvoření prostředí podporujícího a podílejícího se na inovacích v našem oboru.

Tento příspěvek shrnuje aspekty toho, jak se to dosahuje.

### 1 ÚVOD – NASTAVENÍ SCÉNY

Současné politické vedení Spojeného království v čele s ministerským předsedou Davidem Cameronem jednoznačně podporuje národní i mezinárodní profil tunelového stavitelství Spojeného království (publikace ministerstva pro obchod, inovace a techniku Spojeného království z dubna 2012). Vládá to dělá proto, aby ukázala, že správná praxe doma může být prospěšná pro Spojené království v oblasti exportní diplomacie na rostoucích mezinárodních trzích. Současný londýnský boom v podzemních ražbách vypadá, jako by měl trvat 10 let i více, což je odlišné od doby před 20 lety, charakterizované zastavováním a znovurozjížděním staveb. Tunelářství dnes může plánovat budoucnost s důvěrou a může investovat do nových nápadů a inovací tak, aby se zajistilo místo Spojeného království na budoucích národních i světových trzích. Když má trh tuto úroveň důvěry, je ochotný věnovat se výzkumu a vývoji s cílem vyvíjet nákladově efektivní a kvalitnější produkty. Obor bude investovat do výcviku budoucích talentů, bude přitahovat nové inženýrské a vědecké talenty, bude moci nabízet mladým nováčkům přitažlivou kariéru (*můžeme nabízet dokonce lepší výcvik v oblasti řízení rizik než bankovníctví!*). Tento pohyb bude pokračovat, pokud budeme schopni zachovat dodávky bezpečných, kvalitních, nákladově efektivních a včas dokončovaných staveb. Když to dokážeme, bude posílena důvěra veřejnosti, vlády a zákazníků ve využívání podzemního prostoru. Tento úspěch musí náš obor ukazovat proaktivně.

Jedná se o *bod zvratu pro britský a mezinárodní tunelářský průmysl*, jak řekl bývalý předseda Britské tunelářské společnosti Bill Grose na konferenci BTS v roce 2011? (Lit. 2) Myslím že ano!

The demand for urban space will accelerate. It is anticipated that 70% of the world's population will live in cities and urban areas by the year 2050 (presently >50%). This means that the need to conserve surface space is paramount if cities are to be attractive and have sustainable qualities. Therefore, our cities need to incorporate surface and subsurface planning into the strategic urban plans in future. The pressure on mega cities, as defined by the UN, will be greatest and where the use of underground is not foremost in their future strategies. ITA is promoting a more integrated and proactive stance by our architects, planners and engineers. There are good examples to benchmark what is possible. Making this possible will require advances of current mechanised technology to allow the underground spaces in challenging environments to be achieved.

ITA is at the forefront to facilitate industry initiatives to make the use of the underground more attractive, cost efficient and energy efficient, acceptable to the public to be safe. The newly formed ITAtech Committee is leading the way to create an environment that promotes and shares innovation in our industry.

This paper summarises key aspects of how this is being achieved.

***„Vidím budoucnost a ta je velmi podobná přítomnosti,  
... Jen je delší.“ Woody Allen***  
***“I see the future, and its very much like the present,  
...only longer” Woody Allen***

### 1 INTRODUCTION – SETTING THE SCENE

The UK's current political leadership, under Prime Minister David Cameron, is clearly supporting the national and international profile of UK tunnelling (BIS UK Govt publication April 2012) *Ref*. The Government is doing this to show that good practice in the home country can be to the UK's benefit in exporting skills to the expanding international markets. The current London tunnelling boom looks as though it will be sustained for 10 years or more ;which is different to the *stop- start* days of 20 years ago. The tunnelling industry can now plan ahead in confidence and invest in new ideas and innovation to secure UK's place for future national and global markets. When the market has this level of confidence then it is willing to engage in Research to develop cost effective and better quality products; Industry will invest in training future talent; attract new engineering and scientific talent; can offer a good career for young recruits (*we can even offer better risk management training than the banking profession!*.) This momentum will continue if we can maintain delivery of the safe, quality, cost effective and timely projects. If we do this then the public, government and client confidence in the use of underground space will strengthen. Our industry must communicate this success proactively.

So, is this, as Bill Grose The former British Tunnelling Society's Chairman said at the 2011 BTS Sir Harold Harding Lecture in London *“a tipping point for the British and International Tunnelling Industry“* (Ref. 2 ?).

I think it is!

### 2 WILL THE PAST 40 YEARS LEAD US TO THE NEXT 40 YEARS?

The technical developments and market influences over the past 40 years are not an indication of where tunnelling and the use of underground

## 2 ZAVEDE NÁS UPLYNULÝCH 40 LET K DALŠÍM 40 LÉTŮM?

Vlivy technického rozvoje a trhu v uplynulých 40 letech nenaznačují, kde se bude nacházet tunelování a využití podzemního prostoru do roku 2053. Až dosud byl tunelářský ‚trh‘ kruhový a lineární, například metra, kanalizační řady apod. Poslední inovací plnopřímých tunelovacích strojů (TBM), která se nalézala v centru oblasti kruhových a lineárních tunelů, bylo tvořivé úsilí pánů Martina Herrenkenchta, Richarda Robbinse, Richarda Lovata, Rema Grandorih a vynalézacích strojních kouzelníků z Japonska. Rychlosti postupu, bezpečnost, zmenšování pohybů horniny a velké efektivity dosahované pomocí IT u delších tunelů apod. se v průběhu několika minulých let s rostoucím trhem neustále zlepšovaly anebo zvyšovaly a náš průmyslový obor ambiciózně reagoval.

Budoucnost však není striktně kruhová! Bude hezky zaoblená, elegantnější a snad kompaktní. Vzrůstající zahušťování světových megaměst znamená, že do roku 2052 bude více než 70 % světa žít v městských oblastech. Plánovači budou muset zajistit, aby města fungovala efektivně s využitím ‚čtvrtého rozměru‘, ve kterém bude umístována infrastruktura, která nemusí nebo by neměla být na povrchu, jelikož města budou potřebovat prostor na povrchu pro udržitelný život a pro práci nebo prostor pro své ‚zelené plíce‘.

Hongkong, Singapur a Helsinky ukazují cestu svými územními plány a detailními plány podpory využívání městských podzemních prostor. Vedení Hongkongu proaktivně plánuje vyřazení povrchových úprav vody a čistíren odpadních vod z provozu a prodej jejich pozemků s tím, že úpravní a čistírní budou přemístěny do podzemí. Činnost realitních kancelářů pro podzemní prostor již byla zahájena. Namísto budování nemovitosti s krásným výhledem byste mohli umístit zařízení do vynikající geologie!

Singapur si říká *Podzemní město* a vidí, že podzemí značně vyřeší problémy ostrova s udržitelným a kvalitním životem s několika možnostmi zajišťujícími, že se v budoucnu sníží jeho spoléhání se na budování nutné infrastruktury na povrchu.

Novátorské techniky k budování městských ‚kaveren‘ nebo kompaktního podzemí jsou nyní evidentní – obzvláště v Londýně. Ostění z konstrukčního stříkaného betonu (SCL) k zajištění složitých geometrických tvarů podzemních staveb jsou známou technologií po více než 40 uplynulých let. V posledních 5–10 letech byly dosaženy velké skoky v použití SCL, které budou v dalších 40 letech stále zlepšovány. Současné práce na stavbách komunikace Tottenham Court Road a podzemní stanice Bond Street v Londýně jsou mistrovskými díly podzemního ‚sochařství‘ ze stříkaného betonu a stanou se světovými měřítky pro budoucí skoky vpřed v technologii SCL sloužící k podpoře využívání podzemního prostoru v hustě obydlených městských oblastech.

Větší množství infrastruktur, technologií a inovací bude pouze součástí úsilí po dalších 40 let tunelování. Potřebujeme dodat osobám s rozhodovací pravomocí a vlastníkům důkazy a důvěru v to, že využívání podzemního prostoru není riskantní, že je nákladově efektivní a je udržitelným příspěvkem k budoucímu fungování našich rostoucích městských center.

Věci se nemění, měníme a upravujeme je my sami. Takže právě houževnaté a novátorské využití *čtvrtého rozměru* by mohlo být hlavní součástí dalších 40 let tunelování!

## 3 ITA A TECHNOLOGIE

### 3.1 Gezeze

Pracovní skupiny jsou již tradičně mluvčími ITA (Mezinárodní tunelářské asociace) ve věcech technologie. Tyto skupiny byly exekutivou ITA směřovány na přípravu směrnic pro stanovení měřítek (benchmarking) a ovlivňování současného myšlení a pro komunikování názorů na dobrou praxi v oblasti materiálů, zařízení, postupů ražeb, rizik apod. Pracovní skupiny se skládají z osob nominovaných každou z členských zemí. Jsou aktivní a jejich aktivita má tendenci zvyšovat se v době každoročního Světového tunelářského kongresu. Příprava jedné směrnice od návrhu přes schválení až do publikování může trvat 3–4 roky. Výstupy pracovních skupin jsou neocenitelné a poskytují dobré fórum pro představení myšlenek organizace ITA. Průmysl ale hladově po proaktivnějším řízení a již po mnoho let chce hrát aktivnější roli v propagaci technologie. Průmysl potřebuje

space will be by 2053. Up to now the tunnelling `market` has largely been *circular and linear* eg metros, sewers, etc. The recent TBM innovation that has been at the centre of the *circular and linear* has been the inventive endeavours of Martin Herrenkencht, Richard Robbins, Richard Lovat, Remo Grandori and the resourceful mechanical magicians from Japan. Advance rates, safety, mitigating ground movement, huge efficiencies through IT longer tunnels etc have relentlessly improved/increased in the last few years as the market grew and our industry competitively responded.

However, the future is not quite circular! It will be more oval, elegant, well rounded and possibly compact. The increasing densification of global mega cities means that by 2052 >70% of the world will live in urban areas. Planners will have to ensure that cities operate efficiently using the `fourth dimension` in which to locate infrastructure that need`nt or should`nt be at surface because the cities will need surface space for sustainable living and for working ,or spaces for `lungs` .

Hong Kong, Singapore and Helsinki lead the way with Master Plans and blue prints for encouraging the use of urban underground space .The Hong Kong Govt is proactively planning to decommission surface Water and Waste Water plants , and sell the land and relocate the Plants underground . The Real Estate for Underground Space has started. Instead of a property with a nice view you could locate a facility in nice geology!

Singapore calls itself *Underground City* and sees that the subsurface will significantly resolve sustainable and quality of living issues for an island with few options, but to reduce its future reliance on building unnecessary infrastructure at surface..

Innovative techniques to achieve urban `caverns` or compact underground are evident now – particularly in London. Sprayed Structural Concrete Linings (SCL) to support complex underground geometrical shapes are a known technology over the past 40 years .Huge leaps in SCL application have been developed in the last 5-10years and will continue to improve in the next 40 years . The current works at Tottenham Court Road and Bond St London Underground Stations display masterpieces of SCL subterranean `sculpture` and will be Global benchmarks for future leaps forward in SCL technology to support the use of Underground Space in densely populated urban areas.

More infrastructure, technology and innovation will only be part of the driver for the next 40 years of tunnelling. We need to give decision makers and owners the evidence and confidence that using underground space is`nt risky; that it is cost effective; and it is a sustainable contribution to the future functioning of our growing urban centres.

Things don`t change, we change and we adapt. So resilient and innovative use of the *fourth dimension* might just be major part of the next 40 years for tunnelling!

## 3 ITA AND TECHNOLOGY

### 3.1 Genesis

Traditionally the mouthpiece for the International Tunnelling Association (ITA) position on aspects of technology has been the Working Groups. These Groups have been directed by the ITA Executive Council to prepare guidelines to benchmark and influence current thinking and as a position paper for good practice for materials, equipment, tunnelling procedures, risk etc. The Working Groups are populated by nominees from each of the Member Nations. They are active; their activity tends to increase around the time of the annual World Tunnelling Congress and the preparation of a guideline can take 3-4 years to draft, agree and publish. The output of Working Groups is invaluable and provides a good forum and representation of the ITAs thinking. However, Industry is hungry for more proactive guidance and has for many years wanted to play a more active role in the promotion of technology. Industry needed a moment in time to demonstrate its effectiveness and energy to serve ITA in a greater role than just as an exhibitor, advertiser and sponsor at the WTCs. That moment came at the STUVA Conference in Hamburg in 2009.

The International Journal `World Tunnelling` hosted a round table during the conference to invited industry leaders and representatives. I co chaired the round table as the president of ITA with the editor of the journal. At the end of a 3 hour question and answer session, which was



boval okamžik v čase, aby demonstroval svou efektivitu a energii, sloužící organizaci ITA ve větší roli než v roli pouhého vystavovatele, inzerenta a sponzora na Světových tunelářských kongresech. Ten okamžik nastal na konferenci STUVA v Hamburku v roce 2009.

Mezinárodní časopis `World Tunnelling` hostil v průběhu konference jednání u kulatého stolu, ke kterému byli pozváni lídři a zástupci průmyslu. Já jsem spolupředsedal tomuto kulatému stolu jako prezident ITA spolu s vydavatelem tohoto časopisu. Na konci tříhodinového jednání na principu otázek a odpovědí, které bylo později publikováno v časopise z března 2010 (lit. 3), se mne Lok Home, prezident firmy Robbins, zeptal, co by mohl průmysl dělat pro organizaci ITA. Řekl jsem: Buďte proaktivnější. Zúčastněte se technologických fór. Usilujte o vytvoření měřítek pro dobrou praxi. Dělte se o znalosti ke zlepšování průmyslu místo subjektivní propagace předností vašeho výrobku před výrobkem konkurenta. *Tajně jsem si myslel že to poslední by mohli dodavatelé sdílet jen s obřížemi.*

Zástupci průmyslu kolem stolu ale souhlasili s panem Homem, že průmysl bude připraven to udělat a že existuje touha po vytvoření průmyslového fóra v rámci organizace ITA. Za pár týdnů se lídři průmyslu sešli, aby schválili návrh na vytvoření komise (nazvané ITAtech), který by byl do roka předložen výkonnému výboru ITA. Tato komise by byla zaměřena na propagaci technologie. Tato nabídka byla schválena valným shromážděním a výkonnou radou na výročním Světovém tunelářském kongresu v roce 2010 ve Vancouveru, v roce 2011 v Helsinkách bylo nominováno představenstvo ITAtech a činnost byla zahájena aktivním programem pro přípravu směrnic.

### 3.2 Jak ITAtech pracuje

Ohniskem činnosti ITAtech číslo jedna je vypracování měřítek pro srovnávání technologií. Je zde žízeň po znalostech a žízeň po sdílení těchto znalostí. Toto je řídicí profesionální etika ITAtech. V případě ITAtech se nejedná o získávání znalostí a bránění sdílení znalostí. Existuje mnoho pochybovačů, kteří nedůvěřují komerčnímu sektoru, pokud jde o vnímané sobecké zájmy a motivaci ve snaze o zisk. Investor, akademické a projekční komunity oslavují objektivitu a snahu o „jedinou“ pravdu. Domnívají se, že v konkurenčním prostředí dodavatelského řetězce se „pravda“ dostává do rozporu s realitou. Subjektivní nároky dodavatelského řetězce se stávají „vymyšlenými pravdami“, které mají svádět investora a projektanta, kteří vkládají svá očekávání do technických podmínek, smluv a strategií výběru dodavatelů.

Průmysl ví, že existuje matoucí výběr produktů, z nichž všechny o sobě tvrdí, že řeší konkrétní problém. Jak projektant vybírá správné technické podmínky tak, aby investor dostal správný produkt pro správnou situaci pro nákladově efektivní řešení? Průmysl nemá rád zmatení věcí. Chce pomáhat. Kolektivní průmysl chce pomáhat investorům nalézt správný technický přístup, ne investory klamat. Chce pomáhat. Je-li vědomě přijato špatné řešení, nikdo tímto podvodem nezíská. Je v sázce pověst. Hlavní věc je důvěra. Objektivní profesionální služby a dobré výsledky vedou k opakování obchodu. Průmysl tak má vše, co získává, z toho, že má pověst poskytovatele služeb a ne pověst oportunisty ochotného dosáhnout krátkodobý zisk na úkor dlouhodobé pověsti a věrohodnosti.

Představenstvo ITAtech ustavilo řadu skupin technických aktivit, které odpovídají za dobrou praxi ve stanovení měřítek v následujících oblastech:

- Ražby
- Izolace proti vodě
- Monitoring
- Projektování
- Atd.

Členství v těchto skupinách je omezeno na podporovatele a sponzory organizace ITA zapálené a mající zájem o to, aby byli v životě ITA aktivní, a připravené pravidelně investovat do aktivit peníze, čas a lidské zdroje. ITAtech neignoruje ani hodnotnou práci pracovních skupin. Mezi pracovními skupinami a skupinami aktivit je důležitý doplňující vztah, který čerpá ze zkušeností, lidského potenciálu a nadšení s cílem pozdvihnout úroveň standardů v tunelářském průmyslu. Podstata ITAtech spočívá v relevantnosti, potřebě a času na reakci. Je jasné, že skupiny aktivit se mohou pohybovat rychleji než pracovní skupiny, jelikož, pokud existuje potřeba průmyslu, všechny zúčastněné strany se aktivně zapojí do přípravy směrnic a standardů rychlostí odpovídající potřebě. Potřeba se stává součástí pracovního života a imperativem pro členy skupin aktivit, jelikož kolektivní řešení potřeby lepší průmysl a posune ho vpřed.

later published in the journal in March 2010, (Ref. 3) the president of Robbins, Lok Home, asked me what the Industry could do for ITA? I said: Be more proactive. Participate in technology forums. Seek to benchmark good practice. Share knowledge to improve the industry rather than subjectively promote the positives of your product compared to a competitors product'. *Secretly I though that the latter would be difficult for suppliers to share!*

But the industry representatives around the table agreed with Mr Home that industry would be prepared to do this and that there was a desire to create an industry forum within ITA. A few weeks later the industry leaders met to agree a proposal to put before ITA Exco that a Committee be formed (named ITA tech) within a year which would be the focus for the promotion of technology. The proposition was agreed by the General Assembly & Exco in 2010 Vancouver at the Annual WTC and by 2011 in Helsinki the board of ITAtech had been nominated and business began with an active agenda for developing guidelines.

### 3.2 ITAtech - how it works

The 'number one' focus for ITAtech is benchmarking technology and there is a thirst for knowledge and a thirst to share this knowledge. This is the guiding professional ethic of ITAtech. ITAtech is 'nt about taking knowledge and withholding the sharing of knowledge. There are many doubters who distrust the commercial sector when it comes to perceived selfish interests and motives in the pursuit of profit. The owner, academic and design communities celebrate objectivity and the pursuit of the 'single' truth. They think that in the competitive environment of the supply chain the 'truth' becomes misaligned with reality. Subjective claims by the supply chain become 'invented truths' to seduce the owner and designer as they converge their expectations into specifications, contracts and procurement strategies.

The Industry knows that there is a bewildering choice of products all of which are claiming to solve a specific problem. How does the designer chose the right specification so that the owner gets the right product for the right situation for a cost effective solution? The Industry doesn't like the confusion; it wants to help; the collective industry wants to help the owner find the right technical approach. It does not want to deceive the owner. It wants to help. If the wrong solution is knowingly adopted no one gains by this deceit. Reputations are at stake, confidence is key. Objective professional service and good results get repeat business. So industry has everything to gain from having an image as a service provider and not as a opportunist willing to gain short term profit at the expense of long term reputation and trustworthiness.

The ITAtech Board set up a number of technical activity groups which had responsibility for benchmarking good practice in:

- Excavation
- Waterproofing
- Monitoring
- Design
- Etc.

The membership of these Activity Groups (AGs) is restricted to Supporters and Sponsors of ITA ie keen and interested to be proactive in the life of ITA—and prepared to invest regularly in the activities through money, time and people. Nor does it ignore the valuable work done by the Working Groups. There is an important complementary relationship between WGs and AGs which draws on experience, people, and enthusiasm to raise standards in the tunnelling industry. The essence of ITAtech is relevance, need and response time. It is clear that the AGs can move faster than WGs because if there is an industry need then all interested parties will engage proactively to prepare guidelines and standards at a speed equal to the need. The need becomes part the working life and imperative of the members of the AG because the collective resolution of the need will improve and move the industry forward

### 3.3 ITAtech Design

It became clear that the specific pursuits of each Activity Group had common threads running through them particularly design and to some extent (yet to be developed) construction. Design is the process that affects the development of a product, equipment, materials and resou-

### 3.3 Projekt ITAtech

Stalo se jasným, že specifický výkon činnosti každé skupiny aktivit má společně hrozby procházející těmito skupinami, týkající se obzvláště projektování a do jisté míry (která se přesto musí řešit) i stavby. Projektování je proces, který ovlivňuje vývoj produktu, materiálů a zdrojů. Hlavní pro sub-proces navrhování produktů atd. je vyrovnání se produktem a celkovou koncepcí a principy celkového infrastrukturního řešení. Vztah projektantů a skupin aktivit je životně důležitý a je reciproční. Skupina aktivit v zásadě potřebuje získat porozumění a souhlas pro svůj návrh technických směrnic pro takové problémy, jako jsou izolace proti vodě, stříkaný beton, monitoring atd. Skupina aktivit potřebuje zpětné vazby, jak se má reagovat na problémy projektu a technických podmínek, a projektant potřebuje zajistit, aby směrnice připravené skupinou aktivit umožňovaly flexibilitu výběru technických řešení nebo specifické pokyny pro použití značkových produktů.

Nedávno byla vytvořena „projektantská“ skupina aktivit (prosinec 2012) a ta přezkoumává návrh směrnice pro stříkané izolace proti vodě a brzy začne zkoumat návrh směrnice pro monitoring systémů, procesu, zařízení a interpretačních doporučení. Projektanti také kontrolují účinnost současného průmyslového projektování ve vztahu k fázovému výběru dodavatelů projektů – referenční projekty a projekty pro zhotovitele staveb. V současném přístupu, kterému věnují investoři a zhotovitelé staveb svou přízeň, je mnoho překrývání a zbytečností. Je to proto, že ho vnímají jako kontrolu projektanta a usměřování rozsahu projektu.

### 3.4 Budoucí program

ITAtech uvolnila novou energii v rámci organizace ITA. Počet členů vzrostl a průmysl chce hrát aktivnější roli, jelikož úroveň podporovatele v členství ITA má nyní přidanou hodnotu v přístupu do sítě stejně smýšlejících průmyslových lídrů, kteří chtějí podporovat technickou inovaci v tunelářství k propagování průmyslových cílů ITA. Navíc konkurenti již našli společné fórum pro sdílení obecných otázek a řešení fundamentálních principů. ITAtech chce vnést světlo do výběru voleb, které mají investoři, projektanti a stavební dodavatelé. Společné porozumění těmto základním kritériím výběru napomůže těm, kteří chtějí použít správný produkt ve správných podmínkách pro danou situaci. ITAtech zajistí fórum pro přitahování nových myšlenek a pro nově přichodící do průmyslu, kteří chtějí používat měřítko pro kvalitu a mají potřebu zavádět nové technické možnosti pro tunelářinu.

