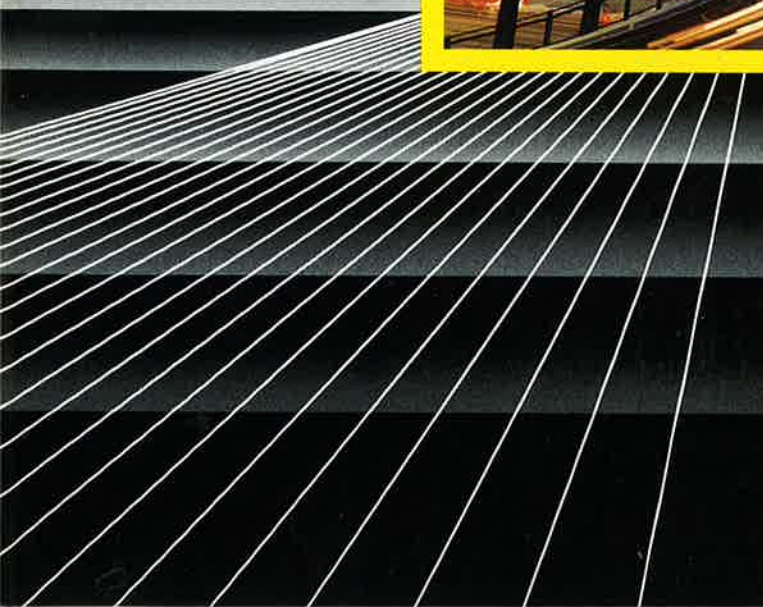


# TUNEL

ČASOPIS ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU  
A SLOVENSKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU ITA/AITES  
PODZEMNÍ STAVBY (VÝVOJ, VÝZKUM, PROJEKTOVÁNÍ, REALIZACE)

MAGAZINE OF THE CZECH TUNNELLING COMMITTEE  
AND SLOVAK TUNNELLING COMMITTEE ITA/AITES  
UNDERGROUND CONSTRUCTIONS (DEVELOPEMENT, RESEARCH, DESIGN, REALISATION)



# ČLENSKÉ ORGANIZACE ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU A SLOVENSKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU ITA/AITES

## MEMBER ORGANIZATIONS OF THE CZECH AND SLOVAK TUNNELLING COMMITTEES

**AD SERVIS TERRABOR, s. r. o.**  
Bělohorská 157/188  
169 00 Praha 6

**AMBERG ENGINEERING BRNO**  
Orlí 27  
602 00 Brno

**AQUATIS, a. s.**  
Botanická 56  
656 32 Brno

**CARBOGROUTING, a. s.**  
Lihovarská 10  
716 03 Ostrava-Radvanice

**CARBOTECH-BOHEMIA, s. r. o.**  
Lihovarská 10  
716 03 Ostrava-Radvanice

**ČERMÁK A HRACHOVEC s. r. o.**  
Smichovská 31  
Praha 5-Repyje

**DESCRIBO, s. r. o.**  
Stavební projekty  
U krčského nádraží 19  
140 00 Praha 4

**ELTODO, a. s.**  
Novodovrská 1010/14  
142 00 Praha 4

**EREBOS, s. r. o.**  
Malé Svatoňovice 249  
542 34

**GEOTEST, a. s.**  
Šmahova 112  
659 01 Brno

**IKE, s. r. o.**  
Plzeňská 166  
150 00 Praha 5

**ILF CONSULTING  
ENGINEERS s. r. o.**  
Jirsikova 5  
186 00 Praha 8

**INGSTAV BRNO, a. s.**  
Kopečná 20  
675 15 Brno

**INGUTIS CZ, s. r. o.**  
Třeboradická 1/1275  
182 00 Praha 8

**INSET s. r. o.**  
Novákových 6  
180 00 Praha 8

**INŽENÝRING  
DOPRAVNÍCH STAVEB, a. s.**  
Na Moráni 3  
128 00 Praha 2

**INŽENÝRSKÉ KONSTRUKCE**  
Projektová a inženýr. kancelář  
Kobrova 1363/2  
150 00 Praha 5

**KANKOL, s. r. o.**  
Nový Jáchymov 48  
267 03 Hrudlice, okr. Beroun

**METROPROJEKT Praha, a. s.**  
I. P. Pavlova 1786/2  
120 00 Praha 2

**METROSTAV a. s.**  
Dělnická 12  
170 04 Praha 7

**OKD, DÚLNÍ PRŮZKUM  
A BEZPEČNOST, a. s.**  
739 21 Paskov

**POHL, a. s.**  
Nádražní 25  
252 63 Roztoky u Prahy

**PŮDIS, a. s.**  
Nad vodovodem 2/169  
100 00 Praha 10

**SATRA, s. r. o.**  
Podhoří 2879  
276 01 Mělník

**SG GEOTECHNIKA, a. s.**  
Geologická 4  
150 00 Praha 5

**SOLETANCHE ČR, s. r. o.**  
K Botiči 6  
101 00 Praha 10

**STAVEBNÍ FAKULTA ČVUT**  
Thákurova 7  
166 29 Praha 6

**STAVEBNÍ FAKULTA VUT**  
Veveří 95  
662 37 Brno

**SUBTERRA a. s.**  
Bezová 1658  
147 14 Praha 4

**SUDOP, a. s.**  
Olšanská 1a  
130 80 Praha 3

**TUBES, s. r. o.**  
Londýnská 29  
123 00 Praha 2

**ÚSTAV GEONIKY AV ČR**  
Studentská ul.  
708 33 Ostrava-Poruba

**VIS, a. s.**  
Bezová 1658/1  
147 00 Praha 4

**VODNÍ STAVBY PRAHA, a. s.**  
divize 03  
Dobronická 635  
148 25 Praha 4

**VOJENSKÉ STAVBY, a. s.**  
Revoluční 3  
110 15 Praha 1

**VOKD, a. s.**  
Českoobrátská 7  
701 40 Ostrava

**VYSOKÁ ŠKOLA BĀŇSKÁ**  
tř. 17. listopadu  
708 33 Ostrava-Poruba

**ZAKLĀDÁNÍ GROUP, a. s.**  
Rohanský ostrov  
180 00 Praha 8

**ZĀPADOČESKÉ UHELNÉ  
DOLY ZBŮCH, a. s.**  
z. VÝSTAVBA PLZEŇ  
Radčická 40  
301 17 Plzeň

**ŽELEZNIČNÍ STAVITELSTVÍ  
BRNO, a. s., DIS**  
Heršpická 1  
639 00 Brno

**BANSKÉ STAVBY, a. s.**  
Košovská cesta 16  
971 01 Prievidza

**DOPRASTAV, a. s., GR**  
Drieňová 27  
826 56 Bratislava

**DOPRAVOPROJEKT, a. s.**  
Kominárska 2  
832 03 Bratislava

**GEOCONSULT, a. s.**  
Werferova 1  
040 11 Košice

**GEOCONSULT, spol. s r. o.**  
Drieňová 27  
826 56 Bratislava

**GEOMONTA, spol. s r. o.**  
Sebedražská cesta 7  
971 01 Prievidza

**GEOSTATIK, spol. s r. o.**  
Bytčická 32  
010 39 Žilina

**HYDROSANING**  
Mojmírova 14, P. O. BOX 6  
972 01 Bojnice

**HYDROSTAV, a. s.**  
Miletičova 21  
820 06 Bratislava

**INCO, a. s.**  
Pri starej prachárni 14  
831 50 Bratislava

**INGEO, a. s.**  
Bytčická 16  
010 01 Žilina

**INŽINIERSKE STAVBY, a. s.**  
Priemyselná 7  
042 45 Košice

**IZOFOL, spol. s r. o.**  
Odborárska 52  
831 02 Bratislava

**KERKO, a. s.**  
Tomášikova 35  
043 22 Košice

**MAGISTRÁT hl. m. Bratislavy**  
Primaciálne nám. 1  
814 99 Bratislava

**RUDNÝ PROJEKT,  
Inžiniering, a. s.**  
Festivalové nám. 1  
041 95 Košice

**SLOVENSKÁ SPRÁVA CIEST**  
Továrenská 7  
813 44 Bratislava

**SLOVENSKÉ TUNELY spol. s r. o.**  
Lamačská 16  
841 03 Bratislava

**SOLHYDRO, spol. s r. o.**  
Ml. nivy 61, P. O. BOX 31  
820 06 Bratislava

**STRENA, spol. s r. o.**  
P. O. BOX 71, Ružova dolina  
820 13 Bratislava

**STU Bratislava, Stavebná fakulta**  
Radlinského 11  
813 68 Bratislava

**ŠPECIÁLNE ČINNOSTI  
Ing. Ján Fabrický**  
Kuklovská 60  
841 05 Bratislava

**TECHNICKÁ UNIVERZITA  
KOŠICE,  
Fakulta Berg**  
Letná 9  
042 00 Košice

**TERAPROJEKT, a. s.**  
Podunajská 24  
821 06 Bratislava

**TUNEL NRC-SBS**  
Račianska 190  
831 05 Bratislava

**UNIVERZITA KOMENSKÉHO  
Katedra inž. geológie**  
Mlynská dolina  
842 15 Bratislava

**URANPRES, spol. s r. o.**  
F. Kráľa 2  
052 80 Spišská Nová Ves

**ÚSTAV GEOTECHNIKY SAV  
KOŠICE**  
Watsonova 45  
040 01 Košice

**VĀHOSTAV, a. s., GR**  
Hlínská 40  
011 18 Žilina

**VŠDS Žilina,  
Stavebná fakulta**  
Komenského 52  
010 26 Žilina

**VUIS – Zakladanie stavieb,  
spol. s r. o.**  
Lamačská 8  
817 14 Bratislava

**ŽELEZNICE SR, GR**  
Klemensova 8  
813 61 Bratislava

# TUNEL

Časopis Českého tunelářského komitétu  
a Slovenského tunelářského komitétu ITA/AITES  
Založen ing. Jaroslavem Gránem v roce 1992

## OBSAH

Úvodník: Ing. Jindřich Hess, předseda ČTuK .....	str. 1
Pohled na vývoj českého podzemního stavitelství za posledních 35 let očima firmy SUBTERRA, a.s. ....	str. 2
Ing. Miroslav Uhlík, SUBTERRA, a.s.	
Statika NRTM: Kvasireologická formulace výpočtu vlivu zrání a dotvarování stříkaného betonu na únosnost a přetvoření primárního ostění .....	str. 8
Ing. Aleš Zapletal, DrSc., Metrostav, a.s.	
Čtvrtý provozní úsek trasy B pražského metra je v provozu .....	str. 15
Ing. Josef Kutil, Inženýring dopravních staveb, a.s.	
Ing. Georgij Romancov, Metroprojekt Praha, a.s.	
Ing. Petr Vozarik, Metrostav, a.s.	
Tunel pod Mrázovkou v Praze .....	str. 23
Ing. Pavel Krásný, Ing. Zdeněk Nekvasil, PÚDIS, a.s.	
Řešení tunelů pod Mrázovkou .....	str. 28
Ing. Josef Dvořák, Ing. Michal Gramblička, Ing. Jaroslav Němeček, Ing. Ludvík Šajtár, SATRA, a.s.	
Tunel Branisko – Změny v procese projektové přípravy .....	str. 35
Ing. Miloslav Frankovský, Terraprojekt, a.s. Bratislava	
Inženýrské poměry Třebovického tunelu .....	str. 39
Ing. Jiří Pavlík, CSc., GEOTest Brno, a.s.	
Tunelářské osobnosti .....	str. 46
Zprávy z tunelářských konferencí .....	str. 47
Zpravodajství Českého tunelářského komitétu .....	str. 49
Spravodajstvo zo Slovenského tunelářského komitétu .....	str. 50
Kalendarium ITA/AITES .....	str. 51
Informace .....	str. 51

## REDAKČNÍ RADA

Předseda: Ing. Petr Vozarik – METROSTAV, a. s.  
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – ČVUT Praha  
Ing. Igor Fryč – POHL, a. s.  
Ing. Milan Krejcar – IKE, s.r.o.  
Ing. Josef Kutil – INŽENÝRING DOPRAVNÍCH STAVEB, a. s.  
Ing. Miloslav Novotný – VODNÍ STAVBY PRAHA a. s., divize 03  
Ing. Pavel Polák – METROSTAV, a. s.  
Ing. Pavel Příbyl, CSc. – ELTODO, a. s.  
Ing. Georgij Romancov, CSc. – METROPROJEKT Praha, a. s.  
Ing. Richard Šňupárek, CSc. – Ústav geoniky AV ČR  
Ing. Václav Torner – AQUATIS, a. s.  
Ing. Miroslav Uhlík – SUBTERRA, a. s.  
ČTuK ITA/AITES: Ing. Karel Matzner  
STK ITA/AITES: Ing. Jozef Frankovský – BANSKÉ STAVBY, a. s.  
Ing. Pavol Kusý, CSc. – TERRAPROJEKT, a. s.

## VYDAVATEL

Český tunelářský komitét a Slovenský tunelářský komitét ITA/AITES  
pro vlastní potřebu

## REDAKCE

Dělnická 12, 170 04 Praha 7  
tel./fax: 667 93 479  
Ved. redaktor: Ing. Karel Matzner  
Odborní redaktori: Ing. Miloslav Novotný, Ing. Pavel Polák,  
Ing. Jozef Frankovský  
Grafická úprava: Petr Míšek

## Sazba, tisk: GRAFTOP

Redakce v případě zájmu poskytne odborný překlad do angličtiny

Fotografie na obálce: Strahovský tunel v provozu – jižní portál (foto J. Husák)

VOLUME 7, No. 4/98  
MK ČR 7122  
ISSN 1211 - 0728

# TUNEL

Magazine of the Czech Tunnelling Committee  
and the Slovak Tunnelling Committee ITA/AITES  
Established by Ing. Jaroslav Grán in 1992

## CONTENTS

<b>Editorial:</b> Ing. Jindřich Hess, President of the Czech Tunnelling Committee	pg. 1
<b>Look at the development of the Czech underground engineering during the last 35 years from the point of view of the firm SUBTERRA, a.s.</b>	pg. 2
Ing. Miroslav Uhlík, SUBTERRA, a.s.	
<b>Structural engineering in the NATM: Quasirheological analysis of shotcrete hardening and creep effects on the stress and strain of primary lining</b>	pg. 8
Ing. Aleš Zapletal, DrSc., Metrostav, a.s.	
<b>The fourth operational section of the line B of the Prague Metro is set into operation</b>	pg. 15
Ing. Josef Kutil, Inženýring dopravních staveb, a.s. Ing. Georgij Romancov, Metroprojekt Praha, a.s. Ing. Petr Vozarič, Metrostav, a.s.	
<b>The tunnel under the Mrázovka hill in Prague</b>	pg. 23
Ing. Pavel Krásný, Ing. Zdeněk Nekvasil, PŮDIS, a.s.	
<b>Solution of the tunnels under the Mrázovka hill</b>	pg. 29
Ing. Josef Dvořák, Ing. Michal Gramblička, Ing. Jaroslav Němeček, Ing. Ludvík Šajtár, SATRA, a.s.	
<b>The Branisko tunnel – changes in the process of preliminary designing</b>	pg. 35
Ing. Milošlav Frankovský, Terraprojekt, a.s. Bratislava	
<b>Engineering - geological conditions of the Trebotovice tunnel</b>	pg. 39
Ing. Jiří Pavlík, CSc., GEOTest Brno, a.s.	
<b>Tunnelling personalities</b>	pg. 46
<b>News from tunneling conferences</b>	pg. 47
<b>Czech Tunnelling Committee reports</b>	pg. 49
<b>Slovak Tunnelling Committee reports</b>	pg. 50
<b>Calendar ITA/AITES</b>	pg. 51
<b>Information</b>	pg. 51

## EDITORIAL BOARD

Chairman: Ing. Petr Vozarič – METROSTAV, a. s.  
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – ČVUT Praha  
Ing. Igor Fryč – POHL, a. s.  
Ing. Milan Krejcar – IKE, s.r.o.  
Ing. Josef Kutil – INŽENÝRING DOPRAVNÍCH STAVEB, a. s.  
Ing. Milošlav Novotný – VODNÍ STAVBY PRAHA, a. s., divize 03  
Ing. Pavel Polák – METROSTAV, a. s.  
Ing. Pavel Příbyl, CSc. – ELTODO, a. s.  
Ing. Georgij Romancov, CSc. – METROPROJEKT Praha, a. s.  
Ing. Richard Šňupárek, CSc. – Ústav geoniky AV ČR  
Ing. Václav Tomer – AQUATIS, a. s.  
Ing. Miroslav Uhlík – SUBTERRA, a. s.  
ČTuK ITA/AITES: Ing. Karel Matzner  
STK ITA/AITES: Ing. Jozef Frankovský – BANSKÉ STAVBY, a. s.  
Ing. Pavol Kusý, CSc. – TERRAPROJEKT, a. s.

## PUBLISHED FOR SERVICE USE

by the Czech Tunnelling Committee and the Slovak Tunnelling Committee  
ITA/AITES

## OFFICE

Dělnická 12, 170 04 Praha 7  
tel./fax: 667 93 479  
Editor-in-chief: Ing. Karel Matzner  
Technical editors: Ing. Milošlav Novotný, Ing. Pavel Polák,  
Ing. Jozef Frankovský  
Graphic designs: Petr Míšek

## Printed: GRAFTOP

The editorial board provides translations into English by request

Cover photo: Strahov tunnel in operation – the southern portal (photo J. Husák)

**VÁŽENÍ ČTENÁŘI,  
VÁŽENÍ KOLEGOVÉ,**

právě jste otevřeli časopis Českého tunelářského komitétu a Slovenského tunelářského komitétu ITA/AITES v nové jazykové úpravě, poprvé v české a anglické jazykové mutaci.

Tím jej posíláme do světa, aby rozšířil a zlepšil komunikaci mezi našimi tuneláři a profesními kolegy z jiných zemí.

A nejen to. Současně tímto krokem chceme připomenout nadcházející pětadvacáté výročí vzniku naší mateřské společnosti ITA/AITES, která dnes sdružuje tunelářské odborníky ze 45 členských zemí, z 84 přidružených organizací a dalších 177 jednotlivců.

Uplynulé čtvrtstoletí přineslo v České i Slovenské republice znovuzkřížení našeho tunelářství. Dokladem toho je i potřeba platformy pro výměnu zkušeností, vědeckých poznatků a jejich uplatnění v tunelářské praxi, která vedla v roce 1982 k ustavení Československého, později Českého a Slovenského tunelářského komitétu. Zasloužil se o to především stavební podnik METROSTAV a další podniky zainteresované na výstavbě pražského metra.

Od té doby se mnoho změnilo, naši inženýři a technici se mohou prezentovat ve světě na odborných kongresech a konferencích, mohou publikovat v zahraniční literatuře a informovat o našich problémech v podzemním stavitelství a našich zkušenostech. Přesto mám dojem, že těchto možností velmi málo využívají. I k tomu má přispět dvojjazyčné číslo našeho časopisu: dodat odvahy těm, kteří dosud váhají s dopisováním do cizojazyčných časopisů, podpořit jejich sebevědomí a zvětšit jejich aktivitu.

Jsem přesvědčen o stále rostoucím významu podzemního stavitelství, o jeho rychlém rozvoji a širokých perspektivách. Jeho nezastupitelná funkce se bude stále více uplatňovat např. v podzemním urbanismu a při nutném rozšiřování infrastruktury velkoměst do podzemí. K tomu bude zvláště třeba zrychlit tok informací a zkušeností mezi odborníky a to nejen tunelářských profesí.

Věřím, že první česko-anglické vydání našeho časopisu nebude poslední, že přiláká i zahraniční autory k zajímavým příspěvkům a usnadní tak našim tunelářům seznámit se rychle s aktuálními novinkami z naší profese.



**DEAR READERS,  
DEAR COLLEAGUES,**

*you have just opened the journal of the Czech Tunnelling Committee and of the Slovak Tunnelling Committee of ITA/AITES in a new language arrangement, the first time in the Czech and English version.*

*In this way we send it to world for it to widen and to improve the communication among our tunnelling experts and profession colleagues from other countries.*

*Besides that, at the same time, we want to recall the just coming twenty fifth anniversary of our mother company ITA/AITES which now associates tunneling specialists from 45 member countries, from 84 associated companies and further 177 individuals.*

*The passed quarter of the century brought both to the Czech Republic and Slovak Republic a revival of our tunnelling engineering, which resulted in the need of a platform for exchanging experience, scientific knowledge and their application in the tunnelling practice. That is why in the year 1982 the Czechoslovak and later the Czech and Slovak Tunnelling Committee were established, especially thanks to the construction company METROSTAV and other enterprises involved in building up the Prague Metro.*

*Since that time, many changes took place. Our specialists and engineers can present themselves in professional congresses and conferences, they can publish in foreign journals and inform about our problems concerning the underground engineering and about our experience. In spite of it, I have a feeling that they utilize those possibilities in a poor extent. This bilingual issue of our journal is designed to improve said situation, to pluck up courage to those who still hesitate to write articles to foreign journals, to support self-confidence of such authors and to increase their activity.*

*I am persuaded of a still increasing importance of the underground engineering, of its fast development and wide perspectives. Its non-replaceable function will be applied more and more, e.g. in the underground town-planning and at the needed extending of the municipal infrastructure to underground. For that reasons it will be necessary to accelerate the flow of information and experience among specialists, viz. not only of tunnelling professions.*

*I believe that the first Czech — English issue of our journal will be not the last one, that it will allure even foreign authors to send us their interesting articles, and that, in this way, it will enable for our tunnelling engineers to be informed without any delay about topical novelties of our profession.*

**Ing. Jindřich Hess**  
předseda Českého tunelářského komitétu  
Vice- prezident ITA/AITES  
*Chairman of the Czech Tunnelling Committee*  
*Vice-President of ITA/AITES*

## POHLED NA VÝVOJ ČESKÉHO PODZEMNÍHO STAVITELSTVÍ ZA POSLEDNÍCH 35 LET OČIMA FIRMY SUBTERRA A. S.

### LOOK AT THE DEVELOPMENT OF THE CZECH UNDERGROUND ENGINEERING DURING THE LAST 35 YEARS FROM THE POINT OF VIEW OF THE FIRM SUBTERRA A. S.

ING. MIROSLAV UHLÍK, SUBTERRA, A. S.

#### RENEZANCE PODZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

Po dokončení podzemních objektů na vodních dílech Lipno, Fláje a Kružberk prožíval u nás po několik let obor podzemního stavitelství určitou stagnaci. Zájem se oživil až v roce 1964 v souvislosti s řešením nového zdroje pitné vody pro Prahu a s přípravou pražského metra. Podniky resortu stavebnictví neměly prakticky žádné tunelářské kapacity, takže nabídka Uranových dolů Příbram na vybudování 50 km štoky v reálném čase a za přijatelnou rozpočtovou cenu umožnila velkorysé řešení problému, které bylo nakonec přijato a realizováno. Tehdy vznikla nová organizace, předchůdce dnešní akciové společnosti SUBTERRA.

V dalším období se na základě pozitivních zkušeností z Vodního díla Želivka objevily nové projekty jako štolové přivaděče na vodárenských soustavách, podzemní objekty na přehradách, ražené kanalizace, kolektory, podzemní čistírný odpadních vod, pražské metro, podzemní přečerpávací elektrárna i silniční a železniční tunely. Vznikly nové specializované firmy na podzemní stavby jako např. Metrostav, VKD Kladno, specializované závody Vodních staveb, Vojenských staveb, Ingstavu Brno a další.

V té době se u nás zaváděly nové tunelářské technologie. Subterra např. pořídila moderní vrtací a nakládací techniku, injektážní soupravy, teleskopická bednění a zejména plnoprofilové razicí stroje. V další etapě byl pak technologický park rozšířen o další techniku z dovozu i z vlastního vývoje. Byly to stroje s frézovacími hlavami na výložníku, bezkolejová mechanizace, plošiny pro ražbu šikmin, velkoprofilové soupravy pro vrtání jam a další zařízení.

Velké zkušenosti z tuzemských staveb přispěly k tomu, že v roce 1989 získala Subterra zakázku na provedení důlních děl ve španělské Asturii, kde i přes určitý útlum v investování ze strany španělského investora působí doposud. V posledních letech byla Subterra úspěšná svými stavebními pracemi v Německu, zejména na výstavbě silničního tunelu Löwenherz, který je součástí obchvatu města Annweileru. Nebyly to však první zahraniční zkušenosti podniku; již před tím stavěl v jugoslávském Kosovu a technicky kooperoval s německou firmou Schachtbau Nordhausen.

Subterra má od roku 1985 trvalé sídlo v Praze 4, její odštěpné závody sídlí v Praze 8, na Zbraslavi a v Tišnově. Dnes patří mezi největší stavební firmy v České republice se širokým výrobním programem v oboru inženýrských i občanských staveb.

Jak již bylo řečeno, specializované kapacity pro podzemní stavitelství vznikaly často na půdě báňského průmyslu. Bylo tomu tak i v dávné minulosti, což lze dokumentovat na příkladu Rudolfovy štoky v Praze, kterou na konci 16. století vyrazili převážně kutnohorskí havíři a jejich mistři. Přesto se oba obory, podzemní stavitelství a hornictví, postupně oddělily, což bylo způsobeno hlavně jejich odlišným posláním, různým časovým využitím jejich produktů a v neposlední řadě i rozdílnými ekonomickými kritérii. V současné době je patrné vzájemné obohacování těchto oborů výsledky technického rozvoje, bezpečnostními i personálními zkušenostmi. Československý uranový průmysl v dobách svého největšího rozvoje disponoval početným, velmi zkušeným personálem. Díky společenské objednávce tyto dělníci a technici dostali možnost se překvalifikovat v odborné tuneláře a vytvořili základ společnosti Subterra.

Od poloviny šedesátých let lze vysledovat v následujícím období tři časové vlny. První se týkala regionální infrastruktury, kdy tunelářské technologie přinesly řešení mnoha úkolů v zásobování vodou, likvidaci odpadních vod i v energetice. Druhá vlna se hrála podstatnou roli v městské infrastruktuře, ve které podzemní stavitelství dominovalo v případech metra, kolektorů a kmenových stok. Třetí vlna právě probíhá a jejím předmětem jsou dopravní tunely. Samozřejmě je patrné prolínání všech těchto etap.

#### PODZEMNÍ OBJEKTY VE VODNÍM HOSPODÁŘSTVÍ A ENERGETICE

##### VODNÍ DÍLO ŽELIVKA

Po desetileté investiční a projektové přípravě bylo dílo v základním rozsahu vybudováno v období 1965—1972. Skládá se z hydrotechnického komplexu, který obsahuje mj. přehradní hráz na řece Želivce u Svihova a z vodárenského kom-

#### RENAISSANCE OF THE UNDERGROUND ENGINEERING

After having completed underground structures on the water works Lipno, Fláje and Kružberk, the underground engineering branch was subject to a certain stagnation. The interest was revived in the year 1964 in connection with a problem to solve a new source of drinking water for Prague and with the preparation of the Prague Metro. Enterprises of the building industry have in fact no tunnelling capacities, therefore the offer of the Uranové doly Příbram for building up a 50 km long gallery in a real time period and for an acceptable estimated price, enabled to solve said problem in a broad-minded way, which was accepted and realized at last.

At that time there was established a new enterprise, the predecessor of the today's joint-stock company SUBTERRA.

In the next period, on the basis of positive experience in the water work Želivka, there appeared new projects, such as gallery conduits in waterworks systems, underground structures in water dams, driven sewers, utility tunnels, underground sewage treatment plants, Prague Metro, an underground pumped storage plant, as well as road tunnels and railway ones. There were established new specialized firms for underground structures, such as Metrostav, VKD Kladno, specialized plants of the firms Vodní stavby, Vojenské stavby, Ingstav Brno, and other ones.

At that time there were introduced in our country new tunnelling technologies. Subterra, e.g., was provided with a new boring and loading mechanisms, injecting equipment, telescopic forms and particularly full face driving machines. During the next stage, the technological outfit was completed by further machinery from export, as well as in connection with the own development. They were machines with milling heads mounted onto a jib, railless mechanization, platforms for driving oblique profiles, large profile machines for boring pits, and further equipment.

Rich experience, gained in inland building works, caused that the firm Subterra obtained, in the year 1989, a contract to perform mining works in Spain Asturia, where, in spite of a certain loss in investment as to the Spain investor, the firm is functioning till the present time. The company Subterra was successful, within the last years, in building works in Germany, particularly at the building up of the road tunnel Löwenherz, which forms a part of the by-pass road of the town Annweiler. But it was not the first foreign experience of the enterprise. Previously, the firm was building in Yugoslavian Kosovo and cooperating in a technical way with the German firm Schachtbau Nordhausen.

The firm Subterra has its Registered Office in Prague 4 since 1985, its subsidiary plants are located in Prague 8, Zbraslav and Tišnov. Today, they are ranked among the biggest building firms in the Czech Republic, having a large production programme in the sphere of engineering and civil constructions.

As it has been already mentioned, specialized capacities for underground engineering had been established in connection with the mining industry. It was the same in the ancient past as well, which can be documented by means of the example of the Rudolf's Gallery in Prague which was driven mostly by miners of Kutná Hora and their specialists at the end of the 16th century. In spite of this fact, both branches, i.e. the underground engineering and the mining, were separated step by step, which was caused mostly by their different purpose, different time of utilization of their products, and, but not at last, by different economic criteria. In the present time there is evident a mutual enriching of said branches by results of the technical development, safety experience and personnel ones. The Czechoslovak uranium industry, in the time of its highest development, has very experienced personnel at disposal. Due to social requirements, said workers and technicians got a possibility to be requalified in specialized tunnellers and in this way they formed the basis of the company Subterra.

From the half of the sixties there may be followed three time stages. The first one concerned the regional infrastructure, when tunnelling techniques solved many tasks in the water supply, in liquidating sewage and in power industry. The second stage had a great importance in a municipal infrastructure, in which the underground engineering dominated in case of metro, utility tunnels and main sewers. The third stage takes place just now, and it concerns transport tunnels. Of course, mutual permeation of all said stages is evident.



2.  
Přečerpávací elektrárna Dlouhé Stráně – odlom portálu  
*Dlouhé Stráně pumped storage plant - portal excavation*

plexu, jehož významným objektem je štolový přivaděč pitné vody z úpravy u Soutice do vodojemu u Jesenice.

Štola má délku 51,1 km, světlý průměr 264 cm, tvar kruhový, ostění z monolitického betonu, projektovanou kapacitu 6000 l/sec.

Celkový obsah vylámané horniny ze štoly 505 522 m<sup>3</sup>, uloženého betonu 250 000 m<sup>3</sup>, počet pracovních úseků při ražbě 14, technologie ražby konvenční pomocí trhavin. Po trase je řada objektů na přechodech vodních toků a šachtic pro tlakové vyrovnání a odběr vody.

Práce na štole se vyznačovaly vysokými měsíčními výkony při ražbě i betonáží, dokonalým měřickým vedením, ale i nepředvídanými potížemi z důvodů místních geologických anomálií, které měly dopad na cenu i smluvní termíny. V závěru roku 1972 po odstranění dvou provozních poruch byl přivaděč uveden do trvalého provozu a od té doby spolehlivě slouží.

#### OBLASTNÍ ZÁSBOVÁNÍ PITNOU VODOU

V sedmdesátých a osmdesátých letech probíhala téměř ve všech krajích v Čechách a na Moravě rozsáhlá výstavba oblastních vodárenských soustav. Extenzivní hospodaření s vodou, způsobené mimo jiné i její zanedbatelnou cenou, vyvolalo potřebu stavění nových kapacit vesměs z povrchových zdrojů. Součástí těchto staveb byly i podzemní objekty a Subterra se na všech podílela.

#### BYLY TO TYTO STAVBY:

- Oblastní vodovod Přísečnice pro zásobování Chomutovska,
- Březovský přivaděč pro Brno,
- Vodní dílo Stanovice pro Karlovy Vary,
- Vodní dílo Římov pro zásobování Českých Budějovic,
- Vodní dílo Josefův Důl pro libereckou oblast,
- Vodní dílo Slezská Harta pro severní Moravu,
- Vírský oblastní vodovod pro jižní Moravu.

Podzemní objekty na těchto stavbách měly společný liniový charakter, většího kruhový příčný profil 2,1–3,5 m, betonové ostění. Šlo buď o tlakové štoly nebo o štoly pro pokládku vodovodního potrubí. Počínaje tlakovou štolou na Přísečnici, kde byl poprvé u nás nasazen plnoprofilový razicí stroj, byla tato technologie ražby aplikována všude tam, kde to bylo možné. Celkově vyrazila Subterra razicími stroji na těchto dílech přes 60 km štol.

#### RAŽENÉ KANALIZAČNÍ SBĚRAČE A PODZEMNÍ ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD

Zvládnutí tunelářských technologií prakticky ve všech geologických podmínkách bylo impulsem pro projektanty kanalizačních sítí, aby v městské zástavbě nebo v členitém terénu extravilánu navrhovali ražené kanalizační sběrače. Subterra má tento typ staveb ve výrobním programu od roku 1971. Do dnešní doby realizovala tyto hlavní stavby:

- Kmenová stoka K v Praze,
- Nadsídlíšní kanalizační sběrač pro Jihozápadní město v Praze,
- Soubor sběračů v oblasti Barrandov,
- Sídlištní kanalizace Čimice, Petrovice, Lhotka-Libuš, Poštovka, Hrdlořezy, Černý Most aj.,
- Levobřežní kunratický sběrač,
- Sběrač pro sídlíště Brno-Líšeň,



3. Přechpávací elektrárna Dlouhé Stráně– přístupový tunel  
Dlouhé Stráně pumped storage plant – acces tunnel

## UNDERGROUND CONSTRUCTIONS IN WATER MANAGEMENT SUPPLIES AND POWER ENGINEERING

### ŽELIVKA WATER WORK

After a ten-year investment and project preparation, the work was built in the basic extent within the period 1965 to 1972. It consists of a hydrotechnical complex which comprises, besides other, the dam on the river Želivka at Švihov and the water treatment complex, the important structure of which is a gallery aqueduct from the filter plant at Soutice to the water reservoir at Jesenice.

The gallery is 51.1 km long, the inner diameter is equal to 264 cm, the shape is round, the lining is made of monolithic concrete, the designed capacity is represented by 6000 liters per sec.

Total volume of excavated rocks from the gallery was 505 522 cub.m, of applied concrete 250 000 cub.m, there are 14 driving sections, the driving technique is usual, i.e. by means of explosives. The whole alignment is provided with many structures needed for passing rivers, and with shafts both for pressure compensation and for water taking.

Works in the gallery were characterized by a high monthly output at driving and concreting, by an excellent surveying, but also by unexpected troubles caused by local geological anomalies which also affected the price and the contractual terms. At the end of the year 1972, after having removed two operational defects, the water conduit was set into permanent operation and from that time it has been serving reliably.

### REGIONAL SUPPLIES WITH DRINKING WATER

In the seventies and eighties there was performed, nearly in all regions in Bohemia and Moravia an extensive development of regional waterworks systems. An extensive water consumption, caused, besides other, by its neglectable price, resulted in the need to build new capacities utilizing mostly surface sources. Even underground works formed a part of said constructions, and the company Subterra took part in all of them.