ITAtech plní roli facilitátora nových produktů a inovací. Obchodní značka ITA je uznávána a schválení principů a nových technologií organizací ITA je v očích průmyslu považováno za absolutně nutné.

## 4 BUDOUCÍ VYUŽITÍ MĚSTSKÉHO PROSTORU

### 4.1 Jak může využití podzemí pomoci

Ze zpráv médií je jasné, že naše velká města a městské oblasti rostou. Lidé chtějí žít v městských oblastech kvůli zaměstnání, komunikaci, mobilitě a sociálním potřebám. Do roku 2011 žilo více než 50 % světové populace v městských oblastech a počítá se s tím, že toto procento vzroste do roku 2050 na 70 %. *Jen pro představu, celá současná populace bude do roku 2050 žít ve městech.* Většina tohoto nárůstu se odehraje v jihovýchodní Asii, v megaměstech, která se obvykle nacházejí v pobřežních oblastech s omezenými tlaky na využití prostoru na povrchu. K rozpínání města obvykle dochází tak, jak město roste. V budoucnu se ale současné paprskovité rozpínání stane neudržitelným z hlediska doby jízdy uvnitř hranic města, potřeby energií, používání pohonných hmot na bázi uhlovdíků atd.

Takže co kdyby plánovači začali uvažovat o další dimenzi, ve které by se měl růst odehrávat? Ano, v pobřežních prostředích můžete rekultivovat půdu, ale ani to není udržitelné, jak si již uvědomil Hongkong a Singapur. Můžete stavět do výšky, ale to není přijatelné pro průmyslové účely. Takže stavění směrem dolů se stává řešením, které potřebuje podporu. Potřebuje, aby stavební podnikatelé a investoři neměli strach z přesunu do podzemí z důvodu, že jsou požadovány větší investice do infrastruktury. Je možné, že pro nastartování procesu je potřebné „povzbuzení“ ve formě regulace finančních anebo obchodních stimulů. Pokud plánovači skutečně potřebují využívat podzemní prostor, který by měl hrát roli v budoucnosti jejich města, je potřebné, aby se stali hlavními hybateli v usnadňování tohoto využívání.

Fundamental to the sub process of designing products etc is the alignment of the product with the overall concept and principles of the overall infrastructure solution. The Designers relationship with the Activity Groups is vital and is reciprocal. The AG needs to get the understanding and agreement in principle to its draft technical guidelines on issues such as Waterproofing, Sprayed Concrete and Monitoring etc. The AG needs feedback on how to respond to the design & specification challenges and the Designer needs to ensure that guidelines prepared by the AG allow for flexibility of choice of technical solutions or specific direction in the use proprietary products.

The Designers Activity Group has recently been formed (December 2012) and is reviewing draft Guidelines on Sprayed Waterproof Membranes and shortly will review draft guidelines on Monitoring – systems, process, equipment and interpretation advice. The Designers are also reviewing the efficiency of the current Industry design process with respect to the phased procurement of designers by owners; reference designs and design for Contractors. There is much overlap and waste in the current approach which clients and contractors favour as it is perceived that it “controls” the designer and channels the scope of design.

### 3.4 Future Agenda

ITAtech has released a new energy within ITA. Membership has increased and industry wants to play a more active role because the supporter level of ITA membership has now added value because of accessibility to a network of like minded industry leaders who wish to promote technical innovation in tunnelling to further the industry aims of ITA. In addition competitors have found a common forum to share generic issues and solve fundamental principles. ITAtech wishes to bring clarity to the selection of choices available to clients, designers and contractors. A common understanding of the basic selection criteria will assist those wishing to use the right product in the right circumstance for a given situation. Also ITAtech will provide a forum for attracting new ideas, newcomers to the industry who want to benchmark the quality and needs by introducing new technical options for the tunnel industry.

ITAtech is fulfilling the role of facilitator of new products and innovation. The brand of ITA is respected and ITA endorsement for principles and new technologies is seen as a vital recognition in the eyes of the industry.

## 4 FUTURE USE OF URBAN SPACE

### 4.1 How use of the underground can help

It is clear from media reports that our cities and urban areas are growing. People want to be in urban areas for jobs, communication, mobility and social needs. By 2011 more than 50% of the worlds population was living in urban areas and is projected to grow to 70% by 2050. *Just imagine the current total global population will live in cities by 2050.* Most of this growth will happen in SE Asian “Mega” cities which are usually located in coastal areas with constrained pressures on the use of surface space. City sprawl usually occurs as the city grows. But in future the current radiating sprawl will become unsustainable in terms of travel times within the city limits, energy use and carbon use etc.

So what if planners were to consider another dimension in which to grow? Yes, you can reclaim land in coastal environments, but again this is not sustainable as Hong Kong and Singapore have realised. You can build up, but this is not acceptable for industrial purposes. So building “downwards” becomes a solution which needs to be promoted. It needs developers and owners to have confidence to go underground as larger capital infrastructure investments are required. Maybe “encouragement” is needed in the form of regulation or financial/commercial incentives to get the process started. If Planners really do need to use underground space to play a role in the future of their city then they need to be the prime movers in facilitating this.

### 4.2 How can we encourage this?

One way might be for municipal authorities to mandate that all plans



## 4.2 Jak to můžeme povzbudit?

Jedna cesta by mohla být, aby městské úřady vydaly pokyn, že by všechny plány developerů a investorů na komerční, veřejnou a průmyslovou městskou infrastrukturu měly obsahovat přezkoumání a pečlivou studii možného podzemního řešení. To by vyžadovalo hodnocení umožňující provedení zcela objektivního porovnání s povrchovým řešením. Při dosažení vyváženého posudku by se dala posoudit řada požadavků týkajících se energií, nákladů, životního prostředí, rušení, včetně sociálních požadavků. Alternativně by mohli plánovači stanovit oblasti města, které budou děleny do zón podle geologických kritérií, tak aby příznivá geologie byla vyhrazena pro průmyslovou, komerční a strategickou podzemní výstavbu. Jiný způsob by mohl být ten, že by se zajistily finanční pobídky pomocí snížených místních daní apod., aby se naplňovala strategie měst podporovat využití podzemního prostoru. Ať již si městské úřady zvolí jakoukoliv cestu pro zajištění stimulů, vždy je nezbytné, aby byly hybnou silou pro zavádění strategie integrovaného povrchu anebo podzemní výstavby.

Trh by nakonec pochopil, že se potřebuje řídit strategií městských úřadů pro podzemní prostor. Potom by vstoupily do hry konkurenční síly, které by se podívaly na snížené náklady, inovativní myšlenky a za čas by trh začal reagovat proaktivně. Někdy se „obecné dobro“ zpočátku dosahuje regulací, ale trh má ve zvyku přizpůsobit se tomuto tlaku a přeměnit ho na příležitost nebo výhodu. Posledními příklady tohoto typu úspěchu jsou regulace energetické účinnosti měst, obnovitelná energie, zlepšování životního prostředí apod.

Velmi důležitá je nakonec potřeba získat „politickou vůli“. Podpora pro infrastrukturu v městských oblastech vyžaduje šampiona – politického šampiona. Pozornost politického šampiona získáte, jestliže připojíte dobrou technickou myšlenku, která by byla prospěšná pro veřejnost! Inženýři v našem oboru a našich organizacích, jako je ITA, tedy potřebují zvýšit povědomí o přínosech využití podzemního prostoru. Musíme komunikovat stejně dobře, jako umíme inovovat. Pokud máme propagovat širší využití podzemního prostoru, potřebujeme se spojit s těmi, na které je upřena pozornost veřejnosti, a s plánovači.

## 4.3 Děje se to již nyní!

Hongkong hodlá zavřít řadu současných úprav vody a čistíren odpadních vod umístěných na povrchu. Pozemky by se prodaly pro komerční účely a pro účely bydlení a rekreace a z prodeje pozemků by pocházely některé (ne-li všechny) přírázky potřebné na zaplacení stavby stejného závodu poblíž, v podzemí. Vedení Hongkongu v současnosti dělí svou geologii do pásem a pokouší se tak zjistit oblasti, kde se dají budovat kaverny pro umístění jím provozovaných strategických zařízení průmyslové infrastruktury. Úspěšné naplňování této strategie pomůže povzbudit trh, aby znovu zvážil své nahlížení na náklady na podzemní prostor, nebo alternativně se může Hongkong rozhodnout pro pokračování v zastavování prostoru na povrchu současným tempem a prostě vyčerpá svůj volný prostor!! Toto je ale nemyslitelné pro odpovědně smýšlející vedení měst, která mají povinnost plánovat budoucí potřeby prostoru ve svých městech.

Singapur má podobné plány, které jsou poháněné podobným tlakem na využití prostoru na povrchu. Představenstvo vodohospodářské společnosti Public Utilities studuje řadu scénářů, kde akumulace vody, výroba elektrické energie a inženýrské sítě jsou umístěny v kavernách nebo tunelech v hostitelských prostředích s přijatelnou geologií. Ministerský předseda řídí tento program s vědomím, že jako ostrov s globálním městem má země málo voleb kromě prozkoumání praktických možností využití podzemního prostoru. Peking a Šanghaj pracují na podobných strategiích.

Srovnávacím měřítkem pro tento typ plánované/integrované výstavby jsou finské Helsinky. Helsinky mají vypracovanou strategii integrovaného povrchu a podzemí pro hlavní infrastrukturu v centru města, jako je parkování, skladování, přístup nákladní dopravy do městských budov, sítí, kanceláří, kin, lehkých průmyslových zařízení apod. Helsinky mají to štěstí, že pod městskými ulicemi mají kvalitní masivní skalní horniny, takže mohou ekonomicky dosáhnout své potřeby integrovaného prostoru, ale město již přinejmenším poznalo své přírodní bohatství a využilo ho ve prospěch současné i budoucích generací.

Dalšími městy, která přijala strategii využití podzemí pro komerční účely, jsou Toronto, Montreal a Houston. Strategií těchto tří měst je zajistit ve městě nedotčený prostor pro bránění se chladným nebo horkým klimátům.

from developers/owners for commercial, public and industrial city urban infrastructure should include a review and careful study of an underground option. This would need to be assessed so that a truly objective comparison with a surface built option can be made. A whole range of energy, carbon usage, cost, environmental, intrusion, societal requirements could be assessed in reaching a balanced judgement. Alternatively planners might stipulate areas of a city to be zoned geologically so that favourable geology would be reserved for industrial/commercial/strategic underground development. Another way might be to provide financial incentives through reduced local taxation etc to fulfil a cities strategy to promote the use of underground space. Whichever way a Municipal Authority would chose to provide encouragement it is necessary that they are the driver for implementing an integrated surface/ an undergrounding strategy.

Eventually the Market would understand that it needed to comply with a Municipal Authorities underground space strategy. Then competitive forces would come into play that would look at reduced cost, innovative ideas, and in time the Market would respond proactively. Sometimes the ‘common good’ is achieved initially by regulation, but the Market has a habit of accomodating this pressure and turning it into an opportunity or advantage. Recent examples of this type of achievement are the regulation in urban energy efficiency, renewable energy, environmental improvement, etc.

Finally the need to have ‘political will’ is very important. Promotion of infrastructure in urban areas needs a champion - a political champion. If you connect a good technical idea to benefit the public then you will have the attention of the political champion! So Engineers in our industry and organisations such as the ITA need to raise awareness of the benefits of the use of underground space. We have to communicate as well as innovate. We need to connect with those who have the attention of the public and planners if we are to promote the wider use of underground space.

## 4.3 Its happening now!

Hong Kong intends to decommission a number of current surface located Water and Sewage Treatment plants. The land would be sold for commercial and residential or recreational purposes and some (if not all) of the premium required to pay for nearby underground of the same same plant would come from the sale of the land. The Hong Kong Govt is currently zoning its geology in an attempt to identify areas where caverns may be built to host the strategic industrial infrastructure facilities that it operates. A successful implementation of this strategy will serve to encourage the Market to reconsider its perceptions of the cost of underground space or alternatively Hong Kong can chose to continue to develop surface space at the current rate and simply run of space!! But this is unthinkable for the responsibly minded Municipalities who have the obligation to plan for the future spatial needs of their city.

Singapore has similar plans driven by similar spatial pressure for surface land use. The Public Utilities Board is studying a number of scenarios where water storage, power generation, utility networks are located in caverns or tunnels in host formations with acceptable geology. The Prime Minister is driving this agenda in the knowledge that as an island with a global city the country has little option but to explore the practical possibilities of the use of underground space. Beijing and Shanghai are working on similar strategies.

The benchmark for this type of planned/integrated development is Helsinki, Finland. Helsinki has an integrated surface and underground strategy for vital infrastructure within the city centre such a parking, storage, access for freight to city buildings, utilities, offices, cinemas, light industrial use etc. Helsinki is fortunate to have good quality massive rock beneath the city streets so it can economically achieve its integrated spatial needs... but at least the city has recognised this natural asset and exploited it for the benefit of current and future generations.

Other cities which have embraced the use of the underground for commercial purposes are Toronto, Montreal, and Houston. The strategy of these three cities is to provide resilient space within the city to combat cold or hot humid climates.

Surely other cities will have to follow these examples in the future?

At a recent lecture I suggested to one of London City transport representatives that within 30 years the city of London would not be able to

Je jisté, že další města budou v budoucnu muset tyto příklady následovat? V nedávné přednášce jsem naznačil jednomu zástupci dopravy v Londýně, že do 30. let nebude Londýn schopen umístit ani další dlouhý tunel metra, který by prošel pod městem. Zástupce uznal, že v Londýně se provádí trochu formální integrované plánování prostoru na povrchu a v podzemí, takže tato možnost je reálná. *Představte si město, jako je Londýn, ve kterém byl vyčerpán podzemní prostor pro dlouhé lineární tunely pro vodu, splašky, vlaky a metra!*

#### 4.4 Důležitá bude technologie

Technologie a inovace, tak jak jsou podporovány organizacemi ITA a ITAtech, zajistí řešení pro využití podzemního prostoru pod našimi městy. To zahrnuje kaverny pro samostatné prostory pro infrastrukturu, která zajišťuje životně důležité potřeby měst. Ne všechna města leží na dobré hornině, jakou mají Helsinky. Většina měst leží na prostředních tvořených měkkými horninami. Je tedy nezbytný technologický rozvoj v oblasti vytváření rozsáhlých podzemních prostor v měkkých formacích.

Londýn ukázal cestu k používání 12–14m rozpětí u složitých podzemních stanic budovaných v jílech, píscích a zvodnělých horninách. Další evropská města na sebe berou odpovědnost za infrastrukturu v podobných, jestli ne náročnějších geologiích. Úspěšná výstavba a provoz těchto staveb, které jsou měřítky pro ostatní, časem zvýší povědomí o využívání a užitečnosti podzemního prostoru v městských oblastech. Dosahování kvality, bezpečnosti, nákladové efektivity těchto staveb a jejich včasné provádění se stanou katalyzátorem pro podporu využití podzemního prostoru jako řešení pro růst měst, tak jak rychle porostou v příštích asi 50 letech.

## 5 SHRNUŤÍ

V minulých letech se program ITA změnil. Nemůže nadále pokračovat odměřeným pasivním krokem. Nemůže ani fungovat jako síťové fórum. Musí reagovat na trh. ITA dává nový impulz k zajištění specifické platformy pro technologie tak, aby se vytvořilo povědomí a vnesl se jas do použitých technologických řešení.

ITA musí seznamovat s přínosy, které může technologie přinášet. ITA a členské země potřebují dosáhnout na politicky a veřejně vlivné osobnosti, aby se propagovala hodnota a přínosy využití podzemního prostoru. Komise ITACUS zajišťuje pozornost pro toto uvědomění a chce usměrňovat asociaci a radit jí, kam a komu se zprávy dají účinně sdělovat.

ITA musí ve své veřejné, komerční a průmyslové síti cvičit a vzdělávat své členy, členské země a ty, kdo se chtějí učit. Musí zajistit školení o nových technologiích tak, aby se tyto nové technologie daly přijmout, budovat a provádět, aby poskytly infrastrukturní odpovědi na výzvy městského prostoru. To zajišťuje komise ITACET. Celý její program je spojen s ITAtech a ITA Foundation for Training and Education (nadace ITA pro výcvik a vzdělávání).

ITA má nyní promyšlenější strategii pro spojování sociálních potřeb s technickými řešeními a učí se, jak tuto zprávu sdělovat. ITA se stala přednostním hlasem mezinárodní tunelářské komunity. Jelikož ITA dosahuje 40. výročí své existence, vidíme, že dospěla a stala se vnímavou organizací schopnou zajistit fóra pro podporu konvergence potřeb, řešení a inovací s politiky, vládními úřady a veřejností.

Jestliže „*nutnost je matkou invence*“, potom mateřské instinkty organizace ITA dokázaly, že se úplně předělala tak, aby vyhověla současným i budoucím nutnostem, které ovlivňují životy společnosti a měst.

**MARTIN KNIGHTS,**  
*Global Leader for Tunnelling  
and Geotechnical Engineering and Sciences,*  
*knightsmc@halcrow.com,*  
*Halcrow Group Ltd. (United Kingdom)*

accommodate yet another long metro tunnel to traverse under the city. The representative acknowledged that there was little formal integrated planning of the surface and underground space use in London and therefore that possibility was real. *Imagine a city like London running out of underground space for long linear tunnels for water, sewerage, trains and metros!*

#### 4.4 Technology will be important

Technology and innovation as encouraged by ITA and ITAtech will provide solutions for the use of underground spaces under our cities. This includes caverns for discrete spaces for the infrastructure that provides the vital needs of cities. Not all cities are located on good rock such as Helsinki is. Most cities are located in softground environments. So technology development in creating large underground spaces in soft formations is vital.

London has shown the way in achieving 12-14 m span complex underground station networks in clay and sand in water bearing ground. Other European cities are undertaking infrastructure in similar, if not more challenging geology. In time the successful construction and operation of these benchmark projects will raise the awareness of the use and usefulness of underground space in urban areas. Achieving quality, safety, cost effectiveness, and built in a timely manner will be the catalyst for promoting the use of underground space as a solution to urban growth as cities grow significantly in the next 50 years or so.

## 5 SUMMARY

In recent years the agenda of the ITA has changed. It can no longer continue at a measured passive pace. Nor can it just function as a networking forum. It has to respond to the Market. ITAtech provides new momentum to provide a specific technology platform to create awareness and provide clarity on the use of technological solutions.

ITA has to communicate the benefits that technology can provide and ITA and its Member Nations need to reach out to political and public influencers to promote the value and benefits of using underground space. ITACUS provides a focus for this awareness and an agent to channel and advise the ITA on where that message can be effectively communicated, and to whom.

ITA has to train and educate its members, Member nations and those wishing to learn –within ITAs public, commercial and industry network. It has to provide training in the new technologies so that these technologies can be adopted, built and perform such that they provide infrastructural answers to urban space challenges. ITACET provides that focus and has a full agenda in conjunction with ITAtech and the ITA Foundation for Training and Education.

ITA now has a more coherent strategy for connecting societal needs with technical solutions and is learning how to communicate the message. ITA has become the preferred voice for The International Tunnelling community. As ITA reaches its 40<sup>th</sup> Anniversary we can see that it has matured into a responsive organisation and able to provide forums to encourage the convergence of needs, solutions and innovation with owners, politicians, government agencies and the public.

If *Necessity is the Mother of Invention* then the maternal instincts of ITA have to demonstrate that she has reinvented herself to meet the contemporary and future necessities that influence societal and urban living.

**MARTIN KNIGHTS,**  
*Global Leader for Tunnelling  
and Geotechnical Engineering and Sciences,*  
*knightsmc@halcrow.com,*  
*Halcrow Group Ltd. (United Kingdom)*

## LITERATURA / REFERENCES

- [1] HM Treasury Infrastructure UK “Infrastructure Cost Review: Technical Report” December 2010, Crown Copyright 2010
- [2] Grose, W J, “Underground Infrastructure – Meeting The Future Needs of Society” BTS Harding Memorial Lecture 2012, published by Tunnels & Tunnelling, March 2013
- [3] World Tunnelling Journal ‘Your ITA Needs You’ in March 2010 issue, pp 14-15, held at STUVA, November 30 2009, was a continuation of the main discussion reported in the Industry Leaders Roundtable in January 2010 (pp 19-32).



## FOTOREPORTÁŽ ZE STAVBY PRODLOUŽENÍ TRASY V.A PRAŽSKÉHO METRA (STAV K 15. 2. 2013)

### PICTURE REPORT FROM THE CONSTRUCTION OF THE 5<sup>TH</sup> EXTENSION OF PRAGUE METRO LINE A (THE CONDITION AS OF 15/2/2013)



Obr. 1 Demontáž štítu EPB Tonda v demontážní komoře v Dejvicích (foto: Husák)

Fig. 1 Dismantling Tonda EPB shield in the dismantling chamber in Dejvice (photo: Husák)



Obr. 2 Odvoz částí závěsu štítu EPB ze stavby (foto: Husák)

Fig. 2 Moving a part of the EPB shield back-up from the site (photo: Husák)



Obr. 3 Stanice Červený Vrch (foto: Junek)

Fig. 3 Červený Vrch station (photo: Junek)



Obr. 4 Stanice Petřiny (foto: Junek)

Fig. 4 Petřiny station (photo: Junek)



Obr. 5 Stanice Veleslavín (foto: Junek)

Fig. 5 Veleslavín station (photo: Junek)



Obr. 6 Stavební jáma E1, v pozadí průnik tratových tunelů (foto: Husák)

Fig. 6 Construction pit E1, the penetration of running tunnels seen at the back of the picture (photo: Husák)



# FOTOREPORTÁŽ ZE STAVBY TUNELOVÉHO KOMPLEXU BLANKA (STAV K 1. 3. 2013)

## PICTURE REPORT FROM THE CONSTRUCTION OF BLANKA COMPLEX OF TUNNELS (THE STATE AS OF 1. 3. 2013)



Obr. 1 Napojení vjezdové rampy na severní hloubený tunel v křižovatce Prašný most (foto: Jakub Karlíček)

Fig. 1 Connection of the entrance ramp to the northern cut-and-cover tunnel at the Prašný Most intersection (photo courtesy of Jakub Karlíček)



Obr. 2 Napojení výjezdové rampy na jižní hloubený tunel v křižovatce U Vorlíků, na obkladu jsou patrné charakteristické barvy tunelových úseků Dejvice a Královská obora (foto: Jakub Karlíček)

Fig. 2 Connection of the exit ramp to the southern cut-and-cover tunnel at the U Vorlíků intersection; colours characteristic for the Dejvice and Královská Obora can be seen on the wall cladding (photo courtesy of Jakub Karlíček)



Obr. 3 Výstavba rampy podzemních garáží na Letné (foto: Jakub Karlíček)

Fig. 3 Construction of the ramp to the underground parking garages in Letná (photo courtesy of Jakub Karlíček)



Obr. 4 Realizace kabelových rozvodů pod klenbou raženého dvoupruhového tunelu (foto: Jakub Karlíček)

Fig. 4 Installation of cables under the mined double-lane tunnel vault (photo courtesy of Jakub Karlíček)



Obr. 5 Ražený dvoupruhový tunel pod Vltavou (foto: Jakub Karlíček)

Fig. 5 Mined double-lane tunnel under the Vltava River (photo courtesy of Jakub Karlíček)



Obr. 6 Oblouk nového mostu přes Vltavu v Troji a „výplet“ tyčových závěsů (foto: Jakub Karlíček)

Fig. 6 The new combined bridge arch and the "tennis racket strings" formed by suspension rods (bridge is a part of the Blanka tunnel projekt; photo courtesy of Jakub Karlíček)





## Naše riešenia

- Aplikácie pre tunely
- Vystužovanie podláh
- Vystužovanie vozoviek
- Vystužovanie podlôžia
- Protierózna ochrana
- Environmentálne riešenia
- Ochrana proti padaniu skál
- Oporné a vystužené konštrukcie

## Naše služby

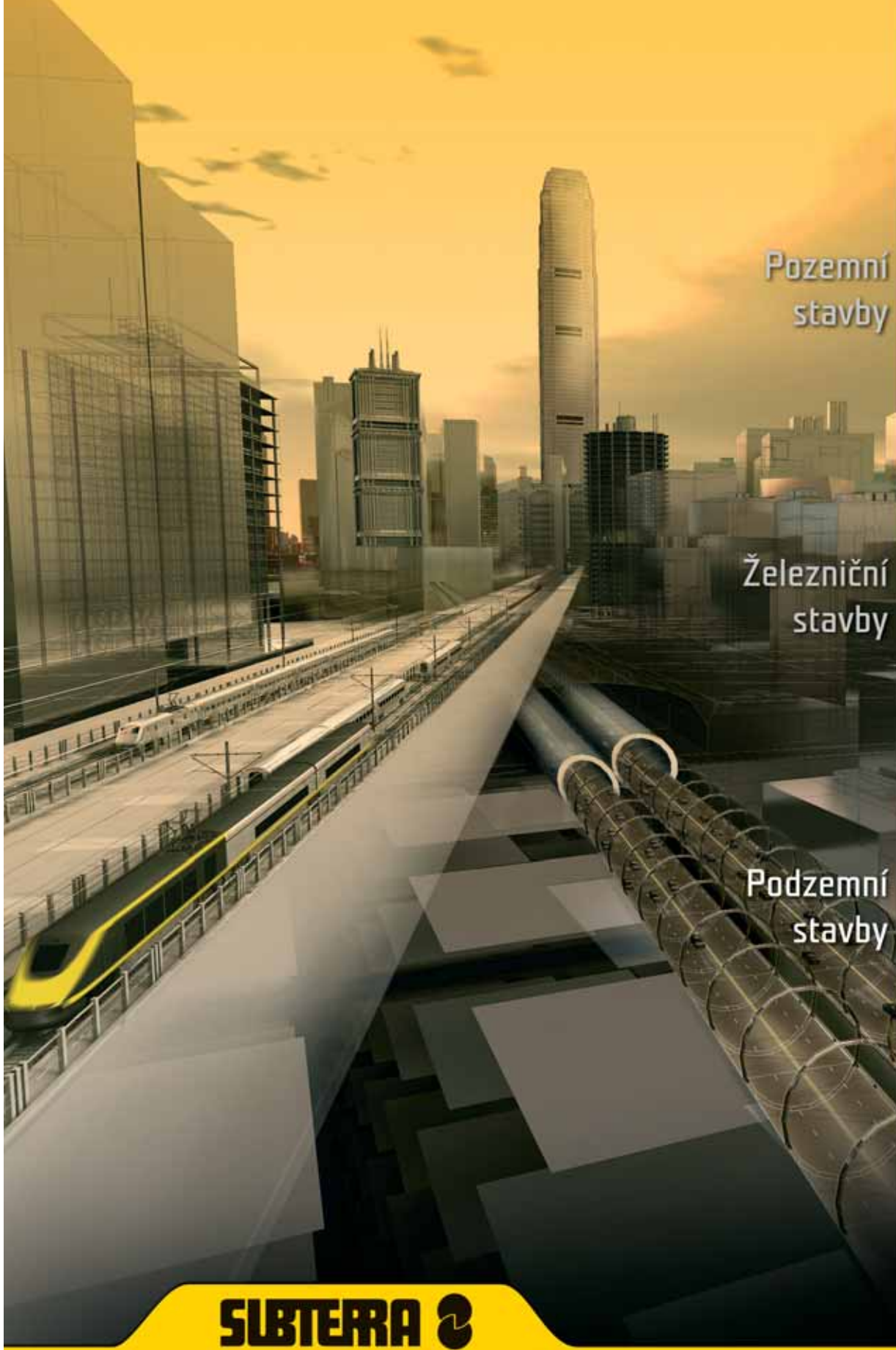
- Projektovanie • Výroba
- Dodávka • Realizácia

# MACCAFERRI

Engineering a better solutions

[www.maccaferri.sk](http://www.maccaferri.sk)





Pozemní  
stavby

Železniční  
stavby

Podzemní  
stavby

Modernizace trati Votice-Benešov  
u Prahy - Zahradnický tunel



Výstavba stanice metra Veleslavín



Královopolský tunel,  
Velký městský okruh Brno



Metro IV.C2, Praha



Kolektor Václavské náměstí -  
trasa C, Praha



Jsme spolehlivý partner  
v podzemí, na železnici  
i na povrchu, působíme  
v České republice  
i v zahraničí.

**SUBTERRA** 

[www.subterra.cz](http://www.subterra.cz)

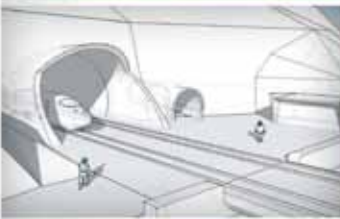
Nedržíme se při zemi

Subterra a.s.  
Bezová 1658  
147 14 Praha 4-Braník





www.reming.sk



Váš partner pri príprave a realizácii stavieb



together @ VINCI



**WE BUILD PROFESSIONALLY**

OPEN-PIT TUNNELLING • MINING ACTIVITIES •  
ACTIVITIES PERFORMED IN A WAY SIMILAR TO MINING

SMP CZ, a. s. Pobřežní 667/78, Praha 8 [www.smp.cz](http://www.smp.cz)



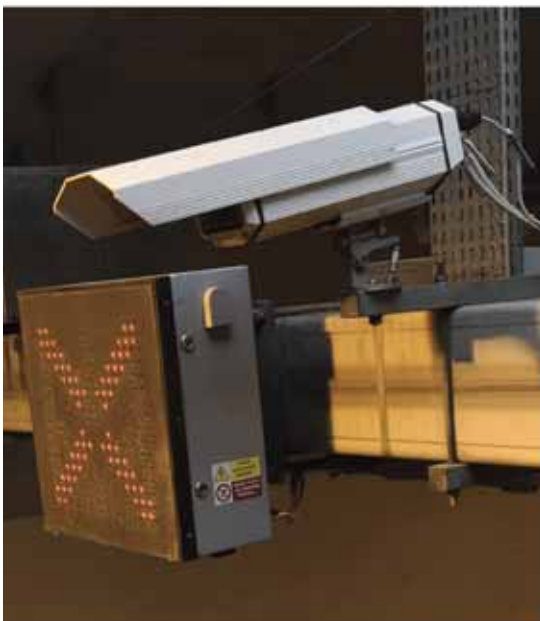
s námi jste na správné cestě

you are on the right way with us



## DODAVATEL TECHNOLOGICKÉHO VYBAVENÍ TUNELŮ

SUPPLIER OF THE TECHNOLOGICAL TUNNEL EQUIPMENT



### Komplexní dodávky a servis

#### Turn-key solutions, supplies and services

- Řídicí systém technologie a dopravy v tunelech
- Rozvodny, náhradní zdroje a kabelové rozvody
- Osvětlení tunelu
- Proměnné dopravní značení
- Televizní dohled a videodetekce
- Elektrická požární signalizace
- Elektrická zabezpečovací signalizace
- Měření veličin a dat
- Radiové a telefonní spojení
- SOS hlásky
- SCADA control system for traffic, mechanical and electrical tunnel equipment
- Switching stations, backup power supplies and cable lines
- Tunnel lighting
- Variable traffic signs, variable message signs
- CCTV system and video detection
- Fire alarm system
- Intruder alarm system
- Environment and traffic data collection
- Radio and phone connection
- SOS emergency call boxes

### Vybrané reference tunelových staveb Selected references tunnels

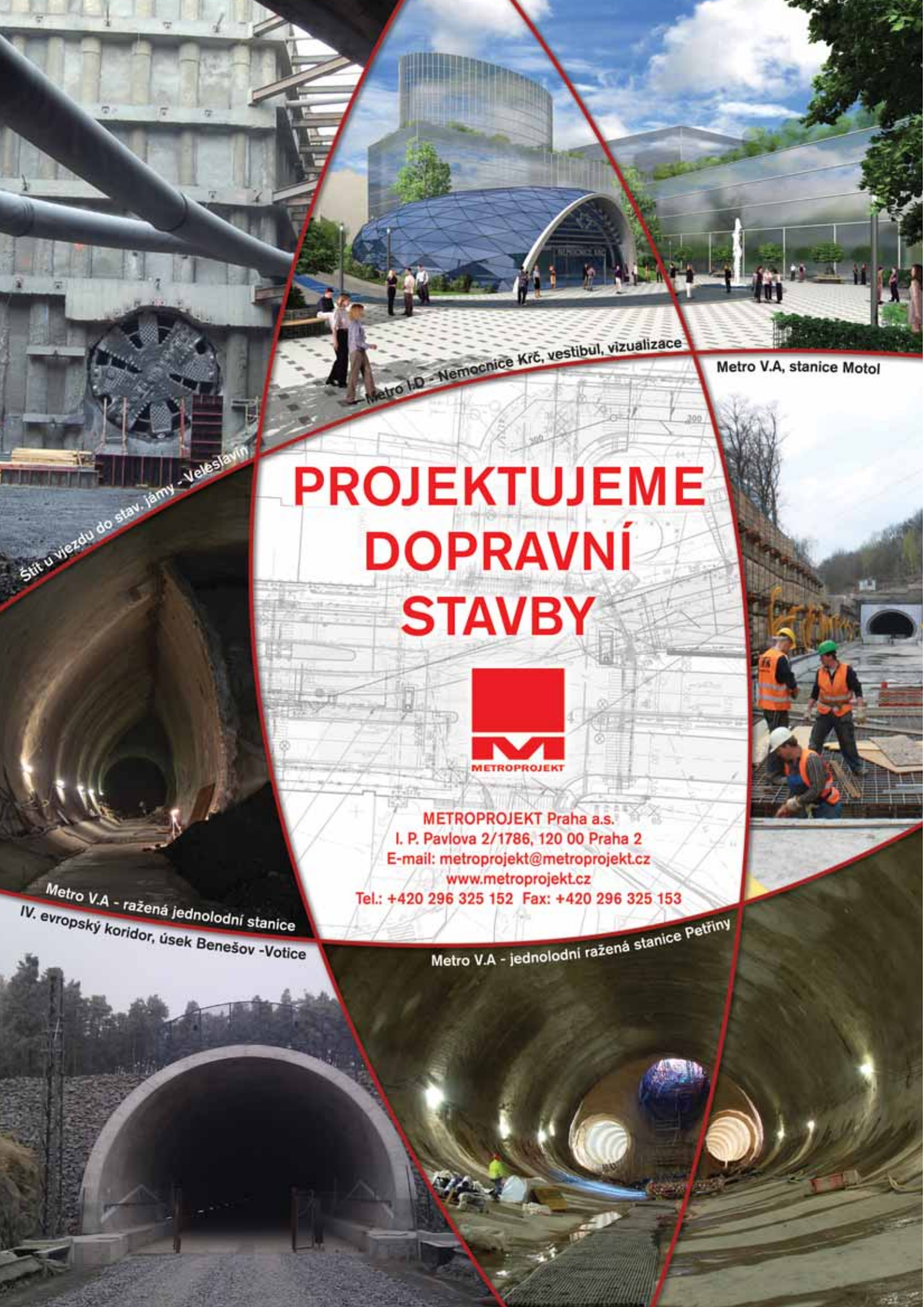
- Lochkov a Cholutice - okruh kolem Prahy, ČR / Prague Ring road
- Klimkovice - Dálnice D1, Ostrava, ČR / Highway D1
- Sitina - Dálnice D2, Bratislava, SR / Highway D2, Slovakia
- Letná - Městská komunikace Praha, ČR / Urban roads Prague
- Mrázovka - Městský okruh Praha, ČR / Prague City Ring
- Jihlava - Silnice I/38, ČR / Road I/38
- Adana - Dálnice E90, Turecko / Highway E90, Turkey
- Písárky - Silnice R23, Brno, ČR / Road R23
- Hřebeč - Silnice R35, Svitavy, ČR / Road R35
- Strahov - Městský okruh Praha, ČR / Prague City Ring



[www.eltodo.cz](http://www.eltodo.cz)

**ELTODO**





Štít u vjezdu do stav. jámy - Veléslavín

Metro I-D - Nemocnice Krč, vestibul, vizualizace

Metro V.A, stanice Motol

# PROJEKTUJEME DOPRAVNÍ STAVBY



METROPROJEKT Praha a.s.  
I. P. Pavlova 2/1786, 120 00 Praha 2  
E-mail: [metroprojekt@metroprojekt.cz](mailto:metroprojekt@metroprojekt.cz)  
[www.metroprojekt.cz](http://www.metroprojekt.cz)  
Tel.: +420 296 325 152 Fax: +420 296 325 153

Metro V.A - ražená jednolodní stanice  
IV. evropský koridor, úsek Benešov -Votice

Metro V.A - jednolodní ražená stanice Petřiny



# 60 let tradice

na povrchu



i v podzemí

 **VOKD**





# Komplexní geotechnická řešení Complex Geotechnical Solution

Rozumíme podnikání a potřebám našich zákazníků.  
Vytváříme pro ně jedinečná, inovativní řešení.

We understand business and our customers' needs.  
We create unique, innovative solutions for them.

[www.arcadisgt.cz](http://www.arcadisgt.cz)

Imagine the result

 **ARCADIS** GEOTECHNIKA  
Partner konference Podzemní stavby Praha 2013  
Underground Construction Prague 2013 conference partner






3D laserové skenování,  
modelování a vizualizace  
pomocí nového skeneru  
Leica ScanStation P20

3D laser scanning, modelling  
and visualization using a new  
Leica ScanStation P20 scanner

[www.arcadisgt.cz](http://www.arcadisgt.cz)

 **ARCADIS** GEOTECHNIKA



Zaměření skutečného stavu  
As-built surveying

Růženský tunel, Mosty u Jablunkova, Brno



#### Přednosti:

- hydraulické ovládání formy včetně pojezdů
- ocelová forma pro velké zatížení a velké počty nasazení
- samonosná konstrukce bedničního pláště formy
- trojrozměrná konstrukce k přenosu horizontálních sil
- stavěcí ocelové čelní bednění variabilní k tvaru klenby
- bezpečnost v každém ohledu

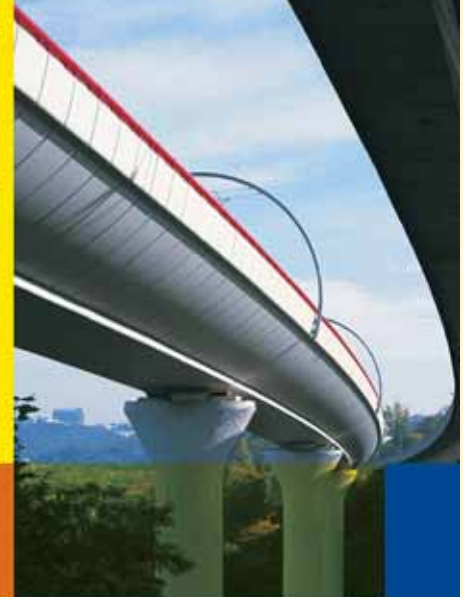
**Tunelové ocelové bednění PERI**  
s hydraulickým ovládáním

**PERI**

bednění  
lešení  
služby

[www.peri.cz](http://www.peri.cz)





## Moderní tvář stavebnictví



## ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ / NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

### TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE 3/2012

#### TUNNEL AFTERNOON 3/2012

The third tunnel afternoon organized by the Czech Tunneling Association ITA-AITES in 2012 was dedicated to Blanka tunnel, which forms part of the Prague City Ring. The event took place on 28 November 2012. Part of the event was the morning visit to the ventilation facility of Blanka tunnel. Nine lectures were presented to the audience during the afternoon part. The first lecture was given by Ing. Alexandr Butovič, Ph.D. (Satra, spol. s r.o.) and Ing. Jan Kvaš (Metrostav a.s.). It provided general information about the Blanka tunnel complex and about the most challenging driven sections. Next lecture given by Ing. Ondřej Kostohryz (Arcadis Geotechnika a.s.) and Ing. Martin Čermák (Inset s.r.o.) described the system and results of geotechnical monitoring during the Blanka tunnel complex construction. The fifth speaker was Ing. Petr Tětek (Satra, spol. s r.o.). His lecture dealt with safeguarding and repairs of buildings on the surface. He described the activities that were required before commencing with tunneling in order to avoid damage to buildings affected by the tunnel construction. At the end of the first block, Ing. Josef Kutil (Inženýring dopravních staveb a.s.) informed the audience about the issues of the Blanka tunnel complex financing.

Cover-and-cut tunnels forming part of the Blanka tunnel complex were described by Ing. Lukáš Grúnwald (Satra, spol. s r.o.). He provided detailed characteristics of sections where so called Milan method was used. His lecture was followed by that of Ing. Pavel Kasal (Metrostav a.s.) who dealt with classical cut-and-cover tunnels. The lecture on damp proofing materials given by Ing. Vladimír Petřilka (Satra, spol. s r.o.) introduced among others the bentonite based

damp proofing materials. Final lining of driven sections of the Blanka tunnel complex was presented by Ing. Pavel Šourek (Satra, spol. s r.o.). The closing lecture of Ing. Petr Bednář dealt with technological equipment of the Blanka tunnel complex.

Námětem třetího tunelářského odpoledne, které se konalo 28. listopadu 2012, byl tunel Blanka. V dopoledních hodinách se uskutečnila exkurze na vzduchotechnické objekty tunelu Královská obora. Účastníci si mohli prohlédnout prostory, které i po instalaci vzduchotechnických zařízení dávají tušit ohromující rozměry podzemního díla. O exkurzi byl velký zájem, zúčastnilo se jí okolo šedesáti zájemců.

Odpoledne v proseckém hotelu Duo proběhly přednášky, které si přišlo vyslechnout sto deset lidí. Podle této vysoké účasti lze soudit, že téma tunelu Blanka je velmi přitažlivé.

Během první přednášky na téma složitosti ražeb tunelového komplexu Blanka se vystřídali dva řečníci – Ing. Alexandr Butovič, Ph.D. (Satra, spol. s r. o.) a Ing. Jan Kvaš (Metrostav a. s.). Na začátku seznámili přítomné s obecnými informacemi o tunelovém komplexu Blanka, dále hovořili o ražbě dvoupruhových tunelů pod Vltavou, pod zvodněnými sedimenty v oblasti parku Stromovka, o ražbě strojovny vzduchotechniky a třípruhových tunelech ražených v zeminách v úseku tunelu Brusnice.

V další přednášce Ing. Ondřej Kostohryz (Arcadis Geotechnika a. s.) a Ing. Martin Čermák (Inset s. r. o.) přiblížili systém a výsledky geotechnického monitoringu při realizaci tunelového komplexu

Blanka, podrobně se věnovali jednotlivým metodám monitoringu použitým při výstavbě.

Jako pátý vystoupil Ing. Petr Tětek (Satra, spol. s r. o.). Tématem jeho přednášky bylo zajištění a opravy objektů nadzemní zástavby. Popisoval činnosti, které bylo nutné vykonat před započítáním vlastní stavby tak, aby nedošlo k poškození objektů dotčených výstavbou, protože řada okolních staveb již sama o sobě nespĺňuje požadavky na bezpečné užívání. Zvláště nepochopitelně se jevila situace u stadionu Sparta, kde byla značná část nosného systému v havarijním stavu. Bylo provedeno zajištění některých nosných prvků, které by mohly být ovlivněny probíhající výstavbou a vlastníkově doporučeno, aby zajistil i ostatní části, ten však na doporučení nerefletoval.

Na konci prvního bloku Ing. Josef Kutil (Inženýring dopravních staveb a. s.) obeznámil posluchače s financováním tunelového komplexu Blanka a vysvětlil, jak docházelo k postupnému nárůstu investičních nákladů, které je tak často zmiňováno v médiích.

Čelně odtěžované tunely na stavbě tunelového komplexu Blanka objasnil Ing. Lukáš Grúnwald (Satra, spol. s r. o.). Podrobně charakterizoval úseky stavby, kde byla použita metoda tzv. milánských stěn.

## MEZINÁRODNÍ SEMINÁŘ ZPEVNĚVÁNÍ, TĚSNĚNÍ A KOTVENÍ HORNINOVÉHO MASIVU A STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ 2013

### INTERNATIONAL SEMINAR ON CONSOLIDATION, REDUCTION OF PERMEABILITY AND ANCHORING OF ROCK MASS AND CIVIL ENGINEERING STRUCTURES 2013

18<sup>th</sup> International Seminar on Consolidation, Reduction of Permeability and Anchoring of Rock Mass and Civil Engineering Structures took place in the new auditorium of VŠB-Technical University of Ostrava on 14 and 15 February 2013. The seminar was traditionally organized in cooperation with company Minova Bohemia s.r.o., under the auspices of the Czech Tunneling Association and Czech Mining Authority. The seminar was attended by approximately 150 participants including foreign guests from Poland, Germany, United Kingdom, Romania, and Slovakia.

V termínu 14.–15. 2. 2013 se v prostorách Nové auly VŠB-Technické Univerzity Ostrava konal již 18. ročník mezinárodního semináře *Zpevnění, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2013*. Seminář je již tradičně pořádán ve spolupráci s firmou Minova Bohemia s. r. o. pod záštitou České tunelářské asociace a Českého báňského úřadu, letošní ročník byl zahrnut rovněž do programu celoživotního vzdělávání členů ČKAIT. Semináře se zúčastnilo celkem cca 150 účastníků, včetně zahraničních hostů z Polska, Německa, Velké Británie, Rumunska a Slovenska.

I přesto, že v době současných ekonomických problémů dochází k omezení nové výstavby, přinesla tato odborná geotechnická akce mnoho zajímavých poznatků a zkušeností z geotechnické a hornické praxe.