### THERE WERE THE FOLLOWING STRUCTURES:

- regional water main Přísečnice for supplying the Chomutov region,



5. Primární kolektor – Brno  
Primary utility tunnel – Brno



- Kanalizační sběrač Jablonec–Liberec,
- Sběrač A v Karlových Varech,
- Stoka C v Brně,
- Napojení na ČOV Hradec Králové,
- Sběrač Y v Ústí nad Labem.

Vývoj technologií výstavby na těchto ražených kanalizacích vedl od konvenční ražby přes použití razících strojů plnoprofilových nebo s frézou na výložníku až po první nasazení tunelovacího systému řízeného mikrotunelování u nás od japonské firmy ISEKI v Ústí nad Labem. Vyvinuly se i různé způsoby definitivního ostění s ohledem na ochranu proti korozi.

Nedostatek vhodných pozemků pro výstavbu nových čistíren odpadních vod v okolí velkých sídlišť či v chráněných územích a snaha eliminovat jejich nepříjemné vlivy na životní prostředí vede projektanty, zatím v ojedinělých případech, k umístování těchto staveb do podzemí. Subterra postavila první dvě takové čistírny u nás, a to:

- ČOV v Peci pod Sněžkou,
- ČOV v Lokti nad Ohří.

#### PODZEMNÍ PŘEČERPÁVACÍ VODNÍ ELEKTRÁRNA DLOUHÉ STRÁNĚ

Rozsáhlý soubor staveb PVE Dlouhé Stráně procházel velmi složitým vývojem. Přípravná dokumentace se začala zpracovávat již koncem 60. let, vlastní stavba byla zahájena v roce 1978, uvedení do provozu proběhlo v roce 1994. Z toho je patrné, že lhůta výstavby přesáhla běžné normy. Je to způsobeno mnoha vlivy, zejména změnami energetických koncepcí, technického řešení, nedostatkem prostředků a z toho plynoucím zařazením stavby do „útlumového programu“, atd. Přesto se vždy přistupovalo k technické přípravě jednotlivých fází výstavby tak, aby délka trvání jednotlivých činností byla co nejkratší, tak říkajíc na úrovni doby. Tak byl na příklad vymezen čas pro výlom a statické zajištění kaaverny hydrocentrály na 24 měsíců a Subterra jej dodržela.

Jde o jedno z nejvýznamnějších děl v historii společnosti Subterra. Tato elektrárna byla postavena v severomoravském regionu v Jeseníkách poblíž masivu Praděd. Dolní nádrž je vytvořena novou údolní přehradou na říčce Divoká Desná, horní nádrž leží v sedle horského hřebenu mezi vrcholy Dlouhé stráně a Mravenečník. Vlastní PVE včetně přivaděčů je umístěna do podzemí. Elektrárna je vybavena dvěma reverzními soustrojími o výkonu 2 x 325 MW, hydraulický spád je 525 m.

- water conduit Březová for Brno,
- water works Stanovice for Karlovy Vary,
- water works Římov for supplying water to České Budějovice,
- water works Josefův Důl for the Liberec region,
- water works Slezská Harta for the Northern Moravia,
- Vír regional water mains for Southern Moravia.

Underground works for said constructions have a common line character, mostly of a round cross profile with dia 2.1 to 3.5 m, with a concrete lining. It concerned pressure galleries or galleries for laying down water piping. Starting with the Písečnice pressure gallery, where a full profile driving machine (TBM) was applied for the first time in our country, this driving technology was applied anywhere it was possible. The total length of galleries driven by the firm Subterra by means of TBM in said parts was equal to more than 60 km.

#### DRIVEN TRUNK SEWERS AND UNDERGROUND SEWAGE TREATMENT PLANTS

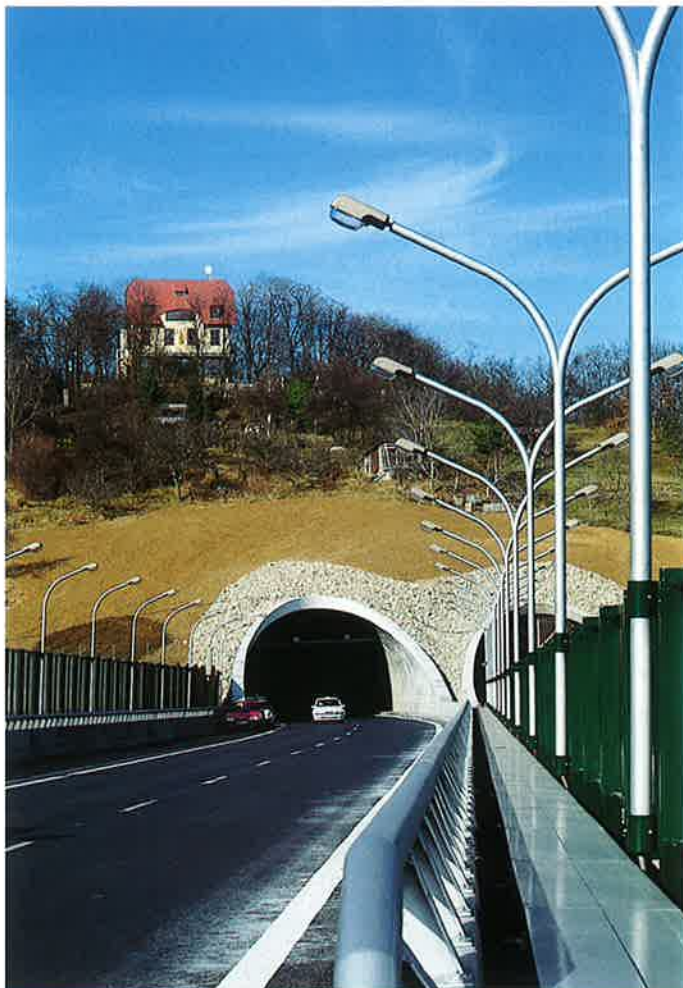
To get through with tunnelling technologies, in fact in all geological conditions formed a stimulation for designers of sewerage networks, that they may design driven sewers collectors in the municipal built-up space or in an articulated free ground. Such a type of constructions was included in the production plan of the firm Subterra from the year 1971. Till the present time, the firm realized the following main structures:

- trunk sewer K in Prague,
- overhousing estate sewer for the South-Western City in Prague,
- sewerage system in the Barrandov area,
- housing estate sewerage Čimice, Petrovice, Lhotka—Libuš, Poštovka, Hrdlořezy, Černý Most, etc.,
- left bank Kunratic sewer,
- main sewer for the housing estate Brno-Líšeň,
- trunk sewer Jablonec—Liberec,
- sewer A in Karlovy Vary,
- sewer C in Brno,
- connection to the sewage treatment plant Hradec Králové,
- sewer Y in Ústí nad Labem.

The development of the construction techniques in said driven sewers was directed from a usual driving, through applying TBM, or with a roadheader, up to the first application of a controlled microtunnelling in our country using the Japanese firm ISEKI system in Ústí nad Labem. There were also developed various methods of a final lining with respect to the protection against corrosion.

A lack of suitable plots for building up new sewage treatment plants near large housing estates or in protected areas, and the endeavour to eliminate their unpleasant effects to the environment, affects designers, for the time being in unique cases, to locate said constructions under the ground. The firm Subterra built first two such water treatment plants in our country, viz.:

- sewage treatment plant in Pec pod Sněžkou,
- sewage treatment plant in Loket nad Ohří.



6.  
Tunely na Pražské radiále  
Road tunnels – Brno



1.  
Kanalizační sběrač Jablonec–Liberec  
Trunk sewer Jablonec–Liberec

Subterra dodala tyto podzemní objekty:

- objekt uzávěrů horní nádrže,
- přívaděče č. 1 a 2 o délce 2 x 1507 m,
- podzemní hydrocentrálu o rozměrech 25 x 87 x 50 m,
- kavernu traf o rozměrech 117 x 16 x 21 m,
- odpadní tunely č. 1 a 2 v celkové délce 570 m,
- komunikační tunel dlouhý 238 m o profilu 43 m<sup>2</sup>,
- přístupový tunel dlouhý 740 m

a další menší liniová díla, jako je obtoková štola, větrací štola aj.

Společným jmenovatelem použité technologie bylo masivní nasazení nejmodernější bezkolejové mechanizace pro vrtání, nakládání a dopravu západní provenience. Speciálním problémem byla ražba šikmin na přívaděčích se sklonem 45° o délce 2 x 740 m a raženém profilu 18 m<sup>2</sup>. Bylo použito zařízení Groundhog – GLH Alimak na závěsné dopravní dráze. Ve všem těmito novými technologiemi se Subterra vyrovnala, odevzdala dle všeho a v dobré kvalitě. Dnes tvoří tato elektrárna důležitou součást naší elektrizační soustavy.

## PODZEMNÍ OBJEKTY V MĚSTSKÉ INFRASTRUKTUŘE

Kromě vodohospodářských objektů, které byly zmíněny v předcházející stati, zahrnuje městská infrastruktura ještě další podzemní objekty. Jde o objekty pro dopravu, parkování, rozvod elektrické energie a víceúčelové podzemní trasy zvané kolektory. K tomu mohou přistoupit ještě objekty pro skladování, sport, kulturu a další využití, jak lze spatřit na příklad v Norsku, USA i jinde.

Subterra postavila v Praze síť kabelových tunelů pro rozvod elektrické energie o napětí 110 a 22 kV a od roku 1974 staví v Brně a v Praze kolektorové systémy.

### KABELOVÉ TUNELY

Kabelové tunely v Praze budované v letech 1971 až 1985 mají celkovou délku 15 km, kruhový profil o průměru 216–264 cm, betonové ostění částečně s mezolehlou izolací proti vodě. Byly raženy konvenčními technologiemi i pomocí plnoprofilových razících strojů. Na některé vertikální objevy bylo použito velkoprofilové vrtné soupravy Salzgitter.

### KOLEKTORY

Pro ukládání hlavních rozvodů vody, tepla, elektrické energie, plynu a spojových kabelů se v centru velkých měst staví systém kolektorů. Subterra takové systémy dodává v Brně a v Praze od roku 1974 do současnosti. Podle významu uložených sítí se kolektory rozdělují na primární (v Praze se užívá termín 2. kategorie) a sekundární (3. kategorie). Pro 1. kategorii jsou v Praze vyhrazeny tranzitní trasy hlavních rozvodů pod městem, k jejichž realizaci dosud nedošlo.

Systém primárních kolektorů v Brně obepíná svým jedním okruhem historické jádro města, druhý okruh je veden blíže průmyslové zóny. V současnosti je v provozu cca 7 km tras. Ty jsou vedeny v hloubce 20 až 30 m pod terémem a mají příčný profil obdobný jako pražské metro o průměru 5,1 m. Na trasách jsou technické komory a šachty, provoz je zabezpečen automatickými prvky a řízen z centrálního velínu. Sekundární kolektory v Brně respektují stávající kanalizační síť, která je do nich svedena, takže jsou umístěny v menších hloubkách a odbočují z jich jednotlivé domovní přípojky.

V Praze jsou kolektory 2. a 3. kategorie řešeny nezávisle na kanalizační síti. Jejich hloubka uložení je dána geologickými a provozními podmínkami a pohybuje se pod úrovní 15 m. Pouze některé trasy kolektorů třetí kategorie jsou raženy v pokryvných útvarech. Generel výstavby kolektorů uvažuje s 30 km tras, zatím je realizována zhruba polovina. Při výstavbě byly použity obdobné technologie jako u ostatních liniových děl prováděných společností Subterra, navíc byl nasazen v jednom úseku nozový štít Westfalia, který se však ve složitých podmínkách neosvědčil. Program výstavby kolektorů v Praze pokračuje, Subterra má v tomto oboru neocenitelné zkušenosti, což jí staví mezi současné i potenciální vítěze ve veřejných soutěžích.

## DOPRAVNÍ TUNELY

Subterra se v letech 1979–1983 zúčastnila přípravy Strahovského tunelu. Realizovala průzkumnou štolu, vlastní stavba však byla administrativních rozhodnutím zadána jinému podniku.

Po 15 letech došlo k zahájení druhého městského automobilového tunelu v České republice. V soutěži na jeho dodávku zvítězila Subterra, protože se mohla mimo jiné prokázat kladnými referencemi z obdobné stavby v Německu. Jde o tunel na trase vnějšího dopravního okruhu v Brně zvané Pražská radiála. Tunel dálničního typu má dvě roury o délce 2 x 500 m, z toho cca 40 % je hloubená část. Ražený příčný profil podkovovitého tvaru má rozměry 13 x 8,5 m. Byl proveden pomocí Nové rakouské tunelovací metody. Ostění je betonové s mezilehlou izolací proti vodě. Plocha výrubu jedné roury činila 95 m<sup>2</sup>. První část stavby byla uvedena do provozu v závěru roku 1997. S jistotou lze tvrdit, že s těmito parametry a rozměry nebylo dosud v České republice takové dílo provedeno. Svým řešením odpovídá nejmodernějším stavbám tunelů v takové tradiční tunelářské zemi, jako je Švýcarsko.

V roce 1998 má být zahájena další stavba městského automobilového tunelu v Praze. Tou je tunel Mrázovka, který navazuje na jižní vyústění Strahovského tunelu. Ve veřejné soutěži na tuto stavbu opět zvítězila společnost Subterra a. s., tentokrát ve sdružení s Metrostavem.

## DLOUHÉ STRÁNĚ UNDERGROUND PUMPED STORAGE POWER PLANT

An extensive scheme of the pumped storage power plant called Dlouhé Stráně was subject to a very complicated development. The beginning of the documentation preparation took place at the end of sixties, the proper building started in the year 1978, and the work was set into operation in the year 1994. It is evident that the term of the building up crossed usual standards. It was caused by many influences, especially by changes of conceptions of power and their technical solutions, by a lack of financial means resulting in comprising the building into a "damping programme", etc. In spite of it, the technical preparation of individual parts of the building up phases was organized in such a way that the duration of individual activities is as short as possible, so called at the up-to-date level. In this way, e.g., there was determined the term for excavation and support of the hydro-electric power station cavern, viz. 24 months, and the firm Subterra performed it.

It concerns one of the most important works in the history of the company Subterra. Said power station was built in the Northern Moravia region, in Jeseníky, near the mountain massif Praděd. The lower reservoir was formed by a new dam on the river Divoká Desná, the upper reservoir is situated in the saddle of the mountain ridge between summits of the mountains Dlouhé Stráně and Mravenecník. The proper repumping hydro-electric power plant, including conduits, is situated in underground. The power station is equipped with two reverse generating sets, having the output of 2 x 325 MW, the gradient head in equal to 525 m.

The company Subterra delivered the following underground structures:

- obturator building of the upper reservoir,
  - headraces No. 1 and 2, being 2 x 1507 m long,
  - underground hydro-electric power station of dimensions: 25 x 87 x 50 m,
  - cavern for transformers of dimensions: 117 x 16 x 21 m,
  - discharge tunnels No. 1 and 2, total length 570 m,
  - communication tunnel, 238 m long, profile: 43 m<sup>2</sup>,
  - acces tunnel, 740 m long
- and other smaller line works, such as a bypass gallery, ventilation gallery and the like.

The common feature of the applied technology was a mass application of the most up-to-date railless mechanization for boring, loading and transport of the West production. Driving operations of inclined headraces of conduits, with the incline of 45°, 2 x 740 m long and driven profile of 18 m<sup>2</sup>, represented a special problem. There was applied the equipment Groundhog — GLH Alimak on a suspension transport way. The firm Subterra got through with all these new technologies and handed over the work in time and in a good quality. Said power plant forms today an important part of our electric power system.

## UNDERGROUND CONSTRUCTIONS IN THE MUNICIPAL INFRASTRUCTURE

Besides water supply buildings which were mentioned in the previous text, the municipal infrastructure comprises other underground structures as well. It concerns constructions for transport, parking, distribution of electric power and multi-purpose underground routes, called utility tunnels. To that there may also come in question buildings for storage, sports, culture and for other utilization, as they can be seen e.g. in Norway, USA, and in other countries.

The firm Subterra built in Prague a network of cable tunnels for distribution of electric power, voltage: 110 and 22 kV, and from the year 1974, the firm is building collector systems in Brno and Prague.

### CABLE TUNNELS

Cable tunnels in Prague, built within the years 1971 to 1985, are of the total length 15 km, circular profile of the diameter 216 to 264 cm, concrete lining, partially with an interlying insulation against water. They are driven by means of usual technologies, as well as by means of full profile driving machines. As to some vertical buildings there were applied large profile boring machines Salzgitter.

### UTILITY TUNNELS

For laying main distribution lines of water, heat, electric power, gas and communication cables in the centre of large towns, there is built a system of utility tunnels. The firm Subterra has delivered such systems in Brno and Prague from the year 1974 up to now. With respect to the importance of laid networks, utility tunnels are classified as primary (in Prague there is used the term 2nd category) and secondary (3rd category). For the first category, in Prague there are reserved transit tracks of main distribution lines under the town, but they have not been realized so far.

One circle of the system of primary utility tunnels in Brno goes round the historical centre of the town, the second circle is led near the industrial zone. At present there are in operation about 7 km of the route. They are led in the depth of 20 to 30 m under the ground, and they have a cross section analogous as the Prague Metro, of the diameter 5.1 m. The tracks are provided with technical chambers and shafts, the operation has been ensured by means of automatic elements and controlled from the central control room. Secondary utility tunnels in Brno respect the existing sewerage network which is entered into them, so that they are placed in smaller depths and individual house services are joined to them.

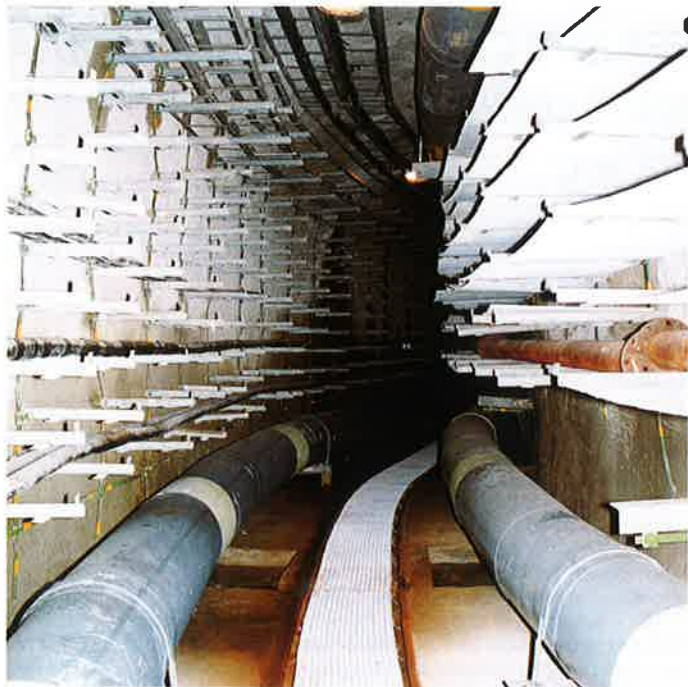
In Prague, utility tunnels of the 2nd and 3rd category have been solved independently, i.e. with no respect to the sewerage network. Their depth of placing depends upon geological and operational conditions and takes place under the

## ZÁVĚR

Subterra a. s. vznikla z původní organizační jednotky Československého uranového průmyslu před 35 lety. Na uvedených příkladech bylo ukázáno, že pokračuje v těch nejlepších tradicích českého podzemního stavitelství, které se vyvinulo v době budování železniční sítě na našem území a přispělo na mnoha dalších stavbách až do padesátých let našeho století. Dnes podzemní stavitelství představuje rozvinutý obor, který umožňuje všestranné využití podzemí a přispívá k ochraně životního prostředí.

## LITERATURA

Časopis TUNEL, ročníky 1992 až 1997, Český tunelářský komitét ITA/AITES.  
Výroční zprávy SUBTERRA a. s. 1992–1996.  
Želivka tunelem do Prahy, SNTL 1973.



8.  
Kolektor III. kategorie – Praha  
Distribution utility tunnel – Praha



4.  
Čistírna odpadních vod – Pec p. S.  
Sewerage plant – Pec p. S.

15 m level. Only some routes of the third category are driven in covering layers. The master plan of the construction takes into consideration 30 km of routes, but till the present time about one half was realized. For the construction there were applied techniques technologies as at other line works performed by the company Subterra, more over in one section there was applied a driving shield Westfalia which was not successful in complicated conditions. The program for utility tunnels construction in Prague goes on, and the firm Subterra has invaluable experience in this branch which ranks it simultaneously in the position of a potential winner of public tenders.

## TRANSPORT TUNNELS

The company Subterra took part in preparations of the Strahov tunnel within the years 1979 to 1983. It realized an investigation gallery, but the proper construction was ordered at another firm according to the administrator's decision.

After 15 years there was started the work on the second municipal road tunnel in the Czech Republic. In the public tender, the firm Subterra was a winner, because it could prove, besides other, positive references concerning an analogous structure in Germany. It concerns the tunnel on the route of the external transport circle in Brno, called Prague radial road. The tunnel of a motorway type has two tubes 2 x 500 m long, of which about 40 per cent is represented by a cut-and-cover part. The driven cross profile of a horseshoe shape is of dimensions 13 x 8.5 m. It was performed by means of the New Austrian Tunneling Method. The lining is concrete with an interlying insulation against water. The excavated cross section area of one tube was 95 m<sup>2</sup>. The first part of the structure was set into operation at the end of the year 1997. It may be affirmed with certainty, that such a work with such parameters and dimensions was not performed in the Czech Republic so far. Its solution corresponds with the most up-to-date tunnel construction in such a traditional tunnel country such as Switzerland.

In the year 1998, another building of a municipal car tunnel in Prague is to be started, viz. the tunnel Mrázovka which links up to the Southern mouth of the Strahov tunnel. The company SUBTERRA a. s. was again the winner in the public tender, this time in association with Metrostav a. s.

## CONCLUSION

The company Subterra a. s. arose from the original unit of organization of the Československý uranový průmysl (Czechoslovak Uranium Industry) before 35 years. The mentioned examples showed that the company continues in the best traditions of the Czech underground engineering, which was developed during the building up of the railway network in our country and which was applied for many other buildings up to fifties of this century. At the present time, the underground engineering represents a developed branch which enables a complete utilization of the underground and helps to protect the environment.

## BIBLIOGRAPHY

Journal TUNEL, volumes 1992 to 1997, Czech Tunnel Committee ITA/AITES.  
Annual reports of SUBTERRA, a. s., 1992 to 1996.  
Želivka River through a tunnel to Prague, SNTL 1973.



7.  
Podzemní garáže – Karlovy Vary  
Underground garrage – Karlovy Vary

# STATIKA NRTM: KVASIREOLOGICKÁ FORMULACE VÝPOČTU VLIVU ZRÁNÍ A DOTVAROVÁNÍ STŘÍKANÉHO BETONU NA ÚNOSNOST A PŘETVOŘENÍ PRIMÉRNÍHO OSTĚNÍ

## STRUCTURAL ENGINEERING IN THE NATM: QUASIRHEOLOGICAL ANALYSIS OF SHOTCRETE HARDENING AND CREEP EFFECTS ON THE STRESS AND STRAIN OF PRIMARY LINING

Ing. ALEŠ ZAPLETAL, DrSc.

### 1. ÚVOD

Již v krátké době po nástřiku je stříkaný beton primárního ostění zatěžován horninovými tlaky. To znamená, že horninovými tlaky je zatěžována hmota, která zraje, takže její **modul pružnosti  $E(t)$**  je v době zatěžování rostoucí funkcí **přiběžného času  $t$** . Hmota stříkaného betonu se dále dotvaruje. Je proto rozdíl mezi deformační odezvou hmoty na napětí v okamžiku jeho přiložení (tím je průběžný čas  $t$ ) a v kterémkoliv čase následujícím  **$T$ , který nazýváme aktuálním**. Tuto skutečnost postihujeme zavedením **modulu přetvárnosti  $E(t, T)$** , kterým je určena poměrná deformace v aktuálním čase  $T$  od napětí, přiloženého ke hmotě v průběžném čase  $t$ .

Přesná statika popsání jevu, patřícího do oblasti reologie a ovlivňujícího napjatost i deformaci primárního ostění je komplikovaná. Proto je žádoucí disponovat – pokud existuje – zjednodušenou výpočetní formulací tohoto jevu, dávající dostatečně spolehlivé informace o napjatosti a přetvoření ostění podléhajícího zákonům creepu (tj. zákonům reologie v užším a původním významu tohoto pojmu), prostředky nepravě reologickými (tj. reologickými v širším významu tohoto pojmu).

(Poznámka: Autor je zastáncem širšího výkladu pojmu reologie, jakožto nauky o deformaci a napjatosti látek v závislosti na čase – viz Akademický slovník cizích slov, Akademie, Praha 1995.)

Ukážeme, že za určitých, dosti široce platných okolností, je možné nahradit složitý výpočet pracující s modulem přetvárnosti  $E(t, T)$ , jednodušším výpočtem, při kterém je  $E(t, T)$  zaměněn **fiktivním modulem pružnosti  $E_F(T)$** , který odvodíme a vyčíslíme.

Přechod od  $E(t, T)$  k  $E_F(T)$  provedeme pomocí série čtyř úloh (odst. 3–6), na kterých – jak věříme – dokážeme zkoumaný jev jednoduše a zřetelně objasnit. Úlohy řešíme jako případy rovinné napjatosti, nikoliv deformace. Správnost našich výsledků tím není ovlivněna.

Smysl článku je po tomto úvodu zřejmý. Dodejme, že když jsme před chvílí hovořili o výpočtu, měli jsme na mysli MKP v dvourozměrné variantě. Znalost techniky tunelářského výpočtu v 2D-variantě předpokládáme.

### 2. ZÁKLADNÍ VZTAHY A POJMY

#### 2.1. MODUL PRUŽNOSTI ZRAJÍCÍHO STŘÍKANÉHO BETONU $E(t)$

Modul pružnosti byl stanoven v Kloknerově ústavu ČVUT (viz [1], [2]) vztahem

$$E(t) = 1,7494 \cdot 10^6 \ln(t) + 12,914 \cdot 10^6 \text{ kPa}, \quad (1)$$

kde  $t$  je stáří betonu ve dnech.

#### 2.2. MODUL PŘETVÁRNOSTI ZRAJÍCÍHO STŘÍKANÉHO BETONU $E(t, T)$

Modul přetvárnosti vyjadřujeme vzorcem

$$E(t, T) = E(t) \div (1 + \varphi) = E(t) \div \left(1 + \varphi_b \frac{(T-t)^{0,6}}{10 + (T-t)^{0,6}} \cdot t^{-0,12}\right) \quad (2)$$

$E(t)$  je modulem pružnosti podle (1) a  $\varphi$  součinitelem dotvarování podle ČSN 731201. Základní hodnotu součinitele dotvarování  $\varphi_b$  klademe (podle normy)

### 1. INTRODUCTION

Already shortly after its application, shotcrete of primary lining is loaded by rock pressures. It means that the rock pressures load a mass in the process of hardening, so that its **modulus of elasticity  $E(t)$**  represents, at the time of hardening, the increasing function of the **running time  $t$** . The creep of the shotcrete mass continues, as a result of which there is a difference between the deformation response with respect to stress at the moment of its application (i.e. the running time  $t$ ) and at any following time  **$T$  which is called the actual time**. This fact is taken into account by the introduction of the **effective modulus  $E(t, T)$** , which determines the relative deformation at the actual time  $T$ , caused by the stress applied to the mass during the running time  $t$ .

The exact structural character of the described phenomenon, which belongs to rheology and affects both the state of stress and the deformation of the primary lining, is rather complicated. That is why it is desirable to have – if it exists – some simplified theoretical formulation of this phenomenon, providing sufficiently reliable information on the stress and strain of the lining subject to the laws of creep (i.e. the laws of rheology in a narrower original meaning of this concept), through rheological means in the broader meaning of the concept.

We shall show that under certain conditions, valid in a rather broad extent, it is possible to replace a complicated calculation working with the effective modulus  $E(t, T)$ , with a simpler calculation, in which  $E(t, T)$  is replaced with a **fictitious modulus of elasticity  $E_F(T)$** , which we shall derive and express numerically.

The transition from  $E(t, T)$  to  $E_F(T)$  will be performed by means of series of four problems (paragraphs 3 to 6), by means of which we hope to be able to explain the investigated phenomenon simply and distinctly. The problems are solved as the cases of two-dimensional state of stress, not of deformation which does not influence the accuracy of our results.

After this introduction the tenor of this article is evident. Let us add that the above mentioned calculation meant the application of FEM in its two-dimensional variant. The knowledge of the method of tunnel analysis calculation in the 2D-variant is assumed.

### 2. BASIC RELATIONS AND CONCEPTS

#### 2.1. MODULUS OF ELASTICITY OF SHOTCRETE HARDENING

The modulus of elasticity was determined in the Klokner Institute of the ČVUT (Czech Technical University) (see [1], [2]) by the relation

$$E(t) = 1,7494 \cdot 10^6 \ln(t) + 12,914 \cdot 10^6 \text{ kPa}, \quad (1)$$

where  $t$  is the concrete age in days.

#### 2.2. MODULUS OF STRAIN OF SHOTCRETE HARDENING

The modulus of strain is expressed by means of the formula:

$$E(t, T) = E(t) \div (1 + \varphi) = E(t) \div \left(1 + \varphi_b \frac{(T-t)^{0,6}}{10 + (T-t)^{0,6}} \cdot t^{-0,12}\right) \quad (2)$$

$E(t)$  is the modulus of elasticity according to (1) and  $\varphi$  is the coefficient of cre-

rovnu 2,2. Symbolem  $t$  označujeme průběžný čas, ve kterém přikládáme napětí  $\sigma(t)$ , zatímco  $T \geq t$  je čas aktuální, ve kterém je měřena poměrná deformace  $\varepsilon(T)$ . Je-li  $\varepsilon(T)$  poměrná deformace v okamžiku  $T$  od časově neproměnného napětí  $\sigma(t) = \text{const.}$ , jež začalo působit v okamžiku  $t$ , pak

$$E(t, T) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(T)} \quad (3)$$

V hodnověrnosti vzorců (1) a (2) je určitý rozdíl. Zatímco (1) je empiricky silně podložen, nelze totéž se stejným akcentem tvrdit o (2). V něm obsažený součinitel dotvarování  $\phi$  je vzat v ČSN 731201, kde je uveden jako závislost platná pro beton, nikoliv pro stříkaný beton. Experiment na stříkaném betonu, který by ověřil správnost nebo umožnil korekci normového  $\phi$ , nebyl dosud proveden (předpokládáme, že se tak stane při ražbě tunelu Mrázovka). Proto nám nezbyvá, než normové  $\phi$  akceptovat jako platné i pro stříkaný beton, s určitou, blíže nespecifikovanou nejistotou.

Z hlediska základních úvah v článku vyslovených (nikoliv však číselných výsledků) je důležité, že vůči této nejistotě v hodnověrnosti  $\phi$  jsou indiferentní.

### 3. DOTVAROVÁNÍ ZRAJÍCÍHO KRUHOVÉHO PRSTENCE

Kruhový prstec tloušťky  $h$ , o poloměru střednice  $r$ , je zhotoven ze stříkaného betonu o modulu přetvárnosti  $E(t, T)$  v čase  $t = 0$  a zatěžován časově proměnným středově symetrickým tlakem  $q(t)$ , přičemž  $q(t) \leq U(t)$ , když  $U(t)$  je únosnost prstence.

Zatížení  $q(t)$  vyvolává v prstenci napětí

$$\sigma(t) = \frac{r}{h} * q(t) \quad (4)$$

Deformace prstence v aktuálním čase  $T$  je

$$y(T) = \frac{r^2}{h} \int_0^T \frac{dq(t)}{E(t, T)} = r \int_0^T \frac{d\sigma(t)}{E(t, T)} \quad (5)$$

Funkci  $q(t)$  vyjádříme ve tvaru (obr. 1a):

$$q(t) = z(t, T) * q(T), \quad t \in <0, T> \quad (6)$$

Pro  $z(t, T)$  zřejmě platí

$$\int_0^T z'(t, T) dt = z(T, T) = 1. \quad (7)$$

Podobnou rovnici jako (6) lze psát i pro napětí:

$$\sigma(t) = \frac{r}{h} * z(t, T) * q(T) = z(t, T) * \sigma(T) \quad (8)$$

Na funkci  $z(t, T)$  můžeme nazírat jako na údaj, popisující „dráhu“, po které v časovém intervalu  $<0, T>$ , přešlo zatížení (napětí) prstence ze své počáteční nulové hodnoty do aktuálního stavu (= stavu v čase  $T$ ). Funkce  $z(t, T)$ , kterou budeme nadále nazývat dráhou zatížení, je společná všem podobným funkcím zatížení  $q(t)$  resp. napětí  $\sigma(t)$ . Je prostá informace o intenzitě přiloženého zatížení resp. působícího napětí. Ta je z ní „odfiltrována“.

(Poznámka: funkce  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  si jsou podobny, platí-li:  $f_1(t) = \lambda * f_2(t)$ ,  $\lambda = \text{const.}$ )

S použitím dráhy zatížení můžeme deformaci prstence psát ve tvaru

$$y(T) = \frac{r^2}{h} * q(T) * \int_0^T \frac{z'(t, T)}{E(t, T)} dt = r * \sigma(T) * \int_0^T \frac{z'(t, T)}{E(t, T)} dt \quad (9)$$

### 4. KVASIREOLOGICKÁ NÁHRADA DOTVARUJÍCÍHO SE ZRAJÍCÍHO PRSTENCE

Definice: Kvasireologickou náhradou rozumíme náhradu prstence, jehož deformace  $y(T)$  od zatížení  $q(T)$  je funkcí modulu přetvárnosti  $E(t, T)$ , prstencem identické geometrie (rozuměj: totéž  $r$ , totéž  $h$ ) a fiktivní hmoty s fiktivním modulem pružnosti  $E_F(T)$  takovým, že v kterémkoliv aktuálním čase  $T$  platí

$$y(T) = w(T) \quad (10)$$

když  $w(T)$  je deformace náhradního prstence od zatížení  $q(T)$  v čase  $T$ . Pro deformaci prstence o modulu pružnosti  $E_F(T)$  zřejmě platí:

$$w(T) = \frac{r^2}{h} * \frac{q(T)}{E_F(T)} = r * \frac{\sigma(T)}{E_F(T)} \quad (11)$$

Aby bylo vyhověno rovnicím (9) a (10), musí být

$$E_F(T) = \frac{1}{\int_0^T \frac{z'(t, T)}{E(t, T)} dt} \quad (12)$$

Je tedy fiktivní modul pružnosti  $E_F(T)$  funkcí modulu přetvárnosti stříkaného betonu  $E(t, T)$  a dráhy zatížení  $z(t, T)$ . Není funkcí intenzity zatížení resp. napě-

ep pursuant to ČSN 731201. The basic value of the coefficient of creep  $\phi_b$  is 2.2 (according to the standard). The current time indicated as  $t$ , is the time which the stress  $\sigma(t)$  is applied, while  $T \geq t$  is the actual time, in which the relative deformation  $\varepsilon(T)$  is measured. If  $\varepsilon(T)$  is the relative deformation at the time  $T$  due to the time-independent stress,  $\sigma(t) = \text{const.}$ , which started to work at the moment  $t$ , then

$$E(t, T) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon(T)} \quad (3)$$

There is a certain difference in the reliability of formulas (1) and (2). Formula (1) is well substantiated empirically, which cannot be said about formula (2). The creep coefficient  $\phi$  is taken over from the standard ČSN 731201, where it is specified for concrete, but not for shotcrete. An experiment on shotcrete to verify the correctness or enable the correction of the standard  $\phi$  has not been made so far (we assume that it will be made during the driving of the "Mrázovka" tunnel). That is why there is no other possibility than to accept the standard  $\phi$  as valid also for shotcrete, with certain unspecified uncertainty.