Úvodní přednáška semináře, přednesená zástupcem Českého báňského úřadu v Praze ing. Dvořáčkem, byla věnována příčinám a následkům pracovních úrazů s cílem zvýšení bezpečnosti práce a ochrany života a zdraví pracovníků. Další zajímavou přednáškou úvodního bloku připravili pracovníci firmy Metrostav a. s., účastníky semináře jistě zaujala problematika prvního nasazení technologie plnoprofilových tunelovacích strojů typu EPB při ražbě metra V.A v Praze. V září 2012 byla úspěšně dokončena kompletní ražba tunelu Jablunkov. Přednášku týkající se zmáhání závalu Jablunkovského tunelu II přednesl ing. Pechman z firmy Amberg Engineering Brno, a. s. V přednášce se zabýval jak sanačními opatřeními aplikovanými v místě závalu, tak pak i vlastní ražbou tunelového profilu přes zával metodou členěného výrubu s uplatněním NRTM a aplikací mikropilotových deštníků v kalotě. Dosavadní zkušenosti z výstavby metra ve Finsku představil ve svém příspěvku ing. Pavlovský – prezentované části projektu Länsimetro v Helsinkách byly raženy metodou Drill and Blast, s pobíráním čelby v celém profilu a délkou jednotlivých záběrů až 6 m. Předpolí čelby bylo v předstihu sanováno cementovými injektážemi, jednoplášťové

Následovala přednáška Ing. Pavla Kasala (Metrostav a. s.), který poskytl informace o hloubených tunelech klasického typu. Úseků, kde je použito této metody, je několik, avšak podrobně byly vylíčeny jen v části na Letné a v Troji.

Ing. Vladimír Petržílka (Satra, spol. s r. o.) v rámci své přednášky o hydroizolačních systémech představil mimo jiné použití hydroizolačních materiálů na bázi bentonitu.

O definitivních konstrukcích ražených úseků na stavbě tunelového komplexu Blanka přednášel Ing. Pavel Šourek (Satra, spol. s r. o.).

Závěrečný příspěvek Ing. Petra Bednáře se týkal technologického vybavení. Zajímavý byl nejen popis samotného vybavení, ale i doprava jednotlivých dílů s ohledem na jejich velké rozměry na stavbu a jejich montáž.

Prezentace přednesené na TO 3/12 lze vyhledat na [www.ita-aites.cz](http://www.ita-aites.cz).

ING. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D., [ita-aites@metrostav.cz](mailto:ita-aites@metrostav.cz),  
CZTA ITA-ATIES

definitivní ostění tunelu je tvořeno svorníky a stříkaným betonem. Problematikou těsnění tunelového ostění s využitím polyuretanových pryskyřic se zabývali ve svém příspěvku rumunští kolegové.

Velká část příspěvků byla věnována problematice sanací geotechnických staveb (sanace Jívovského tunelu, Domašovského tunelu, sanace skalního říčního v okolí hradu Valdštejn a na dalších lokalitách).

Příspěvek ing. Husárika z firmy Metrostav se zabýval zkušenostmi s aplikací bentonitové izolace na rozsáhlé stavbě městského okruhu v Praze, včetně uvedení výsledků testů, při kterých bylo simulováno zabudování izolace (bentonitový kompozit DUAL SEAL a bentonitová rohož VOLTEX) do konstrukce.

Jednání semináře ukázalo i mnoho problémů v oblasti hornictví, jimž byla věnována samostatná sekce. Přednáška Nicka Smithe, obchodního manažera firmy Minova Carbotech z Velké Británie, ukázala možnosti využití tenkostěnných stříkaných polymerových výztuží v hornictví a tunelovém stavitelství. Účastníky hornické sekce semináře jistě zaujaly příspěvky týkající se problematiky nových technologií a materiálů v oblasti aplikace kotvení v hornictví. Problematikou vysokého kotvení se po stránce teoretické i praktické zabývali ve svém příspěvku ing. Polus z polské firmy Novum Servis a kolektiv autorů ing. Dvořák (Minova Bohemia) a ing. Končula (Markagro s. r. o.). Příspěvky ukázaly, že vysoké kotvení je jedním ze



Obr. 1 Při zahájení semináře promluvil prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.  
Fig. 1 Prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc. speaking at the beginning of the seminar





Obr. 2 Přednášku o nasazení dvou štítů EPBS na stavbě prodloužení trasy V.A pražského metra přednesl Ing. David Cyroň (Metrostav a. s.)

Fig. 2 Lecture on EPBS shields utilization during Prague metro line V.A extension was given by Ing. David Cyroň (Metrostav a. s.)

způsobů, jak docílit zlepšení napěťových poměrů v okolí důlních děl pomocí lanových, resp. pramencových svorníků, což je v souvislosti s dobýváním ve stále větších hloubkách a v nepříznivějších geomechanických podmínkách problém vysoce aktuální.

Součástí semináře byly rovněž příspěvky pracovníků z vysokých škol z Polska a Slovenska, které dokumentovaly provázanost akademické sféry s řešením praktických geotechnických problémů. Přednáška prof. Hully ze Slovenské technické univerzity v Bratislavě poukázala na negativní vlivy hydrodynamických procesů v podloží staveb a na možnosti jejich předcházení. Kolegové z Univerzity Slezské v Gliwicích prezentovali jednak své zkušenosti s využitím metod zlepšování vlastností neúnosného podloží v Polsku chemickou stabilizací a tryskovou injektáží, jednak zajímavé příspěvky z oblasti aplikace numerických metod a metod umělé inteligence (metody umělých neuronových sítí) pro zvyšování spolehlivosti výsledků matematických modelů aplikovaných v podzemním a hornickém stavitelství.



Obr. 3 Ing. Lacina ze společnosti Amberg Engineering Brno hovořil o sanaci Jívovského tunelu

Fig. 3 Ing. Lacina from Amberg Engineering Brno described Jívovský tunnel redevelopment

Stejně jako v předchozím roce se seminář konal rovněž v rámci projektu OPVK „Inovace studijního oboru Geotechnika“, dva z letošních absolventů oboru měli možnost prezentovat v rámci semináře výsledky své diplomové práce před odbornou geotechnickou veřejností.

Jednání semináře i neoficiální diskuse v předsálí potvrdily přínos takových odborných setkání, a to jak z hlediska získávání nových informací a zkušeností, tak i z hlediska navazování nových kontaktů. 18. ročník semináře byl tedy úspěšný, lze si jen přát, aby se v příštím období poněkud snížily dopady ekonomické krize, aby se firmám dařilo získávat nové projekty a aby se pak o zkušenosti z jejich realizace mohly podělit s účastníky příštího, již. 19. ročníku této odborné akce.

DOC. RNDr. EVA HRUBEŠOVÁ, Ph.D., [eva.hrubesova@vsb.cz](mailto:eva.hrubesova@vsb.cz),  
Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava

## SEMINÁŘ NAVRHOVÁNÍ GEOTECHNICKÝCH KONSTRUKCÍ PODLE EUROKÓDU 7 (NEJEN) NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH

### WORKSHOP "GEOTECHNICAL DESIGN USING EUROCODE 7 (NOT ONLY) FOR ROADS"

Seventeenth workshop "Geotechnical Design using Eurocode 7 (not only) for Roads", which took place in Olšanka hotel, Prague, was dedicated to discussion about preparation of national annex to ČSN EN 1997-1. It also compared the geotechnical design practice in the Czech Republic, Slovakia, Germany and France.

Sedmnáctý seminář „Navrhování geotechnických konstrukcí podle Eurokódu 7 (nejen) na pozemních komunikacích“ pořádaný v hotelu Olšanka v Praze byl věnován diskusi o tvorbě národní přílohy (NP) k ČSN EN 1997-1 a srovnání praxe v navrhování geotechnických konstrukcí u nás, na Slovensku, v Německu a Francii.

Přednášející z ČR ukázali, jaká je současná praxe při návrhu plošných základů (Ing. Petr Kučera, ARCADIS Geotechnika), pilotových základů (doc. Ing. Jan Masopust, CSc., VUT Brno), opěrných konstrukcí (Ing. Petr Řezka, Pontex, s. r. o.) a stability svahů (Ing. Ivona Novotná, ARCADIS Geotechnika). Prof. Ing. Ivan Vaníček, CSc. (zpracovatel návrhu) a Ing. Vítězslav Herle (alternativní návrh) se zabývali problémy se zpracováním NP k Eurokódu 7. Rozpor existuje pouze ve dvou člancích, a to 2.1(8), ve kterém je umožněno stanovit rozsah a obsah geotechnických průzkumů, výpočtů a konstrukčních zkoušek, a v 2.4.7.3.4.1(1), ve kterém je možná volba návrhového přístupu ze tří možných. Zpracovatel návrhu vytváří manuál pro návrh geotechnických průzkumů, zatímco v alternativním návrhu jsou pouze základní teze a odkazy na platnou

legislativu. U druhého článku doporučuje zpracovatel návrhu použít návrhového přístupu DA1 (kromě pilot), zatímco zpracovatelé alternativního návrhu prosazují použití DA2 včetně pilot.

O praxi u našich nejbližších sousedů na Slovensku přednášela doc. Ing. Jana Frankovská, Ph.D. ze Stavební fakulty STU v Bratislavě. Na Slovensku používají pro navrhování DA2 kromě stability svahů, pro který se používá DA3. Dr. Bernd Schuppener z Výzkumného vodohospodářského ústavu v Karlsruhe představil koncepci navrhování používanou v Německu. Pro navrhování se používá DA2\*, kromě stability svahů, kde je používán DA3. O praxi ve Francii přednášel prof. Roger Frank z Univerzity Paris-Est. Ve Francii rovněž převažuje navrhování podle DA2, u stability svahů je možné použít jak DA2\*, tak DA3.

Geotechnický průzkum není součástí NP ani na Slovensku (revidovali normu STN 73 0039 Geologický prieskum na stavebné účely), ani v Německu (existuje zvláštní norma) a ani ve Francii.

Účastníci semináře dostali obsáhlý sborník s výtahy z přednášek a rovněž oba návrhy sporných článků NP pro případné vyjádření, jakému přístupu by dali přednost.

Tunely jsou geotechnickými konstrukcemi, a proto je Eurokód 7 významný i pro tunelářskou odbornou veřejnost.

ING. VÍTĚZSLAV HERLE, [vitezslav.herle@arcadisgt.cz](mailto:vitezslav.herle@arcadisgt.cz),  
ARCADIS Geotechnika, a. s.

## ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB / THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

CESTNÉ TUNELY NA FAERSKÝCH OSTROVOCH  
ROAD TUNNELS ON FAORE ISLANDS

Rugged terrain of Faore Islands has caused that there is no railway on the group of islands as its construction would be extremely expensive. Moreover, goods and materials can be advantageously transported by ships as most towns and major communities are located on the seashore or in fjords.

Despite of low population density, the group of islands has a surprisingly good road network, with main roads having a good tarmac surface (Fig. 1). 17 tunnels with the overall length of 41,787m have been built on these roads during the past 50 years (since 1965). An overview of these tunnels, their lengths, locations, and some other parameters are given in Table 1.

All these tunnels were driven by conventional methods using explosives in hard volcanic rocks with good excavation stability; lining was therefore constructed only in portal sections and across short fault zones. Due to low traffic intensity, all tunnels on Faore Islands were constructed as low-cost ones with only one traffic lane and with passing bays or with two lanes and with the maximum width of 6.5m. Some tunnels are accessible only for passenger cars due to the maximum height of 3.2m (Fig. 2). Tunnels are equipped only with emergency lighting (Fig. 3, Table 1) and only natural ventilation is provided.

Faerské súostrovie tvorí 18 ostrovov celkovej plochy 1399 km<sup>2</sup>. Nachádzajú sa na 62°00' severnej šírky približne na polceste medzi Nórskom a Islandom a tvoria autonómnu súčasť Dánskeho kráľovstva s vlastným parlamentom a menou, ktorá platí súbežne s dánskou menou (DKK = dánska koruna) len na ostrovoch. Dĺžka pobrežnej línie súostrovia je približne 1100 km, lebo posúvajúce sa ľadovce v postglaciálnej dobe vyryli do ostrovov hlboké zálivy, fjordy a prielivy. Faerské ostrovy sú tvorené z vulkanických hornín lávových prúdov cca 50 miliónov starých. Na rozdiel od Islandu sú ostrovy seizmicky stabilné. Golský prúd, ktorý prúdi okolo súostrovia, ho otepluje (ohrieva) – priemerná teplota v zime je + 3,5 °C, v lete až + 12 °C. Počet obyvateľov je 48 565 (rok 2011), z toho približne 1/2 žije na ostrove Streymoy v okolí hlavného mesta Tórshavn (19 315 obyvateľov, obr. 1). Na ostrovoch sa hovorí dánsky a faersky, čo je vikingská verzia staronórskeho jazyka. Obyvateľstvo vikingského pôvodu sa tu natrvalo usídlilo koncom 8. storočia n. l. Hlavným prostriedkom obživy je rybolov a voľný chov oviec. V ostatných rokoch (od roku 1965) sa rozráha turizmus. Na základe výsledkov predbežného prieskumu sa vo výsostných vodách okolo ostrovov zistili bohaté ložiská ropy a zemného plynu. Začala sa využívať vodná a veterná energia, ktoré majú veľkú perspektívu.

Veľmi členitý reliéf územia spôsobil, že na súostroví sa nenachádzajú žiadne železnice, ktorých výstavba by bola finančne veľmi náročná. Okrem toho pre dopravu tovarov a surovín je ekonomicky výhodná lodná doprava, keďže väčšina miest a strediskových obcí sa nachádza na pobreží mora, resp. pri hlbokých zálivoch – fjordoch. Rozmáhať sa začína aj umelý chov pstruhových a lososovitých rýb a zalesňovanie územia. Využívanie pôdy pre poľnohospodárstvo je veľmi obmedzené a extenzívne – v miestach, kde pobrežie zálivov nie je vystavené silným vetrom, na malých skalnými múrikmi chránených políčkach sa pestujú zemiaky. Dopestovaná úroda však zďaleka nepokrýva spotrebu a všetky ostatné pôdohospodárske produkty sa dovážajú z Dánska.

Na súostroví aj napriek malej hustote obyvateľstva je prekvapujúco dobrá cestná sieť, pričom hlavné komunikácie majú vozovku s dobrým asfaltovým povrchom (obr. 1). Na týchto cestách bolo za posledných cca 50 rokov (od roku 1965) vybudovaných 17 tunelov súhrnnej dĺžky 41 787 m. Prehľad týchto tunelov, ich dĺžka, lokalita výstavby a niektoré ďalšie parametre sú uvedené v tabuľke 1.

Všetky tieto tunely boli razené konvenčne s použitím trhavín v tvrdých vulkanických horninách s dobrou stabilitou výrubu, takže ostenie obkladného typu sa budovalo len v priortálových úsekoch a krátkych, poruchových zónach.

Vzhľadom na malé dopravné zaťaženie sú všetky tunely na Faerských ostrovoch budované ako nízkonákladové len s jedným dopravným pruhom a zálivmi na vyhýbanie, resp. dvoma pásmi šírky max. 6,5 m. Niektoré sú prejazdné len pre osobné vozidlá s prejazdnou výškou prierezu len 3,2 m (obr. 2). Osvetlenie tunelov je len núdzové (obr. 3, tab. 1), ventilácia len prirodzená.

Prvý tunel na ostrovoch bol postavený na ostrove Suduroy (obr. 2) v roku 1963. Na ostrove Borðoy v severnej časti Faerských ostrovov sú dva staré tunely. Boli postavené v rokoch 1965–1967 a ich celková dĺžka je 3800 m (tab. 1). Tieto tunely sú rozdelené len niekoľkými metrami, preto sa javia akoby to bol jeden tunel. Spájajú mestá Klaksvík, Árnafjørður s obcami Hvannasund a Norðdepil. Tunely sú vysoko v horách a v zimnom období sú tam niekedy problémy s padaním veľkých skál (obr. 4).

Geologické prostredie na Faerských ostrovoch je rovnako vhodné ako v Nórsku. Je tvorené čadičom. V Nórsku bolo postavených niekoľko podmorských tunelov v podobných podmienkach. Z tohto dôvodu boli využité pre návrh nielen nórske metódy



Obr. 1 Cestná sieť Faerských ostrovov  
Fig. 1 Road network of Faore Islands



Tab. 1 Cestné tunely na Faerských ostrovoch [5]

Lokalita					
Názov tunela	Rok výstavby	Výška prierezu [m]	Dĺžka [m]	Osvetlenie	Počet dopravných pruhov
Ostrov Streymoy					
Leynar	1977	4,5	760	áno	2
Kollfjarða	1992	4,6	2816	áno	2
Eysturoy					
Norðskála	1976	4,5	2520	nie	2
Leirvíkar	1985	4,6	2238	áno	2
Ostrov Borðoy					
Árnafjarðar	1965	3,2	1680	nie	1
Hvannasund	1967		2120	nie	1
Ostrov Kalsoy					
Villingardalur	1979	4,5	1193	nie	1
Ritudalur	1980	4,5	683	nie	1
Mikladalur	1980	4,5	1082	nie	1
Abzweigung Djúpadal	1985	4,0	220	nie	1
Trøllanes	1985	4,0	2248	nie	1
Ostrov Kunoy					
Kunoy	1988	4,6	3031	nie	1
Ostrov Vágur					
Gásadal	2006	4,5	1445	nie	1
Ostrov Suðuroy					
Hvalba	1963	3,2	1450	nie	1
Sandvík	1969	3,2	1500	nie	1
Sumba	1997	4,6	3240	nie	2
Hov	2007	4,6	2435	áno	2
Ostrovy Streymoy – Vágur					
Unterseetunnel	2002	4,6	4940	áno	2
Ostrovy Eysturoy – Borðoy					
Unterseetunnel	2006	4,6	6186	áno	2
		Spolu	41 787		

výstavby, ale aj normy. Takýto spôsob výstavby podmorských tunelov je zameraný na nasledovné okruhy:

- charakteristiky a hlavné úlohy tunela,
- geotechnický prieskum,
- metódy tunelovania – výrub,
- spevnenie horninového prostredia – ostenie,
- kontrola hladiny podzemnej vody,
- pracovné skúsenosti.

Princípy nórskej koncepcie výstavby tunelov pod morom (obr. 5) sú zamerané na:

- vytvorenie nepriepustného podložia pomocou injektáže,
- realizáciu dokonalej injektáže pred razením,
- kontrolu prostredia pomocou prieskumných vrtov alebo spôsobom, ktorý je preddefinovaný,
- ojedinelé použitie membránového ostenia.

Celá nórska koncepcia výstavby tunelov je založená na systematickom sledovaní a dôkladnej injektáži prostredia (obr. 5). Cieľom injektáže je vytvoriť nepriepustné podlozie (vytvorenie hydroizolácie) vyplníť trhlin a pórov.

Na Faerských ostrovoch sú vybudované aj podmorské tunely, slúžiace na prepojenie ostrovov a tým na zrýchlenie dopravy [4]. V prevádzke sú 2 podmorské tunely, ktoré sa nachádzajú:

- Vo vestmanskom prieplyve spája tunel Vága ostrovy Streymoy a Vágur.
- V Leirvíkском fjorde tunel Nordoy spája ostrovy Eysturoy a Borðoy.

Obidva tunely sú jednorúrové obojsmerné s 2 pruhmi. Ďalšie dva tunely sa pripravujú (Sandoy – medzi ostrovmi Sandoy a Streymoy, Skálafjord – prepojenie fjordu na ostrove Eusturoy), dĺžky tunelov z jednotlivých prameňov sú rozdielne. Skálafjarðartunnilin s dĺžkou cca 11 km by mal spájať mestá Runavík and Tórshavn. Stavba by mala byť ukončená v roku 2016 v nákladoch cca 1 bilion Dkk [6].

### Tunel Vágá

Výstavba jednorúrového tunela Vágá bola začatá v septembri v roku 2000. Tunel bol postavený zo súkromného kapitálu (prvý svojho druhu na ostrovoch), kde investori boli udelená koncesia na tunel, zahŕňujúca práce od projektu, cez výstavbu až po jeho prevádzku. Návrat investovaného kapitálu by mal byť v priebehu 15–20 rokov (Grove a Hansen, 2001). Zmluva obsahovala celý rad stimulov pre dodávateľa na zefektívnenie prípravy, zníženie predpokladaných nákladov rozpočtu a skrátenie časového harmonogramu. Tieto stimuly pozostávali z rôznych bonusov, resp. represii – pokút, penále:

- bonus za ukončenie stavby pred vopred dohodnutým termínom, resp. penále za neskoré odovzdanie tunela;

- podiel na úsporách z nákladov ušetrených na technických alternatívnych riešeniach, rozdelenie ušetrených nákladov bolo 50/50 medzi vlastníkom a zhotoviteľom;

- kompenzácia za zníženie výstužných prvkov a injektáže horninového prostredia ako bolo stanovené v súťažných podmienkach, zhotoviteľ

dostane časť vypočítaného zisku; resp. pri väčšom použitom množstve sú krátené jednotkové sadzby.

Ostenie tunela bolo jednovrstvové tvorené pomocou kotiev a injektáže horninového prostredia (podľa nórskeho princípu, obr. 5).



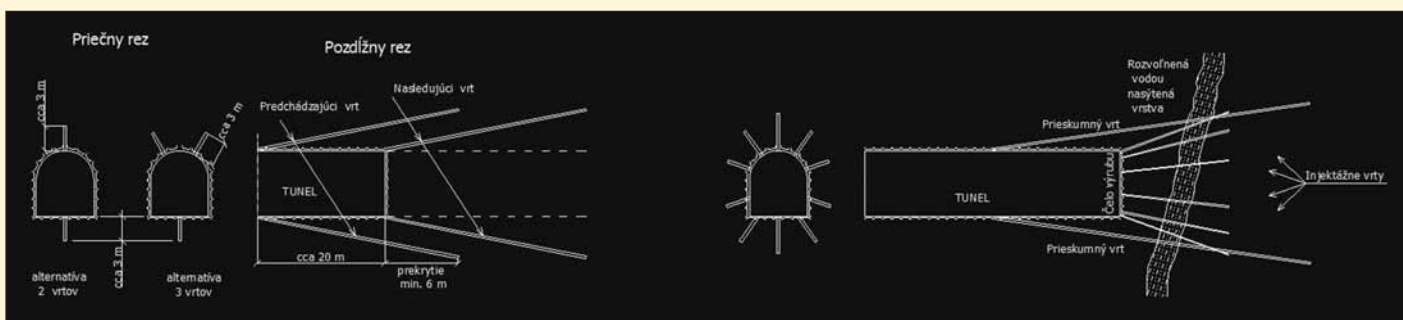
Obr. 2 Povolené rozmery vozidiel tunela Hvalba na ostrove Suðuroy  
Fig. 2 Permitted car dimensions – Hvalba tunnel on Suðuroy island



Obr. 3 Osvetlenie tunela Leirvíkar na ostrove Eysturoy [2]  
Fig. 3 Illumination of Leirvíkar tunnel on Eysturoy island [2]



Obr. 4 a, b Tunnel na ostrove Borðoy v severných Faerských ostrovoch, [5], [8]  
Fig. 4 a, b Tunnel on Borðoy island on northern Faeroe Islands, [5], [8]



Obr. 5 Konceptia výstavby tunelov nórskou metódou [4]  
Fig. 5 Concept of tunnels construction using the Norwegian method [4]

Tunel Vága bol razený v horninovom prostredí, ktoré bolo tvorené čadičom bez identifikovaných poruchových zón. Pri výstavbe sa špeciálne venovala pozornosť prítokom vody.

Dĺžka tunela (tab. 1) je 4940 m. Minimálna výška horninového nadložia 30 m a maximálna výška vody je 60 m. Maximálny pozdĺžny sklon tunela je 7 %. Plocha priečného prierezu výrubu je 65 m<sup>2</sup> s maximálnou šírkou 10 m. Výstavba tunela stála 302 miliónov DKK.