With respect to basic considerations expressed in the article (but not with respect to numerical results), it is important to say that they are indifferent to this uncertainty.

### 3. CREEP OF THE HARDENING LINING RING

The lining ring of the thickness  $h$  and of the central line radius  $r$ , is made of shotcrete having the modulus of strain  $E(t, T)$  at the time  $t = 0$  and loaded by means of a centrally symmetrical time-variable pressure  $q(t)$ , while  $q(t) \leq U(t)$ , where  $U(t)$  is the loadability of the ring.

The load  $q(t)$  produces a stress in the ring:

$$\sigma(t) = \frac{r}{h} * q(t) \quad (4)$$

The deformation of the ring in the actual time  $T$  is as follows:

$$y(T) = \frac{r^2}{h} \int_0^T \frac{dq(t)}{E(t, T)} = r \int_0^T \frac{d\sigma(t)}{E(t, T)} \quad (5)$$

The function  $q(t)$  can be expressed in the following form (Fig. 1a):

$$q(t) = z(t, T) * q(T), \quad t \in <0, T> \quad (6)$$

For  $z(t, T)$  it is evidently valid:

$$\int_0^T z'(t, T) dt = z(T, T) = 1. \quad (7)$$

An analogous equation as (6) can be written also for the stress:

$$\sigma(t) = \frac{r}{h} * z(t, T) * q(T) = z(t, T) * \sigma(T) \quad (8)$$

The function  $z(t, T)$  may be considered as a date, describing the trajectory traversed, within the time interval  $(0, T)$  by the load (stress) of the ring from its initial zero value to the actual state (= the state at the time  $T$ ). The function  $z(t, T)$  which, hereinafter, will be called „the load trajectory“ is common for all similar load functions  $q(t)$ ,  $\sigma(t)$ . It does not include any information concerning the intensity of the applied load or acting stress which was „filtered off“.

(Note: the functions  $f_1(t)$ ,  $f_2(t)$  are similar, if it holds that  $f_1(t) = \lambda * f_2(t)$ ,  $\lambda = \text{const.}$ )

When applying the load trajectory, the deformation of the ring can be expressed as follows:

$$y(T) = \frac{r^2}{h} * q(T) * \int_0^T \frac{z'(t, T)}{E(t, T)} dt = r * \sigma(T) * \int_0^T \frac{z'(t, T)}{E(t, T)} dt \quad (9)$$

### 4. QUASIRHEOLOGICAL SUBSTITUTION OF THE HARDENING RING DURING CREEP

Definition: The quasirheological substitution means the substitution of the ring, the deformation of which  $y(T)$ , produced by the load  $q(T)$ , is the function of the effective modulus  $E(t, T)$ , with the ring of identical geometry (i.e. identical  $r$  and  $h$ ) fictitious mass of a fictitious modulus of elasticity  $E_F(T)$  for which it holds that at any actual time  $T$

$$y(T) = w(T) \quad (10)$$

where  $w(T)$  is the deformation of the substituting ring produced by the load  $q(T)$  within the time  $T$ .

For the deformation of the ring of the modulus of elasticity  $E_F(T)$ , it evidently holds that:

$$w(T) = \frac{r^2}{h} * \frac{q(T)}{E_F(T)} = r * \frac{\sigma(T)}{E_F(T)} \quad (11)$$

tí. Derivace  $z'(t, T)$ ,  $t = t_0$ , nabývá významu váhy, se kterou se  $E(t, T)$ ,  $t = t_0$ , podílí na tvorbě  $E_F(T)$ .

## 5. DOTVAROVÁNÍ ZRAJÍCÍHO KRUHOVÉHO PRSTENCE, SPOLUPŮSOBÍCÍHO S HORNINOU

Kruhový prstec z odst. 3 považujeme za ostění a správně ho do systému s horninou. Té přisoudíme pružné vlastnosti s modulem pružnosti  $E_H$  a Poissonovou konstantou  $\nu$ . (Horninu tedy popisujeme – nejen na tomto místě, nýbrž v celém článku – velmi jednoduše. Na to, jak odklon do tohoto popisu může ovlivnit naše výsledky, bude vždy ve vhodném okamžiku upozorněno.) Sférově symetrické a časově proměnné zatížení  $q(t)$  přiložíme na hranici mezi ostěním a horninou. Ostění přeneše z tohoto zatížení část o velikosti  $p(t)$ , zbytek  $q(t) - p(t)$  jest přenášén horninou. Platí:

$$\int_0^r \frac{r^2}{h} \cdot \frac{1}{E(t, T)} dp(t) = C \int_0^r (dq(t) - dp(t)) \quad (16)$$

kde

$$C = \frac{r(\nu+1)}{E_H} \quad (17)$$

je konstanta, udávající tuhost horniny.

Rovnice (16) jest vyjádřením podmínky rovnosti deformace na kontaktu mezi horninou a ostěním, z jedné i druhé strany.

Rovnici (16) upravíme pomocí dráhy zatížení. Musíme si přitom uvědomit, že se v ní vyskytují dvě funkce zatížení. Především **funkce zatížení systému ostění – hornina  $q(t)$** , kterou (většinou) předem známe nebo jejíž znalost předpokládáme. Dále pak **funkce zatížení ostění  $p(t)$** , která je (většinou) hledaným řešením rovnice.

Funkci  $q(t)$  přiřazujeme známým předpisem (viz (6)) dráhu zatížení  $z(t, T)$ , funkci  $p(t)$  obdobně, tedy  $s(t, T) = p(t)/p(T)$ , dráhu zatížení  $s(t, T)$ ,  $t \in \langle 0, T \rangle$ . Rovnice (16) poskytuje obecné řešení, při kterých si  $p(t)$  a  $q(t)$  nejsou podobny. Proto platí

$$z(t, T) \neq s(t, T) \quad (18)$$

Po aplikaci drah zatížení přechází rovnice (16) do tvaru

$$p(T) \int_0^r \frac{r^2}{h} \int_0^T \frac{s'(t, T)}{E(t, T)} dt = C \int_0^r [q(T) \cdot z'(t, T) - p(T) \cdot s'(t, T)] dt \quad (19)$$

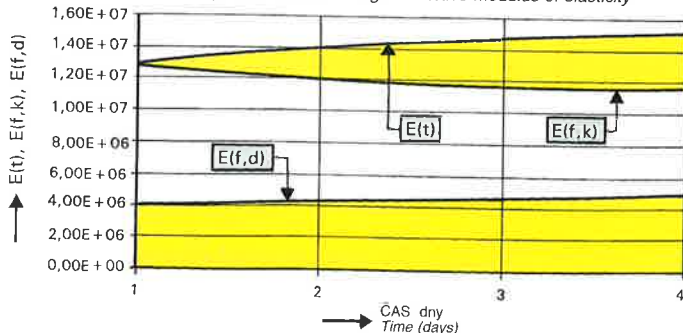
Po vyčíslení integrálu na pravé straně obdržíme:

$$p(T) \int_0^r \frac{r^2}{h} \int_0^T \frac{s'(t, T)}{E(t, T)} dt = C \cdot (q(T) - p(T)) \quad (20)$$

TABULKA 1  
TABLE 1

PRŮBĚŽNÝ ČAS (dny) Running time (days)	DOBA PŘÍTĚŽOVÁNÍ OSTĚNÍ VE DNECH Period of lining load increase in days	MODUL PRUŽNOSTI $E(t)$ [kPa] Modulus of elasticity $E(t)$ [kPa]	KRÁTKODOBÝ FIKTIVNÍ MODUL PRUŽ. $E(f, k)$ [kPa] Short-term fictive modulus of elasticity $E(f, k)$ [kPa]	DLOUHODOBÝ FIKTIVNÍ MODUL PRUŽ. $E(f, d)$ [kPa] Long-term fictive modulus of elasticity $E(f, d)$ [kPa]	$E(f, d)$ $E(t)$
1	1	1,29E+07	1,29E+07	4,04E+06	0,31
2	2	1,41E+07	1,22E+07	4,33E+06	0,31
3	3	1,48E+07	1,19E+07	4,55E+06	0,31
4	4	1,53E+07	1,18E+07	4,73E+06	0,31

MODUL PRUŽNOSTI, KRÁTKODOBÝ A DLOUHODOBÝ FIKTIVNÍ MODUL PRUŽNOSTI  
Modulus of elasticity, short-time and long-time fictive modulus of elasticity



GRAF 1: GRAFICKÉ ZPRACOVÁNÍ MODULŮ Z TAB: 1  
Graph 1: Graphical solution of moduli mentioned in Table 1

To comply with equations (9) and (10), it must hold that

$$E_F(T) = \frac{1}{\int_0^r \frac{z'(t, T)}{E(t, T)} dt} \quad (12)$$

Consequently the fictitious modulus of elasticity  $E_F(T)$  is the function of the creep modulus of shotcrete  $E(t, T)$  and the load trajectory  $z(t, T)$ . It is not the function of the load intensity or the stress intensity. The derivative of  $z(t, T)$ ,  $t = t_0$ , acquires the significance of the weight, with which the  $E(t, T)$ ,  $t = t_0$ , participates in the rise of  $E_F(T)$ .

## 5. CREEP OF THE ROUND RING HARDENING IN CO-OPERATION WITH THE ROCK

Let be considered the round ring mentioned in paragraph 3 as a lining, and let it be harnessed in the system together with the rock. We shall assume that the rock has elastic properties, i.e. the modulus of elasticity  $E_H$  and Poisson's constant. (The rock is described – not only here, but in the whole article – very simply. The extent to which the deviation from this description may affect our results, will be always mentioned at a suitable moment.) The centrally symmetrical and time-variable load  $q(t)$ , will be applied to the border line between the lining and the rock. The lining will transfer a part of this load of the magnitude  $p(t)$ , the remainder  $q(t) - p(t)$  will be transferred by the rock. It holds that

$$\int_0^r \frac{r^2}{h} \cdot \frac{1}{E(t, T)} dp(t) = C \int_0^r (dq(t) - dp(t)) \quad (16)$$

where

$$C = \frac{r(\nu+1)}{E_H} \quad (17)$$

is a constant stating the rock rigidity.

Equation (16) expresses conditions of the equal deformation equality at the point of contact between the rock and the lining on either side.

We shall modify equation (16) by means of the load trajectory. We must take into account that it contains two load functions. First of all the **load function of the lining – rock system  $q(t)$**  which is (mostly) known in advance, or the knowledge of which we suppose. Then the **load function of the lining  $p(t)$**  for which it is (mostly) the sought solution of the equation.

To the function  $q(t)$  we shall assign, by means of a known formula (see (6)), the load trajectory  $z(t, T)$  and analogously the function  $p(t)$ , i.e.  $s(t, T) = p(t)/p(T)$ , the load trajectory  $s(t, T)$ ,  $t \in \langle 0, T \rangle$ . Equation (16) generally provides the solutions, in which  $p(t)$  and  $q(t)$  are not similar. Therefore it holds that

$$z(t, T) \neq s(t, T) \quad (18)$$

After the application of the load trajectories, equation (16) is transformed as follows:

$$p(T) \int_0^r \frac{r^2}{h} \int_0^T \frac{s'(t, T)}{E(t, T)} dt = C \int_0^r [q(T) \cdot z'(t, T) - p(T) \cdot s'(t, T)] dt \quad (19)$$

Having evaluated the integral on the right side, we obtain:

$$p(T) \int_0^r \frac{r^2}{h} \int_0^T \frac{s'(t, T)}{E(t, T)} dt = C \cdot (q(T) - p(T)) \quad (20)$$

Our interest will be attracted particularly by that solution of equation (16), which corresponds with the continual uniform tunnel driving. It is supposed that during such driving, the loading of the system is uniformly increased for the time  $\Delta t$  days (which depends upon the driving rate). After the time  $\Delta t$ , the load increasing terminates. If the beginning of the interval  $\Delta t$  is represented by the time  $t = 0$ , and the end by the time  $t = T_0$ , as it will be always in our case, then  $\Delta t = T_0$ . The function  $q(t)$ , describing this driving mode, and shown on Fig. 1b, is governed by the following formulas:

$$q(t) = 0 \quad \text{for } t < 0, \quad (21a)$$

$$q(t) = \frac{t}{T_0} q(T_0) \quad \text{for } t \in \langle 0, T_0 \rangle, \quad (21b)$$

$$q(t) = q(T_0) \quad \text{for } t > T_0 \quad (21c)$$

The same diagram shows also the load trajectory  $z(t, T)$ , assigned to the above mentioned  $q(t)$  in the actual time  $T = 10$  days. As it is evident:

$$z(t) = 0 \quad \text{for } t < 0, \quad (21d)$$

$$z(t) = \frac{t}{T_0} \quad \text{for } t \in \langle 0, T_0 \rangle, \quad (21e)$$

$$z(t) = 1 \quad \text{for } t \in \langle T_0, 10 \rangle \quad (21f)$$

The result of one numerical solution of equation (16) for the function  $q(t)$  according to (21) is shown on Fig. 2. As it is evident from the histories of  $q(t)$ , the load of the system is increased for the period of four days. It is evident that

Náš zájem vyvolává obzvláště to řešení rovnice (16), které odpovídá kontinuální rovnoměrné ražbě. Předpokládáme, že při takové ražbě je po dobu  $\Delta t$  dnů (tato doba je dána rychlostí ražby) systém rovnoměrně přitěžován. Po uplynutí času  $\Delta t$  je přitěžování ukončeno. Je-li počátek intervalu  $\Delta t$  čas  $t = 0$  a koncem čas  $t = T_0$ , jak tomu u nás vždy bude, je  $\Delta t = T_0$ . Funkce  $q(t)$ , popisující tuto ražbu, je znázorněna na obr. 1b a platí pro ni:

$$q(t) = 0 \quad \text{pro } t < 0, \quad (21a)$$

$$q(t) = \frac{t}{T_0} q(T_0) \quad \text{pro } t \in \langle 0, T_0 \rangle, \quad (21b)$$

$$q(t) = q(T_0) \quad \text{pro } t > T_0. \quad (21c)$$

Na tomtéž obrázku můžeme spatřit i dráhu zatížení  $z(t, T)$ , přiřazenou výše uvedené  $q(t)$ , v aktuálním čase  $T = 10$  dnů. Jak zřejmo, je

$$z(t) = 0 \quad \text{pro } t < 0, \quad (21d)$$

$$z(t) = \frac{t}{T_0} \quad \text{pro } t \in \langle 0, T_0 \rangle, \quad (21e)$$

$$z(t) = 1 \quad \text{pro } t \in (T_0, 10) \quad (21f)$$

Výsledek jednoho numerického řešení rovnice (16) pro funkci  $q(t)$  podle (21) znázorňuje obr. 2. Jak patrně z průběhu  $q(t)$ , je systém přitěžován po dobu 4 dnů. Vidíme, že zatížení  $p(t)$ , přenášené ostěním, v době zatěžování narůstá, s dostatečnou přesností lineárně, a své maximální hodnoty dosahuje na konci zatěžování, tedy v čase  $T_0 = 4$  dny. Poté se začíná výrazně uplatňovat dotvarování betonu a zatížení ostění pozvolna klesá. K dotvarování ovšem dochází od samého počátku. Je však zatěžování – neboť je to dostatečně rychle – překryváno do té míry, že příliš nedeformuje lineární charakter vzestupné větve funkce  $p(t)$ .

Předchozí tvrzení jsou významná a schopna zobecnění (viz obr. 2): **Probíhá-li ražba dostatečně spojitě (za ideální můžeme považovat ražbu frézou v homogenní hornině) a dostatečně rychle, v hornině dostatečně lineární (hornina je tím lineárnější, čím menší jsou plastické zóny v ní vyvolané ražbou), převládá nejprve v čase  $t \in \langle 0, T_0 \rangle$ , přitížení ostění nad jeho dotvarování. Vliv plynulého přitěžování se projevuje dostatečně lineárním nárůstem zatížení ostění, dotvarování ovlivňuje velikost směrnice přímky, která nárůst aproximuje.**

Po dosažení maxima zatížení, na konci doby po kterou je ostění přitěžováno, dochází v důsledku dotvarování stříkaného betonu k odlehčování ostění. To postrádá charakter lineární závislosti. Je doprovázeno nárůstem deformací ostění. Maximálních deformací je dosaženo v čase  $T \rightarrow \infty$  (= ve vysokém stáří ostění).

## 6. KVASIREOLOGICKÁ NÁHRADA PROBLÉMU Z ODST. 5

Definice: Kvasireologickou náhradou problému z odst. 5 nazýváme jeho náhradu úlohou, která je s ním ve všech geometrických, zatěžovacích a fyzikálně mechanických parametrech shodná, s jedinou výjimkou: Modul přetvárnosti  $E(t, T)$  je nahrazen fiktivním modulem pružnosti  $E_F(T)$  takovým, že pro každé  $T$  je

$$y(T) = w(T) \quad (22)$$

když  $y(T)$  je deformace prstence s modulem přetvárnosti  $E(t, T)$  a  $w(T)$  je deformace prstence s fiktivním modulem pružnosti  $E_F(T)$ .

the load  $p(t)$ , sustained by the lining, increases during the loading time, viz. linearly with a sufficient accuracy, and that it attains its maximum value at the end of loading, i.e. at the time  $T_0 = 4$  days. Subsequently the influence of the creep of concrete becomes considerably significant, and the load of the lining starts to decrease slowly. Naturally the creep takes place from the very beginning, but it is covered by loading – which is sufficiently fast – to such an extent, that it does not deform substantially the linear character of the rising branch of the function  $p(t)$ .

The above statements are important, and can be generalized (see Fig. 2): **If the driving is sufficiently continuous (driving by means of cutter heads in a homogeneous rock can be considered ideal), sufficiently fast, in a rock sufficiently linear (the rock is the more linear, the smaller the plastic zones produced in it by driving), at the time  $t \in \langle 0, T_0 \rangle$ , the increase of loading prevails first over its creep. The influence of continuous load increase causes a sufficiently linear increase of the lining loading; the creep influences the value of the gradient of the line, which approximates the increase.**

After the maximum loading has been achieved, at the end of the period during which the lining load is increased, the lining load is relieved by the creep of shotcrete. This process is not linear and it is accompanied by increasing lining deformations. Maximum deformations take place at the time  $T \rightarrow \infty$  (= in the high age of the lining).

## 6. QUASIRHEOLOGICAL SUBSTITUTION OF THE PROBLEM DESCRIBED IN PARAGRAPH 5

Definition: The quasirheological substitution of the problem described in the paragraph 5 is its substitution with the task identical with it in all geometrical, loading, as well as in physical-mechanical parameters, with the only exception: the modulus of deformation  $E(t, T)$  is substituted with a fictitious modulus of elasticity complying with the condition for each  $T$ , it holds that:

$$y(T) = w(T) \quad (22)$$

where  $y(T)$  is the deformation of the ring with the modulus of deformation  $E(t, T)$ , and  $w(T)$  indicates the deformation of the ring with the fictitious modulus of elasticity  $E_F(T)$ .

The equation of quasirheological substitution, parallel with equation (20) is:

$$\frac{r^2}{h} * \frac{1}{E_F(T)} * p(T) = C (q(T) - p(T)) \quad (23)$$

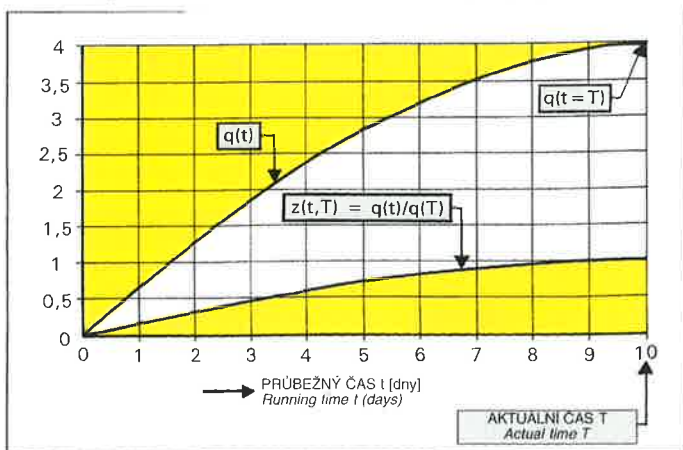
If equations (20) and (23) are to provide the same solution, it must hold that:

$$E_F(T) = \frac{1}{\int_0^T \frac{s'(t, T)}{E(t, T)} dt} \quad (24)$$

A formal identity exists between equations (12) and (24). However, there is one important difference concerning their solution. The function  $z(t, T)$  and, consequently, equation (12), can be solved easily, because the function of loading of the insulated hardening and creeping ring  $q(t)$  is the quantity known in advance.

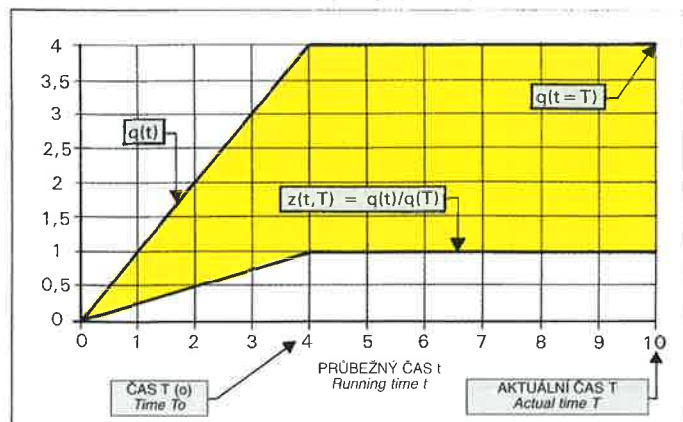
The function  $s(t, T)$  is derived from the loading function of the hardening and creeping of the ring, co-operating with the rock. This function which we marked  $p(t)$  is not known in advance, but can be calculated by means of  $E(t, T)$ , i.e. by means of the calculation taking into account the hardening and creep of the lining mass. However, we want to avoid such a calculation and to replace it with a calculation working with a fictitious, merely hardening mass, and described only by

OBR. 1a: OBECNÁ FUNKCE ZATÍŽENÍ  $q(t)$  A JEJÍ DRÁHA ZATÍŽENÍ  $z(t, T = 10)$   
Fig. 1a: General function of load  $q(t)$  and load trajectory  $z(t, T = 10)$



OBR. 1b: FUNKCE ZATÍŽENÍ KONTINUÁLNÍ ROVNOMĚRNÉ RAŽBY  $q(t)$   
A JEJÍ DRÁHA ZATÍŽENÍ  $z(t, T = 10)$

Fig. 1b: Function of load of a continuous uniform driving  $q(t)$   
and its load trajectory  $z(t, T = 10)$



Rovnice kvasireologické náhrady, paralelní s rovnicí (20) je

$$\frac{r^2}{h} * \frac{1}{E_F(T)} * p(T) = C (q(T) - p(T)) \quad (23)$$

Aby rovnice (20) a (23) poskytl stejné řešení, musí být

$$E_F(T) = \frac{1}{\int_0^t \frac{s'(t, T)}{E(t, T)} dt} \quad (24)$$

Mezi rovnicemi (12) a (24) existuje formální shoda. Přesto je mezi nimi jeden důležitý rozdíl, týkající se řešení těchto rovnic. Funkce  $z(t, T)$  a tedy i rovnice (12) se dá snadno vypočítat, neboť funkce zatížení izolovaného zrajícího a dotvarujícího se prstence  $q(t)$  je předem známá veličina.

Funkce  $s(t, T)$  se však odvozuje od funkce zatížení prstence, zrajícího a dotvarujícího se, pracujícího ve spřažení s horninou. Tato funkce, kterou jsme označili  $p(t)$ , předem známá není. Může být ovšem vypočítána pomocí  $E(t, T)$ . Tedy výpočtem, zohledňujícím zráni a dotvarování hmoty ostění. Takovému výpočtu se však chceme vyhnout a nahradit jej výpočtem, laborující s fiktivní hmotou pouze zrající, popsanou toliko – z hlediska techniky tunelářského výpočtu bezproblémovým – fiktivním modulem pružnosti  $E_F(T)$  podle (24). Znáť tento modul ale znamená znát funkci  $s(t, T)$ . Pohybujeme se tedy zřejmě v kruhu. O tom, jak z něj vystoupit, pojednáme na začátku následující kapitoly.

Předtím však, kvůli důvěrnějšímu seznámení, si prohlédneme obrázky 3a–3d, znázorňující průběhy funkcí  $z(t, T)$  a  $s(t, T)$  pro  $T = T_0 = 4$  dny a  $T = 10$  dnů. Obě funkce se vztahují k příkladu, jehož výsledky jsou zaznamenány na obr. 2.

## 7. ČÍSELNÉ HODNOTY FIKTIVNÍHO MODULU PRUŽNOSTI $E_F(T)$

Je před námi úkol vyčíslit fiktivní modul pružnosti, který je v tunelářské statice stanoven korektně rovnicí (24). Nikoliv tedy rovnicí (12), která se vztahuje spíše k laboratornímu experimentu, kdy prstenc s vlastnostmi podle odst. 3 zatěžujeme námi ovládaným a řízeným zatížením  $q(t)$ .

Bylo již řečeno, na jaké potíže u (24) narážíme a bylo přislíbeno východisko ze situace, která se vyznačuje naší neschopností tuto rovnici, kvůli neznalosti  $s(t, T)$ , rozřešit. Z tohoto hlediska je důležité konstatovat, že k tomu, abychom ostění správně navrhli resp. posoudili, jak co do napjatosti, tak co do deformace, nemusíme znát celý průběh funkce  $E_F(T)$ . Postačují toliko dvě její hodnoty. Jedna pro  $T = T_0$ , kdy je ukončeno přitěžování ostění ražbou, takže jeho zatížení dosahuje maxima. Druhá pro  $T \rightarrow \infty$ , kdy je po ukončení dotvarování dosaženo největších deformací.

Abychom tyto hodnoty získali, budeme předpokládat, že ražba je kontinuální a rovnoměrná, takže se na ni vztahuje zobecnění z odst. 5. (Předpoklad není mimořádný. Je používán i v jiných úvahách, byť mnohdy mlčky či neuvědoměle.) Je používán proto, že je přirozený, neboť odpovídá správně probíhající ražbě.) Pro tento druh ražby – a nyní přichází naše východisko ze situace – zaměníme dráhu zatížení  $s(t, T)$ , s dráhou  $z(t, T)$ .

Jinak řečeno, fiktivní modul pružnosti  $E_F(T)$  v čase  $T = T_0$  a  $T \rightarrow \infty$  stanovíme nikoliv jako řešení rovnice (24), nýbrž jako řešení rovnice (12) pro  $z(t, T)$ , s vlastnostmi podle (21d)–(21f).

Co to znamená a jaké chyby se dopouštíme?

7.1. V případě fiktivního modulu  $E_F(T = T_0)$  je záměna  $s(t, T_0)$  za  $z(t, T_0)$  velmi korektní, pokud doba přitěžování  $\Delta t$  není příliš dlouhá. (Podle našich vědomostí

a problemfree fictitious modulus of elasticity  $E_F(T)$  according to (24). To know this modulus, however means to know the function  $s(t, T)$ . Evidently we are moving in a circle. The way, out of it will be described at the beginning of the following chapter.

Before that, however, to get a more detailed picture, we shall have a look at figures 3a to 3d, showing the histories of functions  $z(t, T)$  for  $T = T_0 = 4$  days and  $T = 10$  days. Both functions are related to the case, the results of which are mentioned in Fig. 2.

## 7. NUMERICAL VALUES OF THE FICTITIOUS MODULUS OF ELASTICITY $E_F(T)$

Now we are confronted with the task of evaluating numerically the fictitious modulus of elasticity, determined in the tunnel statics correctly by equation (24) and not by equation (12) which relates more to a laboratory experiment, when the ring, with the properties according to paragraph 3, is loaded by the controlled load  $q(t)$ .

We have already mentioned the problems connected with equation (24) and promised the way out of the situation which is characterized by our inability to solve this equation because of ignorance of  $s(t, T)$ . It should be noted, however, that the correct design or assessment of the lining both as to its state of stress and as to its deformation, we do not need to know necessarily the whole history of the function  $E_F(T)$ . It is sufficient to know only two of its values, viz. one for  $T = T_0$ , when the load increase of the lining by driving terminates and its loading achieves its maximum, and the other for  $T \rightarrow \infty$ , when, after the termination of the creep, maximum deformations take place.

To obtain these values, we shall assume that the driving is continuous and uniform, so that we can apply the generalization of paragraph 5. (This assumption is not extraordinary. It is used even in other considerations, whether silently or instinctively. It is used, because it is natural, since it corresponds with the correct running driving.) For this type of driving – and that is where our way out of the situation is coming – we shall replace the loading trajectory  $s(t, T)$  with  $z(t, T)$ . In other words, we shall determine the fictitious modulus of elasticity  $E_F(T)$  at the time  $T = T_0$  and  $T \rightarrow \infty$  not as the solution of equation (24), but as the solution of equation (12) for  $z(t, T)$  with the properties according to (21d) to (21f). What does it mean and what error are we committing?

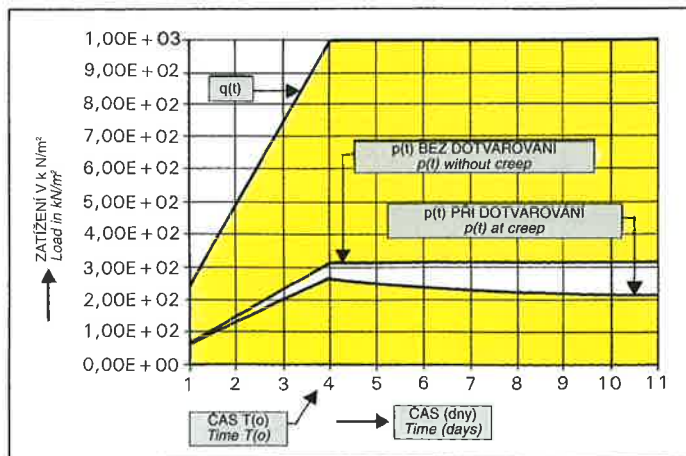
7.1. In case of the fictitious modulus  $E_F(T = T_0)$ , the replacement  $s(t, T_0)$  with  $z(t, T_0)$  is correct, if the time of the load increase  $\Delta t$  is not too long. (According to our knowledge, the time of the increasing load is not too long, if  $T_0 \leq 4$  days. That does not mean, however, that  $T_0 > 4$  days, is too long. We do not know it, because the periods of  $\Delta t > 4$  were not the object of examination.) If it is so, the history of the lining loading function  $p(t)$  can be approximated within the interval  $\Delta t$  by a straight line (Fig. 2) which corresponds with such a loading trajectory  $s(t, T)$  that (Fig. 3a, 3c):

$$s(t, T_0) \equiv z(t, T_0) = \frac{t}{T_0} \quad (25)$$

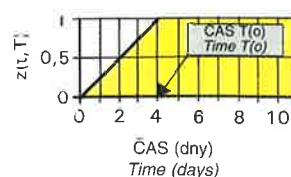
with the derivative

$$s'(t, T_0) \equiv z'(t, T_0) = \frac{1}{T_0} \quad (26)$$

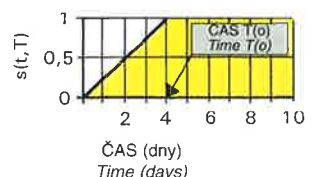
OBŘ. 2: FUNKCE ZATÍŽENÍ SYSTÉMU  $q(t)$  A FUNKCE ZATÍŽENÍ OSTĚNÍ  $p(t)$   
Fig. 2: Function of load of the system  $q(t)$  and the function of the lining load  $p(t)$



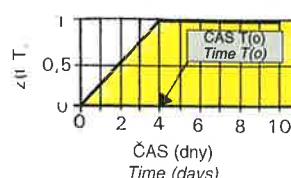
OBŘ. 3a DRÁHA ZATÍŽENÍ  
Fig. 3a: Load trajectory  
 $z(t, T = T_0 = 4)$



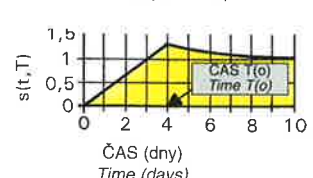
OBŘ. 3c DRÁHA ZATÍŽENÍ  
Fig. 3c: Load trajectory  
 $s(t, T = T_0 = 4)$



OBŘ. 3b DRÁHA ZATÍŽENÍ  
Fig. 3b: Load trajectory  
 $z(t, T = 10)$



OBŘ. 3d DRÁHA ZATÍŽENÍ  
Fig. 3d: Load trajectory  
 $s(t, T = 10)$





není doba přítěžování příliš dlouhá, když  $T_0 \leq 4$  dny. Tím nechceme říci, že při  $T_0 > 4$  dny přítěžování příliš dlouhé je. My to pouze nevíme, neboť doby  $\Delta t > 4$  nebyly předmětem zkoumání. Je-li tomu tak, dá se průběh funkce zatížení ostění  $p(t)$  aproximovat v intervalu  $\Delta t$  přímkou (obr. 2). K té náleží dráha zatížení  $s(t, T_0)$  taková, že (obr. 3a, 3c):

$$s(t, T_0) \equiv z(t, T_0) = \frac{t}{T_0} \quad (25)$$

s derivací

$$s'(t, T_0) \equiv z'(t, T_0) = \frac{1}{T_0} \quad (26)$$

Potom – podle (12) – je

$$E_F(T_0) = \frac{T_0}{\int_0^{T_0} \frac{1}{E(t, T_0)} dt} \quad (27)$$

Bude-li čas  $T_0$  zadáván v celých dnech, takže  $T_0 = n$  ( $n =$  celé kladné číslo), nahradíme-li diferenciál  $dt$  diferencí  $\Delta t = 1$  den a přejdeme-li od integrace k sumaci, obdržíme náhradou za (27) snadno vyčíslitelnou rovnici

$$E_F(T_0 = n) = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E(t=i, T_0=n)}} \quad (28)$$

Její vyčíslení získané hodnoty fiktivního modulu pružnosti  $E_F(T = T_0)$ , pro stříkaný beton používaný Metrostavem, obsahuje tab. 1 ve svém 4. sloupci. Je zde pro lepší komunikaci nazván „krátkodobým fiktivním modulem pružnosti“, a označen symbolem  $E(f, k)$ .