#### Tunel Nordoy

Príprava výstavby tunela Nordoy začala v roku 1988. Na začiatku boli vykonané seizmické merania. Pre tunel boli spracované alternatívne riešenia, ktoré obsahovali aj ekonomické porovnania. Prvé konkrétne návrhy tunela Nordoy a geotechnický prieskum začali v roku 2001. Výstavba bola začatá v januári 2004 a prerážka bola v roku 2005. Do prevádzky bol tunel daný v apríli 2006. Dĺžka výstavby bola skrátená o tri mesiace. Tunel Nordoy bol razený v podobných geologických

podmienkach ako tunel Vága rovnakou technológiou. Jeho dĺžka je 6186 m (tab. 1). Maximálna výška hladiny vody je 105 m. Plocha priečného rezu je 65 m<sup>2</sup> s maximálnou šírkou 10 m. Maximálny pozdĺžny sklon je 6 %. Minimálna výška horninového nadložia je 35 m a maximálna je 650 m. Tunel bol realizovaný za 405 miliónov DKK.

#### Hov tunel

Cestný tunel Hov sa nachádza medzi dedinami Ørvavik a Hov na ostrove Suðuroy, ale spája aj severnú a južnú časť ostrova. Tunel nahrádza starú cestu cez hory, ktorá je v zimnom období problematická, a tým ju skrátil. Tunel je jednorúrový s dvomi pruhmi. Dlhý je 2,435 km, výška tunela vo vrchole klenby je 6,42 m. Šírka cesty v tuneli je 9,5 m. Navrhnutý bol podľa nórskoho klasifikačného systému. Pri výstavbe tunela bolo vytážených 156 000 m<sup>3</sup> rúbaniny a prierezová plocha je 66,5 m<sup>2</sup>. Stavba bola realizovaná od septembra 2005 do decembra 2007 [10].

ING. JANA CHABROŇOVÁ, Ph.D.,  
PROF. ING. FRANTIŠEK KLEPSATEL

#### LITERATURA / REFERENCES

- [1] Blindheim, O. T., Grov, E., Bjorn, N. Nordic sub sea tunnel projects. In: ITA/AITES Accredited Material: Tunnelling and Underground Space Technology. Volume 20, Issue 6; November 2005; pages 570–580
- [2] [http://farm3.static.flickr.com/2211/2108608132\\_3ef6481971.jpg](http://farm3.static.flickr.com/2211/2108608132_3ef6481971.jpg)
- [3] [http://cache.virtualltourist.com/15/2249589-Klaksvik\\_Bordoy\\_tunnel\\_Eysturoy.jpg](http://cache.virtualltourist.com/15/2249589-Klaksvik_Bordoy_tunnel_Eysturoy.jpg)
- [4] [http://tunnelbuilder.com/SINTEF\\_Subsea-tunnelling.pdf](http://tunnelbuilder.com/SINTEF_Subsea-tunnelling.pdf)
- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Faroe\\_Islands,\\_Bor%C3%B0oy,\\_Nor%C3%B0depil\\_\(2\),\\_entrance\\_to\\_Hvannasundstunnilin.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Faroe_Islands,_Bor%C3%B0oy,_Nor%C3%B0depil_(2),_entrance_to_Hvannasundstunnilin.jpg)
- [6] <http://en.wikipedia.org/wiki/Runav%C3%ADk#Sk.C3.A1lafjar.C3.B0artunnilin>

#### PUBLIKACE KRÁLOVOPOLSKÝ TUNEL BRNO BOOK ON KRÁLOVOPOLSKÝ TUNEL, BRNO

At the end of 2012, the Czech publishing house DOPLNĚK released a book documenting the course of preparation and construction of Královopolský tunnel, which forms part of the Large City Ring in Brno. Authors of the book, who were mostly directly involved in tunnel preparation or construction, comprehensively described

their knowledge and experience collected during this construction project in ten basic chapters.

Nakladatelství DOPLNĚK vydalo na konci roku 2012 knihu, jež dokumentuje průběh přípravy a realizace stavby Královopolského tunelu, který je součástí Velkého městského okruhu v Brně. Autoři knihy, vesměs přímí účastníci přípravy či výstavby tunelu, srozumitelně a názorně zpracovali v deseti základních kapitolách své znalosti a zkušenosti získané na této stavbě. A tak se může čtenář knihy



seznámit s odpovědí na řadu otázek z oblasti geotechniky, betonových konstrukcí, postupů provádění, technologické vybavenosti, prvků bezpečnosti provozu, vlivů stavby na život města a řešení problémů v průběhu přípravy i realizace vlastního tunelu i souvisejících staveb. Namátkou uvádím ty části, které dle mého názoru činí Královopolský tunel unikátním podzemním dílem: rozsáhlé průzkumné práce, použití originálních prvků při sekvenční ražbě, ochrana povrchové zástavby pomocí tryskové injektáže a rozsáhlé kompenzační injektáže, popř. kvalitní monitoring. Publikace obsahuje též tři nečíslované kapitoly („dodatky“) - první „vypráví“ tunelářskou pohádku o škebli z Kénigu (je napsaná varietou češtiny používanou v Brně – hantecem), druhá seznamuje čtenáře s patronkou tunelářů Sv. Barborou a třetí je věnována vzpomínce na dva zmařené životy při výstavbě. Díky srozumitelnému a názornému členění publikace nemusí čtenář knihu číst soustavně, ale může si vybrat pouze tu část, která ho zajímá, případně kterou právě potřebuje.

Po přečtení knihy mohou konstatovat, že autorskému kolektivu se pod vedením doc. Ing. Vladislava Horáka, CSc. podařilo zdokumentovat toto významné podzemní dílo z hlediska investorské přípravy, průzkumných a projektových prací, vlastní výstavby tunelů, technologického vybavení a mimořádných okolností provázejících výstavbu. Podstatným kladem knihy, který ocení nejen praktici, je doplnění velkého množství fotografií o řadu schémat a grafů. Publikace jistě uspokojí technickou i laickou veřejnost a bude v budoucnu toto význačné dílo našeho podzemního stavitelství připomínat a zcela nepochybně se zařadí mezi několik odborných publikací popisujících významné podzemní stavby v České republice. Tato odborná publikace je zcela určitě zdrojem poučení a inspirací všem zájemcům o podzemní stavby – od technických nadšenců přes studenty technických fakult až po projektanty.

doc. Dr. Ing. JAN PRUŠKA, [pruskaj@fsv.cvut.cz](mailto:pruskaj@fsv.cvut.cz),  
Katedra geotechniky ČVUT v Praze, Fakulta stavební



Obr. 1 Titulní stránka publikace Královopolský tunel Brno

Fig. 1 Title page of Královopolský tunel Brno book

## VÝROČÍ / ANNIVERSARIES

### ING. JAN VINTERA ŠEDESÁTILETÝ ING. JAN VINTERA TURNS SIXTY

Letos, 2. března, se dožívá šedesáti let dlouholetý ředitel divize podzemních staveb u firmy Subterra a. s. a také její zástupce při CzTA, ing. Jan Vintera. Jako člen redakční rady časopisu Tunel a Honzův dlouholetý spolupracovník a kolega mám tu čest o něm napsat. Není pochyb o tom, že si to zaslouží jako málokdo jiný, protože výčet jeho působení na zásadních podzemních stavbách v České republice, jak bude ještě připomenuto, je naprosto ojedinělý a úctyhodný. Na druhou stranu jsem ale v rozpacích, abych nekoncepce články příliš bilančně, protože Jan Vintera je stále plný síly a v maximálním pracovním nasazení.

Asi si sám nepředstavoval, když v roce 2009 odcházel z pozice ředitele divize 1, aby se stal expertem na podzemní činnost na úseku generálního ředitele Subterra a. s., kolik ho tam čeká práce. Brzy po příchodu do nové funkce se musel naplno věnovat otázce vyšetřování havárie tunelu Jablunkov, spolupráci s Báňským úřadem a také technickým otázkám a problémům na řadě dalších tunelových staveb. Naštěstí to pro něj není vůbec žádný problém, protože na tunelových stavbách už sbíral zkušenosti více než třicet let a na maximální pracovní nasazení je zvyklý tak, že jinak by žít už asi neuměl.

Jeho příběh je ojedinělý i z hlediska jisté firemní věrnosti. Když v roce 1979 promoval na Stavební fakultě ČVUT v Praze v oboru vodohospodářských staveb, nastoupil k podniku VDUP (Výstavba dolů uranového průmyslu), ten se pak v roce 1990 změnil na firmu Subterra s. p. a v roce 1992 na nynější Subterra a. s., ale to nic nemění na tom, že pracoval stále u jedné jediné firmy a dělá zde pořádek. Slušší se také zdůraznit, že tehdy, když nastupoval v roce 1979, se ještě ctílo, že absolventi mají nejdříve ze všeho projít stavby v nižších provozních funkcích, takže i mladý nadějný Jan Vintera té doby začínal jako směnový technik a mistr, později jako stavbyvedoucí a vedoucí provozu. V té době se u firmy prováděly ražené kanalizační sběrače a první pražské kolektory. Měl tak dostatek příležitostí a času poznat podzemní stavitelství ve své reálné, provozní podobě. Vypadá, jak známo, úplně jinak, když je vnímáte v gumových botech a fáračkách, než když o něm posloucháte vědecké přednášky.



Ing. Jan Vintera, a long-term director of underground structures division in Subterra a.s. and the company's representative in CzTA will turn sixty on 2 March this year. As the member of Tunel magazine editorial board and Jan's long-term co-worker and colleague, I have the honor to write an article about him. There is no doubt that he deserves it more than anybody else because the list of his activities on major underground structures in the Czech Republic is unique and respectable, as obvious from the following text. On the other hand, I do not want to write a balancing article as Jan Vintera is still full of strength and continues to work hard.

When leaving the position of Division 1 director in 2009 to become an expert on underground engineering in the Managing Director's Section at Subterra a.s., he probably did not imagine the amount of work waiting for him. Soon after he took the new position, he got fully engaged in Jablunkov tunnel collapse investigation, cooperation with the Mining Authority, and also in technical issues and problems at a number of other tunneling projects. Luckily, this was not a major problem for him because he had been collecting experience in tunneling projects for over thirty years and was so much used to maximum commitment that he could not probably live otherwise.

His story is unique also from the perspective of certain company loyalty. After he graduated from the Faculty of Civil Engineering of the CTU in Prague in the field of water management structures in 1979, he started working in VDUP company (Výstavba dolů uranového průmyslu – Uranium Mines Construction), which changed to Subterra s.p. (state enterprise) in 1990 and subsequently to current Subterra a.s. (share corporation) in 1992. In fact, he has spent his entire professional life in one company. It is also worth mentioning that in 1979 all graduates were still required to start with junior operating positions at individual construction sites so even young and promising Jan Vintera first worked as shift technician and foreman in order to be subsequently promoted to the positions of site manager and operation manager. The company constructed driven main sewers and first Prague collectors at that time. He therefore had enough opportunities and time to come to know the underground engineering in its real, day-to-day form, which is known to be different in rubber boots and mine clothes than when you hear about it from scientific lectures.

Asi nejzásadnějším obdobím pro něj bylo působení ve vedení pražské divize podzemního stavitelství. V letech 1991 až 1996 to byla funkce hlavního inženýra, od roku 1997 pak až do zmíněného roku 2009 zde působil jako ředitel. (Není nijak podstatné, že divize různě měnila názvy: byla to divize podzemních staveb, pak sekce podzemních staveb, pak divize 1 atd., stále šlo v podstatě o totéž.) Za ty roky se podzemní výstavba u firmy Subterra a. s. pod jeho vedením naprosto zásadně proměnila: Začaly se stavět i velké tunelové stavby, metro, ražené kolektory v historických centrech Prahy, Brna i Ostravy a další. Na stavbách se zaváděly nové progresivní technologie, bylo třeba zvládnout Novou rakouskou tunelovací metodu ve všech jejích modifikacích, nasazovat výložníkové frézy, boomery, obrysovou trhací práci, velkokapacitní nakladače, mikrotunelování a další a další technologické novinky. Jmenujme jen některé nejzásadnější stavby té doby, za které byl ing. Vintera jako ředitel zodpovědný: Podzemní zásobník plynu v Příbrami, tunely Mrázovka, Pisárecký, Nové spojení, Klimkovice, Prackovice, metro IV.C.2 v Praze a kolektory na ulici Vodičkova, na Václavském náměstí v Praze a v centrech Ostravy a Brna. Jmenujme i některé významné zahraniční stavby jako německý železniční tunel Niederhausen nebo chorvatské dálniční tunely Plasina a Tuhobič, přes které každoročně projíždějí statisíce turistů z celého světa směrem na Jadran.

Nejde však jen o to, jaké se postavily stavby. Důležitý je i manažerský styl, který v té době Honza prosazoval. Porady byly klidné, věcné, přátelské a taková byla i atmosféra na celé divizi. Ani přes sebevypjatější situace a složitost a náročnost úkolů se nezapomínalo na slušnost a korektnost. Jen pro zajímavost: v té době, jako jeho podřízený, jsem například dostával od ing. Vintery mnoho textových zpráv. Vždycky po mně samozřejmě něco chtěl, ale nikdy nezapomněl připsat „prosím“ – i když měl sebevíc naspěch. Jak je vidět, ředitelem lze být i bez „ředitelských“ manýrů.

Ostatně tento styl praktikuje Jan Vintera dodnes a je to jen dobře. Vytvářet přátelskou a slušnou atmosféru je pro něj v práci i v osobním životě stejně důležité, jako vlastní vytváření hodnot. Není proto vůbec náhoda, že v osobním životě je Jan Vintera neméně úspěšný. Se svojí manželkou Růženu mají dvě dospělé dcery a taky už dvě vnoučata. Je taky známo, že je Honza velmi sportovně založený člověk – kdysi hrával prvotřídní basketbal a dodnes hrává fotbal a jezdí intenzivně na lyžích a na kole – i to mu při každodenních starostech hodně pomáhá.

Myslím, že my všichni, kteří ho známe – a je nás mnoho – se shodneme bez problémů na tom, že mu přejeme, aby si dlouho udržel nynější energii, pohodu a zdraví a aby to všechno i nadále přenášel i na své okolí. Šedesátka dnes není žádný věk, takže jsem přesvědčený, že až utichne cinkot skleniček a bouchání zátek, vrátí se Jan Vintera ke každodenní práci a bude v ní i nadále stejně pronikavě úspěšný jako dosud. Ku prospěchu svému, své rodiny, své firmy i celého českého tunelářství.

ING. KAREL FRANCYK, Ph.D., SUBTERRA a. s.

The most significant period of his career was his work in the management of the Underground Engineering Division in Prague. He held the position of chief engineer between 1991 and 1996 and from 1997 until 2009 he worked there as the director. (It is not important that the division changed its name several times: first it was the Underground Engineering Division, then the Underground Construction Section, then Division 1, etc., but the scope of work was more or less the same). Underground construction in Subterra a.s. changed considerably under his management: The company started working on large tunnel projects, metro, driven collectors in historic centers of Prague, Brno, Ostrava, and on other projects. New progressive technologies were introduced at the construction sites, it was necessary to master the New Austrian Tunneling Method in all its modifications, cantilever mills and boomers were introduced and so were the contour blasting, large-capacity wheel loaders, micro-tunneling, and other innovative technologies. Let's mention only the key projects of that time for which ing. Vintera was responsible in his position of the director: Underground gas storage in Příbram, Mrázovka tunnels, Pisárecký tunnel, New Connection, Klimkovice, Prackovice, metro IV.C.2 in Prague, collectors in Vodičkova street and Wenceslas Square in Prague, collectors in Ostrava and Brno city centres. Key foreign projects included Niederhausen railway tunnel in Germany or Plasina and Tuhobič motorway tunnels in Croatia through which hundreds of thousands of tourists pass on their way to the Adriatic sea every year.

But the completed projects represent only one aspect of his work. Another important aspect is the management style that Jan promoted at that time. Meetings took place in peace, discussions were relevant and friendly, as was the atmosphere in the entire division. Good manners and correctness were not forgotten even in the most stressful situations and during demanding and complex tasks. Just for the sake of interest: as I was ing. Vintera's subordinate at that time, he sent me many text messages. He always wanted me to do something but he never forgot to say "please" – no matter how busy he was. He proved that one can be a director without the "directors'" manners.

By the way, Jan Vintera has kept this style until today, which is good. Creating a friendly and fair atmosphere at work and in personal life is equally important to him and so is the creation of new values. It is not by chance that Jan Vintera is also successful in his personal life. He and his wife Růžena have two adult daughters and even two grandchildren. Jan is also a well-known sportsman – he used to play first-league basketball and he still plays football, enjoys skiing and rides a bicycle – all these sports help him to relax after everyday stress.

I think that all of us who know him – and there are many of us – would like to wish him a long-lasting energy, comfort, and health. May he share all those with his surroundings! Sixty is not a high age today, so I believe that after the clinking of glasses and popping of corks quieten down, Jan Vintera will return to his everyday work and he will continue to be so much successful as he has been so far. To the benefit of himself, his family, his company, and the entire Czech tunneling sector.

ING. KAREL FRANCYK, Ph.D., SUBTERRA a. s.

## AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICĚ CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION

### ČESKÁ REPUBLIKA

#### SOUBOR STAVEB MO V ÚSEKU MYSLBEKOVA – PELC-TYROLKA (BLANKA)

Pro tunely Špejchar – Pelc-Tyrolka (Královská obora) a Myslbekova – Prašný most (Brusnice) platí, že se společně nacházejí v přibližně stejné situaci. Všechny velké a objemné stavební činnosti spojené s dokončením hrubé stavby díla byly ve velké většině již ukončeny. V současné době tak jednou z hlavních dominant prováděných prací je realizace obkladů tunelových tubusů. Nové těžiště činností se tak pomalu přesunuje ke kompletaci technologie, dopravního značení a celkovému dokončení definitivního řešení na povrchu.

### THE CZECH REPUBLIC

#### CONSTRUCTION LOTS WITHIN MYSLBEKOVA – PELC-TYROLKA SECTION OF THE CITY CIRCLE ROAD (BLANKA TUNNEL)

It applies to the Špejchar – Pelc Tyrolka (Královská Obora) and the Myslbekova – Prašný Most (Brusnice) tunnels that they are found in an approximately identical situation. All significant and large-volume construction activities associated with the structural completion have been largely finished. One of the currently main dominants of the work being carried out is the installation of wall cladding in the tunnel tubes. The centre of gravity of the activities is therefore shifting to the installation of





*Třípruhový ražený tunel úseku Brusnice s dokončenými obklady stěn (foto: Jakub Karlíček)*

*The Brusnice section mined triple-lane with wall cladding completed (photo courtesy of Jakub Karlíček)*

## PRODLOUŽENÍ TRASY METRA V.A

Unikátní společnou prorážkou dorazily tunelovací stroje S609 (Tonda) a S610 (Adéla) do připravené demontážní komory ve stanici Dejvická, čímž byla kompletně dokončena ražba tratových tunelů pátého provozního úseku trasy A pražského metra. Prorážka se uskutečnila dne 26. 11. 2012 za velkého zájmu médií a za účasti významných hostů, mezi kterými nechyběli primátor hl. m. Prahy Bohuslav Svoboda či pan Dr. Martin Herrenknecht, majitel stejnojmenné německé firmy, která oba tunelovací stroje použité pro výstavbu pražského metra vyrobila.

Okamžikem prorážky však práce na projektu zdaleka nekončí. Oba štíty je nutné demontovat, odstěhovat z tunelů, vytáhnout na povrch skrz stavební jámu E1 a konečně dopravit do skladu v Horních Počernicích, kde budou uloženy a připraveny k využití pro budoucí projekty.

Ve stanici Dejvická probíhá rozebírání štítové části, která je demontována na díly takové velikosti, které dovolují jejich transport skrz vyražené tunely. Z tohoto důvodu musela být mj. rozřezána i rezná hlava. Ještě před transportem dílů štítu je postupně od zadu a po jednotlivých částech (gantrech) odvážen závěs štítu.

K datu uzávěrky příspěvku byl již odvezen kompletní závěs tunelovacího stroje Tonda, šnek, erektor a hlavní ložisko. Zbytek dílů by měl být odvezen do poloviny února, kdy bude započato i s demontáží druhého tunelovacího stroje – S610 Adéla.

Z propojek mezi již vyraženými tratovými tunely byly kompletně dokončeny propojky na tratových úsecích Motol – Petřiny a Petřiny – Veveřslavín. Jedná se celkem o šest VZT propojek, které jsou dokončeny v definitivním ostění a probíhají práce na demontáži výztužných ocelových konstrukcí v tratových tunelech. Na následujících tratových úsecích jsou v plném proudu přípravné práce pro zahájení ražeb. Jako první přijdou na řadu dvě VZT propojky na tratovém úseku Veveřslavín – Červený Vrch. Nejvíce VZT propojek je potom umístěno na tratovém úseku Červený Vrch – Dejvická, a to celkem sedm. Tyto propojky budou raženy ve velmi nepříznivých geologických podmínkách. Z tohoto důvodu byly v předstihu zahájeny práce na zlepšení horninového prostředí v prostoru propojek pomocí tryskových injektáží. V současné době tryskové injektáže probíhají na třech propojkách zároveň, což s sebou přináší dopravní omezení automobilové dopravy na Evropské ulici.

Ze tří ražených stanic trasy se ražby dokončují již jen ve stanici Veveřslavín, kde byla ke dni 28. 1. 2013 úspěšně dokončena ražba kaloty středního staničního profilu. K dnešnímu dni (12. 2. 2013) je vyraženo celkem i 38 m dna středního profilu a k jeho kompletnímu dokončení tak zbývá 62 m. Po dokončení ražeb dna středního profilu budou opět prováděny stříkané hydroizolace a následně definitivní konstrukce tunelové obezdívky. Zároveň byly obnoveny práce na únikovém objektu, kde jsou realizovány stříkané hydroizolace a betonáž dna štol. Stanice Veveřslavín je prováděna firmou Subterra a. s., a to divizemi 1 a 2.

tunnel equipment, road signalling and overall completion of the work on the final solution to structures on the surface.

## METRO LINE A EXTENSION NO. 5 (METRO LINE V.A)

The full-face tunnelling machines No. 609 (Tonda) and 610 (Adéla) jointly broke through into the dismantling chamber prepared at Dejvická station. This unique operation meant that the driving of running tunnels of the fifth operating section of the Prague Metro Line A has been fully completed. The breakthrough took place on 26th November 2012 under great attention of media and in the presence of special guests, among them Mr. Bohuslav Svoboda, the Prague Lord Mayor or Mr. Martin Herrenknecht, the owner of the German firm of the same name, which manufactured both full-face tunnelling machines for the construction of Prague metro. However, the work on the EPB shield driving project is far from finished by the breakthrough. Both tunnelling complexes have to be dismantled, moved from the tunnels, lifted up to the surface through E1 construction pit and finally transported to the storage facility in Horní Počernice, where they will be deposited and prepared for using on future projects.

The shield part of the complex is being dismantled at Dejvická station. It is disassembled into parts with the sizes allowing their transport through the completed tunnels. It was necessary for this reason even to cut the cutting wheel into pieces. The shield backup is being dismantled piece-by-piece (gantry-by-gantry) from the backup rear end before the shield components are transported.

As of the deadline for this contribution, the complete backup of Tonda machine, the screw, the erector and the main bearing have been removed. Remaining components should be removed from the site by the half of February, when the dismantling of the other full-face tunnelling machine, S610 Adéla, is planned to commence.

Of the cross passages between the completely excavated running tunnel tubes, the cross passages within the Motol - Petřiny and Petřiny - Veveřslavín track sections have been completely finished. There are six ventilation cross passages there, which are finished to the stage with the final lining completed. The work on the dismantling of support steel structures in running tunnels is underway there. Preparation for the commencement of the excavation of cross passages is in full swing in the next track sections. Two ventilation cross passages in the Veveřslavín – Červený Vrch track section will be driven first. Most ventilation cross-passages (seven in total) are located in the Červený Vrch – Dejvická track section. These cross passages will be driven in very unfavourable geological conditions. For that reason the work on improving the geological environment in the area of the cross passages by means of jet grouting have commenced in advance. At the moment, jet grouting is carried out for three cross passages. This operation brings vehicular traffic restrictions in Evropská Street with it. Of the three mined stations on the Line A extension, Veveřslavín station is the only station where the excavation still proceeds; the excavation of the top heading of the central station tunnel profile was finished on 28th January 2013. As of today (12/02/2013), the excavation of 38 m of the central profile has also been finished and 62 m of the excavation therefore remain to achieve the completion of the entire bottom. When the excavation of the central profile bottom is finished, the sprayed on waterproofing membrane will be applied to be followed by the installation of the final lining structure. At the same time the work on the escape structure resumed. There is spray-on waterproofing membrane being carried out there together with the casting of the gallery bottom. Veveřslavín station is being built by Subterra a. s. Divisions 1 and 2.

The final linings including waterproofing membranes are being installed in the remaining two stations, Petřiny and Červený Vrch. The structures of the last station, the partly sunk Motol station, have started to reach the above-ground level and show its final features. The work on all stations proceeds in compliance with the valid schedule.

## D8 MOTORWAY – CONSTRUCTION LOT 0805: LOVOSICE–ŘEHLOVICE

The work on the construction of the D8 motorway lot 0805 between Lovosice and Řehlovice proceeded first of all on the Radejčín tunnel (SO F 602) during the fourth quarter of 2012. Superelevated blinding

Ve zbylých dvou ražených stanicích Petřiny a Červený Vrch se buduje definitivní ostění včetně vodotěsných izolací. Poslední čtvrtá povrchová stanice Motol se svými budovanými konstrukcemi dosahuje již svých nadpovrchových částí a začíná tím tak ukazovat svoji konečnou podobu. Práce na všech stanicích probíhají podle platného harmonogramu.

### DÁLNIČNÍ D8 – 0805 – LOVOSICE – ŘEHLOVICE

Na stavbě dálnice D8 – 0805 Lovosice – Řehlovice ve čtvrtém čtvrtletí roku 2012 probíhaly stavební práce hlavně na tunelu Radejčín (SO F 602). V rámci výstavby stavebního objektu SO F 602.10 – konstrukce vnitřního vybavení – byly prováděny podkladní spádové betony v obou tunelových rourách. Provozně-technický objekt (SO F 602.05) má zasypané kabelové kanály a na vlastním objektu byly provedeny výkopové práce, příprava základové spáry, zhotoven podkladní beton, uložena vodorovná izolace a vybetonována základová deska a jímky. U pražského portálu tunelu Radejčín je vybudovaná opěrná zeď z gabionů.

V tunelu Prackovice (SO E 601) byl proveden zásyp stavebního objektu SO E 601.16 – požární nádrž a vodovod.

### PPO (PROTIPOVODŇOVÁ OPATŘENÍ) JABLONEC NAD NISOU

Razicí práce pokročily do závěrečné fáze. Na přírodní štole byl poslední odpal proveden 21. 11. 2012. Dílčí ražba nové odpadní štoly v úseku od VD Mšeno byla ukončena 30. 11. 2012. V úseku od soutoku do vložené šachty byla prorážka provedena 25. 1. 2013. V současné době probíhají ražby na posledním pracovišti v úseku z vložené těžší šachty k VD Mšeno. K dnešnímu dni tak zbývá vyrazit 148,5 m. Termín dokončení ražeb se očekává koncem března nebo začátkem dubna.

Ve všech vyražených úsecích probíhají souběžně přípravné práce pro betonáž definitivních obehů.

Na ostatních stavebních objektech jsou vyjma vtokového objektu SO 04, kde probíhají betonáže, práce přerušeny kvůli klimatickým podmínkám.

Oba rozdělovací objekty SO 01, SO 03 byly dokončeny k 31. 12. 12 a byly předány investorovi, podařilo se je tak dokončit před blížící se zimou, a tedy následnými jarními zvýšenými průtoky na obou tocích.

Další stavební práce budou zahájeny ve vazbě na sněhové a klimatické podmínky.

### ŽELEZNIČNÍ TUNEL JABLUNKOV Č. 2

Na železničním tunelu Jablunkov č. 2 byly firmou Subterra a. s. dokončeny všechny razicí práce spojené s jeho rekonstrukcí a nyní probíhají práce na betonáži definitivního ostění prováděné firmou Firesta.

### PLZEŇ – ÚSLAVSKÝ SBĚRAČ

Na stavbě úslavského sběrače v Plzni chybí z dvou kilometrů raženého úseku dokončit ještě asi 600 metrů. Stroj TCC Iseki Unclemole s modifikovanou hlavou nyní pracuje u prodejny Baumaxu podél Rokycanské ulice, kde by měly být práce dokončeny do konce února. Následovat bude ještě asi tři sta metrů v Božkově a pak se vše vrátí ke 170m skalnímu úseku pod řekou Úslavou, kde bude nasazena jiná razicí hlava. Práce provádí Subterra a. s., divize 1.

*ING. BORIS ŠEBESTA, sebesta@metrostav.cz,  
METROSTAV a. s.,*

*ING. KAREL FRAN CZYK, Ph.D., kfranczyk@subterra.cz,  
SUBTERRA a. s.*

## SLOVENSKÁ REPUBLIKA

### VÝSTAVBA ÚSEKOV DIALNIČNICE D1 S TUNELMI

Jediným dialničním úsekem vo výstavbe, ktorého súčasťou je tunel, je úsek D1 Jánovce – Jablonov. V máji 2012 bola uzatvorená zmluva so združením EUROVIA SK, a. s., EUROVIA CS, a. s., STAVBY MOSTOV SLOVAKIA, a. s. Súčasťou stavby je tunel Šibenik s dvomi

concrete layers were cast in both tunnel tubes within the framework of the work on structure SO F 602.10 (inner equipment structures). Backfilling of cable ducts has been finished at the operating and service structure (SO F 602.05) and the excavation, preparation of the foundation base, pouring of blinding concrete, installation of horizontal waterproofing membrane and casting of the concrete foundation slab with a sump have been finished. A gabion retaining wall has been erected at the Prague portal of the Radejčín tunnel.

The fire protection reservoir and the fire main (structure SO E 601.16) were backfilled in the Prackovice tunnel.

### FLOOD PREVENTION MEASURES FOR JABLONEC NAD NISOU

The tunnelling has progressed to the final stage. The last blasting for the Intake Tunnel was carried out on 21/11/2012. The partial driving of the New Outlet Tunnel from the Mšeno dam was finished on 30/11/2012. The breakthrough in the section from the Confluence to the intermediate shaft took place on 25/01/2013. At the moment, tunnelling is underway on the last working place, in the section between the intermediate hoisting shaft and the Mšeno dam. As of today, 148.5 m of tunnelling therefore remain to be completed. The tunnelling operations are expected to be finished at the end of March or at the beginning of April.

The preparation of the casting of final linings is underway concurrently in all completely excavated tunnels.

The work on all other structures, with the exception of the intake structure SO 04 where concrete casting is being carried out, is suspended because of climatic conditions.

Both water distribution structures SO 01 and SO 03 were completed before 31/12/2012 and were handed over to the client. They were finished before the approaching winter, thus even before subsequent increased spring flows in both watercourses.

Further construction work will commence in relation to the snow and climatic conditions.

### JABLUNKOV NO.2 RAILWAY TUNNEL

Subterra a. s. has finished all tunnelling operations associated with the reconstruction of the Jablunkov No. 2 railway tunnel. The final concrete lining is currently being cast by the company of Firesta.

### PLZEŇ – ÚHLAVA RIVER INTERCEPTOR SEWER

Of the two kilometres long mined section of the Úslava River interceptor sewer, Plzeň, about 600 metres remain to be completed. The TCC Iseki Unclemole machine with a modified cutterhead is currently running along Rokycanská Street, near Baumax shopping centre. The work on this section using the modified cutterhead should be completed by the end of February. The excavation of an about 300 metres long tunnel in the district of Božkov will follow. Eventually all operations will return to the 170 m long section under the Úslava River, where the modified cutterhead will be replaced by another one. The works are carried out by Subterra a. s. Division 1.

*ING. BORIS ŠEBESTA, sebesta@metrostav.cz,  
METROSTAV a. s.,*

*ING. KAREL FRAN CZYK, Ph.D., kfranczyk@subterra.cz,  
SUBTERRA a. s.*

## THE SLOVAK REPUBLIC

### DEVELOPMENT OF D1 MOTORWAY CONTAINING TUNNELS

The only motorway section under construction part of which is a tunnel is the Jánovce – Jablonov section of the D1 motorway. In May 2012, the contract was concluded with the consortium consisting of EUROVIA SK, a. s., EUROVIA CS, a. s. and STAVBY MOSTOV SLOVAKIA, a. s. Part of this construction is the Šibenik tunnel with two 0.6 km long tubes, which will be driven through an environment formed by Palaeogene claystone and sandstone. At the moment the preparation of design documents is still underway. The work on the western tunnel portal is planned to commence in the Spring of 2013.



rúrami dĺžky 0,6 km, ktorý bude razený v prostredí paleogénnych fľovcov a pieskovecov. V súčasnosti stále prebieha príprava projektovej dokumentácie tunelových objektov, pričom by sa na jar tohto roku mali začať práce na západnom portáli tunela. Ukončenie stavby a uvedenie diaľničného úseku do prevádzky je plánované na rok 2015.

V predošlom roku 2012 prebiehali dve súťažé na projekt a výstavbu úsekov diaľnice D1, ktorých súčasťou sú tunely. Ide o úseky Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala, ktorého súčasťou je aj najdlhší slovenský diaľničný tunel Višňové (7,5 km), a Hubová – Ivachnová s tunelom Čebrať (2 km). Obe súťažé sprevádza dlhý proces námietok a preskúmania Úradom pre verejné obstarávanie, takže začiatkom roku 2013 ani jedna zo súťaží nie je ukončená podpisom zmluvy s vybraným uchádzačom.

Súčasťou diaľničného spojenia D1 Bratislava – Košice budú aj ďalšie úseky s tunelmi. Na úsek Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka s tunelmi Ovčiarisko a Žilina by malo byť vyhlásené verejné obstarávanie v priebehu roku 2013. Pre úsek Turany – Hubová s tunelmi Rojkov a Havran bude v najbližšom období prebiehať projektová príprava kompenzačných opatrení na ochranu životného prostredia, pričom sa predpokladá začiatok výstavby úseku v roku 2015. Posledným chýbajúcim úsekom je úsek Prešov západ – Prešov juh s tunelom Prešov, na ktorý sa v súčasnosti spracováva dokumentácia na stavebné povolenie a začiatok výstavby sa očakáva tiež v roku 2015.

*ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, frankovsky@terraprojekt.sk,  
TERRAPROJEKT, a. s., Bratislava*

The completion of the construction and opening of the motorway section to traffic is planned for 2015.

Last year, 2012, there were two tenders underway, for the design and construction of the D1 motorway sections containing tunnels, namely the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section, the part of which is the Višňové tunnel, the longest Slovak motorway tunnel (7.5 km long), and the Hubová – Ivachnová section with the Čebrať tunnel (2 km long). Both tenders have been attended by a long process of claims and reviews by the Office for Public Procurement. As a result, none of the two tender dealings has been concluded by signing a contract with the selected tenderer.

Even other sections containing tunnels will be parts of the D1 motorway connection between Bratislava and Košice. Tenders for the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section containing the Ovčiarisko and Žilina tunnels should be sought during 2013. Regarding the Turany – Hubová section containing the Rojkov and Havran tunnels, the design for compensation environmental measures will be under preparation in the immediate future (the commencement of the construction of this section is planned for 2015). The Prešov West – Prešov South section is last missing section. It contains the Prešov tunnel. The final design for this tunnel is currently under preparation; the works commencement is also planned for 2015.

*ING. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, frankovsky@terraprojekt.sk,  
TERRAPROJEKT, a. s., Bratislava*

## ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

[www.ita-aites.cz](http://www.ita-aites.cz)

### ČINNOST SEKCE TUNELY ČSS V ROCE 2012 A PLÁN NA ROK 2013

### ACTIVITY OF TUNNELING SECTION OF THE CZECH ROAD SOCIETY IN 2012 AND ITS PLANS FOR 2013

The author of the article informs about activities of Tunneling Section of the Czech Road Society not only in the Czech Republic but also within the framework of the International road society PIARC. Prof. Pavel Příbyl, CSc., acts as the ordinary member of its TC 3.3 Section and Ing. Ludvík Šajtar acts as the associate member.

At the end of 2012, it was confirmed that meeting of international society COSUF would take place in Prague on 30 September and 1 October 2013. Afternoon presentation of the Blanka tunnel complex is planned for the first day of the meeting. The second day will be dedicated to meetings of COSUF's workgroups.

In accordance with the recommendation from final meeting of the Section in 2012, the Section's activities in 2013 will focus more on operation, major inspections, and reconstructions of road tunnels in the Czech Republic.

Již v průběhu ledna roku 2012 byly zahájeny činnosti v rámci nového *Strategického plánu mezinárodní silniční společnosti PIARC na období 2012–2015*. V návaznosti na spolupráci členů Sekce tunely ČSS v předchozích dvou obdobích byli pro období 2012–2015 delegáty ČR ve společnosti PIARC jmenováni pro činnost v části TC 3.3. Road tunnels operations jako řádný člen prof. Pavel Příbyl, CSc., a jako dopisující člen Ing. Ludvík Šajtar. Díky účasti prof. Příbyla na vstupním jednání o programu části T 3.3. v březnu v Paříži a jeho dalším aktivitám bylo v průběhu prvního pololetí roku 2012 ukončeno jednání o účasti pracovníků z ČR na činnostech pracovních skupin této části Strategického plánu PIARC na období 2012–2015, včetně členů Sekce tunely ČSS v rozsahu, který je zachycen v tabulce 1. Informace o probíhající spolupráci delegátů z ČR v pracovních skupinách jsou pravidelnou součástí jednání Sekce tunely ČSS.

Od vstupního jednání pracovní skupiny WG 5 části T 3.3. v září 2012 v Annecy se podařilo Ing. Šajtarovi začlenit mezi 15 vyhodnocovaných celosvětově nejrozsáhlejších soustav podzemních městských silničních

komunikací také pražský komplex tunelových staveb MO na úseku tunel Zlíčov až tunel Blanka. Dokladem úspěšnosti uvedené činnosti je zahájená příprava na jednání této pracovní skupiny PIARC předběžně v říjnu 2013 v Praze na Novotného lávce.

V závěru roku 2012 bylo potvrzeno uspořádání jednání mezinárodní společnosti COSUF ve dnech 30. 9. a 1. 10. 2013 v Praze. První den jednání je připravován jako odpolední předvedení tunelového komplexu Blanka. Druhý den jednání by pak probíhala dopolední jednání pracovních skupin společnosti COSUF na Novotného lávce. Oba dny jednání jsou připravovány Sekcí tunely ČSS a společností Satra s. r. o., členy společnosti COSUF, pro předpokládaných 50 účastníků jednání.

Břežnové jednání Sekce tunely 2012 se konalo v Informačním centru tunelu Blanka a díky laskavosti vedení divize 02 MTS bylo účastníkům jednání umožněno projet mikrobusy tunelovou část Letná – Troja. Společnost Satra s. r. o. seznámila účastníky jednání s dokončenou stavební částí komory větrání Letná a se zahájením dodávek technologických částí stavby tunelu Blanka.

Červnové jednání Sekce umožnilo jeho účastníkům v první části účast na zkouškách požárního větrání dokončovaného Královopolského tunelu VMO Brno. Navazující jednání Sekce tunely bylo pořádáno společností Brněnské komunikace, a. s., která organizovala na závěr jednání návštěvu nového Centrálního dispečinku BKOM.

Jednání Sekce tunely v září se konalo na Novotného lávce a bylo zejména věnováno prvním zkušenostem z provozování Královopolského tunelu VMO Brno, které bylo zahájeno na konci srpna 2012. Sekce tunely rovněž organizovala prezentování dokončeného a provozovaného Královopolského tunelu VMO Brno na Silniční konferenci 2012 ČSS v Plzni.

Prosincové tradiční slavnostní jednání Sekce v den svátku sv. Barbory, patronky horníků a tunelářů, se konalo u společnosti Pragoprojekt, a. s. Jednání zhodnotilo první rok činnosti pracovních skupin PIARC pro

Tab. 1 Pracovní skupiny PIARC  
Table 1 Workgroups of PIARC

<b>WG1 Sustainable operation</b>
<p>3.3.1 – Recommendations and case studies on sustainable road tunnel operations including cost, environmental and other issues to consider during the design, installation and maintenance of road tunnels. Chairman: J. C. Martin CM Ing. Miroslav Čermák (EEG)</p> <p>3.3.2 – Best practice for life cycle analysis, both for new and existing tunnels. Chairman: U. Welte CM Ing. Jan Příkryl (EEG)</p>
<b>WG2 Safety</b>
<p>3.3.5 – Feedback from experience on tunnel safety (including statistics and analyses on real accidents) as a basis for risk management. Chairman: B. Kohl Korespondenční člen prof. Příbyl (FD ČVUT), Ing. Smolík (SUBTERRA) a Ing. Rákosník (SATRA); Ing. Bajger (HZS)</p>
<b>WG3 Human behaviour</b>
<p>3.3.6 – Recommendations on real-time communications with users. Chairman: M. Tesson Korespondenční člen prof. Příbyl (FD ČVUT), Ing. Štefan Eltodo EG</p>
<b>WG4 Fire safety</b>
<p>3.3.3 – Best practice for fixed fire fighting systems (FFFS) in road tunnels. Chairman: L. Fielding, CM Ing. Bajger</p>
<b>WG5 Complex underground road tunnels</b>
<p>3.3.7 – Report on case studies and recommendations. Chairman: B. Falconnat. Členem je Ing. Šajtar (SATRA) CM Ing. Petr Socha (EEG); Ing. Smolík (SUBTERRA)</p>
<b>WG6 Knowledge management</b>
<p>3.3.8 – Further development towards a fully-integrated online Road Tunnels Manual. Chairman: Smitz. Členem je prof. P. Příbyl (FD ČVUT),</p>

Stav k 19. 2. 2013

období 2012–2015 a další činnosti členů Sekce v roce 2012 a doporučilo hlavní zaměření činnosti Sekce v roce 2013. Součástí jednání byla dále informace o rekonstrukci technologického vybavení Husovického tunelu VMO Brno, která proběhla v srpnu roku 2012.

Členové Sekce tunely ČSS byly při všech jednáních v roce 2012 průběžně informovány a aktivně spolupracovali na přípravě mezinárodní tunelářské konference Podzemní stavby Praha 2013.

#### Plán činnosti Sekce tunely ČSS na rok 2013

Činnosti Sekce tunely ČSS v roce 2013 budou, jako v předchozích letech, přinášet členům Sekce a ČSS informace, články a prezentace z tunelových částí pozemních komunikací v ČR, ale i ze zahraničí.

Významnou částí činnosti Sekce v roce 2013 bude účast jejích členů při dalších jednáních pracovních skupin mezinárodní společností COSUF a PIARC a zejména účast při organizování jednání mezinárodních společností COSUF a WG 5 části T 3.3. PIARC v říjnu 2013 v Praze. Členové Sekce se dubnu v roce 2013 aktivně účastní mezinárodní tunelářské konference CTA Podzemní stavby Praha 2013 a v říjnu Silniční konference 2013 ČSS.

V souladu s doporučením závěrečného jednání Sekce v minulém roce bude činnost Sekce v roce 2013 více zaměřována na provozování, hlavní prohlídky a rekonstrukce tunelů pozemních komunikací ČR. Pravidelná čtvrtletní jednání Sekce jsou v roce 2013 plánována na termíny 20. 3., 19. 6., 18. 9. a 4. 12. 2013.

ING. SMOLÍK JIŘÍ, [smolikj@subterra.cz](mailto:smolikj@subterra.cz),  
Sekce tunely ČSS

ARCADIS Geotechnika a. s., ČaS výbor ISSMGE ve spolupráci s ČGtS a s patronací ÚTAM AV ČR pořádají ve dnech **13. a 14. května 2013** v budově Akademie věd ČR, Praha 1, Národní třída 3

## PRAŽSKÉ GEOTECHNICKÉ DNY 2013

### Pondělí 13. 5. 2013

Dopolední program:  
odborný seminář **Problematika vody v zeminách**

Odpolední program:  
prezentace uchazečů o Cenu akademika Quido Záruby pro mladé inženýrské geology a geotechniky, vyhlášení vítěze a předání ceny

21. pražská geotechnická přednáška:  
**Stability and Seismicity in Fractional Geomechanics**  
(prof. Gerd Gudehus, Technologický institut v Karlsruhe, Německo)

Součástí prvního dne PGD bude doprovodná výstavka odborných firem.

### Úterý 14. 5. 2013

Workshop:  
**Interakce hydrotechnických staveb s podložím**

Odborný garant PGD: doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc.,  
ARCADIS Geotechnika a. s.

Pozvánky včetně podrobného programu a závazných přihlášek budou rozesílány během dubna 2013.

Kontaktní adresa:  
ARCADIS Geotechnika a. s. (Ing. M. Frombergerová)  
tel.: 234 654 101, fax: 234 654 102,  
e-mail: [frombergerova@arcadisgt.cz](mailto:frombergerova@arcadisgt.cz)



Pamětní medaile udělovaná k Cení akademika Q. Záruby



## SMLUVNÍ VZTAHY VÝSTAVBOVÝCH PROJEKTŮ

Monografie *Smluvní vztahy výstavbových projektů* (autor JUDr. Lukáš Klee, Ph.D.) seznámí čtenáře se základními právními a manažerskými specifiky stavebnictví a umožní mu pochopit unikátnost velkých výstavbových projektů.

Kniha je zaměřena především na typologii výstavbových projektů, běžná nebezpečí a alokaci rizik, zahraniční podnikání, určení ceny díla, odpovědnost za projektovou dokumentaci a smluvní podmínky FIDIC, které jsou jako nejpoužívanější standard obchodních podmínek smlouvy o dílo na zhotovení stavby pojednány z hlediska nové kodifikace soukromého práva. Tyto klíčové právní aspekty velkých výstavbových projektů jsou pojednány v uceleném přehledu.