7.2. Náhrada (24) rovnicí (12) v kauze fiktivního modulu  $E_F(T \rightarrow \infty)$  postrádá oné značné přesnosti, kterými se vyznačovala tatáž náhrada pro  $E_F(T = T_0)$ . Názorně to vidíme na obr. 3b a obr. 3d, kde je možno srovnat  $z(t, T = 10)$  a  $s(t, T = 10)$ . Že se jedná o funkce odlišné, netřeba zdůrazňovat. Přesto je náhrada možná a přijatelná, když jí správně porozumíme:

Představme si, že k našemu výpočetnímu modelu dotvarujícího se prstence spojeného s horninou (viz odst. 5) přiložíme zatížení  $q(t)$  podle (21a)–(21b) a necháme ho působit do času  $T_0$  (obr. 2), ve kterém ostění přejímá zatížení  $p(t = T_0)$ . Za tohoto stavu prstence od hory odpojme, a necháme ho zrát a dotvarovat se izolovaně, při neměnném zatížení  $p(t = T_0)$ . Takovému režimu zatížení je však adekvátní dráha zatížení  $s(t, T) = z(t, T)$ , když pro  $z(t, T)$  platí (21d)–(21f). Pro  $z(t, T)$  s vlastnostmi (21) a pro  $T \rightarrow \infty$  z (12) obdržíme:

$$E_F(T \rightarrow \infty) = \frac{1}{\int_0^{T_0} \frac{z'(t, T \rightarrow \infty)}{E(t, T \rightarrow \infty)} dt} = \frac{1}{\int_0^{T_0} \frac{z'(t, T \rightarrow \infty)}{E(t, T \rightarrow \infty)} dt + \int_{T_0}^{\infty} \frac{z'(t, T \rightarrow \infty)}{E(t, T \rightarrow \infty)} dt} = \frac{T_0}{\int_0^{T_0} \frac{1}{E(t, T \rightarrow \infty)} dt} \quad (29)$$

neboť  $z'(t, T \rightarrow \infty) = 1/T_0$  pro  $t \in \langle 0, T_0 \rangle$ , zatímco  $z'(t, T \rightarrow \infty) = 0$  pro  $t \in (T_0, \infty)$ .

Pokud hornina nepodléhá creepu (to od počátku předpokládáme), je rovnici (29) definovaný fiktivní modul  $E_F(T \rightarrow \infty)$  menší nežli přesný modul, stanovený pro  $T \rightarrow \infty$  podle (24).

To plyne z následující úvahy:

V systému dochází v důsledku dotvarování ostění k dvojmu efektu:

- narůstají deformace prstence,
- klesá jeho zatížení (neboť creep horniny je zakázán). Pokles zatížení je možno chápat jako přiložení tahového zatížení  $\Delta p(t)$ ,  $t \in \langle T_0, T \rightarrow \infty \rangle$  k zatížení tlakovému  $p(t) = p(T_0)$ ,  $t \in \langle T_0, T \rightarrow \infty \rangle$ . Zatížení  $\Delta p(t)$  střednici prstence roztahuje, zatížení  $p(t)$  ji stlačuje.

Stlačení převažuje, je však částečně redukováno roztážením. Nemůže být proto větší, nežli stlačení od samotného  $p(t)$ . To a nepřímá úměra mezi modulem pružnosti prstence a jeho deformací je důvodem našeho tvrzení, že modul podle (29) je menší, nežli modul podle (24) pro  $T \rightarrow \infty$ .

Je-li tomu tak, pak – použit při výpočtu systému – poskytuje hodnoty deformace, které dotvarující se a s horninou spolupůsobící prstence nemůže překročit.

Fiktivní modul pružnosti  $E_F(T \rightarrow \infty)$  podle (29) nazveme dlouhodobým fiktivním modulem pružnosti. Uplatňuje se především při stanovení limitních hodnot deformace, ke kterým dochází po delší době, při vyzrálém a dotvarovaném betonu průměrného ostění. Hodnoty  $E_F(T \rightarrow \infty)$  nalezneme, podobně jako hodnoty  $E_F(T = T_0)$ , v tab. 1. Jsou vypočteny pomocí vzorce:

$$E_F(T \rightarrow \infty) = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E(t=i, T \rightarrow \infty)}} \quad (30)$$

který je odvozen z rovnice (29) náhradou integrace sumací a diferenciálů  $dt$  diferencí  $\Delta t = 1$  den, to vše po úmluvě, že doba přítěžování ostění ražbou trvá  $n$  dní.

Then – pursuant to (12) – it holds that:

$$E_F(T_0) = \frac{T_0}{\int_0^{T_0} \frac{1}{E(t, T_0)} dt} \quad (27)$$

If the time  $T_0$  is given in whole days, so that  $T_0 = n$  ( $n =$  a positive integer), we shall replace the differential  $dt$  with the difference  $\Delta t = 1$  day, and if we pass from integration to summation, we shall obtain, instead of (27), an easily solvable equation

$$E_F(T_0 = n) = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E(t=i, T_0=n)}} \quad (28)$$

Values of the fictitious modulus of elasticity  $E_F(T = T_0)$ , obtained by its numerical evaluation for shotcrete, used by Metrostav, are shown in Tab. 1, Column 4. For better understanding, it is called the „short-term fictitious modulus of elasticity“ and indicated with the symbol  $E(f, k)$ .

7.2. The replacement of (24) with the equation (12) in the case of the fictitious modulus  $E_F(T \rightarrow \infty)$  lacks the considerable accuracy of the same characteristic replacement of  $E_F(T = T_0)$ . It is shown in Fig. 3b and Fig. 3d, where it is possible to compare  $z(t, T = 10)$  and  $s(t, T = 10)$ . Needless to say that they are different functions. In spite of it, however, the substitution is possible and acceptable, if we understand it correctly. Let us imagine that our theoretical model of the creeping ring, connected with the rock (see paragraph 5) is loaded by  $q(t)$  according to (21a)–(21b), which will be applied until the time  $T_0$  (Fig. 2), in which the lining takes over the load  $p(t = T_0)$ . In this situation we disconnect the ring from the rock and we let it harden and creep separately under a constant load  $p(t = T_0)$ . Adequate with such a regime there is the loading trajectory  $s(t, T) = z(t, T)$ , if (21d)–(21f) applies to  $z(t, T)$ . For  $z(t, T)$  with the properties (21) and for  $T \rightarrow \infty$  from (12) we obtain:

$$E_F(T \rightarrow \infty) = \frac{1}{\int_0^{T_0} \frac{z'(t, T \rightarrow \infty)}{E(t, T \rightarrow \infty)} dt} = \frac{1}{\int_0^{T_0} \frac{z'(t, T \rightarrow \infty)}{E(t, T \rightarrow \infty)} dt + \int_{T_0}^{\infty} \frac{z'(t, T \rightarrow \infty)}{E(t, T \rightarrow \infty)} dt} = \frac{T_0}{\int_0^{T_0} \frac{1}{E(t, T \rightarrow \infty)} dt} \quad (29)$$

because  $z'(t, T \rightarrow \infty) = 1/T_0$  for  $t \in \langle 0, T_0 \rangle$ , while  $z'(t, T \rightarrow \infty) = 0$  for  $t \in (T_0, \infty)$ .

As long as the rock is not subject to creep (which we have assumed from the beginning), the fictitious modulus  $E_F(T \rightarrow \infty)$ , defined by equation (29), is lower than the accurate modulus, determined for  $T \rightarrow \infty$  according to (24).

This arises from the following consideration:

The creep of the lining produces two effects in the system:

- increasing ring deformations
- its load decrease (because the rock creep is forbidden). The load decrease may be understood as an application of the tensile load  $\Delta p(t)$ ,  $t \in \langle T_0, T \rightarrow \infty \rangle$  to the compressive load  $p(t) = p(T_0)$ ,  $t \in \langle T_0, T \rightarrow \infty \rangle$ .

The central line of the ring is extended by the load  $\Delta p$  and compressed by the load  $p(t)$ .

Compression prevails, but it is partly reduced by extension. That is why it cannot be of a higher value than the compression caused by  $p(t)$  alone. This and the indirect proportion between the modulus of elasticity of the ring and its deformation is the reason of our conclusion that the modulus according to (29) is lower than the modulus according to (24) for  $T \rightarrow \infty$ .

If it is so, then – applied to the calculation of the system – it provides deformation values which the ring under creep and co-operation with the rock cannot exceed.

The fictitious modulus of elasticity  $E_F(T \rightarrow \infty)$  pursuant to (29) shall be called the long-term fictitious modulus of elasticity. It will be applied mostly to the determination of the limit values of deformation, which occur after a longer time, after the termination of the hardening and creep of concrete of primary lining. The values  $E_F(T \rightarrow \infty)$  can be found, similarly as values  $E_F(T = T_0)$ , in Table 1. They are calculated by means of the formula:

$$E_F(T \rightarrow \infty) = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{E(t=i, T \rightarrow \infty)}} \quad (30)$$

which is derived from equation (29) by the replacement the integration with summation and of the differential  $dt$  with the difference  $\Delta t = 1$  day, all that with the convention that the large increasing period of the lining by driving lasts  $n$  days.

The long-term modulus of elasticity is indicated in Table 1 by the symbol  $E(f, d)$ . Table 1 is accompanied by Diagram 1 presenting it in graphic form.

Dlouhodobý modul pružnosti je v tab. 1 označen symbolem  $E(f, d)$ . Tabulka 1 je doprovázena grafem 1, který ji prezentuje ve formě grafické.

## ZÁVĚR

Byli jsme vedeni snahou vytvořit a zdůvodnit podmínky, umožňující postihnout ve statickém výpočtu důsledky zrání a dotvarování ostění ze stříkaného betonu jednoduchým (kvasireologickým) způsobem. Odvodili jsme vztahy, převádějící složitou reologickou vstupní veličinu, totiž modul přetvárnosti  $E(t, T)$ , na jednoduchou veličinu kvasireologickou, totiž fiktivní modul pružnosti  $E(T)$ , který nebude plést s normálním modulem pružnosti  $E(t)$ , podle rovnice (1).

Kvůli tomuto cíli jsme formulovali velmi jednoduché úlohy (odst. 3–6), ve kterých – jak se domníváme – byl problém názorně vyjádřen, vysvětlen i vyřešen. Především se stal zřejmým rozdíl mezi „laboratorním experimentem“ (rovnice (12)) a realitou tunelářského výpočtu (rovnice (24)), který je rozdílem mezi předem známou drahou zatížení  $z(t, T)$  a drahou zatížení  $s(t, T)$ , která je předem známa pouze bodově ( $T = T_0, T \rightarrow \infty$ ) a pouze přibližně.

Při letmé četbě článku by mohla vzniknout nejistota, jestli naše výsledky nejsou jednoduchostí formulace zmiňovaných úloh poznamenány v tom smyslu, že nejsou dostatečně obecné. Odpověď zní: není tomu tak, neboť např. rovnice (9) a (11), které jsou v pozadí rovnice (12) jsou interpretovatelné také jako závislosti mezi napětím a poměrnou deformací, tady jako závislosti obecné, ve kterých jednoduchost geometrie či symetrie konkrétní úlohy nehraje roli.

Číselné hodnoty fiktivních modulů pružnosti  $E(T)$  se nalézají v tab. 1. Jsou vypočteny pro stříkaný beton používaný Metrostavem za předpokladu, že ražba postupuje rovnoměrně kupředu. Takový předpoklad (který je většinou, jak již dříve řečeno, standardní, i když mnohdy explicitně nevyslovený) se může stát zdrojem kritiky, vycházející z názorové pozice, která – nejenom proto, že působí ve prospěch bezpečnosti konstrukce – zasluhuje pozornost: únosnost ostění by neměla být zpochybněna ani v případě, že rovnoměrnost ražby nebude dodržena.

Řečeno trochu jinak, totiž z perspektivy Mencilových mezí, únosnost ostění by měla být stanovena tak, aby ležela na popř. pod 1. Mencilovou mezí (toho dosahuje pomocí modulu  $E(t)$ ). Dimenzování s použitím fiktivního modulu  $E(T)$  je dimenzováním nad touto mezí.

Tento názor je velmi rozumný, nesmí však být uplatňován tam, kam nepatří. Proto nejdříve upozorníme na tu statiku, které se vůbec netýká, pak se vyjádříme k té, které se naopak týká.

Netýká se té statiky, která se zabývá skutečným chováním konstrukce (vyhodnocováním konvergenčních či jiných měření), tedy statiky, prováděné během ražby díla, kdy konstrukci staticky sledujeme a kontrolujeme. Zde jsou naše výsledky nejenom dobře použitelné, nýbrž i velmi žádoucí, protože takovéto vyšetřování vyžaduje vstupní data, popisující konstrukci co nejdříve.

Týká se naopak statiky tvořící součást projektu, tady té, která je zaměřena na návrh ostění. Vyšetřujeme-li únosnost, je vhodné pracovat s modulem pružnosti  $E(t)$ . Použití krátkodobého fiktivního modulu  $E(T = T_0)$  však nezakazujeme pro případ, že by to mělo znamenat východisko ze situace, kdy je únosnost ostění výpočetně na hraně: při  $E(t)$  ostění nevyhoví, při  $E(T = T_0)$  již vyhoví. Říkáme to s vědomím, že  $E(t)$  a  $E(T = T_0)$  se podle tab. 1 neliší o více než 25 % (což, alespoň pro velkorysejšího statika, není podstatný rozdíl).

Zásadně se však stavíme proti posouzení únosnosti s použitím dlouhodobého fiktivního modulu  $E(T \rightarrow \infty)$ , neboli  $E(f, d)$  podle tab. 1. To by vedlo ke zcela falešným a nebezpečným závěrům o únosnosti ostění, ke které zaujíme následující postoj: konstrukce je únosná, je-li únosná v každém okamžiku své existence a tedy samozřejmě a především tehdy, kdy je nejvíce namáhána.

Tato zásada je v naprostém rozporu se všemi snahami, vydávat za rozhodující moment při stanovení únosnosti ostění ten jeho stav, při kterém se uplatňuje fiktivní modul  $E(T \rightarrow \infty)$ . Neboť se jedná o stav, při kterém má ostění, díky svému vyzrání, největší pevnost a je přitom díky proběhнувšmu procesu dotvarování, nejméně zatíženo.

Zcela na závěr řekněme, jak nesmějí být chápány naše číselné výsledky (tab. 1): nesmějí být považovány za „neprůstředné veličiny“. Byly odvozeny a vypočteny za určitých předpokladů o hornině. Ty by většinou měly vyhovět realitě českého či slovenského tunelářství. Je však nutná opatrnost při manipulaci s našimi číselnými výsledky ve výpočtech pro ražbu při výrazně nelineárním chování horniny. Naprosto chybná je pak tato čísla mohla být při výpočtech ostění v horninách vykazujících významné creepové chování.

## LITERATURA

- [1] Moduly pružnosti stříkaného betonu tunelového ostění v Praze na Černém Mostě. Zpráva Kloknerova ústavu ČVUT, 1997.
- [2] Klečka, T., Bouška, P., Kolisko, J.: Vlastnosti stříkaných betonů v počátečním stadiu tvrdnutí, Sborník 7. mezinárodního symposia „Sanace betonových konstrukcí“, Brno, 1997.
- [3] ČSN 731201 „Navrhování betonových konstrukcí.“

## CONCLUSION

We have endeavoured to formulate and substantiate the conditions enabling to characterize, in a structural analysis the consequences of the hardening and creep of shotcrete lining by a simple (quasirheological) method. We have derived the relations transforming the complicated rheological input quantity, i.e. the effective modulus  $E(t, T)$ , into a simple quasirheological quantity, namely the fictitious modulus of elasticity  $E(T)$ , which is not to be confused with the standard modulus of elasticity  $E(t)$ , according to equation (1).

For this purpose we have formulated very simple tasks (paragraphs 3 to 6), where the problem was practically expressed, explained and solved. In the first place we have made evident the difference between the "laboratory experiment" (equation (12)) and the reality of the tunnel calculation (equation (24)), which represents the difference between the load trajectory  $z(t, T)$ , known in advance, and the load trajectory  $s(t, T)$ , which is known in advance only at certain points ( $T = T_0, T \rightarrow \infty$ ) and approximately only.

A cursory reading of the article might produce an uncertainty, whether our results have not been affected by the formulation simplicity of the above mentioned tasks and are not sufficiently general. The answer is: it is not so, because e.g. equations (9) and (11) which form the background of equation (12), can be also interpreted as the relations between the stress and the relative deformation, i.e. as general relations in which the simplicity of geometry or symmetry of the particular task is of no importance.

The numerical values of the fictitious moduli of elasticity  $E(T)$  are given in Table 1. They have been calculated for shotcrete used by Metrostav, provided that the driving proceeds continuously. Such assumption (which standard in most cases, even if not explicitly expressed), can become the source of criticism resulting from an opinion which – not only due to the fact that it works to the benefit of the structure safety – is worth attention: the lining load-bearing capacity should not be questioned even if the driving is not entirely continuous.

In other words, i.e. from the perspective of Mencil's limits, the lining load-bearing capacity should be determined in such a way that it should be at or below the 1<sup>st</sup> Mencil's limit (which is achieved by means of the modulus  $E(t)$ ). The dimensioning with application of the fictitious modulus  $E(T)$  exceeds that limit.

This opinion is very sensible, but it must not be applied to the cases, which are not pertinent it does not pertain. That is why we draw the attention in the first place to those cases to which it does not apply, and then we express our standpoint on the cases which are pertinent.

It does not concern the cases concerned with the real behaviour of the structure (with the evaluation of convergent or other measurements), i.e. the computations performed during driving, when the structure is watched and inspected. In such a case our results are not only well applicable, but also very desirable, because such an examination requires input data, describing the structure as accurately as possible.

On the other hand, it does concern the cases forming part of the design, i.e. the analysis concerned the lining design. If the load-bearing capacity is analyzed, it is advantageous to work with the modulus of elasticity  $E(t)$ . The application of the short-term fictitious modulus  $E(T = T_0)$ , though, is not forbidden in case it offers a way out of the situation, when the lining load-bearing capacity calculation is at the boundary: for  $E(t)$  the lining is not satisfactory, for  $E(T = T_0)$  it is already satisfactory. We say it with the knowledge that according to Table 1  $E(t)$  and  $E(T = T_0)$  do not differ by more than 25 % (which is not a substantial difference for a liberal structural designer).

Principally, however, we do not approve the assessment of the load-bearing capacity with the application of the long-term fictitious modulus  $E(T \rightarrow \infty)$ , i.e.  $E(f, d)$  according to Table 1. It might lead to false and dangerous conclusions on the lining load-bearing capacity, to which we take the following attitude: the structure has a sufficient load-bearing capacity, if it has a sufficient load-bearing capacity in every moment of its existence and first and foremost at the time, when it is exposed to maximum strain.

This principle is in full contradiction to all efforts to regard as the decisive moment for the determination of the load-bearing capacity of the lining that state, in which the fictitious modulus  $E(T \rightarrow \infty)$  is applied as it concerns the state, in which the lining, due to its hardening, has the maximum strength, and is simultaneously exposed, due to the completed strain process, to minimum load.

In conclusion I should like to say that our numerical results (Table 1) must not be considered as „absolutely correct quantities“. They were derived and calculated under certain assumptions concerning the rock generally satisfying the reality of Czech or Slovak tunnel engineering. The application of our numerical results to the cases characterized by the significantly non-linear behaviour of the rock, must be carried out with great circumspection. In the rocks showing significant creep behaviour, our figures could prove entirely erroneous.

## BIBLIOGRAPHY

- [1] Modulus of elasticity of shotcrete of the tunnel lining in Prague – Černý Most.
- [2] Klečka, T., Bouška, P., Kolisko, J.: Properties of shotcrete in the starting period of setting. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium "Rescue of Concrete Structures", Brno, 1997.
- [3] Standard ČSN 731201 „Design of concrete structures“.

## ČTVRTÝ PROVOZNÍ ÚSEK TRASY B PRAŽSKÉHO METRA JE UVEDEN DO PROVOZU

### THE FOURTH OPERATIONAL SECTION OF THE LINE B OF THE PRAGUE METRO IS SET INTO OPERATION

Ing. JOSEF KUTIL, INŽENÝRING DOPRAVNÍCH STAVEB, a. s.  
Ing. GEORGIJ ROMANCOV, METROPROJEKT PRAHA, a. s.  
Ing. PETR VOZARIK, METROSTAV, a. s.

*Nejnovější část pražského metra z pohledu investora, projektanta a dodavatele. Jeho vazba na předcházející u budoucí úseky a trasy. Stručný popis architektonického a provoznětechnického řešení stanic a tunelů, se zvláštním důrazem na nové technologie ražených i hloubených tunelů.*

*The newest part of the Prague Metro, from the view of the client, designer and contractor. Its relations to previous and future sections and lines. Brief description of the architectonic and operational-technical design of stations and tunnels, with special emphasis to new techniques of driven and cut-and-cover tunnels.*

#### ÚVOD

Pomalou, ale jistě se naplňuje vize, která byla poprvé přesněji specifikována již před více než 70 lety, a jejíž realizace byla zahájena v roce 1967 rozhodnutím o výstavbě metra v Praze. Podívejme se, jak výstavba až do dnešního dne postupovala, a co nás podle jejího plánu ještě v nejbližší době čeká:

Základní trojúhelník tras A, B a C s přestupními stanicemi Muzeum – Můstek – Florenc byl dokončen v r. 1985 zprovozněním I. provozního úseku trasy B. Po letošním otevření IV. provozního úseku trasy B bude následovat vybudování a zprovoznění IV. provozního úseku trasy C (Nádraží Holešovice–Ládví) na sever města. Ani tím však výstavba metra nekončí. V zájmu uspokojení stále větší poptávky po kvalitní a ekologické hromadné dopravě se již připravuje další, v pořadí čtvrtá linka metra, a to trasa D, která propojí metrem dosud neobsluhované jižní obytné čtvrti Prahy s centrem a ostatní sítí a současně odlehčí přetěžované trase C. V dalším výhledu se počítá s prodloužením stávající trasy A jak východním tak západním směrem (alternativně se v tomto směru zkoumá možnost napojení letiště), a snad i další trasy „E“, která by měla tvořit polokruh odlehčující centrálním přestupním stanicím a spojující již provozované trasy podél západního a severního okraje historické části Prahy. Obr. 1 ukazuje jak dosa-  
vadní postup výstavby, tak předpokládané vedení budoucích tras.

Bez zájmovosti není ani porovnání, jak v jednotlivých letech přibývalo provozovaných kilometrů tras, kolik stanic, a jaké finanční objemy byly do výstavby vkládány (obr. 2).

*Pozn.: Výše investičních nákladů je uvedena vždy ve skutečné výši v příslušném roce. Z grafu tudíž lze i vysledovat cenový nárůst (např. v poměru k počtu stanic či k délce úseku).*

#### ČASOVÝ POSTUP PŘÍPRAVY A ZÁKLADNÍ ÚDAJE

Jeho příprava byla zahájena již v roce 1985, kdy byly vydány Územní podklady k Investičnímu záměru trasy IV. B metra. V následujících třech letech bylo zpracováno asi 12 dalších zásadních rozborů, studií a ověřovacích dokumentací, nežli mohl být v r. 1988 vydán Projektový úkol. Zatím, co probíhalo připomínkové řízení, bylo v průběhu roku 1989 vypracováno několik dalších studií a dokumentací, týkající se jednotlivých prověřovaných stanic a úseků, jakož i širších vazeb. V roce 1989 však byly zpracovány i první jednostupňové projekty, aby mohla být stavba zahájena.

První komplexní dokumentace ve stupni Úvodního projektu byla vydána v roce 1990. Vlivem zásadních změn, kterými v té době republika procházela se však velmi rychle ukázalo, že mnohá řešení, vycházející z dřívějších podmínek

#### INTRODUCTION

Slowly, but really there is realized the vision which was first specified in more details more than 70 years ago, and the realization of which was started in the year 1967 by the decision to build Metro in Prague. Let us see how the whole structure has continued so far and what can be expected, according to the building plan, in the near future.

The basic triangle of the lines A, B and C, with interchange stations Museum – Můstek – Florenc, was completed in the year 1983 by setting into operation the 1st operational section of the line B. After the IVth operational section of the line has been opened this year, the IVth operational section of the line C (Railway station Holešovice–Ládví) to the northern part of the City is to be built and set into operation. However, it is not the end of the building up of the Metro. To satisfy the always increasing demand for an ecological public transport of a high quality, a further Metro line, the fourth one, viz. the line D, is prepared, which connects those southern residential districts of Prague where the Metro, so far, is not at disposal, to the City centre and to other Metro network, and simultaneously it relieves the overloaded line C. In further perspective plans there is an extension of the existing line A both in the eastern and western direction (alternatively there is evaluated the possibility to extend the line up to the airport), and there is also evaluated an other line „E“ which should form a semi-circle for relieving the central interchange stations, and to connect the existing lines along the western and northern peripheral parts of Prague. Fig. 1 shows both the hitherto existing process of the construction up and the supposed future routes.

There is also interesting to compare, how many kilometers of operated lines and stations increased in individual years, and which financial amounts were invested into the building up (Fig. 2).

Note: Investment costs are mentioned always in the real amount in the respective year. That is why it is possible to find out from the graph the cost increase (e.g. with respect to the number of stations or to the section length).

#### CHRONOLOGICAL PROCESS OF PREPARATIONS AND BASIC DATA

The preparation started in the year 1985 when Territorial Documents to the Project Concept of the Metro Line IV B were issued. Within the following three years there were elaborated about 12 fundamental analyses, studies and verifying documentation, before the Design Task was issued in the year 1988. While the amendment procedure was taking place there were elaborated several other studies and documents in the course of the year 1989, concerning individual stations and sections having been inspected, as well as broader relations. But in the year 1989 even one-stage designs had been elaborated for the construction could be started.

The first complex documents at the level of the Preliminary Design was issued in the year 1990. Due to fundamental changes in the Czech Republic at that time, it was very soon evident that many solutions based on previous conditions and legal regulations are convenient no more. Said fact, together with limited financial means, and partially with decreasing the public demand too, damped the construction. Simultaneously it was necessary to seek solutions, new from

a zákonných ustanovení jsou nevyhovující. To, spolu s omezením finančních zdrojů a zčásti i se snížením společenské poptávky stavbu utlumilo, a současně si vynutilo hledání technicky i organizačně nových řešení. Objevily se přísnější požadavky na ochranu životního prostředí, na kvalitu hotového díla, výrazně se zkomplikoval proces schvaňování dokumentace. Všechny tyto skutečnosti způsobily, že tato trasa drží v určitém smyslu neslavný primát – nejděší doba výstavby ze všech dosud realizovaných a nejvyšší investiční náklady na jednotku délky. Současně však je třeba konstatovat, že zde byly poprvé na pražském metru uplatněny některé konstrukční prvky a technologie, a to především v oblasti podzemního stavitelství, které kvalitu díla výrazným způsobem posouvají kupředu a které budou moci být již zcela běžně uplatněny nejen na dalších trasách metra, ale na všech ostatních tunelových stavbách, kterých se nyní připravuje (zejména v oblasti silničního stavitelství) veliké množství.

#### PŘEHLEDNÁ TABULKA ZÁKLADNÍCH ÚDAJŮ O ZPROVOZŇOVANÉM ÚSEKU:

Název stavby	Metro – IV. provozní úsek trasy B
Investor	Dopravní podnik hl. m. Prahy a. s.
Inženýrská činnost	Inženýring dopravních staveb a. s.
Projektant	Metroprojekt Praha a. s.
Dodavatel stavební části	Metrostav a. s. a jeho subdodavatelé
Dodavatel technologické části	ČKD Praha DIZ a. s. a jeho subdodavatelé
Stavební délka (přibližně)	6450 m
Počet stanic	5 (Vysočanská, ČKD, Hloubětín, Rajska zahrada, Černý Most)
Z toho ražených	3 (Vysočanská, ČKD, Hloubětín)
Průměrná vzdál. stanic	1280 m
Max. vzdálenost stanic	1750 m (Hloubětín–Rajska zahrada)
Min. vzdálenost stanic	800 m (Českomoravská–Vysočanská)
Max. sklon trasy	38,996 ‰ (v úseku Hloubětín–Rajska zahrada)
Min. poloměr směr. oblouku	400 m (v úseku Českomoravská–Vysočanská)

#### STRUČNÝ POPIS STANIC A MEZISTANIČNÍCH ÚSEKŮ

##### MEZISTANIČNÍ ÚSEK ČESKOMORAVSKÁ–VYSOČANSKÁ (STAVEBNÍ ODDÍL IV. B-01)

Tímto úsekem navazuje nová trasa na provozovanou. Velmi obtížné hydrogeologické poměry (podchod Rokytky v silně zvodněných rozrušených břidlicích) si vynutil použití litinového ostění a některých speciálních technologií na zpevnění a utěsnění horninového masivu.

##### STANICE VYSOČANSKÁ (ST. ODD. IV. B-02)

Je umístěna v prostoru Náměstí OSN v hloubce cca 30 m pod terénem. Konstrukce třílodi, ražená, pilířová (unifikovaného typu), ostění kombinované, vzdálenost os kolejí 21 m. Vzhledem k očekávanému obratu cestujících a významu lokality, v níž je umístěna, je spojena s povrchem prostřednictvím dvou eskalátorových tunelů a dvou vestibulů. Kvůli nedostatku finančních prostředků na výstavbu metra je však v letošním roce uváděn do provozu pouze jeden z nich. (Tento důvod je společný pro celou řadu dalších omezení, jak uvidíme dále.)

##### VYSOČANSKÁ–ČKD (ST. ODD. IV. B-03)

Je tvořen dvěma standardně vystrojenými raženými tratovými tunely a dalšími objekty, nutnými pro provoz. Z tunelářského hlediska v něm nebyly použity žádné zvláštní postupy ani konstrukce.

##### STANICE ČKD (ST. ODD. IV. B-04)

Obdobně jako u stanice předcházející se jedná o standardní raženou trojlodi stanic. Umístěna je pod areálem ČKD. S povrchem je spojena jedním eskalátorovým tunelem. Z důvodů výše uvedených nebude uvedena do provozu z cestujícími společně se zahájením provozu na trase, ale některé práce budou pokračovat i po té. Cestující ji budou moc využívat nejdříve v příštím roce.

##### MEZISTANIČNÍ ÚSEK ČKD–HLOUBĚTÍN (ST. ODD. IV. B-05)

Na tomto úseku byla poprvé na pražského metru oproti původnímu návrhu (klasické železobetonové ostění ukládané erektorem) ve větším rozsahu vyprojektována a při výstavbě použita Nová rakouská tunelovací metoda (dále NRTM), takže větší část těchto tunelů je již vystrojena dvojplášťovým monolitickým ostěním s mezilehlou plášťovou izolací (primární ostění stříkaný beton,

the technical point of view and as to organization as well. There appeared more strict requirements as to the environment protection and the quality of the completed work, and the approving process of the documentation became more complicated. All said facts caused that this line has, in a certain meaning, a not very famous first position, viz. the longest construction period of all hitherto existing lines and the highest investment costs for a length unit. At the same time, though, it is necessary to note, that there were applied, for the first time in the Prague Metro, some design elements and techniques, first of all in the underground construction, which increase the quality of the work in a considerable way, and which shall be now applied as usual ones not only for further lines of the Metro, but for all other tunnel constructions, a lot of which is now prepared (especially in the road construction).

#### WELL-ARRANGED TABLE OF BASIC DATA ON THE SECTION BEING SET INTO OPERATION:

Name of the construction	Metro IV. operational section of the line B
Client	Dopravní podnik hl. Prahy a. s.
Engineering activity	Inženýring dopravních staveb a. s.
Designer	Metroprojekt Praha a. s.
Contractor for the building part	Metrostav a. s. and its subcontractors
Contractor for the technological part	ČKD Praha DIZ a. s. and its subcontractors
Building length (approx.)	6450 m
Number of stations	5 (Vysočanská, ČKD, Hloubětín, Rajska zahrada, Černý Most)
Driven of them	3 (Vysočanská, ČKD, Hloubětín)
Mean distance between stations	1280 m
Max. distance between stations	1750 m (Hloubětín–Rajska zahrada)
Min. distance between stations	800 m (Českomoravská–Vysočanská)
Max. track gradient	38.996 ‰ (in the section Hloubětín–Rajska zahrada)
Min. radius of a directional bend	400 m (in the section Českomoravská–Vysočanská)

#### BRIEF DESCRIPTION OF STATIONS AND SECTIONS BETWEEN STATIONS

##### SECTION BETWEEN STATIONS ČESKOMORAVSKÁ–VYSOČANSKÁ (BUILDING PART IV. B-01)

The new line links up, by means of this section, to the part of the line already having been operated. For very difficult hydrogeological conditions (underpass of the Rokytky river in very wet and disrupted slates) it was necessary to apply a cast iron lining and some special technologies for reinforcing and sealing the rock massif.

##### VYSOČANSKÁ STATION (BUILDING PART IV. B-02)

It is situated in the space of the square Náměstí OSN in the depth of about 30 m under the ground. It is a three-bay structure, driven, of piers (unified type), with combined lining, distance of rails 21 m. With respect to the expected quantity of passengers and importance of the place where the station is located, it is connected to the surface through two escalator tunnels and two vestibules. Due to a lack of financial means for building up the Metro, only one of them is set into operation this year. (Said reason is common for many other limitations as it will be shown beneath.)

##### VYSOČANSKÁ–ČKD (BUILDING PART IV. B-03)

It is formed by two driven track tunnels equipped in a standard way and by other structures needed for operation. From the tunnel engineering point of view, there were applied neither special processes nor structures.

##### ČKD STATION (BUILDING PART IV. B-04)

Analogously as in the above mentioned stations, it concerns a driven three-bay standard station. It is located under the area of the factory ČKD. The station is connected with the ground level by means of one escalator tunnel. Due to reasons mentioned above, it will not be set, into operation with passengers together with starting the operation of the line, but some works shall continue even thereafter. Passengers may use this station not sooner than in the next year.

##### THE SECTION BETWEEN THE STATIONS ČKD AND HLOUBĚTÍN (BUILDING PART IV. B-05)

In this section the New Austrian Tunneling Method (hereinafter NATM) only was designed and applied in a larger extent during the building up, in contrary to the original design (a classical F.C. segmental lining placed by means of an erector), so that the most part of said tunnels is equipped with a double-shell monolithic lining with an interlying sealing membrane (primary lining of shotcrete, secondary one of concrete poured behind form). Very good results, evidently already in the course of the construction, had a considerable influence for enforcing the proposal of a double-track tunnel in the building part 07 (see the description of said section and then in the chapter concerning the realization of the whole work).

##### HLOUBĚTÍN STATION (BUILDING PART IV. B-06)

The station is located under the low floor housing in the street Mochovská.

sekundární litý beton do bednění). Velmi dobré výsledky, zřejmě již v průběhu stavby, výrazně přispěly k prosazení návrhu dvoukolejného tratěvého tunelu v části stavebního oddílu 07 (viz popis tohoto úseku a pak v kapitole pojednávající o realizaci stavby).