Pozornost je věnována i dalším specifickým oblastem velkých výstavbových projektů – řízení času, nárokům na dodatečné platby a prodloužení lhůt plnění smluvních stran (tzv. claimů) a jejich ovládnutí (Claim Management), změnovým řízením a řešením sporů. V závěru knihy najde čtenář příklady, se kterými se autor setkal ve své každodenní praxi právníka velké stavební společnosti.

Knihu využijí manažeři stavebních společností, vedoucí projektu, stavbyvedoucí, přípraváři, konzultační inženýři, znalci, poradci, podnikoví právníci nebo advokáti z oblastí závazkových vztahů a veřejných zakázek, stejně tak rozhodci nebo soudci, kteří rozhodují spory z výstavbových projektů. Bude také výbornou pomůckou pro učitele a studenty vysokých škol právního, technického i ekonomického směru.

Knihu vydalo nakladatelství Wolters Kluwer.



Obr. 1 Titulní stránka publikace *Smluvní vztahy výstavbových projektů*

Fig. 1 Title page of publication *Contractual Practices in Civil Engineering Projects*

## SPRAVODAJ SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS

[www.sta-ita-aites.sk](http://www.sta-ita-aites.sk)

### SPRAVODAJ SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE SPRAVODAJ SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE

General assembly of the Slovak Tunneling Association STA ITA/AITES took place at the Faculty of Civil Engineering of the Slovak University of Technology in Bratislava on 17 January 2013. In accordance with the agenda of the general assembly, Ing. Róbert Turanský, STA Chairman, presented report on STA activities in 2012, report on STA economy and draft plan of STA activities for 2013.

Participants of the general assembly were interested to hear the information presented by Ing. Viktória Chomová, Investment Director of the National Motorway Society, regarding the state of preparation and prospects of execution of tunnel structures on the network of motorways and expressways in Slovakia. Based on this information, the tunnels construction could break the current stagnancy in the near future (2013 – 2014) and it is even possible to expect a significant increase of tunneling works in the future.

Valné zhromaždenie Slovenskej tunelárskej asociácie STA ITA/AITES sa konalo dňa 17. januára 2013 na pôde Stavebnej fakulty Slovenskej technickej univerzity v Bratislave. V úvode ako zástupca hostiteľskej organizácie vystúpil a zúčastnených privítal dekan Stavebnej fakulty, prof. Ing. Alojz Kopáčik, Ph.D.



Obr. 1 Predsedníctvo valného zhromaždenia STA  
Fig. 1 Board of the General assembly of STA

V súlade s programom valného zhromaždenia predseda STA Ing. Róbert Turanský predniesol Správu o činnosti STA za rok 2012, Správu o hospodárení STA a Návrh plánu činnosti STA na rok 2013. Situácia vo finančnom hospodárení, ako aj platení členských príspevkov v priebehu roka bola v dobrom stave. Organizačná a odborná časť programovaných akcií zodpovedala predpokladom prijatým v pláne činnosti na rok 2012.

Z pozvaných hostí pozdravil rokovanie valného zhromaždenia z poverenia predsedníctva CzTA Ing. Boris Šebesta, ktorý zároveň pozval slovenských kolegov na konferenciu Podzemní stavby Praha 2013 a vyjadril presvedčenie, že účasť bude aspoň tak početná ako na predchádzajúcich konferenciách. Podrobnejšie o programe predmetnej konferencie, mieste konania a podmienkach účasti informoval aj člen výboru STA Ing. Miloslav Frankovský.

Obvyklou súčasťou valných zhromaždení STA sú aj odborné prednášky. Ich tohoročným zameraním bola problematika betónu s rozptýlenou výstužou. Prednášky na túto tému pripravili a predniesli zástupca firmy Bekaert Ing. Dojčák a zástupca firmy Maccafferi Mgr. Šňahničan.

S veľkým záujmom si účastníci valného zhromaždenia vypočuli informáciu investičnej riaditeľky Národnej diaľničnej spoločnosti Ing. Viktórie Chomovej o stave príprav a vyhlídkach na realizáciu tunelových stavieb na sieti diaľnic a rýchlostných ciest. Podľa tejto informácie by v najbližšom období (v rokoch 2013–2014) mohla výstavba tunelov precitnúť z terajšej stagnácie a v horizonte ďalších rokov by dokonca mohlo dôjsť k takej dynamike, ktorá by absorbovala všetky disponibilné kapacity v tomto stavebnom odbore. Prirodzene, ide o len predpoklad s určitou mierou pravdepodobnosti. Jej reálna miera bude závisieť na celkovom hospodárskom vývoji nielen na Slovensku, ale aj v medzinárodnom kontexte. Plány prípravy a výstavby štátnych a regionálnych ciest na nasledovné obdobie predniesol zástupca Slovenskej správy ciest Ing. Samuel Jelínek.

Na valnom zhromaždení STA bolo prítomných viac ako 50 účastníkov, z čoho tvorili hlavnú časť zástupcovia 21 členských organizácií a menšiu časť individuálni členovia a hostia.

ING. JOZEF FRANKOVSKÝ

# BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ UVEŘEJNĚNÝCH V TUNELU, ČASOPISU ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE A SLOVENSKÉJ TUNELÁŘSKÉJ ASOCIÁCIE ITA-AITES V ROCE 2012 BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED IN THE JOURNAL TUNEL OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION AND THE SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES WITHIN THE YEAR 2012

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED	Číslo Issue	Strana Page	BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED	Číslo Issue	Strana Page
<b>ÚVODNÍK EDITORIAL</b>					
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.	1/2012	1	■ Metro v Baku: návrh a realizace fialové linky <i>Baku Metro: Design and Construction of the Violet Line</i>	2/2012	27
Ing. Ondřej Fuchs	1/2012	2	Ing. Pavel Růžička, Ph.D., Ing. Petr Makásek, Ing. Barnabás Polák, Ing. Martin Tyrlik		
Ing. Karel Franczyk, Ph.D.	2/2012	1	■ Metro Chennai, Indie <i>Chennai Metro, India</i>	2/2012	35
Ing. Radko Bucek, Ph.D.	2/2012	2	Ing. Helena Brooksová Toušová, Ing. Jan Čeněk, Ing. Martin Tyrlik		
prof. RNDr. Radim Blaheta	2/2012	3	■ Chennai Metro – projekt geotechnického monitoringu <i>Chennai Metro – Geotechnical Monitoring Design</i>	2/2012	43
doc. Dr. Ing. Jan Pruška	3/2012	1	Ing. Igor Zemánek, Mgr. Ondřej Zahradník		
Ing. Zdeněk Osner, CSc.	3/2012	2	■ Účast firmy MAPEI při výstavbě římského metra <i>Mapei Company Participation in Rome Metro construction</i>	3/2012	4
Ing. Zdeněk Runštuk	3/2012	3	Dipl. Ing. Enrico Dal Negro, Dipl. Ing. Alessandro Boscaro, Ing. Lubor Bačík		
Ing. Boris Šebesta	4/2012	1	■ Segmentová ostění tunelů z drátkobetonu <i>Steel Fibre Reinforced Segmental Tunnel Linings</i>	3/2012	31
Ing. Václav Hořejší, MBA	4/2012	2	doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D., Ing. Jaroslav Beňo		
Ing. Jiří Řehák	4/2012	3	■ Inženýrskogeologická a geotechnická problematika výstavby nové trasy V.A metra v Praze <i>Engineering Geological and Geotechnical Problems of the New Metro Line VA Construction in Prague</i>	4/2012	15
			Mgr. Jiří Tlamsa, Ing. Tomáš Ebermann, Jakub Bohátka, Mgr. Lucie Bohátková, Mgr. Jiří Rout		
<b>PODZEMNÍ URBANISMUS, VÝHELEDOVÉ STAVBY, NORMY UNDEGROUND CITY PLANNING, PROSPECTIVE PROJECTS, STANDARDS</b>			■ Experimentální zatěžovací zkoušky drátkobetonových a železobetonových prefabrikovaných segmentů pro ostění tunelů <i>Experimental Loading Tests of Steel Fibre Reinforced and Traditionally Reinforced Pre-cast Concrete Segments for Tunnel Linings</i>	4/2012	54
■ Projektová příprava tunelu Hosín <i>Hosín Tunnel Design Preparation</i>	1/2012	23	doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D., Dr. Ing. Petr Vítek		
Ing. Lenka Pikhartová, Ing. Michal Gramblička			<b>KANALIZACE, KOLEKTORY, MALÉ PROFILY SEWERAGE, UTILITY TUNNELS, SMALL PROFILE TUNNELS</b>		
<b>DOPRAVNÍ STAVBY TRANSPORT-RELATED PROJECTS</b>			■ Mikrotunelování ve značně proměnlivých geologických podmínkách v Pardubicích <i>Microtunnelling through Highly Variable Geological Conditions in Pardubice</i>	1/2012	9
■ Stanice Veveslavín – první trojpodlažní stanice pražského metra navržená metodou NRTM <i>Veveslavín Station – the First Three-vault Station Prague Metro Designed to Be Driven by the NATM</i>			Ing. Michal Erhard, Ing. Karel Franczyk, Ph.D.		
Ing. Petr Bican, Ing. Václav Dohnálek, Ing. Jan Panuška, Ing. Petr Chamra, Ing. Linda Vydrová	1/2012	3	■ Změna konstrukce protlaků tepelného napáječe Vysočany – Libeň <i>Modification of Pipejacking Structures on the Vysočany – Libeň Heat Feeder Line</i>	1/2012	47
■ Projektová příprava tunelu Hosín <i>Hosín Tunnel Design Preparation</i>	1/2012	23	Ing. Jaromír Zlámal		
Ing. Lenka Pikhartová, Ing. Michal Gramblička			■ Rekonstrukce a dostavba kanalizace Mnichovo Hradiště – ražená část <i>Mnichovo Hradiště Sewerage Reconstruction and Addition of New Parts – the Mined Part</i>	3/2012	16
■ Tunel Chienberg: sanace zvedání tunelu pomocí deformačních elementů v úseku procházejícím bobtnavými kueperskými sedimenty <i>Chienberg Tunnel: Rehabilitation Using Yielding Elements on the Section in Keuper Sediments Affected by Heave</i>	1/2012	31	Ing. Milan Schagerer		
Dipl.-Ing. Flavio Chiaverio, Dr.-Ing. Arno Thut			■ Přeložky kanalizačních stok a potoka Brusnice v rámci 2. stavby Strahovského tunelu <i>Diversions of Sewers and the Brusnice Brook within the Framework of Stage 2 of the Strahov Tunnel Construction</i>	3/2012	20
■ Metro v Baku: návrh a realizace fialové linky <i>Baku Metro: Design and Construction of the Violet Line</i>	2/2012	27	Ing. Přemysl František Kuchař, Ing. Milan Schagerer		
Ing. Pavel Růžička, Ph.D., Ing. Petr Makásek, Ing. Barnabás Polák, Ing. Martin Tyrlik			<b>SANACE, REKONSTRUKCE, ÚDRŽBA, OPRAVY RECONSTRUCTION, REINSTATING, MAINTENANCE, REPARATION</b>		
■ Metro Chennai, Indie <i>Chennai Metro, India</i>	2/2012	35	■ Tunel Chienberg: sanace zvedání tunelu pomocí deformačních elementů v úseku procházejícím bobtnavými kueperskými sedimenty <i>Chienberg Tunnel: Rehabilitation Using Yielding Elements on the Section in Keuper Sediments Affected by Heave</i>	1/2012	31
Ing. Helena Brooksová Toušová, Ing. Jan Čeněk, Ing. Martin Tyrlik			Dipl.-Ing. Flavio Chiaverio, Dr.-Ing. Arno Thut		
■ Chennai Metro – projekt geotechnického monitoringu <i>Chennai Metro – Geotechnical Monitoring Design</i>	2/2012	43	■ Výstavba kmenových stok z polymerbetonových komponentů <i>Construction of Trunk Sewers using Polymer Concrete Components</i>	3/2012	46
Ing. Igor Zemánek, Mgr. Ondřej Zahradník			Ing. Igor Fryč		
■ Tunel Jablunkov, historie a budoucnost? <i>Jablunkov Tunnel, History and Future?</i>	2/2012	67	<b>TEORIE, VÝZKUM, SLEDOVÁNÍ THEORY, RESEARCH, MONITORING</b>		
Ing. Ota Jandajsek			■ Stavební fakulta CVUT v Praze otvírá regionální podzemní výzkumné centrum URC Josef <i>Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague is opening the Regional Underground Research Centre (URC) Josef</i>	1/2012	39
■ Ražba tunelů v silně rozpuštěném horninovém masivu na trati Benešov – Vočice <i>Driving Tunnels through Heavily Fractured Rock Mass on Benešov – Vočice Railway Line</i>	2/2012	72	Ing. Danuše Nádherná, Ing. Dana Pacovská		
Ing. Milan Kössler			■ Historický důl Jeroným v Čisté – podzemní experimentální geotechnická laboratoř <i>Historical Jeroným Mine in Čistá – Underground Experimental Geotechnical Laboratory</i>	1/2012	54
■ Účast firmy MAPEI při výstavbě římského metra <i>Mapei Company Participation in Rome Metro construction</i>	3/2012	4	prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc., Ing. Radovan Kukutsch, doc. RNDr. Eva Hrubcová, Ph.D., doc. Ing. Robert Kořínek, CSc.		
Dipl. Ing. Enrico Dal Negro, Dipl. Ing. Alessandro Boscaro, Ing. Lubor Bačík			■ Využití kotvených systémů v hlubinných dolech OKR a testování jejich únosnosti <i>The Use of Anchoring Systems in OKR Underground Mines and Testing of their Resistance</i>	2/2012	4
■ Závislost bentonitové izolace na kvalitě podkladu <i>Dependence of Bentonite Waterproofing on Quality of Substrate</i>	3/2012	53	Ing. Kamil Souček, Ph.D., Ing. Petr Koniček, Ph.D., RNDr. Lubomír Staš, CSc., doc. Ing. Richard Šnupárek, CSc., Ing. Jiří Ptáček, Ph.D.		
Ing. Jiří Husárek			■ Studium propustnosti hornin za trojosého stavu napjatosti pro účely projektování podzemních staveb <i>Study into Permeability of Rocks in Triaxial Stress State for the Purpose of Designing for Underground Structures</i>	2/2012	11
■ Inženýrskogeologická a geotechnická problematika výstavby nové trasy V.A metra v Praze <i>Engineering Geological and Geotechnical Problems of the New Metro Line VA Construction in Prague</i>	4/2012	15	Ing. Pavel Konečný, Dr., Ing. Alena Kožušníková, CSc.		
Mgr. Jiří Tlamsa, Ing. Tomáš Ebermann, Jakub Bohátka, Mgr. Lucie Bohátková, Mgr. Jiří Rout			■ Využití oscilujících vodních paprsků při odstraňování povrchových vrstev degradovaného betonu in situ <i>Application of Oscillating Waterjets to in Situ Removing of Decomposed Surface Layers of Concrete</i>	2/2012	16
■ Vybavení silničních tunelů a přiměřená bezpečnost provozu <i>Road Tunnel Equipment and Adequate Operational Safety</i>	4/2012	34	Ing. Libor Sitek, Ph.D., Ing. Josef Foldyna, CSc., Ing. Jiří Klich, Ing. Lenka Bodnářová, Ph.D., Ing. Ivan Wolf		
prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.			■ Chennai Metro – projekt geotechnického monitoringu <i>Chennai Metro – Geotechnical Monitoring Design</i>	2/2012	43
■ Výhodnocení telematických systémů <i>Assessment of Telematic Systems</i>	4/2012	44	Ing. Igor Zemánek, Mgr. Ondřej Zahradník		
Ing. Dušan Krajčír, DiS., Ing. Martin Kňákal			<b>METRO SUBWAY</b>		
■ Řídicí systém tunelu Blanka a projekt dopravního značení <i>Blanka Tunnel Management System and Design for Traffic Signs</i>	4/2012	49	■ Stanice Veveslavín – první trojpodlažní stanice pražského metra navržená metodou NRTM <i>Veveslavín Station – the First Three-vault Station Prague Metro Designed to Be Driven by the NATM</i>	1/2012	3
Ing. Martin Kňákal, Ing. Dušan Krajčír, DiS., Ing. Jiří Štefan			Ing. Petr Bican, Ing. Václav Dohnálek, Ing. Jan Panuška, Ing. Petr Chamra, Ing. Linda Vydrová		
■ Tunel Blanka, tunel do historie Prahy <i>Blanka Tunnel, a Tunnel to Prague History</i>	4/2012	66			
RNDr. Iva Herichová, PhDr. Ivana Fridrichová-Sýkorová, Ph.D., PhDr. Kateřina Tomková					



**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ**  
**BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED**Číslo Strana  
Issue Page

- Vplyv klimatických charakteristík Slovenska na dimenzovanie vozoviek v tunelech  
*Impact of Climate Characteristics of Slovakia on Dimensioning of Roads in Tunnels*  
prof. Dr. Ing. Martin Decký, Ing. Lucia Hroncová, Ph.D., Ing. Jozef Vangel, CSc. 2/2012 48
- Používání nově vyvinutých přísad ke zlepšení účinnosti urychlovačů ve stříkaných betonech  
*Using Advanced Admixture to Enhance Accelerator Performance in Sprayed Concrete*  
Dipl. Ing. Enrico Dal Negro, Dipl. Ing. Cristiano Maltese,  
Dipl. Ing. Veit Reinstadler, Ing. Lubor Bačík 3/2012 11
- Inženýrskogeologická a geotechnická problematika výstavby nové trasy V.A metra v Praze  
*Engineering Geological and Geotechnical Problems of the New Metro Line VA Construction in Prague*  
Mgr. Jiří Tlamsa, Ing. Tomáš Ebermann, Jakub Bohátka, Mgr. Lucie Bohátková,  
Mgr. Jiří Rout 4/2012 15
- Výzkum vlastností horninového masivu pro návrh a realizaci podzemních úložišť  
*Research into Rock Mass Properties for Designing and Constructing Underground Repositories*  
Ing. Jiří Záruba, MBA, RNDr. Karel Sosna, Ph.D., RNDr. Jan Najser, Ph.D. 4/2012 25
- Experimentální zatěžovací zkoušky drátobetonových a železobetonových prefabrikovaných segmentů pro ostění tunelů  
*Experimental Loading Tests of Steel Fibre Reinforced and Traditionally Reinforced Pre-cast Concrete Segments for Tunnel Linings*  
doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D., Dr. Ing. Petr Vítek 4/2012 54
- Stimulace horninového masivu pro vytvoření puklinového rezervoáru pro jímání geotermální energie  
*Stimulation of Rock Massif to Establish Fracture Reservoir for Capture of Geothermal Energy in the Hot-Dry-Rock System*  
Mgr. Hana Jiráková, Ph.D., RNDr. Michael Stibitz, Ing. Jan Vintera,  
Mgr. Michal Vaněček 4/2012 74
- Pravděpodobnostní analýza metodou Latin Hypercube Sampling  
*Probabilistic Analysis using Latin Hypercube Sampling Method*  
RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D., doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D. 4/2012 80

**HISTORIE****HISTORY**

- Historická pohraniční opevnění ČSR – rekonstrukce výstavby podzemních prostor  
*Historical Border Fortifications in Czechoslovak Republic – Reconstruction of the Development of Underground Spaces*  
Bc. Jakub Mikolášek, prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. 1/2012 13
- Historický důl Jeroným v Čisté – podzemní experimentální geotechnická laboratoř  
*Historical Jeroným Mine in Čistá – Underground Experimental Geotechnical Laboratory*  
prof. RNDr. Zdeněk Kaláb, CSc., Ing. Radovan Kukutsch, doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.,  
doc. Ing. Robert Kořínek, CSc. 1/2012 54
- Historická pohraniční opevnění ČSR – rekonstrukce výstavby podzemních prostor (2. část)  
*Historical Border Fortifications in Czechoslovak Republic – Reconstruction of the Development of Underground Spaces*  
Bc. Jakub Mikolášek, prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. 2/2012 57
- Eupalinův tunel/štola na ostrově Samos  
*Tunnel of Eupalinos on Samos Island*  
doc. Ing. Vlastimil Hanzl, CSc., doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. 3/2012 38
- Moderní monitorovací metody pro ražbu tunelů v městské zástavbě  
*Modern Monitoring Methods for Tunnelling in Urban Development*  
Ing. Ondřej Hort, Ing. Tomáš Ebermann, doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc.,  
Ing. Marek Záleský, Ph.D., Jakub Bohátka 4/2012 4
- Tunel Blanka, tunel do historie Prahy  
*Blanka Tunnel, a Tunnel to Prague History*  
RNDr. Iva Herichová, PhDr. Ivana Fridrichová-Sýkorová, Ph.D.,  
PhDr. Kateřina Tomková 4/2012 66

**RŮZNÉ****MISCELLANEOUS**

- Historická pohraniční opevnění ČSR – rekonstrukce výstavby podzemních prostor  
*Historical Border Fortifications in Czechoslovak Republic – Reconstruction of the Development of Underground Spaces*  
Bc. Jakub Mikolášek, prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. 1/2012 13
- Stavební fakulta ČVUT v Praze otvírá regionální podzemní výzkumné centrum URC Josef  
*Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in Prague is opening the Regional Underground Research Centre (URC) Josef*  
Ing. Danuše Nádhermá, Ing. Dana Pacovská 1/2012 39
- Změna konstrukce protlaků tepelného napaječe Vysočany – Libeň  
*Modification of Pipejacking Structures on the Vysočany – Libeň Heat Feeder Line*  
Ing. Jaromír Zlámal 1/2012 47
- Využití kotvevých systémů v hlubinných dolech OKR a testování jejich únosnosti  
*The Use of Anchoring Systems in OKR Underground Mines and Testing of their Resistance*  
Ing. Kamil Souček, Ph.D., Ing. Petr Koniček, Ph.D., RNDr. Lubomír Staš, CSc.,  
doc. Ing. Richard Šňupárek, CSc. Ing. Jiří Ptáček, Ph.D. 2/2012 4
- Vplyv klimatických charakteristík Slovenska na dimenzovanie vozoviek v tunelech  
*Impact of Climate Characteristics of Slovakia on Dimensioning of Roads in Tunnels*  
prof. Dr. Ing. Martin Decký, Ing. Lucia Hroncová, Ph.D., Ing. Jozef Vangel, CSc. 2/2012 48
- Historická pohraniční opevnění ČSR – rekonstrukce výstavby podzemních prostor (2. část)  
*Historical Border Fortifications in Czechoslovak Republic – Reconstruction of the Development of Underground Spaces*  
Bc. Jakub Mikolášek, prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. 2012 57
- Výzkum vlastností horninového masivu pro návrh a realizaci podzemních úložišť  
*Research into Rock Mass Properties for Designing and Constructing Underground Repositories*  
Ing. Jiří Záruba, MBA, RNDr. Karel Sosna, Ph.D., RNDr. Jan Najser, Ph.D. 4/2012 25
- Tunel Blanka, tunel do historie Prahy  
*Blanka Tunnel, a Tunnel to Prague History*  
RNDr. Iva Herichová, PhDr. Ivana Fridrichová-Sýkorová, Ph.D.,  
PhDr. Kateřina Tomková 4/2012 66
- Stimulace horninového masivu pro vytvoření puklinového rezervoáru pro jímání geotermální energie  
*Stimulation of Rock Massif to Establish Fracture Reservoir for Capture of Geothermal Energy in the Hot-Dry-Rock System*  
Mgr. Hana Jiráková, Ph.D., RNDr. Michael Stibitz, Ing. Jan Vintera,  
Mgr. Michal Vaněček 4/2012 74