#### STANICE HLOUBĚTÍN (ST. ODD. IV. B-06)

Stanice je umístěna pod nízkopodlažní zástavbou v ul. Mochovská. Původní návrh – klasická ražená třípodlažní konstrukce – doznal v průběhu realizace určitých konstrukčních změn, opět z důvodu aplikace některých principů NRTM, a to rovněž s velmi pozitivními výsledky. Jediný eskalátorový tunel této stanice, umístěný ve velmi obtížných geologických i prostorových podmínkách (prochází těsně pod objektem restaurace Havana) byl jako první na pražském metru rovněž realizován NRTM a na základě této zkušenosti bylo rozhodnuto tuto metodu použít na všech dalších dosud nezrealizovaných eskalátorových tunelech zcela prioritně. Bohužel, tato stanice patří k těm dvěma, které budou veřejnosti k dispozici se značným zpožděním oproti ostatním.

#### MEZISTANIČNÍ ÚSEK HLOUBĚTÍN–RAJSKÁ ZAHRADA (ST. ODD. IV. B-07)

Teprve v průběhu realizace první části tratěvých tunelů tohoto úseku, kde z důvodů obtížné geologie byly navrženy nemechanizované štíty jako jediná v té době dostupná technologie, zaručující bezpečnost práce i minimalizaci deformací nadloží, se na základě dobrých výsledků s aplikací NRTM na jiných úsecích této trasy metra rozhodlo, že druhá část tohoto mezistaničního úseku, v délce cca 700 m bude přeprojektována do podoby dvoukolejného raženého tunelu prováděného NRTM, na pražském metru vůbec v této podobě poprvé. Přes velké technické, technologické i organizační potíže, s touto změnou spojené, se podařilo tento záměr realizovat jak v přípravě, tak na stavbě a jeho výsledky jsou velkým příslibem pro komplexní zlepšení kvality výstavby i provozu tunelů metra do budoucna.

#### STANICE RAJSKÁ ZAHRADA (ST. ODD. IV. B-08)

Jedná se o první ze dvou stanic tohoto provozního úseku, vybudovanou v otevřené stavební jámě, zčásti dokonce na povrchu. Konstrukce stanice i přilehlého hloubeného úseku tratěvých tunelů je převážně železobetonová monolitická, doplněná některými ocelovými prvky, vytvářejícími spolu s neobvyklým dispozičním řešením (boční nástupiště při čemž každé v jiné výškové úrovni) mimořádně zdařilý architektonicko-provozní komplex, na pražském metru zcela ojedinělý.

The original project – a classical driven three-bay structure – was changed in a certain design way, again due to the wish to apply some principles of NATM, viz. also with very positive results. The only escalator tunnel of this station, situated in very difficult geological and space-related conditions (it passes just under the building of the restaurant Havana), was realized as the first in the Prague Metro by means of the NATM and with respect to this experience it was decided to apply said method for all other, so far unrealized escalator tunnels, viz. with in a priority way. Sorry to state that this station ranks among those two stations which will be at disposal of the public with a considerable delay with respect to other ones.

#### THE SECTION BETWEEN THE STATIONS HLOUBĚTÍN–RAJSKÁ ZAHRADA (BUILDING PART IV. B-07)

Only in the course of the realization of the first part of track tunnels of this section, where, due to a difficult geology, non-mechanized shields were designed as the only accessible technology ensuring the safety of work and minimizing overburden deformations, on the basis of good results of the NATM application in other sections of this Metro line, it was resolved that the second part of this section between the stations, in the length of about 700 m, shall be redesigned for a driven double-track tunnel performed by means of the NATM, on the Prague Metro construction for the first time. In spite of technical and technological troubles and problems of organization related to said change, this intention was realized both in preparation works and on the building site, and its results are a great promise for improving quality of construction and operation of Metro tunnels in the future.

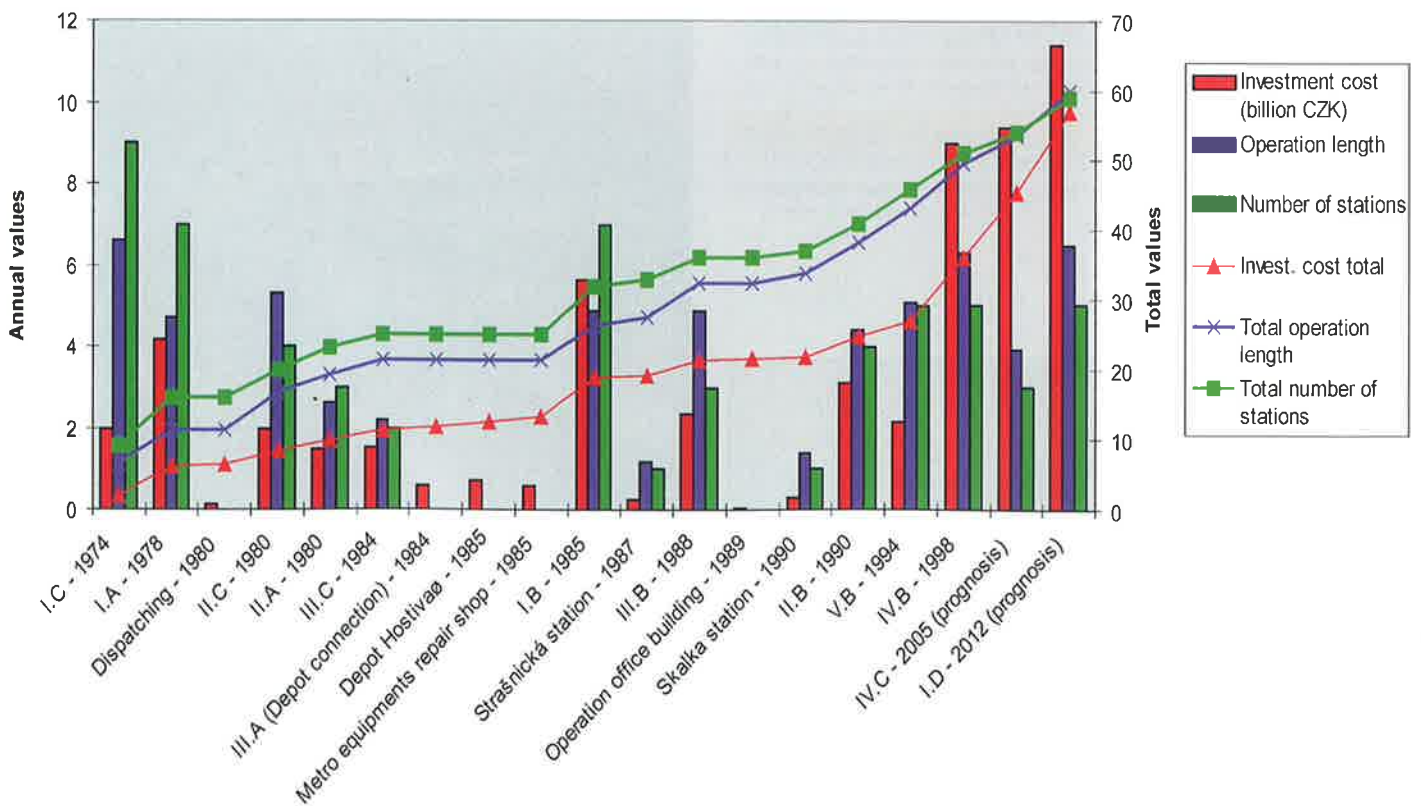
#### RAJSKÁ ZAHRADA STATION (BUILDING PART IV. B-08)

It concerns the first of two stations of this operational section, built up in an open building pit, partially at the ground level. The structure of the station and of the adjacent cut-and-cover section of track tunnels is mostly monolithic, made of reinforced concrete, completed with some steel elements, forming, together with an unusual layout solution (side platforms, each at another height level) an extraordinarily successful architectonic operational works, unique in the Prague Metro construction.

#### THE SECTION BETWEEN THE STATIONS RAJSKÁ ZAHRADA–ČERNÝ MOST (BUILDING PART IV. B-09)

This section is also extraordinary in its kind. It passes along the street Chlumecká. Partially it is built up in a sunk pit as single-track tunnels in a monolithic R.C. frame in the length of about 250 m, the rest goes on the ground and even over the ground, partially on a compacted embankment, partially in the form of a bridge structure formed by a closed R.C. frame. Inside there takes place a double-track Metro tunnel, and above there is an area for pedestrians. Even this section is a significant architectonic element, completing this part of the housing quarters Černý Most. It is a pity that – again due to the lack of financial

### PRAGUE METRO DEVELOPMENT



**MEZISTANIČNÍ ÚSEK RAJSKÁ ZAHRADA–ČERNÝ MOST (ST. ODD. IV. B-09)**

Rovněž tento úsek je svým způsobem výjimečný. Probíhá podél ulice Chlumecké. Zčásti je vybudován v hloubené jámě, a to jako jednokolejné tunely v monolitickém železobetonovém rámu v délce cca 250 m, zbytek vede po povrchu terénu a dokonce nad terénem, zčásti na hutněném náspu, zčásti v podobě mostní konstrukce, tvořené uzavřeným železobetonovým rámem. Uvnitř prochází dvoukolejný tunel metra, nahoře je plocha pro pěší komunikaci. I tento úsek je výrazným architektonickým prvkem, dotvářejícím tuto část sídliště Černý Most. Je škoda, že opět z důvodu nedostatku finančních prostředků bylo třeba část dokončovacích prací, které především dotvářejí celkový vzhled stavby, odsunut až na dobu po uvedení trasy do provozu.

**STANICE ČERNÝ MOST (ST. ODD. IV. B-10)**

Je koncovou stanicí trasy B ve východním sektoru Prahy při jižním okraji ul. Chlumecké před křížením s vnějším dálničním okruhem v místech kde začíná dálnice D 11 (směr Poděbrady–Hradec Králové) a rychlostní komunikace č. 10 (směr Mladá Boleslav–Liberec). Přivedením metra do tohoto území se jeho atraktivita pro investory mnohonásobně zvýšila, což dokladuje intenzivní – zčásti již provozovaná, zčásti dokončovaná – výstavba obřího obchodního centra a dalších veřejných obslužných komplexů. Existence tohoto centra zpětně zvýšila význam tohoto úseku trasy a zmnohonásobila jeho vytíženost a význam nejen lokální, ale celoměstský. Stanice sama je opět povrchová, zčásti budovaná v otevřené stavební jámě, konstrukce monolitická železobetonová s doplňujícími ocelovými prvky. Stává se výraznou architektonickou dominantou a důležitým dopravním uzlem této části Prahy.

**TECHNOLOGIE VÝSTAVBY TUNELOVÝCH OBJEKTŮ NA TRASE IV. B**

Už doba výstavby trasy v období 1989–1998, tj. období významných společensko-politických změn předurčuje tuto trasu i v oblasti vývoje technologií tunelování do přechodu od kvantitativního rozvoje do kvalitativního.

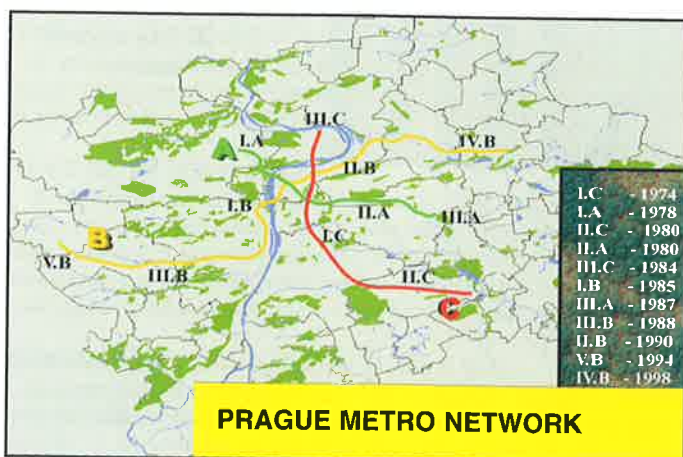
Prstencová metoda s mechanizací sovětského typu, která byla od zahájení výstavby metra od 70. let základní a nosnou takřka pro všechny druhy tunelových staveb na metru, přestala být z hlediska kvality ekonomické efektivity progresivní.

Pominul jistý politický vliv a naopak otevřely se informace z oblastí zemí, které lze nazvat tunelářskými velmocemi. Technická vyspělost projektantů i zkušenosti realizace staveb v zahraničí měly hlavní vliv, že alespoň na části budované trasy se uskutečnila změna technických a technologických řešení a to hlavně k posunu k technologii nové rakouské metody. V neposlední řadě k tomu přispěly i zvýšené požadavky na kvalitu z titulu vodotěsnosti, ale i zastaralosti mechanizace dovážené z oblasti bývalého Sovětského svazu.

Pokud shrneme ražbu tunelů dle technologie, docházíme k následujícímu závěru vyjádřenému v tabulce.

**TRAŤOVÉ TUNELY**

Od zahájení výstavby byla základní technologií pro ražbu trať. tunelů prsten-



means – a part of finishing works which, in the first place, completes the total appearance of the structure, had to be postponed after setting the line into operation.

**ČERNÝ MOST STATION (BUILDING PART IV. B-10)**

This station is the final station of the line B on the eastern outskirts of Prague at the southern side of the street Chlumecká, before the crossing with the outer motorway ring in the area where the motorway D 11 (direction Poděbrady–Hradec Králové) and the speed road No. 10 (direction Mladá Boleslav–Liberec) start. By projecting the Metro in this area, its attractiveness for investors increased many times, which is documented by an intensive – partially operated, partially being finished – building up of a giant business centre and further public service complexes. The existence of this centre retrospectively increased the importance of this section of the line, and many times increased both its use to full advantage and its importance not only locally but with respect to the whole City. The proper station is on the ground, partially built up in an open building pit, the structure is monolithic, ferroconcrete with additional steel elements. It becomes a striking dominant architektonic building and an important communication centre of this part of Prague.

**CONSTRUCTION TECHNIQUES OF TUNNEL STRUCTURES ON THE LINE IV. B**

The construction time of the line within the years from 1989 till 1998, i.e. a period of important social-political changes, determines this line, even in the sphere of development of tunneling techniques, to replace the quantitative increase to the qualitative one.

The ring method with the mechanization of a Soviet type which was the basic method from the start of the Metro building up from the seventies for all kinds of tunnel structures of the Metro, was no more progressive from the quality point of view as well as with respect to the economic efficiency.

A certain political influence was stopped, and, vice versa, information from countries which can be named as tunneling big powers became accessible. The technical skill of designers and experience with constructions of abroad had the main influence that at least in a part of the line, being under construction, a chan-



Vestibul povrchové stanice – Černý Most  
Vestibule of the surface station – Černý Most

cová metoda s litinovou nebo železobetonovou obezdívkou. Tato technologie umožňovala tradičně v pražském horninovém prostředí zabudování pevného ostění při dostatečné stabilitě volného výrubu od jedné do několika hodin. Základní mechanizací byly sovětské erektoři nebo nemechanizované štíty s mechanickými podavači prvků ostění. Tato technologie byla převážně kombinována s trhací prací pro rozpojování hornin.

Prototypový razicí stroj s frézou AM 50 byl využit jen v krátké délce tunelu (400 m) bez výraznějšího úspěchu.

I přes poměrně dobré ekonomické výsledky při použití této tradiční technologie, její velké nedostatky hlavně v oblasti zajištění vodotěsnosti ostění vedly ke kvalitativní změně technologie na několika úsecích.

Na stavebním oddíle 05 stanice ČKD–stanice Hloubětín byly v délce cca 1700 m vybudovány tunely o kruhovém průměru 5,1 m technologií NRTM (Nová rakouská tunelovací metoda) při využití tuzemské mechanizace s trhací prací a odtěžením kolejovou mechanizací. Definitivní monolitická obezdívka s mezilehlou izolací svojí kvalitou vodonepropustného ostění předčila nedostatky operací, které nebyly optimální.

Přednosti NRTM se však mohly plně rozvinout při výstavbě 780 m dlouhého dvoukolejného tunelu, který vznikl přeprojektováním původních tunelů jednokolejných. Dvoukolejný tunel s plášťovou izolací a definitivním monolitickým ostěním nabídl investorovi nový kvalitativní standard, při stejné finanční náročnosti na výstavbu díla. Tunel s proměnným profilem 54–75 m<sup>2</sup> byl veden pod povrchem v proměnné hloubce 8–26 m. Právě flexibilita NRTM umožnila varianty ražby, které zajistila udržení stabilní čelby i minimalizace poklesů. Z hlediska inženýrsko-geologických poměrů byly průchozí horniny zařazené dle klasifikace QTS do třídy 5 (zvětralé rozložené ordovické břidlice) a 4 (břidlice s křemencem). Tuto skutečnost respektovala v maximální míře i navržená technologie.

V úsecích tříd 5 a 5a byla zcela vyloučena trhací práce a prováděl se ochranný deštník, při portálové části z mikropilot. V těchto úsecích bylo nutno zvolit horizontální členění s krátkým jádrem.

V úsecích třídy 4 bylo hlavně z důvodu výskytu křemenců použito trhací práce. Primární ostění ze stříkaného betonu tloušťky 25–30 cm v kombinaci s příhradovým obloukem Bretex a dvojitou sítí bylo realizováno a ve vazbě na postup výlomu bez časové prodlevy. Bezprostředně následovaly operace osazování kotev (SN nebo HVS 80 do délky 3–5 m). Odtěžování jádra se provádělo po přeřazení kaloty na délku max. 10 m. Uzavírání spodní klenby se korigovala ve vazbě na sedání povrchu a průběh konvergencí v tunelu.

#### Strojní sestava:

- hydraulický vrtací vůz Atlas Copco Boomer 352
- pásové hydraulické rypadlo Liebherr
- pásový nakladač Caterpillar 953 B
- automobily Tatra 815
- hydraulická plošina KTR-M2
- stříkací komplex Aliva Duplo
- betonárka Orv-Marte

Monitoring sledování při ražbě byl sestaven z měření poklesů na povrchu, extenzometrického měření ve vrtech, konvergenčního měření v tunelu a geodetického měření vybraných bodů konvergenčního profilu a geologického sledování.

ge of technical and technological solutions was realized, viz. mainly by applying the technology of the new Austrian method. It was caused, not in the last place, by increased requirements as to the quality due to watertightness, but also by outmoded mechanization imported from the region of the previous Soviet Union.

#### TRACK TUNNELS

From the beginning of the works, the basic technique for driving track tunnels was represented by a ring method with a cast iron or reinforced concrete tunnel lining. This technique, traditionally, made it possible to build in a final lining in the Prague rock environment at a sufficient stability of unsupported rock from one to several hours. The basic mechanisms were represented by Soviet erectors or non-mechanized shields with segment erectors. This technique was mostly combined with blasting work for disintegrating rocks.

The model driving machine with a roadheader AM 50 was utilized only for a short length of the tunnel (400 m) without a considerable success.

Even in spite of relatively good economic results when applying this traditional technique, important drawbacks, particularly in ensuring the watertightness of the lining, resulted in a qualitative change of the technique in several track sections.

In the building part 05 ČKD station – Hloubětín station there were performed tunnels in the length of about 1700 m of the circular diameter equal to 5,1 m by means of the NATM (New Austrian Tunneling Method) when applying the inland mechanization with a blasting work and rail-bound mucking system. The final monolithic lining with an interlaying insulation suppressed, by its quality of the watertight lining, drawbacks of operations which were not perfect.

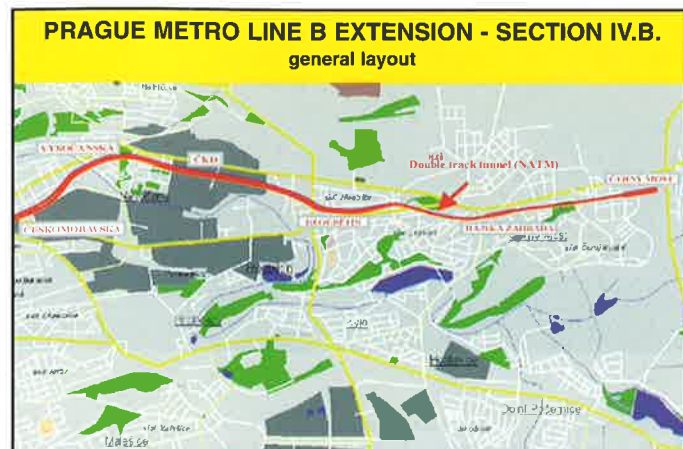
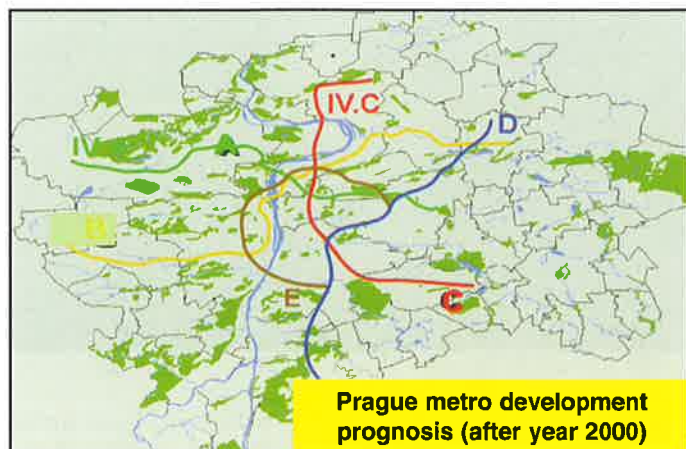
Advantages of the NATM could be, though, fully developed during implementation of a double-track tunnel which arose by redesigning the original single-track tunnels. The double-track tunnel with a membrane insulation and a final drilling rig monolithic lining provided the client a higher qualitative standard at the same financial costs. A tunnel with a variable profile of 54 to 75 m<sup>2</sup> passed underground in a variable depth of 8 to 26 m. It was the flexibility of the NATM which enables variants of driving and ensured both to keep a stable heading and to minimize the settlement. From the point of view of the engineering-geological conditions, the rocks, through which the track passed, were classified in the QTS class 5 (weathered decomposed Ordovician slates) and 4 (slate and quartz). Said fact was also respected in maximum extent even by the proposed technique.

In sections of classes 5 and 5a, there were completely eliminated blasting works, and a protective umbrella was provided at the portal part made of micropiles. It was necessary to select a horizontal excavation sequence with a short core in these sections.

The blasting work was performed in sections of the class 4, because of encountered quartzites. The primary lining made of shotcrete, 25 to 30 cm thick, in combination with lattice girders Bretex and a two layers of wire mesh was realized with respect to the heading advanced without any time delay. Just after it, installation of anchors (SN or HVS 80 to the length of 3 to 5 m) followed. The core excavation was performed after the excavation top heading to the length of max. 10 m. The closing the invert was corrected with respect to the surface settlement and to the course of convergences in the tunnel.

#### RESPECTIVE SET OF MACHINES:

- Atlas Copco Boomer 352 drilling rig
- crawler excavator Liebherr
- crawler loader Caterpillar 953 B



Výsledky měření, až na jedinou výjimku, neprokázaly překročení mezních hodnot statického výpočtu a pohybovaly se v rozmezí dosažení do 30–50 %.

Výkony ražby dosahovaly hodnot 50–70 m/měsíc dle geologických podmínek. Ražba proběhla bez mimořádných událostí.

Definitivní ostění tl. 50 cm při mezilehlé izolaci o tl. 2 mm bylo provedeno zčásti z monolitického betonu betonovaného do posuvného bednění nebo stříkaného betonu.

### STANIČNÍ TUNELY

Typ trojlodní železobetonové stanice byl v konstrukčním i technologickém řešení dopracován už na předchozích trasách. Také na této trase našla prstenčová metoda při využívání obezdívky ze železobetonových prefabrikovaných prvků své optimální variace. To také dovolilo dosahovat velmi progresivní produktivity při postupech cca 30 m za měsíc, bez vážných mimořádných událostí.

Při výstavbě krajních tunelů se při hrubém výrubu tunelu o vnějším průměru 8,8 m osvědčilo členění dřívě vyraženými pilottunely a na středních tunelech beztrhavinovým ražením horní kaloty. Při vlastním ražení cyklicky opakovatelný rytmus vrtní se zabírkou max. 1,5 m, trhací práce, nakládání rubaniny, zabezpečení čelby stříkaným betonem a závěrečnou operací osazení železobetonové obezdívky nebyl až na výjimky při průchodu obtížných geologických podmínek měněn.

Z hlediska nových technologií byla zajímavější výstavba napínavé komory na stanici Hloubětín a přestupních tunelů na stanici Vysočanská. V obou se využilo technologie NRTM.

– lorries Tatra 815

– hydraulic access platform KTR-M2

– spraying complex Aliva Duplo 285

– concrete mixing plant Orw-Marte

The monitoring during the driving process was compiled from measuring of surface settlement, extensometric measurements in bore holes, convergency measuring in the tunnel and from surveying selected points of the convergency profile and geological monitoring.

The measuring results, with one exception, did not prove any exceeding of limit values of the static calculation and they moved within the scope up to 30 to 50 %.

Driving progress achieved the values of 50 to 70 m/month depending on geological conditions.

The excavation was performed without any extraordinary events.

The final lining, thickness 50 cm, at the interlying insulation, thick 2 mm, was partially made of monolithic concrete, concreted into moving forms, or of shotcrete.

### STATION TUNNELS

The design and construction techniques of a three-bay R.C. station were developed for the previous lines. If it concerns this line, the ring method utilizing the lining made of precast segments found here its perfect variations, which made it possible to achieve a very progressive efficiency at building up about 30 m per month, without serious extraordinary events.

When building side tunnels, during the rough excavation of the tunnel having its external diameter equal to 8.8 m, there was proved to be advantageous an articulation by means of previously driven pilot-tunnels and, as to middle tunnels, it was advantageous a driving of the top heading without explosives. During



Ústí jednokolejných TT do dvoukolejného  
Mouth of the one-track tunnels into the double-track one



Také stávající technologie těsnění spar prefabrikovaných železobetonových ale i litinových tubingů na bázi cementových malt se neukázala ve zvodněném prostředí masivu dostačující. Tento jakostní nedostatek byl proto na trase eliminován jak na staničních, tak tratových tunelech těsněním spar materiálem na bázi polyuretanových pryskyřic.

### ESKALÁTOROVÉ ŠIKMÉ TUNELY

Až na jeden tunel na stanici Vysočanská všechny další tři tunely byly raženy technologií NRTM. Není bez zajímavosti, že právě tady při průchodu silně narušených skalních útvarů a vazby na povrchovou situaci se tato metoda ražby plně osvědčila. V kombinaci definitivní monolitické betonové obezdívky s mezilehlou izolací se navíc odstranil jeden z největších problémů výstavby vodotěsnosti těchto spojovacích tunelů.

### DOPRAVNÍ VÝZNAM TRASY IV. B

IV. provozní úsek trasy metra IV. B zajišťuje dopravní obsluhu průmyslového areálu Vysočan, Hloubětína, Kyjí a oblasti Černého Mostu.

Po uvedení trasy do provozu se oblast Černého Mostu dostává do pásma atraktivní dostupnosti centrální oblasti města, což ve svém důsledku přinese podstatný rozvoj oblasti Černého Mostu a to jak z hlediska obchodně komerčního, tak i z hlediska bydlení. Současně se zprovozněním trasy dojde v její oblasti ke snížení objemu autobusové městské hromadné dopravy a částečně i ostatní

*the proper driving, the cyclical rhythm of drilling with max. length of 1.5 m, blasting work, loading muck, securing the face with shotcrete and final operation, i.e. to install the R.C. lining, was not changed, except exceptions if it concerns difficult geological conditions.*

*With respect to new technologies, the excavation of the tightening chamber in the Hloubětín station was more interesting, as well as the construction of interchange tunnels, in the Vysočanská station. In both cases there was utilized the NATM technology.*

*The existing techniques of joint sealing of precast R.C. tubings, but also cast iron ones, on the basis of cement mortars, proved to be insufficient under very wet conditions of the rock. This lack of quality was therefore eliminated, both in the station tunnels and running ones, by means of sealing joints with materials on the basis of polyurethane resins.*

### INCLINE ESCALATOR TUNNELS

*With the exception of one tunnel in the Vysočanská station, all other three tunnels were driven by means of the NATM technique. It is interesting that just there, when passing through very broken rocky formations, this method proved very effective. In combination with the final cast-in-situ concrete lining with the interlying insulation, one of the most serious problems of the construction, i.e. watertightness of these merging tunnels, was eliminated.*

### TRANSPORT IMPORTANCE OF THE LINE IV. B

*The IVth operational section of the Metro IV. B ensures the transport in the industrial area comprising Vysočany, Hloubětín, Kyje and the area of Černý Most. After having set the line into operation, the area Černý Most becomes*



Ražená stanice – Vysočanská  
The driven station – Vysočanská

autobusové dopravy. Např. stanice „Palmovka“ bude výrazně zklidněna přesunem převládajících dopravních vazeb autobusové městské hromadné dopravy a hromadné dopravy východním směrem. U stanice „Českomoravská“, dojde k částečnému odlehčení o autobusové vazby spádující z východu. Návoz cestujících ze severní trasy a severovýchodu zde zůstává. Systém záchytných parkovišť P + R u stanic metra vytváří předpoklad pro snížení zátěže centra individuální automobilovou dopravou. Ve svém důsledku tyto změny jsou přínosem pro zlepšení životního prostředí zejména v této části Prahy.

Zároveň se rozšiřuje spádové území trasy B. Hranice spádového území vycházejí z časové dostupnosti ke kontrolnímu bodu a sice ke stanici Můstek. Spádové území IV. provozního úseku zahrnuje zejména východní část Proseka, Letňany, Čakovice, Kbely, Vysočany, Hloubětín, Kyje, Horní a Dolní Počernice, Běchovice, Újezd nad Lesy, Klánovice, Satalice, Vinoř, Třeboradice, Miškovice s celkovým předpokládaným počtem obyvatel v roce 2000 cca 126 000.

Z hlediska obchodně komerčního se spádové území trasy stalo značně atraktivním územím. Zvláště oblast Černého Mostu. Od prosince 1997 je zde v provozu hypermarket CCM, dokončuje se výstavba areálů Hornbach, Makro, zahajuje se výstavba prodejního areálu nábytku Walther, projektuje se dostavba komerčních objektů celého území nad tubusem metra.

Nabízená přepravní kapacita 23 000 osob v maximální hodině pokryje přepravní požadavky z uvedeného území spádujícího na trasu B a to i ve vztahu k uvažovanému budoucímu demografickému nárůstu obyvatel.

Celá trasa je řešena na návrhovou rychlost 80 km/hod. a interval 90 sec. Provozní interval v dopravní špičce se předpokládá 180 sec. Maximální stoupání dosahuje trasa v úseku „Hloubětín–Rajská zahrada“ – téměř 39 ‰. Na všech stanicích je bezbariérový přístup.

## FINANCOVÁNÍ VÝSTAVBY METRA

Hlavním zdrojem financování staveb metra byly účelové dotace ze státního rozpočtu. Zařazení jednotlivých staveb do financování předcházelo projednání ve vládě. V minulém roce postihl stejně jako všechny ostatní dopravní stavby v Praze i čtvrtý provozní úsek trasy B nedostatek financí. I přesto stavba pokračuje a v závěru letošního roku jsou uvedeny do provozu jen stanice s přímou vazbou na povrchovou dopravu cestujících, to znamená Vysočanská (ale pouze s jedním vestibulem), Rajská zahrada a Černý Most. Další stanice – ČKD, Hloubětín a západní vestibul stanice Vysočanská budou uvedeny do provozu v následujících letech. Tyto stanice budou zatím pouze průjezdné. Nebudou dokončeny všechny stavební úpravy, z technologických zařízení bude u těchto stanic dokončena pouze technologie zajišťující průjezd vozidel. U stanice Rajská zahrada nebudou dokončeny rozsáhlé povrchové úpravy, ale stanice bude v provozu s cestujícími. Stanice Černý Most bude jako terminál městské hromadné dopravy dokončena včetně záchytných parkovišť pro individuální automobilovou dopravu.

Spádové oblasti stanic ČKD a Hloubětín budou obsluhovány povrchovou, zejména tramvajovou dopravou. Se stavbou této části trasy B se začalo v roce 1989, do konce roku 1997 bylo prostavěno 5,7 miliardy korun. V roce 1998, aby bylo možné zahájit provoz v takové variantě, jak bylo naznačeno výše, si vyžádají finanční prostředky 1,8 miliardy korun. Dokončovací práce a vše potřebné pro kompletní dokončení IV. úseku trasy B si vyžádá v následujících letech částku 1,5 miliardy korun. Nejedná se rozhodně o levnou záležitost pro rozpočet města a státu. Celkové náklady tak dosáhnou více jak 9,5 mld. Kč.

Financování trasy IV. B metra bylo ze státního rozpočtu. Výše této dotace v jednotlivých letech nestoupala, naopak v letech 1996–1997 výrazně poklesla a ve státním rozpočtu na rok 1998 se objevila částka 00 Kč. Vezmeme-li v úvahu liberalizaci cen v letech 1992–1994 a meziroční inflační nárůst minimálně o 10 %, pak tyto prostředky nemohly zaručit plynulý postup výstavby. Proto v letech 1997 a 1998 financování zajistilo hlavní město Praha. Uvedením trasy IV. B do provozu s cestujícími v roce 1998 výstavba tohoto úseku metra nekončí. Je nutné urychleně zprovoznit vyčleněné části trasy.

Rozvoj pražského metra by měl v dalších letech pokračovat. Magistrát hl. m. Prahy vydal územní rozhodnutí na prodloužení trasy C metra ze stanice Nádraží Holešovice do oblasti Severního Města. Prodloužení trasy C představuje délku 3,9 km převážně ražených tunelů. Ve fázi projektové přípravy je výstavba jednotlivých provozních částí trasy D.

Hlavním předpokladem rozvoje metra v dalším období je zajištění jeho financování, na něm by se měl podílet stát a hlavní město Praha.

interesting with respect to the easy accessibility to central parts of the City, which will result in a considerable development of the area Černý Most, both from the business point of view and from the dwelling one. At the same time with setting the line into operation, the public bus transport will be decreased in said area, and partially even other bus transport will be decreased as well. E.g. the Palmovka station will become considerably more quiet by transferring most of interchange points between the public bus transport and Metro more to the east. At the Českomoravská station there will be decreased the interchange from buses coming from east regions. The interchange from busses coming from the northern routes and from north-east, will stay the same. The system of parking-lots at Metro stations forms preconditions for decreasing individual passenger-car transport in the City centre. The consequences of said changes will result in improving the environment especially in this part of Prague.

At the same time the hinterland of the line B is enlarged. Limits of the hinterland result from the time accessibility to the control point, i.e. to the Můstek station. The hinterland of the IVth operation section comprises especially the eastern part of Prosek, Letňany, Čakovice, Kbely, Vysočany, Hloubětín, Kyje, Horní a Dolní Počernice, Běchovice, Újezd nad Lesy, Klánovice, Satalice, Vinoř, Třeboradice, Miškovice, with the assumed number of inhabitants in the year 2000 – about 126 000.

From the business and commercial point of view, the hinterland became a very attractive area. Especially the area Černý Most. In December 1997 there was set into operation a hypermarket CCM, the building up of the business centers Hornbach, Makro are under completing, the building up of the furniture selling centre Walther has been started, the completing of commercial buildings of the whole area over the Metro track is just being designed.

The offered transport capacity – 23 000 passengers in the rush hour – will cover transport requirements from said area being the hinterland of the line B, viz. even with respect to the future demographic increase of population.

The whole line has been designed to the proposed speed 80 km per hour, with the interval of 90 sec. The operational interval in the traffic peak is supposed to be 180 sec. Maximum gradient of the line is in the section “Hloubětín–Rajská zahrada” – nearly 39 ‰. Accesses for handicapped persons exist in all stations.

## THE METRO PROJECT FUNDING

Purpose appropriations from the state budget were the main source for the Metro construction funding. Individual constructions were included into the financing schedule after having been discussed in the government. In the last year even the fourth operational section of the line B was affected, in the same way as other transport constructions in Prague, by a lack of financial means. In spite of this fact the construction goes on, and at the end of this year there will be set into operation only stations, to which other means of public transport link up, i.e. the station Vysočanská (but only with one vestibule), Rajská zahrada and Černý Most. Other stations – ČKD, Hloubětín and the western vestibule of the station Vyšehradská will be set into operation within next years. Trains shall only pass through said stations. All construction works will be not completed, as to technological equipment, only such a technology will be completed, which is needed for passing trains. As to the station Rajská zahrada, extensive surface works will not be completed, but the station will be set into operation with passengers. The station Černý Most will be completed as a terminal of the municipal public transport, including parking-lots for the individual car transport.

Hinterlands of the stations ČKD and Hloubětín will be served with the ground transport, especially with trams. The building up of this part of the line B was started in the year 1989, till the end of the year 1997 there were spent 5.7 milliard CZK. In the year 1998, to be able to start the operation in such a variant as mentioned above, it will require financial means in the amount of 1.8 milliard CZK. Finishing works and all needed for a complete finishing of the IVth section of the line B, will require, within next years, the amount of about 1.5 milliard CZK. It is not a cheap matter for the budget of our City and state. Total expenses will achieve more than 9.5 milliard CZK.

The section IV. B of the Metro was funded from the state budget. The amount of this appropriation was not increasing in individual years, in contrary, in the years 1996 to 1997 it was decreased considerably and in the budget for the year 1998 there appeared the amount 00.00 CZK. If one takes into consideration the liberalization of prices within the years 1992 to 1994 and the interannual inflation increase by 10 % at least, then said means could not ensure a continuous progress of the construction. That is why in the years 1997 and 1998 the Capital Prague ensured said funding. By setting into operation the section IV B with passengers in the year 1998, the construction of this Metro section is not at its end. It is necessary to set into operation quickly the unfinished parts of the line.

The development of the Prague Metro should continue in next years. The Prague's City Hall issued the decision to extend the Metro line C from the station Nádraží Holešovice (Holešovice Railway station) to the area of the Northern Town. The extension of the line C represents the length of 3.9 km of tunnels, mostly driven. The construction of individual operational parts of the line D is in the phase of a preliminary designing.

The main assumption of the Metro development in the future period resides in ensuring its funding, in which the government and the Capital Prague should take part.

## TUNEL POD MRÁZOVKOU V PRAZE

### THE TUNNEL UNDER THE MRÁZOVKA HILL IN PRAGUE

Ing. PAVEL KRÁSNÝ, Ing. ZDENĚK NEKVASIL, PŮDIS, a. s.

Tunel pod Mrázovkou, jak se obecně soubor staveb městského okruhu v úseku Radlická–Strahovský tunel (RAST) nazývá, představuje ve svém výsledném návrhu složitý proces hledání co neoptimálnějšího řešení propojení mezi souborem staveb MO Zlíchov–Radlická a souborem staveb Strahovského tunelu.

V tomto časopisu vycházejí dva na sobě navazující články. První článek je věnován historickému vývoji dopravního řešení, výslednému dopravnímu řešení a hlavním údajům o souboru staveb. Jeho autorem je Ing. P. Krásný z PŮDIS a. s. – hlavní inženýr projektu tunelů pod Mrázovkou. Druhý článek autorů Ing. J. Dvořák, Ing. M. Gramblička, Ing. J. Němeček a Ing. L. Šajtar je věnován vlastní problematice návrhu tunelu.

Vzhledem k tomu, že tunel pod Mrázovkou patří k nejvýznamnějším tunelovým stavbám připravovaným do výstavby nejen v Praze ale i v České republice, bude o jeho výstavbě v časopisu Tunel následovat zřejmě řada dalších článků informujících tunelářskou veřejnost o postupu prací na tomto podzemním díle.

Výsledný návrh souboru staveb je kolektivní prací dvou firem PŮDIS a SATRA, ke kterému výrazně přispěla součinnost všech orgánů státní správy, zejména však Odboru městského investora Magistrátu hlavního města Prahy a investorské organizace VIS a. s. zajišťující vlastní přípravu této akce. Pro finální dopracování již realizační dokumentace je významný podíl na základě veřejné obchodní soutěže vybraných dodavatelských organizací Metrostav a. s. a Subterra a. s.

#### DOPRAVNÍ ŘEŠENÍ SOUBORU STAVEB RADLICKÁ–STRAHOVSKÝ TUNEL

##### ÚVOD

Praha je výjimečná svou krásou, urbanistickými a architektonickými kvalitami a historickou pamětí mezi evropskými metropolemi a její historické jádro bylo zapsáno do seznamu památek UNESCO. Je rovněž výjimečná tím, že dodnes nemá dobudovanou síť hlavních komunikací a vlastní dostavba těchto komunikací se neúměrně prodlužuje a zdaleka neodpovídá růstu automobilové dopravy.

Je nespornou skutečností, že v centrální oblasti Prahy panuje již po léta kritický stav životního prostředí, na kterém se podílí kromě škodlivých zplodin produkovaných velkým množstvím lokálních topenišť i emise z automobilové dopravy.

V centrální oblasti Prahy je z hlediska dopravních potřeb nejkritičtější stav v severozápadním segmentu. Zatím co severní část je ve stadiu vyhledávání optimálního řešení, v západním segmentu zahrnujícím úsek mezi Barrandovským mostem a severním vyústěním Strahovského tunelu výstavba nebo příprava staveb již pokročila podstatně dál. V minulých číslech tohoto časopisu vyšly články věnované Strahovskému tunelu, který představuje jednu z nejvýznamnějších dopravních staveb v Praze. Tato součást městského okruhu byla v prosinci minulého roku uvedena do zkušební provozu. Výstavbou tohoto tunelu, kde je nutno ještě dobudovat křižovatky na obou předpolích, byl učiněn rozhodující krok pro výstavbu městského okruhu v západním sektoru Prahy. Před investorem, kterým je Magistrát hlavního města zastoupený Odborem městského investora, stojí úkol dobudovat část okruhu mezi Barrandovským mostem a právě dokončeným Strahovským tunelem.

Ještě než bude popsána historie a vlastní řešení souboru staveb tunelů pod Mrázovkou (s oficiálním názvem soubor staveb Radlická–Strahovský tunel a se zkratkou RAST), který s navazující stavbou Zlíchov–Radlická tvoří propojení Barrandovského mostu a Strahovského tunelu, je nutno se zamyslet nad základní otázkou možnosti symbiózy historického města a dopravy. Předs tam je možné hledat odpověď na formulaci výsledného dopravního řešení.

*The tunnel under Mrázovka, as generally the project of the City circle in the section Radlická–Strahov tunnel (RAST) is called, represents in its final project a complicated process of looking for the optimum solution of interconnection between the building complex of the City circle (CC) Zlíchov–Radlická and the building complex of the Strahov tunnel.*

*In this journal there are two articles linking up one to the other. The first article concerns the historic development of the traffic solution, the resulting traffic solution and the main data on the constructions. Ing. P. Krásný, PŮDIS a. s., head engineer of the project of tunnels under Mrázovka is the author of it. The second article of authors Ing. J. Dvořák, Ing. M. Gramblička, Ing. J. Němeček and Ing. L. Šajtar concerns the proper problems of the tunnel design.*

*With respect to the fact that the tunnel under Mrázovka is one of the most important tunnel structures being prepared for building up not only in Prague, but also in the Czech Republic, there will follow evidently many other articles in the journal Tunel informing the tunneling public on progress of work concerning this underground construction.*

*The resulting project is a collective work of two firms PŮDIS and SATRA, to which the collaboration of all bodies of the state administration considerably contributed, but especially the Investment Department of the Prague's City Hall and the investment enterprise VIS a. s. which ensures the proper preparation of said action. As to the final completing of the design, the contractors Metrostav a. s. and Subterra, a. s., selected on the basis of a tender, have a considerable share of it.*

#### TRAFFIC SOLUTION OF THE PROJECT RADLICKÁ–STRAHOV TUNNEL

##### INTRODUCTION

*Prague is exceptional among European Capitals in its beauty, town-planning and architectonic qualities and historical memory, and its historic centre has been declared a historic monument by UNESCO. The city is also exceptional with respect to the fact that it has not yet finished a network of main roads, and the proper finishing of said roads is disproportionately delayed and does not answer at all the car traffic increase.*

*It is the fact that in the central area of Prague there exists for years a critical situation of environment, in which, besides harmful waste products produced by many local heating sources, emissions caused by car traffic take part.*

*In the central area of Prague, with respect to traffic needs, there is the most critical situation in the north-western segment. While the northern part is in the stage of looking for the optimum solution, in the western segment, including the section between the Barrandov bridge and the northern mouth of the Strahov tunnel, the construction or preparation of the construction went on considerably. In last issues of this journal appeared articles concerning the Strahov tunnel which represents one of the most important structures in Prague. Said part of the municipal circle was set into trial operation in December of the last year. The building up of this tunnel, where it is necessary to complete intercessions at both mouths, represents the decisive step for building up the municipal circle in the western sector of Prague. The owner, viz. the Prague's City Hall, represented by the City Investment Department, has an important task, viz. to finish the part of the circle between the Barrandov bridge and the just completed Strahov tunnel.*

*Before describing the history and the proper solution of the complex of tunnel construction under Mrázovka (with the official name: complex of buildings of Radlická–Strahov tunnel, abbreviation RAST) which forms, with the linking up structure Zlíchov–Radlická, a connection of the Barrand bridge and the Strahov tunnel, it is necessary to think about the basic question, i.e. the possibility of the symbiosis of the historic centre of the city and of the traffic. An answer, formulating the resulting traffic solution, may be found just there.*

## SYMBIÓZA HISTORICKÉHO MĚSTA A DOPRAVY

Pro dopravu ve městech libovolného charakteru, polohy a stáří obecně platí následující okrajové podmínky, které jsou vztaheny v tomto případě přímo na prostor Smíchova, který je součástí historického centra a to jako okrajové pásmo vlastního historického jádra Prahy:

- Doprava jako systém musí zajišťovat soulad mezi základními funkcemi města, tj. mezi výrobou, bydlením, službami a rekreací a to v každém z možných dopravních subsystémů jako je individuální automobilová doprava, městská hromadná doprava, železniční doprava a další. Z pochopitelných důvodů by měla být preferována městská hromadná doprava. Vedle kladných momentů, které doprava přináší v životě měst, má doprava i řadu záporných stránek jako jsou hluk, exhalace, vibrace, nehodovost a problémy s výstavbou zejména v historických částech města. Po roce 1989 prudce vzrůstá počet osobních automobilů a jejich každodenní provoz.
- Základní otázkou je, zda symbióza dopravy s funkcí historického města obecně existuje nebo je možno dopravu z tohoto prostředí vyloučit, a když ano, tak v jakém rozsahu. Lze konstatovat, že doprava je v libovolném městě, a to jak v novém nebo v historickém, nezbytná pro zachování základních městských funkcí. Je jí možno určitým způsobem regulovat, respektive minimalizovat, a to na nezbytně nutnou míru. A jakou dopravu je možno z historického jádra vyloučit? Jednoznačně pouze dopravu tranzitní; ostatní druhy dopravy, jako je doprava obslužná, která má v historické části zdroj nebo cíl, je možno pouze omezit.
- Při řešení v konkrétním území Smíchova museli zpracovatelé návrhu vycházet ze dvou základních vstupních bodů, kterým byl již vybudovaný Barrandovský most a Strahovský tunel. Proto spíše než problematikou regulace dopravy bylo nutno se zabývat zásahem nové významné dopravní komunikace do vlastního prostředí Smíchova. Přitom vytvořit trasu tak, aby neutrpěly základní funkce obsluhy města.

## VÝVOJ DOPRAVNÍHO ŘEŠENÍ

Pro objasnění problematiky výstavby v západním sektoru Prahy je nutno se vrátit do minulosti. Prvním uceleným navrženým dopravním systémem byl tzv. roštový systém, skládající se z celkem dvou tangent a tří magistrál. Severozápadním sektorem Prahy procházela severní automobilová tangenta a I. severojižní magistrála. Na těchto rychlostních komunikacích byly navrženy dva tunely a to Petřínský, respektive Strahovský tunel a patrová komunikace v prostoru Stromovky, kde stoupající směr od Holešovic byl v tunelu a opačný směr na stropě tohoto tunelu. V roce 1974 byl schválen Základní komunikační systém v radiálně okružní koncepci, který se skládá ze tří okruhů (vnitřního, středního a vnějšího) a celkem 11 radiál, přičemž počet radiál se během doby měnil. Ve sledovaném zájmovém území západního sektoru centrální části Prahy byl navržen střední dopravní okruh (SDO) a to ve společné trase s vnitřním dopravním okruhem. Na SDO byl navržen Strahovský tunel a další pokračování okruhu směrem na jih bylo v povrchové trase.

Původní řešení okruhu jižním směrem od Strahovského tunelu vedlo do stopy ulice Radlické s podjezdem pod ulicí Ostrovského a vyvolávalo nutnost rozsáhlých demolic v tomto prostoru. Bylo poplatné vnímání přestavby města v „sociálně-istické město,“ kde stávající, někdy i velmi kvalitní zástavba byla nahrazena hromadnou výstavbou panelových domů, jako se to stalo například na Žižkově. Těmto záměrům urbanistů a architektů se přizpůsobovalo i dopravní řešení.

V listopadu 1989 dalo revoluční dění ve společnosti podnět k přehodnocení územně plánovací politiky města. Již v říjnu 1990 odevzdala své stanovisko komise expertů pro posouzení systému ZÁKOS (Základní komunikační systém, schválený vládou ČSR v roce 1974 a zakomponovaný do směrného územního plánu hl. města ve znění z r. 1986). Postupně pražská radnice obdržela dalších pět posudků a expertiz. V říjnu 1991 přijalo Zastupitelstvo usnesení ke Zprávě o výstavbě dopravního systému v Praze, kterým tuto zprávu vzalo na vědomí. Zmíněným materiálem se reviduje celková koncepce komunikační sítě Prahy. Mezi dopravní a ekologické cíle výstavby dopravního systému mimo jiné patří: „Soustřeďovat automobilovou dopravu na omezený rozsah hlavní uliční sítě města, který je nutno vybavit zařízeními umožňujícími ekologickou ochranu okolního prostředí a nové komunikace budovat pokud možno v minimálním dotyku s bytovou zástavbou.“ Hlavním prvkem komunikační sítě v centrální oblasti Prahy se stal městský okruh (dále MO). I když jsou vyslovovány požadavky na určitou restrikci počtu jízdních pruhů na tomto okruhu, je dle názorů autorů tohoto článku nezbytně nutné navrhnout městský okruh na dostatečnou kapacitu odpovídající nárokům vycházejícím z dopravní prognózy.

Při přechodu na nové vnímání městských funkcí se projevila řada názorů na vedení městského okruhu, která se i zobrazila v pracích pěti kolektivů na návrhu řešení prostoru Smíchova tj. Nouvell-Cattani, DA studio, ÚHA, PŮDIS a GAMA.

## SYMBIOSIS OF THE HISTORIC CENTRE AND TRAFFIC

For the traffic in towns of arbitrary character, situation and age, there are valid the following peripheral conditions which are related, in this case, directly to the area of Smichov which is a part of the historic centre, viz. as a peripheral zone of the proper historic centre of Prague:

- the traffic as a system must secure a harmony among basic functions of the town, i.e. among the production, habitation, services and recreation, viz. in every of the possible traffic subsystems, such as individual car transport, municipal mass transportation, railway transport and other. Due to understandable reasons there should be preferred the municipal mass transportation. Besides positive effects which the traffic entails to the life in towns, the traffic has negative influences as well, such as noise, exhalations, vibrations, accidents and problems concerning any building up, especially in historic parts of the town. After the year 1989, the number of cars increased quickly, as well as their daily operation;
- it is the basic question, whether a symbiosis of the traffic with the function of the historic town generally exists, or of it is possible for traffic to be excluded from said area, and if so, in which extent. It can be stated that traffic in any town, both in a new town or in a historic one, is necessary for keeping basic municipal functions. It can be controlled in a certain way, eventually to minimize it, viz. to the absolutely needed extent. And which traffic can be excluded from the historic centre? Of course, only the through traffic. Other kinds of traffic, such as service transport, which has a source of place of destination in the historic centre, can be limited only;
- as to the solution in the factual area of Smichov, the elaborators of the project had to take into consideration two basic facts, i.e. the already completed Barrandov bridge and the Strahov tunnel. That is why it was more necessary to occupy oneself with the influence of the new important road in the proper environment of Smichov than with problems of a traffic control, and at the same time to design the alignment in such a way that basic functions of the town service may be not worsened.

## DEVELOPMENT OF THE TRAFFIC SOLUTION

To explain problems of the construction in the western sector of Prague, it is necessary to return in the past. The so called grid system, consisting of two tangent roads and three expressways, was the first designed rounded-off traffic system. The northern tangent road and the 1st north-southern speedway passed through the north-western sector of Prague. On said speed roads there were projected two tunnels, viz. Petřín tunnel, ev. Strahov tunnel, and a storeyed road in the area of Stromovka where the climbing direction from Holešovice was in the tunnel and the opposite direction on the ceiling of said tunnel. In the year 1974 there was approved the Basic traffic system in a radial circular conception which consisted of three circuits (inner, middle and outer) and total 11 radial roads; the number of radial ways was changed several times. In the observed respective territory of the western sector of the central part of Prague there was projected the middle traffic circle (MTC), viz. in a common alignment with the inner traffic circle. In the MTC, there was projected the Strahov tunnel, and further continuation of the circle towards south was projected on the ground.

The original solution in the southern direction from the Strahov tunnel was led into the trace of the street Radlická with an underpass under the street Ostrovského and it caused the necessity of extensive demolitions in that area. It was based on the idea to rebuild the city in a „socialist town“, when the existing housing, sometimes of a high quality, was replaced with a mass building up of panel tenement blocks, as it occurred in Žižkov.

Even the traffic solution was adapted to said intentions of town-planner and architects.

Revolution activities in the year 1989 prompted for the territorial planning policy of the city to be re-evaluated. The standpoint of the commission of experts for evaluating the system BTS (Basic Traffic System), approved by the government of the Czech Socialist Republic in the year 1974 and included in the directive territory plan of the capital in the wording of the year 1986), was handed over in October 1990. The City Parliament received gradually five further expert's opinions, and in October 1991 adopted a resolution to the Report on building up the traffic system in Prague, by which it noted said report. The mentioned material revised the whole conception of the traffic network of Prague. Among traffic tasks and ecological ones of the traffic system there are included, besides other, the following ones: "To concentrate the car traffic to a limited extent of the main road network of the city, which must be equipped with equipment enabling the ecological protection of the environment and to build up new roads, as far as it is possible, in a minimum contact with housing." The city circle (hereinafter CC) became the main element of the traffic network in the central area of Prague. Even if requirements for a restriction of the number of lanes in said circle exist, it is necessary, according to the authors of this article, to project the municipal circle for a sufficient capacity corresponding with requirements based on traffic prognosis.

When passing to new ideas of municipal functions, there appeared many opinions as to the location of the municipal circle, which was also reflected in the

Rada Zastupitelstva hl. m. Prahy ve svém usnesení č. 374 z 21. 5. 1992 odsouhlasila vedení trasy Strahovský tunel–Barrandovský most podle varianty raženého tunelu pod Mrázovkou dle návrhu PÚDIS, a. s. (autor Ing. Krásný s kolektivem) s tím, že část navazujícího souboru staveb Zlíchov–Radlická bude zpracována (podjezd pod tratí ČSD) dle varianty ÚHA. V důsledku to znamená, že trasa městského okruhu se vyvíjí centrálnímu prostoru Smíchova a že je vedena od ulice Radlické do dvou třípruhových tunelů situovaných pod povrch Mrázovky.

Než bylo definováno výsledné řešení celého souboru staveb RAST, bylo vypracováno celkem šest základních variant s řadou subvariant, které se lišily zejména délkou ražených tunelů a tvarem křižovatky na jižním předpolí tunelu pod Mrázovkou. Ve výsledném řešení byla vybrána tzv. „dlouhá varianta – F“, obr. 1. Tato dokumentace je v souladu s urbanistickou studií Smíchova zpracovanou architektonickými ateliéry A+R System, s. r. o. a VHE, s. r. o.

Rozhodnutím 32. zasedání Zastupitelstva hlavního města Prahy dne 21. 10. 1993 byl úsek městského okruhu mezi jižním portálem Strahovského tunelu a Barrandovským mostem vyhlášen veřejně prospěšnou stavbou a to se všemi právními důsledky z toho vyplývajícími.

## ROZDĚLENÍ NA STAVBY A STAV PŘÍPRAVY

Soubor staveb Radlická–Strahovský tunel byl rozdělen na dvě stavby, které jsou pracovními označeny jako 1. a 2. stavba.

1. stavba zahrnuje výstavbu celého severního hloubeného tunelu, západní ražený tunel, raženou strojovnu vzduchotechniky pod Pavím vrchem včetně výdechu na Pavím vrchu, celý jižní západní hloubený tunel, část jižního hloubeného tunelu, převážnou většinu přeložek inženýrských sítí a východní polovinu ulice Radlické. Součástí této stavby je i montáž technologických souborů v západním tunelu a strojovně vzduchotechniky. V současné době má tato stavba vydané „Rozhodnutí o umístění stavby“, jsou ukončeny práce na dokumentaci ke stavebnímu povolení, v běhu je stavební řízení a v nejbližší době by mělo být vydáno stavební povolení. Je předpoklad, že stavba by měla být zahájena ještě v roce 1998.

2. stavba zahrnuje výstavbu východního raženého tunelu, ražené křižovatkové větve „A“, a „B“, které umožňují napojení městského okruhu na ulici Radlickou, dokončení výstavby jižního východního hloubeného tunelu, výstavbu druhé poloviny ulice Radlické včetně obnovení tramvajového provozu a dokončení přeložek inženýrských sítí. 2. stavba má vydané „Rozhodnutí o umístění stavby“, které však nenabývá právní moci, protože se proti němu odvolali organizace Děti země a Společnost pro trvale udržitelný život. Je paradoxem, že místo toho, aby ekologické organizace podporovaly výstavbu komunikací, které svým vedením pod zemí minimalizují negativní dopady automobilového provozu oproti vedení této dopravy po místní komunikační síti, brzdí svým odvoláním včasné zahájení stavby. V květnu 1998 Ministerstvo pro místní rozvoj zrušilo „Rozhodnutí o umístění stavby“ a vrátilo předmětnou causu k novému projednávání. V této souvislosti je nutno uvést, že hlavní důvod pro zrušení „Rozhodnutí o umístění stavby“, kterým byl argument, že pro tuto stavbu nebylo zpracováno hodnocení stavby na životní prostředí ve smyslu zákona č. 244/92 Sb. (proces EIA), pomínil, protože správní orgán, odbor dopravy Magistrátu hl. m. Prahy rozhodnul, že městský okruh je zařazen do kategorie místních komunikací. Na místní komunikace se dle zákona proces EIA nevztahuje.

V očekávání této situace byla mezi tím zpracována dokumentace k územnímu rozhodnutí na přístupový tunel, který je rozhodující pro možné zahájení ražby západního tunelu od jihů.

## DOPRAVNÍ ŘEŠENÍ TUNELŮ POD MRÁZOVKOU

Při návrhu výsledného dopravního řešení byl kolektiv zpracovatelů postaven jak na severní tak i na jižní straně tunelu před řadu okrajových podmínek, jejichž úspěšné vyřešení formulovalo variantu, která je všemi orgány státní správy a dotčených organizací akceptována.

Nejzávažnějším počátečním problémem bylo vyřešení počtu jízdních pruhů v tunelu. Po velmi složitých jednáních bylo prokázáno, že není možno a to zejména z bezpečnostních důvodů povolit ukončení připojovacího pruhu v tunelu. Tím bylo dáno, že převážná část ražených tunelů má třípruhové uspořádání, přičemž dva průběžné jízdní pruhy jsou pro vedení dopravy po městském okruhu a zbývající třetí pruh slouží pro připojení respektive odpojení vozidel na obě křižovatky u obou portálů tunelu.

Na severní straně bylo směrové a výškové vedení trasy tunelů předurčeno napojením na oba mosty vedoucí ze Strahovského tunelu, jejichž poloha byla ze západní strany limitována nově postaveným hotelem Mövenpick a z východní strany zástavbou v ulici Mrázovka I (gymnázium a bytové objekty). Lze velmi

work of five teams concerning the project how to solve the area of Smíchov: Nouvell–Cattani, DA studio, ÚHA, PÚDIS and GAMA.

The Prague's City Council approved, in its resolution No. 374, dated May 21, 1992, the alignment of the Strahov tunnel – Barrand bridge according to the variant containing a driven tunnel under Mrázovka, in accordance with the design of PÚDIS a. s. (Ing. Krásný and his team were the authors), with the reservation that the part of the linking up building complex Zlíchov–Radlická (underpass under the ČSAD railway track) shall be made according to the variant of ÚHA. As the consequence of this decision, the alignment of the city circle gets out of the central area of Smíchov and it is led from the street Radlická in two three-lane tunnels routed under the Mrázovka hill.

Before the resulting solution of the whole building complex RAST was defined, total six basic variants „A“ up to „F“ had been elaborated, with many subvariants which differed especially in the length of driven tunnels and lay out of the intersection before the southern portal of the tunnel under Mrázovka. In the resulting solution, the so called „long variant – F“ (Fig. 1) was selected. This documentation is in compliance with the town-planning study of Smíchov, elaborated by architectonic studios A + R System, s. r. o., and VHE, s. r. o.

By the decision of the 32nd session of the City Parliament, dated October 21, 1993, the section of the municipal circle between the southern adit mouth of the Strahov tunnel and the Barrand bridge was declared as a beneficial to the public construction, viz. with all legal consequences resulting from that.

## DIVISION TO STRUCTURES AND THE STATE OF PREPARATIONS

The building complex Radlická–Strahov tunnel was divided in two blocks which are named, for working purposes, as the first and the second phase.

The first phase comprises the construction of the whole northern cut-and-cover tunnel, the western driven tunnel, the driven ventilation-room under Paví vrch, including the exhaust on Paví vrch, the whole southern western cut-and-cover tunnel, a part of the southern cut-and-cover tunnel, the most items of relaying services and the eastern half of the street Radlická. The assembly of technological sets in the western tunnel and in the ventilation-room are also a part of this phase. At present, there was issued for said phase the „Decision on locating the structure“, work concerning the documents needed for the building permit has been completed, building proceedings are carrying out, and very soon the building permit might be issued. It is supposed that the structure might be started even in this year.

The second phase comprises the construction of the eastern driven tunnel, driven crossing branches „A“ and „B“, which enables the linking up of the municipal circle to the street Radlická, the completing of the construction of the southern eastern cut-and-cover tunnel, the construction of the other half of the street Radlická, including the renovation of the tram traffic and the completing of the engineering services. The „Decision on locating the structure“ was issued for said phase, but it has not yet the legal validity, because the organizations Children of the Earth and Company for the Permanently Tenable Life lodged an appeal against said decision. It is a paradox that the ecological organizations, instead of supporting the construction of roads which, by its route under the ground, minimize negative influences of car traffic with respect to the car traffic on local road network, form an impediment by their appeal for the structure to be started in time. In May 1998, the Ministry for Local Development cancelled the „Decision on location of the structure“ and returned the respective case to new proceedings. In this connection it must be stated that the main reason for cancelling the „Decision on locating the structure“ which was the reason that there was not elaborated an evaluation of the structure influence upon the environment, in the tenor of the law 224/92 Coll. (process EIA) passed, because the administration body, Department of Transport Hall of the City decided that the City circle was classified in the category of local roads. The process EIA does not relate to local roads.

As this situation was expected, the documentation to the territorial decision concerning the access tunnel which is decisive for the eventual opening of the western tunnel driving from south, was elaborated in the meantime.

## TRAFFIC SOLUTION OF TUNNELS UNDER MRÁZOVKA

When elaborating the final project of the traffic solution both on the northern and southern side of the tunnel, the team of elaborators had to solve many marginal problems, the successful solution of which formed the variant accepted by all bodies of the state administration and the respective organizations.

To solve the number of road lanes in the tunnel is the weightiest initial problem. After very complicated negotiations there was proved that it is impossible, especially because of safety reasons, to allow for a connecting lane to be ended in the tunnel. That is why the most part of the driven tunnels has a three-lane arrangement, two lanes are running lanes for leading the traffic within the city circle and the remaining third lane serves for connecting or disconnecting vehicles from/to both intersections at both tunnel mouths.

On the northern side, the direction and elevation of the tunnel alignment resulted from the linking up to both bridges led from the Strahov tunnel, the position of which was limited from the northern side by the newly built hotel Mövenpick, and from the eastern side by housing in the street Mrázovka I (Gymnasium and tenement houses). It can be positively evaluated

kladně hodnotit, že vlastní návrh vyvolal pouze potřebu demolice jednoho domu a ubourání poloviny druhého domu v jižní části ulice Mrázovka. Pro definování severního portálu bylo důležité i stanovení minimální vzdálenosti obou ražených tunelů a požadavek následného obnovení původního terénu.

Vedení trasy od severu v tunelech ve vlastním kopci Mrázovka bylo limitováno jednak z výškových důvodů sklonem z mostu, zástavbou v oblasti ulice Ostrovského a erozní brázdou v této ulici a jednak ze směrových důvodů existencí stávajících podzemních zařízení. Obdobně od jihu bylo výškové řešení limitováno podchodem ještě hloubených tunelů pod ulicí Radlickou a existencí stávající stoky „P“, kterou městský okruh v podzemí mimoúrovňově kříží. Tím se stalo, že vzhledem k potřebným sklonům navazujících úseků je nejnižší místo v tunelu. To vyvolalo potřebu umístit do tohoto místa podzemní čerpací stanici pro technologické vody z mytí tunelů, popřípadě i vody průsakové.

Zcela samostatným problémem byl návrh odpojení křížovkových větví v tunelech, které propojují městský okruh s místní komunikační sítí tj. s ulicí Radlickou. Při návrhu bylo nutno mít na paměti, že v budoucnosti bude na pozemcích nádraží Praha-Smíchov vybudován další komplex smíchovského centra, které by bylo vhodné na MO napojit. Zároveň někde v úrovni stávajícího železničního mostu by měl být v budoucnosti postaven nový most, který by sloužil jak železniční tak i automobilové dopravě. I toto nové propojení obou vltavských břehů by mělo být ukončeno na ulici Radlické. V žádném případě však dle urbanistické studie Smíchova tím není myšleno obnovení myšlenky vnitřního dopravního okruhu.

Větev „A“, která umožňuje odpojení od západního tunelu městského okruhu směrem na jih a připojení na ulici Radlickou, je již jednoznačně definována. V její trase se připravuje výstavba přístupového tunelu k západnímu tunelu a podzemní strojovně vzduchotechniky. Je zřejmé, že nejsložitější místo je umístění odpojení do vhodného místa v podzemí tak, aby značný výrub v místě rozpletu minimálně ovlivňoval povrch nad rozpletem. Proto i u větve „B“, která napojuje ulici Radlickou na východní tunel ve směru severním, se v součinnosti obou projektových týmů, dopravního a tunelářského, provádějí ještě drobné úpravy při hledání neoptimalnějšího místa spojení východního tunelu a tunelu větve „B“.

Rozsah článku neumožňuje popsat veškeré problémy, které při návrhu výsledného dopravního řešení vznikaly. Vybudování městského okruhu není pouze problematika ražených a navazujících hloubených tunelů a jejich provozní technologie. Je to rovněž problematika velkého počtu přeložek inženýrských sítí, v některých případech značných rozměrů, a vlastního postupu výstavby a to zejména v oblasti jižního portálu tunelu pod Mrázovkou. Pro znalce místních poměrů je zřejmé, že na žádnou dobu nesmí být přerušena doprava v ulici Radlické, protože tato ulice je jedním z důležitých propojení jihozápadní oblasti města s centrem města.

## POSTUP VÝSTAVBY

V obchodní veřejné soutěži na dodavatele stavby tunelu Mrázovka, vybrané Magistrátem hl. m. Prahy, odborem městského investora v roce 1997, bylo vybráno jako dodavatel sdružení firem Metrostav, a. s. a Subterra, a. s. Jednou z podmínek byla lhůta na realizaci tunelu Mrázovka v délce 46 měsíců a požadavek vyplývající z veřejno-právního projednání uvést stavbu do provozu jako celek.

Na základě těchto skutečností a rozsahu ražených tunelů, které tvoří více jak 77 % objemu celé stavby, byla závěrečná příprava organizace výstavby orientována na výstavbu tunelu Mrázovka ze dvou směrů, ze dvou stavenišť. Hloubené úseky a hlavně vlastní ražby tunelových objektů budou současně realizovány od severního portálu poblíž hotelu Mövenpick a dvou jižních portálů budou předcházet rozsáhlé práce v prostoru smíchovského nádraží a v ulici Radlické. Práce budou zahájeny na západní tunelové troubě a asi s půlročním odstupem by měly navazovat práce na východní tunelové troubě.

Z hlediska vlastních ražeb je nutné připomenout, že se nejedná o prostou liniovou tunelovou stavbu, ale že se jedná o složité, lépe řečeno členité podzemní dílo. Součástí realizace ražených objektů je výstavba třípruhových, dvoupruhových a jednopruhových dopravních tunelů, celkem 6 tunelových propojek (z toho 2 propojek průjezdných), podzemní čerpací stanice technologických a průsakových vod, podzemní strojovny vzduchotechniky, podzemní trafostanice a téměř 80 m hluboké výdechové šachty pod Pavím vrchem.

## ZÁKLADNÍ TECHNICKÉ ÚDAJE

západní tunel	délka 1194,8 m, z toho ražená část 847 m
východní tunel	délka 1161,5 m, z toho ražená část 745,9 m
šířka vozovky	11,50 m
volná šířka tunelů	13,48 m

that the proper project required only a demolition of one building and one half of another house in the southern part of the street Mrázovka. For defining the northern portal, it was necessary even a determination of the minimum distance of both driven tunnels and the requirement to restore the original terrain.

The alignment from the north in tunnels in the proper Mrázovka hill was limited because of the elevation reasons by the slope from the bridge, housing in the area of the street Ostrovského as well as by the erosion kerf in this street, and, because of directional reasons, by existing underground facilities. Analogously from the south, the elevation solution was limited by the underpass of tunnels still being excavated under the street Radlická, as well as by the existing sewer "P" which is crossed under the ground in different levels by the city circle. So it occurred that, with respect to needed slopes of linking up sections, the lowest place can be found in the tunnel. This situation caused the need to locate in this place an underground pumping station for technological water caused by washing the tunnel, and, eventually by percolated water.