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ**  
**BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED**Číslo Strana  
Issue Page

- Nález a likvidace podzemního prostoru pod rodinným domkem v Brně  
*Discovery and Liquidation of Underground Space under Family House in Brno*  
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ing. Jiří Šrubař 4/2012 90

**STAVEBNÍ MATERIÁLY****BUILDING MATERIAL**

- Účast firmy MAPEI při výstavbě římského metra  
*Mapei Company Participation in Rome Metro construction*  
Dipl. Ing. Enrico Dal Negro, Dipl. Ing. Alessandro Boscaro, Ing. Lubor Bačík 3/2012 4
- Používání nově vyvinutých přísad ke zlepšení účinnosti urychlovačů ve stříkaných betonech  
*Using Advanced Admixture to Enhance Accelerator Performance in Sprayed Concrete*  
Dipl. Ing. Enrico Dal Negro, Dipl. Ing. Cristiano Maltese, Dipl. Ing. Veit Reinstadler,  
Ing. Lubor Bačík 3/2012 11
- Segmentová ostění tunelů z drátobetonu  
*Steel Fibre Reinforced Segmental Tunnel Linings*  
doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D., Ing. Jaroslav Beňo 3/2012 31
- Závislost bentonitové izolace na kvalitě podkladu  
*Dependence of Bentonite Waterproofing on Quality of Substrate*  
Ing. Jiří Husárik 3/2012 53
- Experimentální zatěžovací zkoušky drátobetonových a železobetonových prefabrikovaných segmentů pro ostění tunelů  
*Experimental Loading Tests of Steel Fibre Reinforced and Traditionally Reinforced Pre-cast Concrete Segments for Tunnel Linings*  
doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D., Dr. Ing. Petr Vítek 4/2012 54

**TECHNOLOGIE****EQUIPMENT**

- Vybavení silničních tunelů a přiměřená bezpečnost provozu  
*Road Tunnel Equipment and Adequate Operational Safety*  
prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc. 4/2012 34
- Vyhodnocení telematických systémů  
*Assessment of Telematic Systems*  
Ing. Dušan Krajčír, DiS., Ing. Martin Kňákal 4/2012 44
- Řídicí systém tunelu Blanka a projekt dopravního značení  
*Blanka Tunnel Management System and Design for Traffic Signs*  
Ing. Martin Kňákal, Ing. Dušan Krajčír, DiS., Ing. Jiří Štefan 4/2012 49

**ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB****THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS**

- Vyšla monografie o tunelech na pozemních komunikacích  
*Treatise on Road Tunnels has been published*  
doc. Dr. Ing. Jan Pruška 1/2012 72
- Gigantické projekty tunelových staveb v Číně  
*Gigantic Tunnel Construction Projects in China*  
doc. Ing. Richard Šňupárek 1/2012 73
- Zahájení ražeb tunelu Patnitop v severní Indii  
*Commencement of the Patnitop Tunnel Excavation in Northern India*  
Ing. Martin Srb 1/2012 74
- Vodárenský projekt Melamchi v Nepálu  
*Melamchi Water Supply Project*  
Ing. Aristotelis Caravanas 1/2012 76
- Český geotechnik na podzemních stavbách v Číně  
Ing. Radek Bernard, Ph.D. 1/2012 78
- Prorážka dvoukolejného tunelu mezi Vypichem a stanicí Motol na stavbě pražského metra V.A  
*Double-trail Tunnel between Vypich and Motol Station breakthrough on the Pratur Metro Line VA Construction*  
Dipl.-Ing. Gottlieb Blazek 2/2012 85
- Francie – metro Grand paris express  
*France – Grand paris expres petro*  
Mgr. Tereza Šmejkalová 4/2012 110
- Metro Santiago de Chile – nové trasy linie 3 a linie 6  
*Santiago de Chile metro – New Lines Linea 3 and Linea 6*  
Ing. Václav Veselý, Ph.D. 4/2012 110

**AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICĚ****CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION**

- Soubor staveb MO v úseku Myslbekova – Pelc-Tyrolka  
*Tunel Špejchar – Pelc-Tyrolka (Královská obora)*  
*Myslbekova – Pelc-Tyrolka Section of the City Circle Road Špejchar – Pelc-Tyrolka Tunnel (Královská obora)*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 1/2012 86
- Tunel Myslbekova – Prašný most (Brusnice)  
*Myslbekova – Prašný most Tunnel (Brusnice)*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 1/2012 87
- Prodloužení trasy metra V.A  
*Metro Line VA Extension*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 1/2012 87
- Dálnice D8 – 805 Lovosice – Řehlovice  
*D8 Motorway – Construction Lot 805: Lovosice-Řehlovice*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 1/2012 88
- Tunely VMO Dobrovského  
*Dobrovského Tunnels on the Large City Circle Road in Brno*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 1/2012 88
- Tunely na železniční trati Praha – České Budějovice, úsek Votice – Benešov u Prahy  
*Tunnels on Votice – Benešov u Prahy Section of Prague – České Budějovice Railway Line*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 1/2012 88
- Železniční tunel Jablunkov č. 2  
*Jablunkov No. 2 Railway Tunnel*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 1/2012 89
- Tunel Turecký vrch  
*The Turecký Hill Tunnel*  
Ing. Miloslav Frankovský 1/2012 89

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ**  
**BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED**

Číslo Strana  
Issue Page

■ Výstavba úseků dálnice D1 s tunelmi  
*Construction of D1 Motorway Sections containing Tunnels*  
Ing. Miloslav Frankovský 1/2012 89

■ Soubor staveb MO v úseku Myslbečova – Pelc-Tyrolka  
Tunel Špejchar – Pelc-Tyrolka (Královská obora)  
*Myslbečova – Pelc-Tyrolka Section of the City Circle Road Špejchar – Pelc-Tyrolka Tunnel (Královská obora)*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 2/2012 89

■ Tunel Myslbečova – Pražský most (Brunšice)  
*Myslbečova – Pražský most Tunnel (Brunšice)*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 2/2012 90

■ Prodloužení trasy metra V.A  
*Metro Line V.A Extension*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 2/2012 90

■ Dálnice D8 – 805 Lovosice – Řehlovice  
*D8 Motorway – Construction Lot 805: Lovosice–Řehlovice*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 2/2012 91

■ PPO (Protipovodňová opatření) Jablonec nad Nisou  
*Flood Prevention Measures for Jablonec nad Nisou*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 2/2012 91

■ Tunely VMO Dobrovského  
*Dobrovského Tunnels on the Large City Circle Road in Brno*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 2/2012 92

■ Tunely na železniční trati Praha – České Budějovice, úsek Votice – Benešov u Prahy  
*Tunnels on Votice – Benešov u Prahy Section of Prague – České Budějovice Railway Line*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 2/2012 92

■ Železniční tunel Jablunkov č. 2  
*Jablunkov No. 2 Railway Tunnel*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 2/2012 92

■ Plzeň – Úslavský sběrač  
*Plzeň – Úslava River Interceptor Sewer*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 2/2012 92

■ Tunel Turecký vrch  
*The Turecký Hill Tunnel*  
Ing. Miloslav Frankovský 2/2011 93

■ Soubor staveb MO v úseku Myslbečova – Pelc-Tyrolka  
Tunel Špejchar – Pelc-Tyrolka (Královská obora)  
*Myslbečova – Pelc-Tyrolka Section of the City Circle Road Špejchar – Pelc-Tyrolka Tunnel (Královská obora)*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 3/2012 68

■ Tunel Myslbečova – Pražský most (Brunšice)  
*Myslbečova – Pražský most Tunnel (Brunšice)*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 3/2012 68

■ Prodloužení trasy metra V.A  
*Metro Line V.A Extension*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 3/2012 68

■ Dálnice D8 – 805 Lovosice – Řehlovice  
*D8 Motorway – Construction Lot 805: Lovosice–Řehlovice*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 3/2012 69

■ PPO (Protipovodňová opatření) Jablonec nad Nisou  
*Flood Prevention Measures for Jablonec nad Nisou*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 3/2012 69

■ Tunely VMO Dobrovského  
*Dobrovského Tunnels on the Large City Circle Road in Brno*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 3/2012 70

■ Železniční tunel Jablunkov č. 2  
*Jablunkov No. 2 Railway Tunnel*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 3/2012 70

■ Plzeň – Úslavský sběrač  
*Plzeň – Úslava River Interceptor Sewer*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 3/2012 70

■ Tunel Turecký vrch  
*The Turecký Hill Tunnel*  
Ing. Miloslav Frankovský 3/2012 71

■ Soubor staveb MO v úseku Myslbečova – Pelc-Tyrolka  
Tunel Špejchar – Pelc-Tyrolka (Královská obora)  
*Myslbečova – Pelc-Tyrolka Section of the City Circle Road Špejchar – Pelc-Tyrolka Tunnel (Královská obora)*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 4/2012 112

■ Tunel Myslbečova – Pražský most (Brunšice)  
*Myslbečova – Pražský most Tunnel (Brunšice)*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 4/2012 112

■ Prodloužení trasy metra V.A  
*Metro Line V.A Extension*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 4/2012 112

■ Dálnice D8 – 805 Lovosice – Řehlovice  
*D8 Motorway – Construction Lot 805: Lovosice–Řehlovice*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 4/2012 114

■ PPO (Protipovodňová opatření) Jablonec nad Nisou  
*Flood Prevention Measures for Jablonec nad Nisou*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 4/2012 114

■ Královopolské tunely v Brně  
*Královo pole Tunnels in Brno*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 4/2012 114

■ Železniční tunel Jablunkov č. 2  
*Jablunkov No. 2 Railway Tunnel*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 4/2012 115

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ**  
**BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED**

Číslo Strana  
Issue Page

■ Plzeň – Úslavský sběrač  
*Plzeň – Úslava River Interceptor Sewer*  
Ing. Boris Šebesta, Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 4/2012 115

■ Tunel Šibeník  
*Šibeník Tunnel*  
Ing. Miloslav Frankovský 4/2012 115

**ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ**  
**NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCE**

■ Seminář Rakouská legislativa pro podzemní stavby a její aplikace při výstavbě tunelů  
*Seminar on Austrian Legislation on Underground Construction and its Applications to Tunnel Construction*  
Ing. Libor Mařík, Ing. Martin Srb 1/2012 79

■ Stuva Tagung '11, Berlin  
*Stuva Tagung '11, Berlin*  
Ing. Vlastimil Horák 1/2012 81

■ 17. mezinárodní seminář zpevňování, kotvení a těsnění horninového masivu a stavebních konstrukcí  
*17th Annual International Seminar on Stabilisation, Anchoring and Reducing Permeability of Ground Mass and Engineering Structures 2012*  
RNDr. Eva Hrušková 1/2012 81

■ Tunelářské odpoledne 4/2011  
*Tunnelling Afternoon 4/2011*  
Ing. Miloslav Novotný 1/2012 82

■ Tunelářské odpoledne 1/2012  
*Tunnelling Afternoon 1/2012*  
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 2/2012 86

■ Plán činnosti výboru PIARC TC 3.3 „Road tunnel operation“ na další údobí 2012–2015  
*PIARC Committee TC 3.3 „Road tunnel operation“: work programme for the next period 2012 – 2015*  
Prof. Pavel Příbyl 2/2012 86

■ Činnost Sekce tunely ČSSS v roce 2011 a plán na rok 2012  
Ing. Jiří Smolík 2/2012 88

■ Kolokvium „Využití podzemí v urbanizovaných oblastech jihovýchodní Evropy – Under City 2012“  
*Colloquium on Using Underground Space in Urban Areas in South-East Europe – Under City 2012*  
Ing. Linda Vydrová 2/2012 89

■ Světový tunelářský kongres a 38. valné shromáždění ITA  
Tunely a podzemní prostor pro světovou společnost – Bangkok 2012  
*World Tunnel Congress & 38th. ITA General Assembly on Tunnelling and Underground Space for a Global Society – Bangkok 2012*  
doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D. 3/2012 61

■ Swiss Tunnel Congress 2012 v Luzernu  
*Swiss Tunnel Congress 2012 in Lucerne*  
Ing. Vlastimil Horák 3/2012 62

■ Tunelářské odpoledne 2/2012  
*Tunnel Afternoon 2/2012*  
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 3/2012 63

■ Tunelářské symposium v Mnichově 2012  
*Tunnel Symposium Munich 2012*  
Ing. Vlastimil Horák 3/2012 64

■ Odborný seminář Využití vláknobetonu v podzemním stavitelství  
*Technical Seminar on the use of Fibre Reinforced Concrete in Underground Construction*  
doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D., Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 3/2012 65

■ Pražské geotechnické dny, květen 2012  
*Prague Geotechnical Days, May 2012*  
doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc. 3/2012 66

■ 13. ročník mezinárodní konference Geotechnika 2012  
*13th International Conference Geotechnika 2012*  
doc. RNDr. Eva Hrušková Ph.D. 4/2012 103

■ Rakouský Tunneltag a 61. geomechanické kolokvium v Salcburku  
*Austrian Tunneltag and 61st Geomechanical colloquium in Salzburg*  
Ing. Libor Mařík, Ing. Miloslav Novotný 4/2012 104

■ 1. východoevropská tunelářská konference (EETC 2012)  
*1st East European Tunnelling Conference (EETC 2012)*  
doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D. 4/2012 108

■ Konference NO DIG v Luhačovicích  
*NO-DIG Conference in Luhačovice*  
Ing. Karel Franczyk, Ph.D. 4/2012 109

**ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES**  
**CZECH TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORTS**

■ Netradiční ocenění pro tunel Blanka  
*Non-traditional Appreciation for the Blanka Tunnel, Prague*  
Ing. Pavel Sourek 1/2012 90

■ Příprava 12. mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2013, 22.–24. dubna 2013, Praha, Česká republika  
*Preparation of 12th. International Conference Underground Construction Prague 2013, 22nd – 24th. April 2013, Prague, The Czech Republic*  
Ing. Ivan Hrdina 1/2012 90

■ 4. ročník mezinárodního geomechanického a geofyzikálního kolokvia  
*4th Annual International geomechanical and geophysical Colloquium*  
doc. Ing. Richard Šnupárek 1/2012 92

■ Příprava 12. mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2013, 22.–24. dubna 2013, Praha, Česká republika  
*Preparation of 12th. International Conference Underground Construction Prague 2013, 22nd – 24th. April 2013, Prague, The Czech Republic*  
Ing. Miloslav Novotný 2/2012 94

■ Valné shromáždění České tunelářské asociace ITA-AITES  
*General Assembly of the ITA-AITES Czech Tunnelling Association*  
Ing. Markéta Prušková, Ph.D. 3/2012 71



■ Exkurze na stavbu trasy V.A pražského metra Ing. Markéta Prušková, Ph.D.	3/2012	73
■ Příprava 12. mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2013, 22.–24. dubna 2013, Praha, Česká republika <i>Preparation of 12th. International Conference Underground Construction Prague 2013, 22nd – 24th. April 2013, Prague, The Czech Republic</i> Ing. Miloslav Novotný	3/2012	73
■ Příprava 12. mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2013, 22.–24. dubna 2013, Praha, Česká republika <i>Preparation of 12th. International Conference Underground Construction Prague 2013, 22nd – 24th. April 2013, Prague, The Czech Republic</i> Ing. Miloslav Novotný	4/2012	115
■ Odborný zájezd České tunelářské asociace ITA-AITES do Brna a Rakouska ve dnech 3. až 6. října 2012 <i>Technical Trip of the ITA-AITES Czech Tunneling Association to Brno and Austria from 3rd to 6th October 2012</i> Ing. Otakar Hasík	4/2012	116

**VÝROČÍ**  
**ANNIVERSARIES**

■ Sto let od narození prof. Ing. Dr. Jiřího Streite, CSc. <i>One Hundredth Anniversary of Birth of prof. Ing. Dr. Jiri Streit, CSc.</i> Ing. Michal Gramblička	1/2012	83
■ Narozenin, které ohraničují životní běh dlouhý ¾ století, se dožívá Ing. Jozef Frankovský <i>A Birthday Bordering the three-Quarter-Century-Long Life will be Celebrated by Ing. Jozef Frankovský</i> prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.	1/2012	84
■ 70 let Ing. Petra Vozarika Ing. Petr Vozarik Septuagenarian Ing. Miloslav Novotný	1/2012	85
■ Nedožitě sedmdesátin Ing. Georgie Romancova, CSc. <i>Seventieth Birthday Ing. Georgij Romancov, CSc., Never lived to see</i> Ing. Miloslav Novotný	4/2012	112

## JMENNÝ REJSTŘÍK AUTORŮ STATÍ ČASOPISU TUNEL ZA ROK 2012

### NAME INDEX OF AUTORS OF ARTICLES PUBLISHED IN THE TUNEL JOURNAL IN THE YEAR 2012

Jméno: name:	číslo: number:	strana: page:	Jméno: name:	číslo: number:	strana: page:	Jméno: name:	číslo: number:	strana: page:
<b>B</b>			Hrubešová, Eva	1/2012	54, 81	<b>R</b>		
Bačík, Libor	3/2012	4, 11	Husárik, Jiří	4/2012	103	Reinstadler, Veit	3/2012	11
Barták, Jiří	1/2012	13, 84		3/2012	53	Rout, Jiří	4/2012	15
	2/2012	57	<b>CH</b>			Rozsypal, Alexandr	3/2012	66
Beňo, Jaroslav	3/2012	31	Chamra, Petr	1/2012	3		4/2012	4
Bernard, Radek	1/2012	78	Chiaverio, Flavio	1/2012	31	Runštuk, Zdeněk	3/2012	3
Bican, Petr	1/2012	3	Chmelař, Radovan	1/2012	1	Růžička, Pavel	2/2012	27
Blahota, Radim	2/2012	3	<b>J</b>			<b>Ř</b>		
Blazek, Gottlieb	2/2012	85	Jandajsek, Ota	2/2012	67	Řehák, Jiří	4/2012	3
Boháčka, Jakub	4/2012	4, 15	Jiráková, Hana	4/2012	74	<b>S</b>		
Boháčková, Lucie	4/2012	15	<b>K</b>			Schagerer, Milan	3/2012	16, 20
Boscaro, Alessandro	3/2012	4	Kaláb, Zdeněk	1/2012	54	Sitek, Libor	2/2012	16
Bodnářová, Lenka	2/2012	16	Klich, Jiří	2/2012	16	Smolík, Jiří	2/2012	88
Brooksová Toušová, Helena	2/2012	35	Knákal, Martin	4/2012	44, 49	Sosna, Karel	4/2012	25
Bucek, Radko	2/2012	2	Konečný, Pavel	2/2012	11	Souček, Kamil	2/2012	4
<b>C</b>			Koníček, Petr	2/2012	4	Srb, Martin	1/2012	74, 79
Caravanas, Aristotelis	1/2012	76	Kořínek, Robert	1/2012	54	Staš, Lubomír	2/2012	4
<b>Č</b>			Kožušníková, Alena	2/2012	11	Stibitz, Michal	4/2012	74
Čeněk, Jan	2/2012	35	Kössler, Milan	2/2012	72	Svoboda, Tomáš	4/2012	80
<b>D</b>			Krajčír, Dušan	4/2012	44, 49	<b>Š</b>		
Decký, Martin	2/2012	48	Krätšmar-Šmogovič, Juraj	3/2012	53	Šebesta, Boris	1/2012	86
Dohnálek, Václav	1/2012	3	Kučař, Přemysl František	3/2012	20		2/2012	89
<b>E</b>			Kukutsch, Radovan	1/2012	54		3/2012	68
Ebermann, Tomáš	4/2012	4, 15	<b>M</b>				4/2012	1, 112
<b>F</b>			Maltese, Cristiano	3/2012	11	Šmejkalová, Tereza	4/2012	110
Foldyna, Josef	2/2012	16	Maňásek, Petr	2/2012	27	Šňupárek, Richard	1/2012	73, 92
Franczyk, Karel	1/2012	9, 86	Mařík, Libor	1/2012	9		2/2012	4
	2/2012	1, 89		4/2012	104	Šourek, Pavel	1/2012	90
	3/2012	68	Mikolášek, Jakub	1/2012	13	Šrubař, Jiří	4/2012	90
	4/2012	109, 112		2/2012	57	Štefan, Jiří	4/2012	49
Frankovský, Miloslav	1/2012	89	<b>N</b>			<b>T</b>		
	2/2012	93	Nádherná, Danuše	1/2012	39	Thut, Arno	1/2012	31
	3/2012	69	Najser, Jan	4/2012	25	Tlamsa, Jiří	4/2012	15
	4/2012	115	Negro, Enrico dal	3/2012	4, 11	Tomková, Kateřina	4/2012	66
Fridrichová-Sýkorová, Ivana	4/2012	66	Novotný, Miloslav	1/2012	82, 85	Turek, Tomáš	1/2012	9
Fryč, Igor	3/2012	46		2/2012	94	Tyrlík, Martin	2/2012	27, 35
Fuchs, Ondřej	1/2012	2		3/2012	73	<b>V</b>		
<b>G</b>				4/2012	104, 115	Vaněček, Michal	4/2012	74
Gramblička, Michal	1/2012	23, 83	<b>O</b>			Vangel, Jozef	2/2012	48
<b>H</b>			Osner, Zdeněk	3/2012	2	Veselý, Václav	4/2012	111
Hanzl, Vlastimil	3/2012	38	<b>P</b>			Vintra, Jan	4/2012	74
Hasík, Otakar	4/2012	116	Pacovská, Dana	1/2012	39	Vítek, Petr	4/2012	54
Herichová, Iva	4/2012	66	Panuška, Jan	1/2012	3	Vydrová, Linda	1/2012	3
Hilar, Matouš	3/2012	31, 61, 65	Pikhartová, Lenka	1/2012	23		2/2012	89
	4/2012	54, 80, 108	Polák, Barnabás	2/2012	27	<b>W</b>		
Horák, Vladislav	3/2012	38	Pruška, Jan	1/2012	72	Wolf, Ivan	2/2012	16
	4/2012	90		3/2012	1	<b>Z</b>		
Horák, Vlastimil	1/2012	81	Prušková, Markéta	2/2012	86	Zahradník, Ondřej	2/2012	43
	3/2012	63, 64		3/2012	63, 65, 71, 73	Záleský, Marek	4/2012	4
Hort, Ondřej	4/2012	4	Příbyl, Pavel	2/2012	86	Záruba, Jiří	4/2012	25
Hořejší, Václav	4/2012	2		3/2012	86	Zemánek, Igor	2/2012	43
Hrdina, Ivan	1/2012	90		4/2012	35	Zlámal, Jaromír	1/2012	47
Hroncová, Lucia	2/2012	48	Ptáček, Jiří	2/2012	4	<b>Ž</b>		
						Žůrek, Petr	1/2012	54