To design a disconnection of intersection branches in tunnels, which connect the city circle to the local road network, i.e. to the Radlická street, that was a quite independent problem. When solving this problem, one must take into consideration that in the future, in the area of the railway station Prague-Smíchov, there shall be built up another complex of the Smíchov centre, which should be connected to MC.

At the same time, somewhere in the level of the existing railway bridge, there should be erected, in the future, a new bridge which should perform the service both of the railway transport and of the car traffic. Even this new interconnection of both banks of the river Vltava should be terminated at the street Radlická. In no case, though, according to the town-planning study of Smíchov, it means that the idea of the inner traffic circle is renewed.

The branch „A“ which enables a disconnection from the western tunnel of the municipal circle in the southern direction and the linking up to the street Radlická, has been finally defined. In its route there is being prepared the construction of the access tunnel to the western tunnel and to the underground ventilation-room. It is evident that the most complicated problem is location of the disconnection to a suitable place in the underground in such a way that a considerable slope may affect the surface over the branching in a minimum extent. That is why even in the branch "B", which merges the street Radlická into the eastern tunnel in the northern direction, there are making, in cooperation of both projecting teams, viz. the transport team and the tunnel one, small modification when seeking the optimum interconnection of the eastern tunnel and the tunnel of the branch „B“.

The scope of the article does not make it possible to describe all problems which appeared during the resulting traffic solution. The project of the city circle, that are not only problems of driven tunnels and linking up cut-and-cover tunnels and their operational technology. They are also problems with relaying a high number of engineering networks, in some cases of a considerable extent, and problems concerning the proper construction process especially in the area of the southern mouth of the tunnel under Mrázovka. For experts of local conditions it is evident, that traffic in the Radlická street must not be stopped for any time, because this street is one of the important connections of the south-western part of the town to the town centre.

## CONSTRUCTION PROCESS

In the public tender for the Mrázovka tunnel, for which the Prague's City Hall invited applications through the City Investment Department in the year 1997, an association of firms Metrostav a. s., and Subterra a. s. was selected as contractor. One of this public tender conditions was the term of delivery of the tunnel Mrázovka within the period of 46 months and the requirement, resulting from the public law procedure, to set the structure into operation as a whole.

With respect to said facts and extent of driven tunnels which form more than 77 % of the whole structure volume, the final preparation of the works organization was directed to the excavation of the tunnel Mrázovka from two directions, from two building sites. Cut-and-cover sections and especially proper drivings of tunnel structures shall be realized at the same time from the northern portal near the hotel Mövenpick and from two southern adit portals in the Radlická street. The preparation of the northern portal is at a more advanced stage; the realization of southern portals will be preceded by extensive work in the area of the railway station Smíchov and in the street Radlická. Work shall start in the western tunnel tube, and, after about a half-year period, there should be started work in the eastern tunnel tube.

With respect to proper drivings, it is necessary to recall that it does not concern a simple line tunnel structure, but that it concerns a complicated, better to say articulated underground work. A construction of three-lane, double-lane and single-lane transport tunnels, altogether 6 tunnel cross passages (2 of which are passable by cars), underground pumping station of technological water and percolating water, underground ventilation-room, underground transformer station and an exhaust shaft under Paví vrch, nearly 80 m deep.

## BASIC TECHNICAL DATA

western tunnel	length 1194.8 m
	of it the driven part 847.0 m
eastern tunnel	length 1161.5 m

výlom kategorie A	126,3 m <sup>2</sup>
výlom kategorie B	144,7 m <sup>2</sup>
výlom kategorie C	146,3 m <sup>2</sup>
tunelovací metoda	nová rakouská tunelovací metoda
max. sklony nivelety	ve klesání 4,5 % ve stoupání 4,21 %
návrhová rychlost	60 km/hod.
větrání	podélné

roadway width	of it the driven part 745.9 m
free width of the tunnel	11.50 m
excavation of the "A" category	13.48 m
excavation of the "B" category	126.3 m <sup>2</sup>
excavation of the "C" category	144.7 m <sup>2</sup>
tunnelling method	146.3 m <sup>2</sup>
max. slope of the alignment	New Austrian Tunnelling Method in descent 4.5 % in upgrade 4.21 %
designed speed	60 km/h
ventilation	longitudinal

## ÚČASTNÍCI VÝSTAVBY

Investorem souboru staveb Radlická–Strahovský tunel je Magistrát hlavního města – Odbor městského investora zastoupený dle mandátní smlouvy investorskou organizací VIS, a. s.. Generálním projektantem celého souboru RAST je PÚDIS, a. s., který zajišťuje kromě koordinace přípravu dopravního řešení, hloubené tunely a přeložky inženýrských sítí. Hlavním subdávatelem projektových prací je firma SATRA, spol. s r. o., která zajišťuje projekci veškerých ražených tunelů a provozní technologie nutné pro provoz tunelu. Dodavatelem na základě výsledků obchodní veřejné soutěže je sdružení firem METROSTAV, a. s. – divize 5 a SUBTERRA, a. s. Tímto výčet účastníků, kteří se podíleli na projektové přípravě a budou se zúčastňovat i na vlastní realizaci, zdaleka nekončí. Není možno vzhledem k rozsahu tohoto článku vyjmenovat veškeré firmy a jednotlivce a proto je zde proveden výčet těch, které výsledné řešení nejvíce ovlivnily. Z pedagogických pracovišť se jedná o profesory Bartáka, Eisensteina, Hemzala a Mencla. Z firem je to ELTODO, IKE, Techniserv, GRID, IK Mařík a další.

## ZÁVĚR

Územní reliéf Prahy a striktní požadavky na plnění ekologických limitů a vyhovení urbanistickým zásadám v obecně přijatém měřítku hodnot si navrhování tunelových staveb vynucují. Praha je výjimečná mezi evropskými metropolemi z řady důvodů, což již bylo zdůrazněno v úvodu tohoto článku, ale výjimečná i tím, že je zatím v návrzích „provrtána“ automobilovými tunely, a to možná ve větším rozsahu než je vzhledem k rozloze města a počtu obyvatel nutné. Přesto je nezbytné pro fungování rozvoje města a s tím spojené uspokojení potřeb automobilové dopravy, na kterou je nutno pohlížet jako na skutečnost vyplývající ze zásad tržní ekonomiky a demokracie, neprodleně zahájit výstavbu. Autoři tohoto článku věří, že se to stane v co nejkratší době a že doba výstavby bude odpovídat západním standardům, což ovšem vyžaduje dostatečné finanční zdroje města. Jen tak je možno dosáhnout toho, že tíživá dopravní situace na Smíchově bude vyřešena.

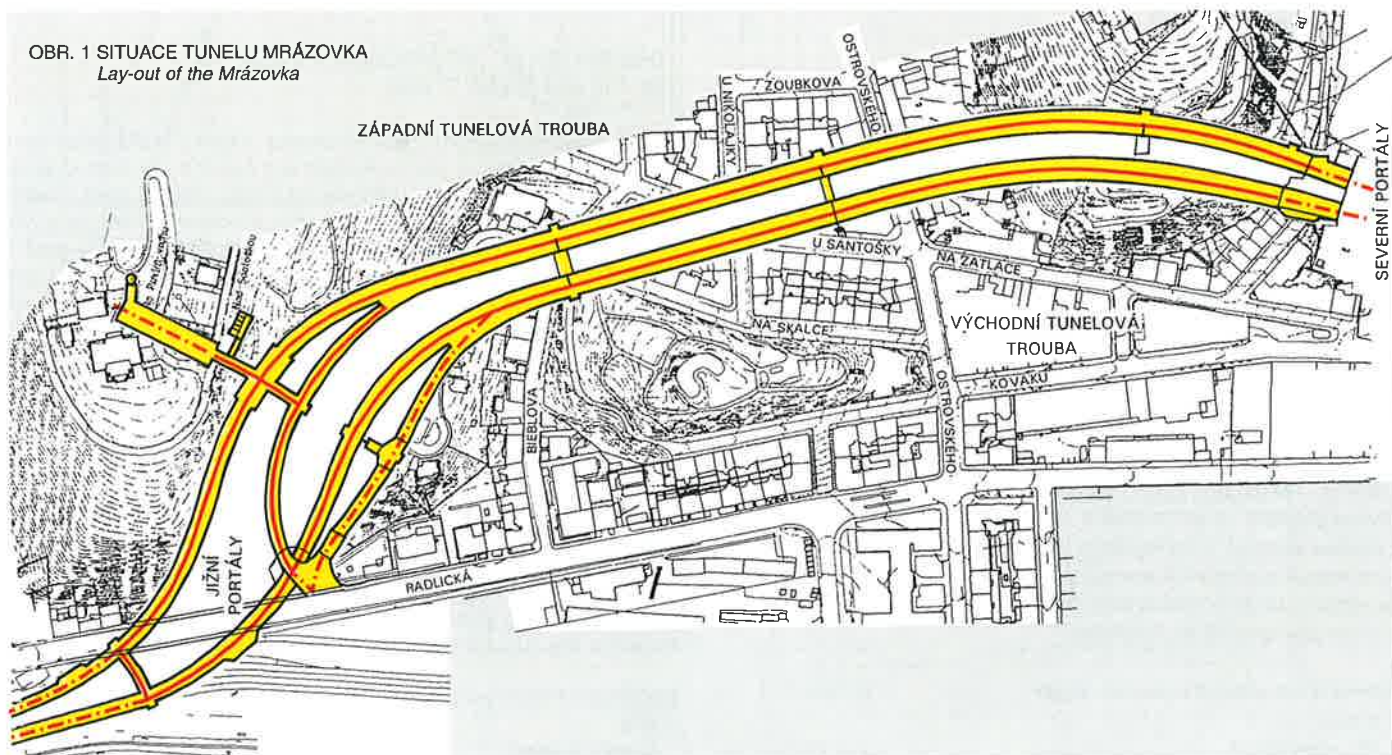
## PARTICIPANTS OF THE CONSTRUCTION WORKS

Prague's City Hall – City Investment Department, represented pursuant to the mandatory agreement by the investor company VIS a. s., PÚDIS a. s., which ensures, besides the coordination, the preparation of this traffic solution, cut-and-cover tunnels and relaying of engineering networks, is the general designer of the whole complex RAST. The firm SATRA, spol. s r. o., which ensures designs of all driven tunnels and operational technology needed for the operation of the tunnel, is the design subcontractor. The association of the firms METROSTAV a. s. – Division 5 and SUBTERRA a. s. is the contractor on the basis of results of the public tender. Said list of participants which took part in the design preparation and which will also take part in the proper realization is not complete at all. It is not possible, with respect to the extent of this article, to mention all firms and individuals, and that is why there are mentioned only those who or which affected the resulting solution in the maximum range, viz. from the pedagogical institutions professors Barták, Eisenstein, Hemzal and Mencl, and as to firms ELTODO, IKE, Techniserv, GRID, IK Mařík and other.

## CONCLUSION

Projected tunnels are structures unconditionally needed with respect to the relief of Prague and strict requirements concerning ecological limits and their performance, as well as for complying with town-planning principles in a generally accepted scale of values. Prague is exceptional among European metropolises because of many reasons which was emphasized in the introduction of this article, but is it also exceptional because of the fact that it is, in plans of the time being, „drilled“ by road tunnels, may be, in a larger extent, than it is necessary with respect to the town area and number of citizens. In spite of this fact it is necessary, for the development of the town and with it connected requirements of the considerable increase of the car traffic, which must be taken as a fact resulting from principles of the market economics and democracy, to start the construction immediately. The authors of this article believe that it will be realized in the time as short as possible, and that the construction period will correspond with standards of Western Europe, which, of course will require sufficient financial sources of the town. Only in this way it can be achieved that the difficult traffic situation in Smichov will be solved successfully.

OBR. 1 SITUACE TUNELU MRÁZOVKA  
Lay-out of the Mrázovka



## ŘEŠENÍ TUNELŮ POD MRÁZOVKOU

# SOLUTION OF THE TUNNELS UNDER THE MRÁZOVKA HILL

Ing. JOSEF DVOŘÁK, Ing. MICHAL GRAMBLIČKA, Ing. JAROSLAV NĚMEČEK, Ing. LUDVÍK ŠAJTÁR, SATRA, s. r. o.

### ÚVOD

Tento článek volně navazuje na informace sdělené v článku hlavního inženýra projektu Ing. Krásného, který pojednává především o složitém vývoji hledání a stabilizace dopravního řešení v úseku souboru staveb Radlická–Strahovský tunel.

Pro společnost Satra spol. s r. o., zpracovatele projekční přípravy podzemních tunelových objektů a technologických souborů nezbytných pro provoz tunelů, představovalo schválené dopravní řešení této části MO a podmínky ze stanovisek veřejnoprávních orgánů vstupní zadání pro vyřešení tunelářského díla v místních urbanistických podmínkách a zastiženém geologickém prostředí.

Čistě z tunelářského hlediska je třeba konstatovat, že místní podmínky pro výstavbu tunelů pod Mrázovkou jsou složité, ale je nutné si uvědomit, že je řešena tunelová stavba v podmínkách hustě zastavěného velkoměsta, kde bylo třeba nalézt konsensus mezi potřebami dopravními, urbanistickými, zájmy obvodů, zájmy celoměstskými i regionálními a našimi požadavky technickými. Zcela odlišná je situace ve volné krajině, kde můžeme technické požadavky uplatnit v daleko větší míře a razanci. Pro vyřešení kritické dopravní situace v oblasti Smíchova je nutné považovat výstavbu tunelů pod Mrázovkou za jednu z nejvýznamnějších dopravních staveb v Praze na přelomu tisíciletí. Totéž ale lze konstatovat i o rozsahu problémů tunelového stavitelství, které tato stavba svým situováním a skladbou geologického prostředí přináší.

### POPIS PROSTOROVÉHO ŘEŠENÍ TUNELU MRÁZOVKA

Stavba č. 9544 Radlická–Strahovský tunel (RAST), jinak též nazývaná tunel Mrázovka navazuje severním portálem na nedávno zprovozněný Strahovský tunel za novým mostem přes Plzeňskou ulici krátkým hloubeným úsekem a u jižních portálů za ulicí Radlická pokračuje hloubenou trasou MO RAST v prostoru smíchovského nádraží stavbou č. 422 Zlíchov–Radlická. Z uvedeného rozsahu stavby RAST (viz obr. 7 předchozího článku) představují ražené tunelové objekty cca 77 % z celkového objemu stavby, zbývajících 23 % jsou hloubené úseky u severního a jižních portálů a ostatní povrchové objekty (přeložky sítí, opěrné zdi, úpravy komunikací atd.).

Dále se budeme v tomto článku zabývat především raženými objekty. Na úvod tedy několik základních informací a přehledných čísel.

RAST je rozdělena na dvě stavby s pracovními názvy 1. stavba Západní Tunelová Trouba (ZTT) a 2. stavba Východní Tunelová Trouba (VTT). Rozhodující objem ražených objektů představují vlastní dopravní tunely, které z hlediska provozně technologického jsou doplněny raženými prostory tunelových propojek, podzemní strojovny vzduchotechniky, trafostanice, čerpací stanice, větracího kanálu a větrací šachty pod Pavím vrchem. Dvě z šesti tunelových propojek jsou navrženy jako průjezdné.

Celková délka ražených dopravních tunelů	2 250,5 m
z toho	
třípruhové tunely	1 215,1 m

### INTRODUCTION

This article links up partially to the information mentioned in the article of the main project engineer Ing. Krásný, which concerns, first of all, the complicated development of looking for and stabilization of a traffic solution in the section of the building complex Radlická–Strahov tunnel.

The approved traffic solution of this part of the city circle (hereinafter CC) and conditions laid down by standpoints of public bodies represented the initial order for solving the tunnelling work in local town-planning conditions and respective geological ones for the company Satra s. r. o., elaborator of the design preparation of underground tunnel structures and technological complexes needed for the tunnel operation.

From the tunnelling point of view, it must be stated, that local conditions for the tunnel Mrázovka are complicated, but it is necessary to realize that there is solved a tunnel structure in conditions of a densely built up city where it was necessary to find a consensus among traffic needs, town-planning ones, interests of districts, city interests and regional ones, as well as our technical requirements. The situation is quite different in a free landscape, where technical requirements can be applied in a much larger extent and intensity. To solve the critical traffic situation in the Smíchov area, it is necessary to take the building up of tunnels under Mrázovka for one of the most important transport structures in Prague at the change of millenia. The same can be also stated even as to the extent of problems concerning the tunnel civil engineering, which result from the situation and geological conditions of this structure.

### DESCRIPTION OF THE SPACIAL SOLUTION OF THE MRÁZOVKA TUNNEL

The structure No. 9544 Radlická–Strahov tunnel (RAST), also called Mrázovka tunnel, links up with its northern adit mouth to the Strahov tunnel, recently set into operation, viz. behind the new bridge over the street Plzeňská by means of a short cut-and-cover section, and, at southern portals, behind the Radlická street, it continues in the cut-and-cover route CC RAST in the space of the Smíchov railway station No. 422 Zlíchov–Radlická. Driven tunnel structures represent, with respect to the mentioned extent of the RAST construction (see Fig. 7 of the previous article), about 77 % of the total construction extent, the remaining 23 % are represented by cut-and-cover sections at the northern adit mouth and southern adit mouths and by other surface works (relaying of networks, retaining walls, adaptations of roads, etc.).

In this article we shall draw our attention in the first place to driven structures. At the beginning it is necessary to mention several basic information and tabular dates.

RAST is divided to two phases called: the 1st structure – the Western Tunnelling Tube (WTT), and the 2nd structure – the Eastern Tunnelling Tube (ETT). Proper transport tunnels, completed with driven cross passages, underground ventilation rooms, transformer station, pumping station, ventilation duct and ventilation shaft under Paví vrch represent the decisive volume of driven structures. Two of six tunnel cross passages are designed as through ways.

Total length of driven transport tunnels	2 250.5 m
of it:	
three-lane tunnels	1 215.1 m



tunelové rozplety v ZTT a VTT	124,8 m
dvoupruhové tunely	502,6 m
jednoupruhové rampy	408,0 m
celková délka všech tunelových propojek	112,5 m
délka podzemní strojovny vzduchotechniky	80,0 m
podzemní trafostanice	37,3 m
čerpací stanice	11,0 m
větrací kanál k výdechu pod Pavím vrchem	13,0 m
hloubka větrací šachty	79,2 m
celkový objem ražených objektů	351 778,0 m <sup>3</sup>
z toho ražené objekty ZTT	176 729,0 m <sup>3</sup>
a ražené objekty VTT	175 049,0 m <sup>3</sup>

tunnel branching in WTT and ETT	124.8 m
double-lane tunnels	502.6 m
single-lane ramps	408.0 m
total length of all tunnel interconnections	112.5 m
length of the underground engine-room for ventilation	80.0 m
underground transformer station	37.3 m
pumping station	11.0 m
ventilation exhaust channel under Paví vrch	13.0 m
depth of the ventilation shaft	79.2 m
total volume of driven buildings is	351,778.0 m <sup>3</sup>
of it driven buildings of WTT	176,729.0 m <sup>3</sup>
and driven buildings of ETT	175,049.0 m <sup>3</sup>

### Zásadní vliv na řešení ražených tunelů, ražených podzemních objektů měly tři aspekty.

1. Schválené dopravní řešení trasy MO v úseku mezi Strahovským tunelem a Bařandovským mostem.
2. Vstupní, lépe řečeno limitní podmínky pro návrh větrání dopravních tunelů.
3. Konfigurace terénu a zastižené geologické prostředí v prostoru RAST.

K prvnímu bodu lze konstatovat, že schválené dopravní řešení předurčilo situacní i výškové vedení ražených dopravních tunelů, určilo příčné uspořádání tunelů a vyvolalo nezbytnost řešit odpojení a připojení trasy MO na ulici Radlická v prostoru ražených tunelů, v tunelových rozpletech.

Koncepci větrání bylo třeba vyřešit v souladu se dvěma podmínkami, jednak striktního zákazu odvádění znečištěného větracího vzduchu z portálů tunelů a dále v souladu se stanoveným jediným místem pro odvod znečištěného větracího vzduchu v prostoru Paví vrchu, které bylo ověřeno rozptylovou studií.

Na základě těchto požadavků se zvažovalo několik variant koncepce větrání s různými kombinacemi podélného a příčného větrání, bez či s mezistropy v tunelech. Ve spolupráci s předními odborníky z České republiky a katedrou vzduchotechniky ČVUT Praha fakulty strojní a po konzultaci se zahraničními specialisty bylo navrženo podélné větrání plnými profily tunelů. Větrací, „čistý“, vzduch je nasáván v jižním portálu VTT a tunelové větve B, odtud je veden ve

### THE FOLLOWING THREE ASPECTS HAD THE FUNDAMENTAL INFLUENCE UPON SOLVING DRIVEN TUNNELS, DRIVEN UNDERGROUND STRUCTURES:

1. approved traffic solution of the CC route in the section between the Strahov tunnel and Barrandov bridge;
2. initial conditions, better to say limit ones, for a design of road tunnel ventilation;
3. terrain configuration and geological conditions in the RAST area.

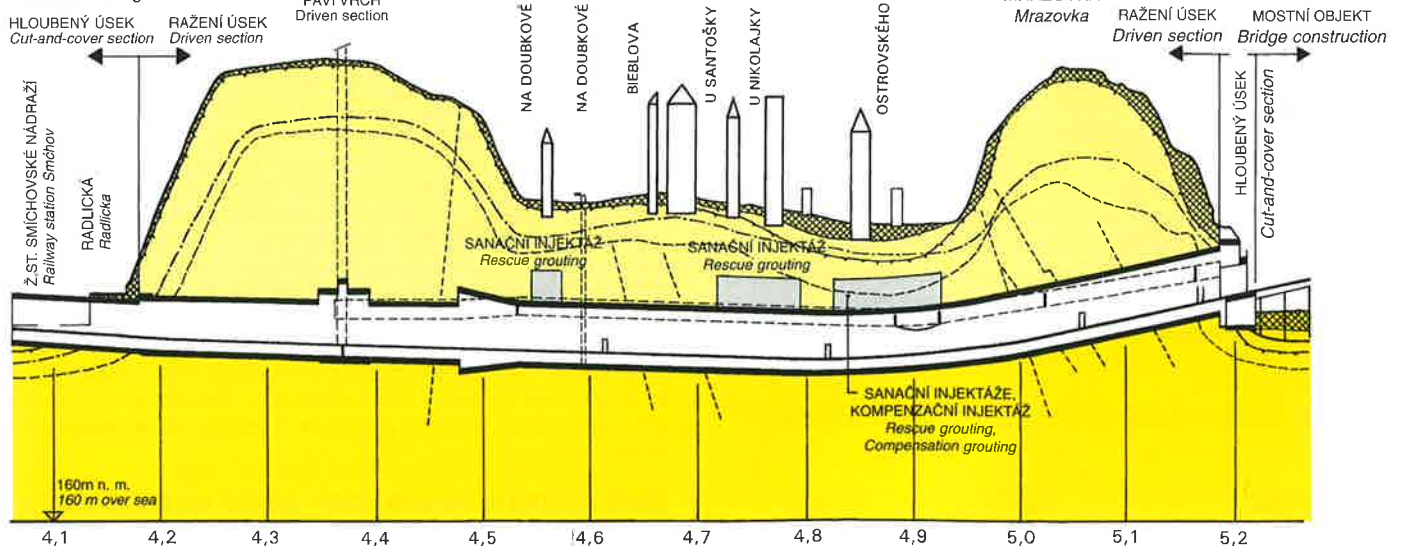
As to the first item, one can state that the approved traffic solution determined in advance the lay out and elevation of driven transport tunnels, determined their cross section and caused the need to solve the disconnection and merging of the CC route into the Radlická street in the area of driven tunnels, in the tunnel branching.

The ventilation conception had to be solved in compliance with two conditions, both with respect to the strict ban to take away polluted air through portals, and in compliance with the laid down only place for taking away polluted air in the area of Paví vrch, which was verified in the scattering study.

With respect to said requirements, there were taken into account several variants of the ventilation conception with various combinations of a longitudinal and transverse ventilation with or without intermediate ceiling slabs in tunnels. In cooperation with prominent experts of the Czech Republic and Department of Air-Conditioning of the Czech Technical University Prague, Faculty of Machinery, and after a consultation with foreign experts, there was designed a longitudinal ventilation through full profiles of tunnels. Ventilated "fresh" air is sucked in the

### PODÉLNÝ ŘEZ ZÁPADNÍM TUNELEM Longitudinal section of the western tunnel

#### BARRANDOVSKÝ MOST Barrandov bridge



LETENSKÉ SOUVRSTVÍ - FLYŠOVÝ VÝVOJ Letna measures - flysh development	LIBĚNSKÉ BŘIDLICE Liben shales	ŘEVNICKÉ KREMENCE Revnice quartzites	LIBĚNSKÉ BŘIDLICE Liben shales	LETENSKÉ SOUVRSTVÍ - MONOT. VÝVOJ Letna measures - monotonous development
CELKOVÁ RAŽENÁ DÉLKA ZÁPADNÍ TUNELOVÉ TROUB 1004,74m Total driven length of the western tunnel tubes 1004.74				
2 PRUHOVÝ TUNEL ZTT DL. 297,40m, PLOCHA TUNELU 107m <sup>2</sup> Two-lane WTT tunnel - length 297.40 m, tunnel area 107 m <sup>2</sup>		ROZPLET ZTT DL. 54,025m, MAX. PLOCHA 324m <sup>2</sup> Branching of WTT - length 54.025 m, max. area 324 m <sup>2</sup>		3 PRUHOVÝ TUNEL ZTT DL. 653,29m, PLOCHA TUNELU 160m <sup>2</sup> Three-lane WTT tunnel - length 653.29 m, tunnel area 160 m <sup>2</sup>
KLESÁ 1,66% DL. 33,56m Slope down 1.66 % length 33.56 m		DOPRAVNÍ KOMUNIKACE KLESÁ 0,635% V DL. 694,38m Slope down of the traffic road 0.635 % in the length of 694.38 m		STOUPÁ 4,24% V DL. 276,80m Slope up 4.24 % in the length of 276.80 m

OBR. 1  
FIG. 1

směru jízdy VTT k severnímu portálu, kde je převáděn pomocí vzduchové clony do ZTT a veden tímto tunelem až k místu napojení na strojovnu VZD. Zbylé části ZTT a tunelové větve A od jižního portálu jsou větrány plnými profily těchto tunelů proti směru jízdy vozidel. Předurčená poloha výdechu větracího vzduchu na Pavím vrchu je svou excentrickou polohou vůči tunelům složitým problémem pro návrh řešení. V místě odsávání větracího vzduchu v napojení strojovny VZD na automobilové tunely je třeba řešit regulaci řádově rozdílných množství odváděného vzduchu z jednotlivých tunelových úseků do společného odvodu.

Odsávání místa v ZTT a tunelové větvi A, včetně řešení prostoru vzduchové clony v severním portálu jsou v současnosti předmětem modelových zkoušek na ČVUT v Praze pod vedením pana prof. Ing. Karla Hemzala, CSc.

Pro dosažení minimalizace provozních nákladů vzduchotechnického zařízení ve vztahu na proměnné podmínky automobilového provozu v tunelech, je model řízení provozních režimů vzduchotechnického zařízení řešen aplikací fuzzy logiky. Na návrhu tohoto systému řízení spolupracuje pan prof. Ing. Jiří Bíla, DrSc., ze strojní fakulty ČVUT Praha.

Konfigurace terénu v prostoru ražených tunelů s vrchem Mrázovka a Pavím vrchem, se dvěma příčnými depresemi v úrovni ulic Ostrovského a Bieblova a výškově daná poloha ulice Radlická a přemostění Plzeňské ulice v podstatě předurčilo výškové vedení trasy tunelů, viz obr. 1. Výšková poloha portálů, severního i jižních, oproti nejnižšímu místu pod ulicí Ostrovského přinesly nutnost vyřešit ochranu tunelů proti podzemní vodě. Faktorem zůstává, že vyřešit odvádění podzemních vod drenážním gravitačním systémem s ohledem na výškové relace nejnižšího místa tunelů a hladiny Vltavy nebylo možné.

Byla zvažována dvě možná řešení, jednak zřízení neuzavřeného mezilehlého izolace v klenbě tunelů s podélným drenážním systémem do nejnižšího místa s kapacitním permanentním čerpáním podzemních vod, a nebo uzavřená mezilehlá izolace tunelů.

Prvá možnost představovala volbu permanentních provozních nákladů s tím, že návrh sekundární obezdívky by nemusel akceptovat plný tlak hladiny podzemní vody. Tuto variantu jsme považovali za méně vhodnou s ohledem na trvalé vyšší provozní náklady a trvalé ovlivňování základových poměrů u nadzemní zástavby.

Navrženou variantu s uzavřenou mezilehlou izolací, navíc podpořenou při veřejnoprávním projednávání projektu považujeme za vhodnější. Zvolená varianta přinesla dvě podmínky, které bylo nutno respektovat. Návrh sekundární obezdívky musí odpovídat tlakovým poměrům ustáleného režimu podzemních vod po uzavření izolace. Druhou podmínkou úspěšnosti tohoto systému je maximální náročnost na volbu izolačního materiálu a funkčních detailů vodotěsné izolační vrstvy a dodržení technologické kázně při realizaci na stavbě.

Na přiloženém vzorovém příčném řezu třípruhovým silničním tunelem (viz obr. 2) je znázorněno příčné uspořádání dopravního tunelu s průjezdným profilem, prostory pro dopravní značení, umístění zařízení vzduchotechniky, zařízení pro kontrolu a sledování automobilového provozu a osvětlení. Pod konstrukcí vozovky je zřízena technická chodba. Technická chodba slouží pro veškeré páteřní rozvody v tunelech, kabeláže, vodovody, odvodnění tunelů, sdělovací a řídicí rozvody a umožňuje přístup obsluhy do všech technologických a pomocných prostor pro provádění kontroly, oprav či výměny těchto zařízení aniž by bylo nutné omezovat či přerušovat automobilový provoz v tunelech. Technická chodba slouží též pro nepřerušované větrání všech technologických a pomocných prostor čerstvým vzduchem při všech režimech provozu i požáru v automobilových tunelech.

#### PRO PŘEHLED JSOU UVEDENY PŘÍČNÉ PRŮŘEZY HLAVNÍCH RAŽENÝCH TUNELŮ

Třípruhový tunel	159,4 m <sup>2</sup>
Dvoupruhový tunel	106,7 m <sup>2</sup>
Jednopruhová rampa s odstavným pruhem	82,8 m <sup>2</sup>
Tunelový rozplet	159,4–324,3 m <sup>2</sup>
Podzemní strojovna vzduchotechniky	206,8 m <sup>2</sup>

#### INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY V TRASE RAŽENÝCH TUNELŮ

Skalní podloží v trase ražených tunelů tvoří horniny severovýchodní části ordovické barrandienské synklinály. Horniny vznikly ukládáním pšefitického, aleuritického a pelitického materiálu v sedimentační pánvi se značně mobilním

eastern portal of ETT and tunnel branch B, from where it is led in the drive direction of ETT to the northern portal, where it is directed, by means of an air screen, into WTT, and through this tunnel it is led up to the place of the connection to the ventilation-room. Remaining parts of WTT and of the tunnel branch A from the southern adit mouth are ventilated by means of the full profile of said tunnels against the drive direction of vehicles. The predetermined position of the ventilated air exhaust in Paví vrch represents a complicated problem for designing a solution due to its eccentric position with respect to tunnels. In the place of the ventilated air exhaust, when connecting the ventilation fan-room to road tunnels, it is necessary to solve a control of air quantities, different in order, taken away from individual tunnel sections into a common outlet.

Exhaust places in WTT and in the tunnel branch A, including a solution of the water screen space in the northern tunnel mouth are at present subject to model tests in the Czech Technical University in Prague under the leadership of Prof. Ing. Karel Hemzal, CSc.

After having achieved the minimalizing of operational costs of the ventilation equipment with respect to variable conditions of car traffic in tunnels, the model of control of ventilation equipment is solved by applying fuzzy logic. Prof. Ing. Jiří Bíla, DrSc., Faculty of machinery of the Czech Technical University Prague is co-operating on the design of this control system.

The terrain configuration in the space of driven tunnels with the hill Mrázovka and Paví vrch, with two transverse depressions in the level of the streets Ostrovského and Bieblova, and the position, determined as to the elevation, of the Radlická street and of the overbridging of the Plzeňská street, predetermined, in fact, the route elevation of tunnels, see Fig. 1. The elevation of the northern portals and the southern portals with respect to the lowest place under the Ostrovského street, caused the necessity to solve a protection of tunnels against underground water. There is remaining the fact that to solve a discharge of underground water through the drainage gravitation system was not possible with respect to elevation relations of the lowest place of the tunnels and of the level of the river Vltava.

Two possible solutions were evaluated, viz. both to make an unclosed intermediate insulation in the tunnel arch with a longitudinal drainage system to the lowest place with a permanent capacity pumping of underground water, and a closed intermediate insulation of tunnels.

The first possibility represented a selection of permanent operational costs, and in this case the secondary lining would not have to accept a full pressure of the underground water. Said variant was considered as less suitable with respect to permanent higher operational costs and permanent influence upon foundation conditions of the surface housing.

The proposed variant with a closed intermediate insulation, more over supported at the public discussion on the project, is considered as a more suitable one. The selected variant brought two conditions which had to be respected. The design of the secondary lining must correspond with pressure conditions of the stable regime of underground water, after closing the insulation. The second condition, for this system to be successful, is max. exactness as to the selection of the insulation material and functional details of the water-proofing layer and as to observing the technological discipline on the construction site at the realization.

On the enclosed model cross section of a three-lane road tunnel (see Fig. 2) there is shown a cross arrangement of a transport tunnel with the traffic clearance, spaces for traffic signs, situation of ventilation equipment, equipment for control and monitoring the car traffic and illumination. Under the roadway structure there is made a technical corridor. The technical corridor serves for all main distribution systems in tunnels, cables, water mains, tunnel drainage, communication and control distribution systems, and it enables access of servicemen into all technological and auxiliary spaces for inspecting, repairing or exchanging said equipment, without a necessity to limit or to stop the car traffic in the tunnels. The technical corridor also serves for an uninterrupted ventilation of all technological and auxiliary spaces with fresh air at all traffic regimes even in case of a fire in the car tunnels.

#### CROSS SECTIONS OF THE MAIN DRIVEN TUNNELS ARE MENTIONED FOR INFORMATION:

three-lane tunnel	159.4 m <sup>2</sup>
double-lane tunnel	106.7 m <sup>2</sup>
single-lane ramp with a emergency stopping	82.8 m <sup>2</sup>
tunnel branching	159.4 up to 324.3 m <sup>2</sup>
underground air ventilation fan-room	206.8 m <sup>2</sup>

#### ENGINEERING – GEOLOGICAL CONDITIONS IN THE DRIVEN TUNNELS ALIGNMENT

A bedrock in the route of driven tunnels is formed by rocks of the north-eastern part of Ordovician Barrandian synclinale. Rocks arose by sedimentations of

dnem i pobřežní čarou. Změny sedimentačního prostředí se odrazily ve strukturálním složení uloženin. Celý ordovický komplex představuje pestrou škálu střídajících se pelitických a psamitických hornin.

#### V TRASE TUNELU MRÁZOVKA JSOU ZASTIŽENY:

- jílovité a jílovitoprachové jemně slídnaté břidlice s vyšším stupněm rekrystalizace jílových minerálů, střípkovitě až roubíkovitě rozpadavé – souvrství libeňských břidlic,
- prachovité a písčité břidlice s písčítými závalky, ojediněle i vložkami křemenců, jemně až hrubě slídnaté, tlustě deskovitě vrstevnaté – souvrství letenských břidlic, monotónní vývoj,
- písčité a drobové břidlice s hojnými vložkami křemenných pískovců a křemenců, hrubě slídnaté, tlustě deskovitě vrstevnaté – souvrství letenských břidlic, flyšový vývoj,
- souvrství řevnických křemenců, které je tvořeno deskovitými až lavicovitými vrstvami světle šedých, žlutošedých až tmavých masivních křemenců až křemitých pískovců, které se střídají s tenčí vrstevnatými polohami šedých jílovitých břidlic, jílovců až jílu.

Celé skalní prostředí v trase tunelu Mrázovka se vyznačuje značně rozdílným stupněm navětrání, hojně se měnícími směry a úklony ploch vrstevnatosti a hojným výskytem tektonicky porušených pásem. Ve vztahu k výrubu tunelů je nutné počítat s náhlými, skokovými změnami přetvárných vlastností horninového prostředí, jak v podélném, tak i v příčném směru.

Pokryvné útvary jsou tvořeny deluviálními sedimenty a navážkami ve značně proměnné mocnosti. Deluviální sedimenty mají charakter převážně písčítých hlín až písčítých jílu, tuhé až pevné konzistence se střípkou a úlomky původních hornin.

Podzemní voda v pokryvných útvarech má charakter průlinové propustnosti, ve skalním prostředí puklinové propustnosti. Hladina podzemní vody sleduje tvarem povrch skalní báze, do větších hloubek proniká ve skalním prostředí v závislosti na stupni zvětrání, nejvíce v rozpukaných, strmě uložených křemencích či poruchových zónách.

psamitické, aleuritické a pelitické materiálu v sedimentační nádobě s poměrně mobilním dnem a pobřežní čarou. Změny sedimentačních podmínek se odrazily ve strukturálním složení sedimentů. Celý ordovický komplex představuje širokou škálu střídajících se pelitických a psamitických hornin.

#### IN THE ROUTE OF THE TUNNEL MRÁZOVKA THERE TAKE PLACE:

- clayish and clay-silt slightly micaceous shales having a higher recrystallization degree of clay minerals, being desintegrating in a creak way up to a roll way strata of Libeň shales,
- silt layers and sandy ones with sandy broken grounds, sometimes with inserts of quartzites, finely up to roughly micaceous, thickly plate bedded strata of Letná shales, monotonous development,
- sandy and graywacke shales with many inserts of flint sandstones and quartzites, roughly micaceous, thickly plate bedded – strata of Letná shales, flash development,
- strata of Revnice quartzites, formed by plate layers up to bench layers, tint yellowish grey up to dark massive quartzites up to siliceous sandstones which alternate with weakly foliated positions of grey shales, claystones up to clays.

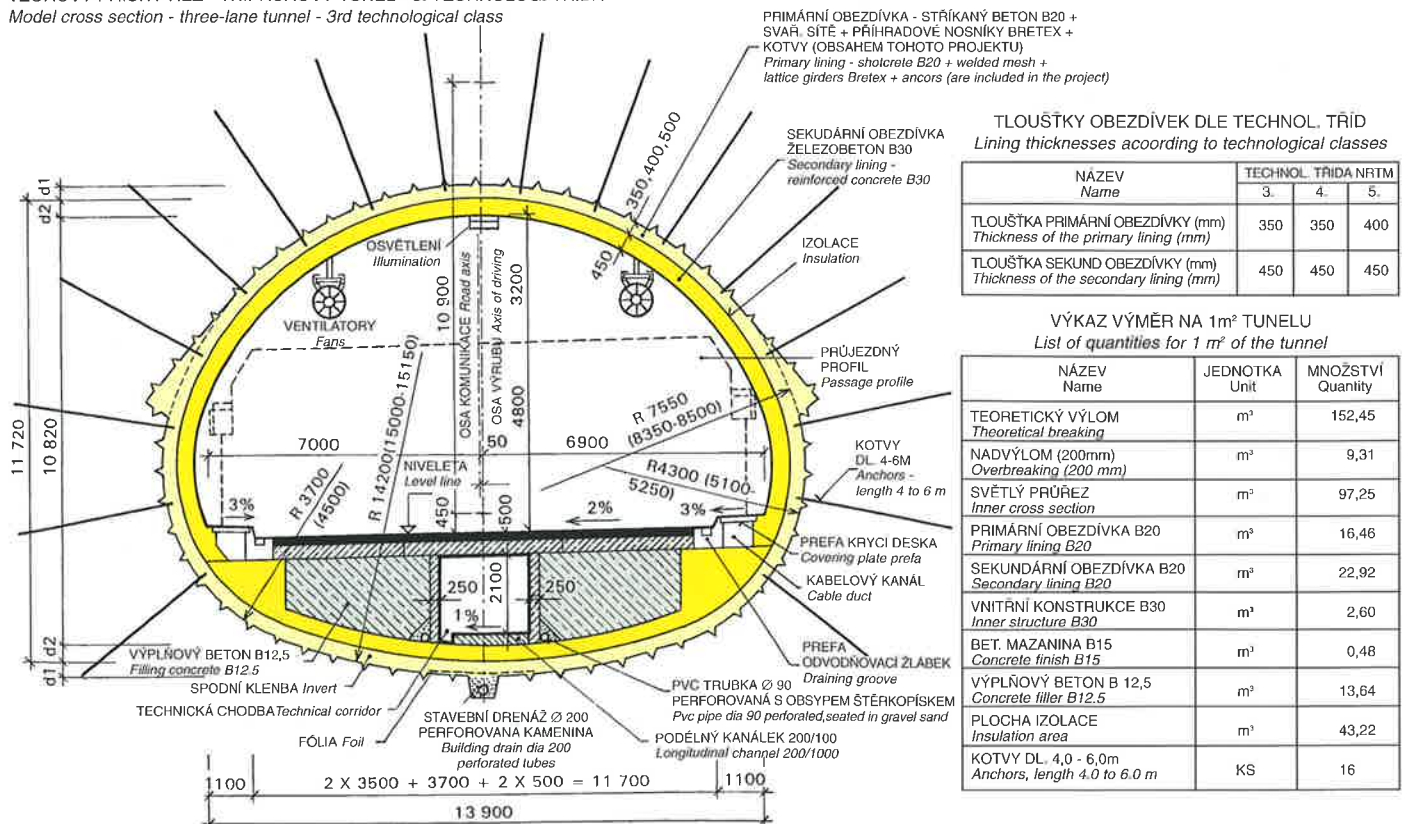
All rocky conditions in the route of the tunnel Mrázovka are characterized with a considerably different degree of weathering, changes of direction and pitches of bedding surfaces with a numerous existence of zones of tectonic faults. In the relation to a tunnel stope, it is necessary to take into consideration sudden jump changes of deformation properties of rock mass both in the longitudinal and in the transverse direction.

Covering formations are formed by diluvial sediments and made-up grounds in considerably variable thickness. Diluvial sediments have the character of mostly sandy loams up to sandy clays, of a rigid up to solid consistence with cracks and fragments of original rocks.

Underground water in covering formations has a character of a porous permeability, in the rock of a crack permeability. The water table follows the surface of the rocky basis, and it penetrates considerably deeper in rocky conditions in dependence upon the weathering degree, mostly in cracked steeply bedded quartzites or in fault zones.

In the direction from the northern adit mouth, the tunnels pass under the hill Mrázovka through strata of Letná shales – monotonous development, in the

VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ - TŘÍPRUHOVÝ TUNEL - 3. TECHNOLOG. TŘÍDA  
Model cross section - three-lane tunnel - 3rd technological class



Směrem od severního portálu procházejí tunely pod povrchem Mrázovka souvrstvím letenských břidlic – monotónní vývoj v délce cca 200 m s nadložím 5–40 m, dále souvrstvím libeňských břidlic s nadložím 16–21 m, v úseku mezi ulicemi U Santošky a Bieblova procházejí tunely souvrstvím řevnických křemenců s průměrným nadložím 20 m, za ulicí Bieblova přecházejí řevnické křemence do souvrství letenských břidlic – flyšového vývoje a tunely podcházejí Paví vrch, kde nadloží v místě větrací šachty je až cca 80 m. Polohy řevnických křemenců budou VTT zastíženy i v prostoru pod objektem školy, nároží ulic Ostrovského a U Santošky, viz obr. 3.

### PRŮZKUMNÁ ŠTOLA V ZTT TUNELU MRÁZOVKA

Pro výstavbu tunelu Mrázovka byl proveden (pro VTT se dosud provádí) průzkumným střediskem PŮDIS a. s. podrobný inženýrskogeologický průzkum, který byl v rámci doplňkového inženýrskogeologického průzkumu doplněn provedením průzkumné štoly, realizované v ose ZTT od severního portálu až k místu napojení ZTT na strojovnu vzduchotechniky. Ražbu průzkumné štoly provedl Metrostav a. s., divize 5 frézou Alpina AM 50 s výrobním průřezem 3,5/3,15 m s obezdívkou ze stříkaného betonu s výztužnými rámy Bretex, výztužnými sítěmi a radiálním kotvením dle zásad NRTM. Štola byla navržena tak, aby v prostoru pod zástavbou, počínaje ulicí Ostrovského, byla obezdívka v klenbě využita trvale, jako součást budoucí obezdívky silničního tunelu. Geotechnické zkoušky, měření a sledování provádělo průzkumné středisko PŮDIS a. s., monitoring při výstavbě štoly prováděla společnost IKE s. r. o.

Kolem provádění průzkumné štoly byla v počátcích vedena velká polemika s řadou názorů pro a proti. Provádění průzkumné štoly a výsledky získané z geotechnických měření a sledování in situ prokázaly velký, dá se říci rozhodující význam pro vytvoření reálného názoru na horninové prostředí ještě před zahájením vlastní ražby silničních tunelů. Informace získané z průzkumné štoly rozhodujícím způsobem ovlivnily výběr tunelovací metody, souvisejících opatření nutných v podzemí i na povrchu a upozornily všechny partnery výstavby, investora, projektanta a dodavatele na problémy, na které je nutné se připravit a které bude nutné při realizaci zvládnout.

Realizaci průzkumné štoly se kromě výše uvedených přínosů ověřilo především chování horninového prostředí při ražbě metodou NRTM ve všech zastíženejších horninových formacích a ověřila se i kritická místa pro ražbu silničních tunelů, v již dříve předpokládaném profilu ulice Ostrovského ale i v dalším místě, v prostoru pod ulicemi Bieblova a Na Doubkové. V obou profilech byly zastíženy zhruba obdobné přetvárné vlastnosti hornin, tektonické porušení i stupeň a hloubka navětrání.

### VOLBA TUNELOVACÍ METODY PRO REALIZACI TUNELU MRÁZOVKA

Při návrhu tunelovací metody se vycházelo z očekávaných geologických podmínek v trase tunelů postupně ověřovaných podrobným inženýrskogeologickým průzkumem a doplňkovým průzkumem, realizací průzkumné štoly a z očekávaného vlivu ražby tunelů na nadzemní zástavbu. Vlivy ražby na nadzemní zástavbu mohly být připuštěny pouze v takovém rozsahu, který by nepřekročil hranici bezpečné užitelnosti staveb a nevyvolal nutnost jejich vyklizení. Při tom se vycházelo ze zkušeností z výstavby pražského metra, III. Vinohradského tunelu, Strahovského tunelu, průzkumné štoly Mrázovka a posudků našich i zahraničních odborníků.

Pro nalezení optimální technologie ražby tunelu Mrázovka, při které by účinky ražby (deformace povrchu terénu) nepřekročily mez bezpečné užitelnosti nadzemní zástavby a zároveň byla svými časovými a finančními nároky přijatelná pro investora, zpracovala společnost SATRA spol. s r. o. na přelomu roků 1996–97 studii „Automobilový tunel Mrázovka – snížení vlivu ražby na nadzemní zástavbu“. Ve studii na základě v té době dostupných informací z geologického průzkumu, vyhodnocení vlivu ražby průzkumné štoly, pasportizace nadzemní zástavby a jejího předběžného technického zhodnocení a získaných nabídek od specializovaných firem z České republiky, Francie, Japonska a dalších, byla posouzena reálnost některých variant technologií ražeb vhodných pro realizaci tunelu Mrázovka, při dostatečném omezení vlivu ražeb na nadzemní zástavbu a zajištění dostatečné bezpečnosti při ražbách tunelů. Ve studii bylo hodnoceno

length of about 200 m with an overburden of 5 to 40 m, then through strata of Letná shales with an overburden 16 to 21 m, in the section between the streets U Santošky and Bieblova, the tunnels pass through measures of Řevnice quartzites with an average overburden of 20 m, behind the street Bieblova they pass Řevnice quartzites in strata of Letná shales – flyš development, and the tunnels pass under Paví vrch, where the overburden, in the place of the exhaust shaft, is about 80 m thick. Positions of Řevnice shales will be in ETT found even in the space under the building of the school corner of the streets Ostrovského and U Santošky, see Fig. 3.

### EXPLORATORY GALLERY IN WTT MRÁZOVKA TUNNEL

For construction up there was performed (for ETT is still performing), by the prospecting department of PŮDIS, a. s., a detailed engineering-geological survey which was completed within an additional engineering-technical survey by driving an exploratory gallery realized in the axis of WTT from the northern portal up to the place of the WTT connection to the ventilation fan-room. The exploratory gallery was driven by Metrostav a. s., Division 5 by means of a roadheader Alpina AM 50, with the production cross section 3.5/3.15 m with the lining made of shotcrete with reinforcing frames Bretex, welded mesh and radial anchoring according to principles of NATM (New Austrian Tunneling Method). The gallery was designed so that in the space under the housing, starting in the street Ostrovského, the lining in the crown may be utilized permanently as a part of the future lining of the road tunnel. Geotechnical tests, measurements and monitoring was performed by the prospecting department of PŮDIS a. s., the monitoring during driving the gallery was performed by the company IKE s. r. o.

As to making the trial gallery, there were discussions at the beginning, with many opinions positive and negative. The driving of the trial gallery and results obtained by geotechnical measurements and by observations in situ, proved a considerable, it may be said decisive importance for forming a real opinion as to the rock conditions before starting the proper driving of car tunnels. Information gained from the trial gallery affected in a considerable way the selection of the tunnelling method, connecting measures in underground and on the ground and called the attention of all partners of the works, the investor, the designer and the contractor to problems, for which it is necessary to be prepared and which must be got through within the realization.

The realization of the trial gallery, besides the above mentioned advantages, proved at the first place the behavior of the rock during driving by means of the NATM in all respective rock formations, and there were also verified critical places for driving road tunnels, in the previously supposed profile of the street Ostrovského, but also in another place, viz. in the space under the streets Bieblova and Na Doubkové. In both profiles there were found out nearly the same deformational rock properties, tectonic breakages, as well as the degree and depth of weathering.

### SELECTION OF THE TUNNELLING METHOD FOR THE MRÁZOVKA TUNNEL

When proposing the tunnelling method, there were taken into consideration expected geological conditions in the alignment gradually verified by means of a detailed engineering-geological survey and additional prospecting, realization of the trial gallery and expected influence of tunnel driving upon the surface housing. Influences of driving upon the surface housing could be allowed only in such an extent which does not cross the limit of a safe utilization of buildings and did not cause a need of their evacuation. All was based on experiences gained during the construction of Prague metro, Vinohrady tunnel, Strahov tunnel, trial gallery Mrázovka and on opinions of our and foreign experts.

To find the optimum driving technology for the tunnel Mrázovka, at which driving effects (deformation of the ground surface) do not cross the limit of a safe utilization of the surface housing, and, at the same time, which would be acceptable for the investor as to its time-consuming and financial requirements, the company SATRA spol. s r. o., at the end of 1996 and at the beginning of 1997 elaborated a study „Car tunnel Mrázovka – decreasing driving influence upon the surface housing“. In the study, on the basis of the geological survey information accessible at that time, evaluation of driving effects of the trial gallery, passportization of the surface housing and its preliminary technical evaluation and obtained offers from specialized firms from the Czech Republic, France, Japan and other, there was evaluated the objectivity of some variants of driving technologies suitable for realizing the tunnel Mrázovka at a sufficient limitation of driving effects on the surface housing and ensuring a sufficient safety at driving the tunnels. In the study there were evaluated 9 tunnelling methods or combinations of

celkem 9 tunelovacích metod či kombinací tunelovací metody s doplňkovými opatřeními jak v podzemí tak na nadzemní zástavbě. Vlastní studie i expertní posudky, které ke studii zpracovali prof. Ing. Jiří Mencl, prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. a prof. Ing. PhDr. Zdeněk Eisenstein, DrSc. doporučili další postup.

Vážně, až do úrovně návrhu technologických postupů ražby byly sledovány dvě metody, jednak metoda obvodového vrubu (Perforex) a jednak metoda NRTM. Další, doplňující informace z inženýrskogeologického průzkumu prokázaly, že uplatnění metody obvodového vrubu by bylo velmi problematické, především s ohledem na zastižené polohy velmi pevných řevnických křemenců v rozsahu větším než se původně očekávalo. Další nevýhoda této metody v podmínkách tunelu Mrázovka by byla nezbytnost střídání dvou technologií, čili přerušení plynulosti ražby. Prokázalo se, že optimální metodou pro tunel Mrázovka je technologie postupných výrubů s primární obezdvívkou ze stříkaného betonu s výztužnými rámy, sítěmi a radiálním kotvením, tj. metoda NRTM, při které je možné zvolenou strojní sestavou realizovat různé profily tunelů a je možné pružně reagovat na náhlé změny geologických poměrů.

Informace získané z vyhodnocení průzkumné štoly však upozornily na skutečnost, že geologické poměry a technický stav nadzemní zástavby nepřipustí uplatnění metody NRTM bez provedení nezbytných sanačních opatření v podzemí i na nadzemní zástavbě.

Pro realizaci tunelu Mrázovka byla zvolena metoda NRTM s tím, že v zastižených kritických místech, především pod zástavbou budou uplatněny sanační opatření (zpevňující injektáže prováděné v předstihu ze štoly, kotvení čelby, zesílení konstrukce štoly, zvýšení únosnosti v patách kaloty, mikrodeštníky, případně v místech s extrémně nepříznivými geologickými podmínkami pod zástavbou uplatnění kompenzačních injektáží), v nadzemní zástavbě se provede zesílení dle zjištěného stavu konstrukcí objektů a celá realizace bude probíhat jako souvislý komplex projektového návrhu, monitoringu, vyhodnocování účinků jednotlivých opatření a volby dalších upravených postupů a opatření jak v podzemí tak na povrchu.

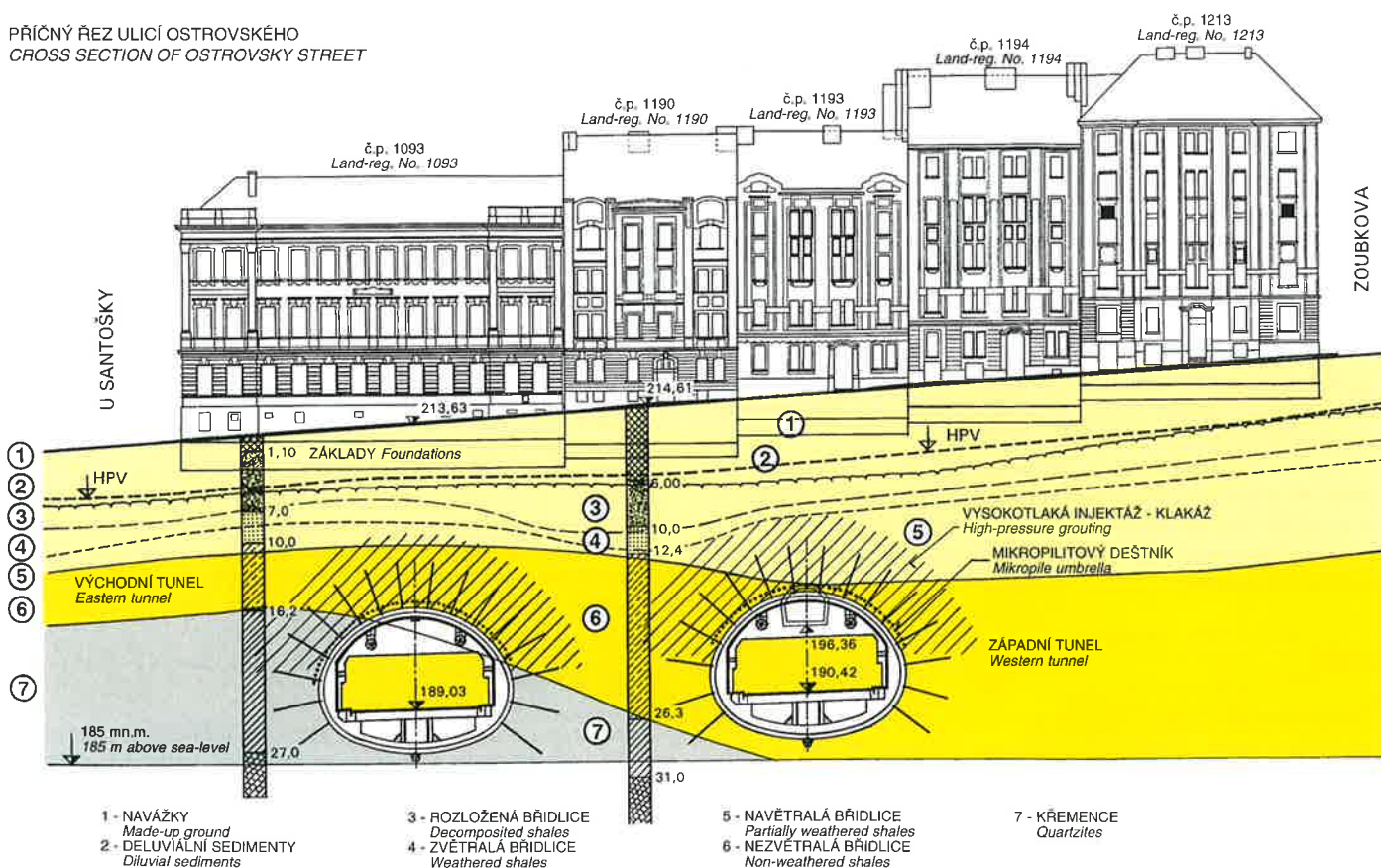
a tunnelling method with additional measures, both for the underground and surface construction. The own studies and expert's opinions elaborated to the study by Prof. Ing. Jiří Mencl, Prof. Ing. Jiří Barták, Dr.Sc., and Prof. Ing. PhDr. Zdeněk Eisenstein, Dr.Sc., and they recommended further procedure.

Till the stage of the project of driving technological methods there were observed two methods, both the method of the circumferential notch (Perforex) and the method NATM. Further, completing information of the engineering-geological survey proved that the application of the circumferential notch method would be very problematic, first of all with respect to positions of very hard Řevnice quartzites in the larger extent than it was originally expected. Another drawback of said method in conditions of the tunnel Mrázovka resided in the need to change two technologies which would result in the fact that the driving would not be continuous. It was proved that the optimum method for the tunnel Mrázovka is the technology of gradual stopes with a primary lining made of shotcrete, with reinforcing frames, mesh and radial anchoring, i.e. the NATM method, at which it is possible to realize various profiles of tunnels by means of a selected complex of machines, and it is possible to react quickly to sudden changes of the geological situation.

Information gained by evaluating the trial gallery, draw, though, attention to the fact that the geological situation and the technical condition of the surface housing does not allow to apply the NATM method without needed rescue measures both in the underground and for the surface housing.

To realize the tunnel Mrázovka there was selected the method NATM, and in respective critical places, especially under housing, there will be applied rescue measures (consolidation grouting performed in advance from the gallery, anchoring of the heading, reinforcing of the gallery structure, increase of the loading capacity in calotte feet, microumbrellas, eventually in places with extremely disadvantageous geological condition under housing by means of compensation grouting), in the surface housing there will be made a reinforcing according to the found out state of the building structures and the whole realization will be performed as a coherent complex of the design draft, monitoring, influence evaluation of individual measures and selection of further adapted processes and measures both in underground and on the ground.

PŘÍČNÝ ŘEZ ULICÍ OSTROVSKÉHO  
CROSS SECTION OF OSTROVSKÝ STREET



## PROJEKTOVÁ PŘÍPRAVA REALIZACE TUNELU MRÁZOVKA

Projektová příprava tunelu Mrázovka v úrovni DÚR a DSP probíhá v intencích stavebního zákona a předpisů souvisejících. Vydání územního rozhodnutí a stavebního povolení bylo u souboru staveb RAST pracově rozděleno na dvě stavby – 1. stavba ZTT a 2. stavba VTT. Kolaudace RAST bude probíhat jako celek.

Pro vytvoření uceleného podkladu pro realizaci RAST byly do projektové přípravy zahrnuty následující oblasti:

- projektová příprava vlastních trvalých investičních objektů, tunely ražené, tunely hloubené, funkčně související objekty, úpravy na funkčně souvisejících sítích a dopravní opatření,
- komplexní zhodnocení stávajícího stavu nadzemní zástavby, inženýrských sítí a staveb v rozsahu dotčeném realizací ražených podzemních objektů a návrh opatření na jejich ochranu,
- návrh rozsahu a systému měření a sledování při realizaci ražených podzemních objektů.

Uvedené oblasti projektové přípravy tvoří spolu s vlastní realizací raženého díla uzavřený proces, který se vzájemně doplňuje a zpětně ovlivňuje. Projektovou přípravu raženého díla lze považovat za ukončenou až po provedení díla s uzavřenou konstrukcí tunelové obezdívky a stabilizaci deformací.

Pro získání co nejlepších znalostí o horninovém prostředí v trase tunelů a možnosti jejich uplatnění při návrhu a realizaci je realizační dokumentace tunelu Mrázovka v rámci 1. i 2. stavby členěna na dílčí podobjekty, které zahrnují z hlediska geotechnického či hlediska technického kvazihomogenní celky, ve kterých se řeší, či dají očekávat obdobné problémy. Jako příklad lze uvést západní tunelovou troubu, která je členěna na 10 dílčích realizačních projektů ražeb. Součástí každé dílčí RD ražeb je statický výpočet matematického modelu metodou konečných prvků (MKP) v systému TUNNEL firmy RIB Bausoftware za účelem zjištění vnitřních sil v navrhované primární obezdívce a prognózy deformací během ražby ve vybraném profilu tunelu. V návrhu projektu „Měření a sledování při výstavbě tunelu Mrázovka“, jsou do těchto vybraných profilů umístěny kontrolní a vyhodnocovací profily s osazenými měřicími prvky jednotlivých druhů měření a sledování, tak aby se naměřené hodnoty mohly po vyhodnocení stát podkladem pro korekci matematického modelu a tím i přesnějším podkladem pro návrh dalšího úseku ražeb.

Na základě smluvního vztahu se společností SATRA zpracovává Metroprojekt a. s. v kritických místech ražby silničních tunelů srovnávací statický výpočet (MKP) v systému MISES, profil v ulici Ostrovského. Posouzení stejného řezu provedl v rámci DSP prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. a Dr. Ing. Jiří Pícha v systému FLAC 3.30.

S ohledem na realizaci tunelu Mrázovka ze dvou stavenišť, od severního portálu firmou Metrostav a. s. a od jižního portálu firmou Subterra a. s. byla zpracována realizační dokumentace prvních úseků ražeb od obou portálů, včetně zajištění jižního portálu.

Ve spolupráci se společností FG Consult s. r. o. a Zakládání staveb a. s. se dokončuje realizační projekt na provedení sanačních zpevňujících injektáží pro ZTT v úseku od severního portálu až k ulici U Nikolajky.

Pro dodavatele měření a sledování při výstavbě VIS a. s. a ve spolupráci s vybranými zhotoviteli PÚDIS a. s., Stavební geologie – Geotechnika a. s., Bartoš – Engineering, IKE s. r. o. a Angermeier engineers s. r. o. byla zpracována realizační dokumentace měření a sledování při výstavbě ZTT.

Pro dotčenou nadzemní zástavbu v rozsahu poklesové zóny ZTT (jedná se celkem o 49 domů) se průběžně zpracovává dokumentace, která obsahuje zjištění stávajícího stavu jednotlivých objektů, jejich pasportizaci, statické posouzení, návrh opatření na jejich ochranu při průchodu ražby tunelu a návrh měření a sledování při realizaci.

## ZÁVĚR

Šíře problematiky spojená s přípravou a realizací souboru staveb RAST, tunelu Mrázovka je natolik rozsáhlá a jistě i zajímavá, že považujeme tuto informaci za vstupní s tím, že v budoucnu předpokládáme orientovat další články na jednotlivé vybrané problémy jako jsou např. technologické postupy realizace, měření a sledování při výstavbě, větrání, požární bezpečnost, sanační a kompenzační injektáže ap.

## DESIGN PREPARATION OF THE MRÁZOVKA TUNNEL

The design preparation of the tunnel Mrázovka in the level required for the territorial decision and design for the building permit goes on in the tenor of the building law and related regulations. The issue of the territorial decision and the building permission as to the building complex RAST was from the working point of view divided in two structures, viz. the 1st structure WTT and the 2nd structure ETT. RAST will be approved as a whole.

To form a rounded-off background for realizing RAST, the following fields have been included in the design preparation:

- design preparation of the own permanent investment structures, driven tunnels, cut-and-cover tunnels, structures related as to function, adaptations of relayed networks and traffic measures,
- complex evaluation of the existing state of the surface housing, engineering networks and buildings within the extent affected by the realization of driven underground structures, and a design for their protection,
- design of the extent and system of measurements and monitoring during the construction of driven underground structures.

The mentioned fields of the design preparation form, together with the proper realization of the driven work, a closed process, which is mutually completed and affected in a feedback way. The project preparation of the driven work may be considered as completed after the work with a closed structure of the tunnel lining is finished and deformations stabilized.

For gaining the best knowledge of the rock surroundings along the tunnel route and possibility of its application in the design and construction, the working design (RD) of the tunnel Mrázovka within the 1st and 2nd structure is articulated in partial substructures which comprise, from the geotechnical or technical point of view, quasihomogeneous complexes, in which there are solved or can be expected analogous problems. As an example, we can mention the west tunnel tube which is articulated in 10 partial working driving designs. A structural analysis of a mathematical model by means of the method of final elements (MFE) in the system TUNNEL of the firm Bausoftware for finding out internal forces in the designed primary lining and the deformation prognosis during driving operations in a selected tunnel profile, forms a part of each partial RD. In the draft of the project "Measurements and monitoring during the Mrázovka tunnel" there are situated, in said selected profiles, inspection and evaluation profiles with installed measuring elements of individual kinds of measurement and monitoring, so that the measured values, after having been evaluated, may be the base for corrections of the mathematical model, and in this way a more precise base for designing the next section of driving.

On the basis of the contractual relation with the company SATRA, the company Metrostav a. s. is elaborating, for critical places of the car tunnel driving, a comparing structural analysis (MFE) in the system MISES, as to the profile in the Ostrovského street. The evaluation of the same cross section was made by Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. and Dr. Ing. Jiří Pícha in the system FLAC 3.30.

With respect to the realization of the tunnel Mrázovka in two building sites, from the northern portal by the firm Metrostav a. s. and from the southern portal by the firm Subterra a. s., there was elaborated the design of the first sections of drivings from both portals, including supporting the southern portal.

In cooperation with the company FG Consult s. r. o. and Zakládání staveb a. s., the design for performing reinforcing grouting concerning WTT in the section from the northern portal up to the street U Nikolajky is under completing.

The working drawings concerning measurements and monitoring during the construction of WTT was elaborated in cooperation with selected firms, viz. PÚDIS a. s., Stavební geologie – Geotechnika a. s., Bartoš – Engineering, IKE s. r. o. and Angermeier Engineers s. r. o., for VIS a. s., the contractor of measurement and monitoring during the construction.

Documents which includes the finding out of the existing state of individual buildings, their passportization, evaluation of statics, design of measures for their protection when driving the tunnel and the design for measurements and monitoring during the realization is elaborating in a running way for the respective surface housing within the extent of the WTT subsidence zone (it concerns 49 houses).

## CONCLUSION

Problems related to the preparation and realization of the RAST building complex, the tunnel Mrázovka is so extensive and interesting that this information can be considered as introductory, and we suppose to present further articles concerning selected individual problems such as technological processes of realization, measurement and monitoring during the construction process, ventilation, fire safety, rescue and compensating grouting, and the like.

## TUNEL BRANISKO – ZMENY V PROCESSE PROJEKTOVEJ PRÍPRAVY STAVBY

### THE BRANISKO TUNNEL – CHANGES IN THE PROCESS OF THE DESIGN PREPARATION OF ITS STRUCTURE

Ing. MILOSLAV FRANKOVSKÝ, TERRAPROJEKT, a. s. BRATISLAVA

Tunel Branisko už nikdy nestráti jeden slovenský historický primát, je totiž prvým tunelom, ktorého výstavba začala v rámci programu výstavby diaľnic a zároveň prvým veľkým podzemným dielom na Slovensku po desaťročiach útlmu tunelového staviteľstva. Pravdepodobne ale nebude prvým tunelom uvedeným do prevádzky vzhľadom na svoju dĺžku a z toho vyplývajúcou dobu výstavby, keďže by sa v najbližšom čase mala na Slovensku začať výstavba podstatne kratších tunelov. Nakoľko v prípade Braniska ide o diaľničný tunel dĺžky cca 5 km, náročnosť sa netýka len samotnej výstavby ale tiež prevádzkového technologického vybavenia tunela, najmä vetracieho systému. Vývoj projektového riešenia odráža na jednej strane širokú škálu účastníkov procesu projektovej prípravy tunela a na druhej strane nedostatočnú normovú bázu, ktorá sa prípad od prípadu dopĺňala o prvky najmä rakúskych smerníc a noriem. Turbulencie, ktorými sa tento proces vyznačoval sú logickým sprievodným javom výnimočnosti opísanej v predošlých vetách.

The tunnel Branisko will never lose one Slovak historical primacy. It is the first tunnel, the construction of which started within the plan for building up motorways, and at the same time it was the first big underground work in Slovakia after several decades of the tunnel building suppression. It will be likely not the first tunnel set into operation, with respect to its length and from that fact the resulting building period, because very soon there will be started construction of considerably shorter tunnels in Slovakia. As in case of the tunnel Branisko it concerns a motorway tunnel being about 5 km long, demands do not concern the proper building up only, but the operational technological outfit as well, especially the ventilation system. The development of the project solution reflects, on the one hand, a wide scale of participants of the process of the tunnel design preparation and, on the other hand, an insufficient basis of standards which is, case by case, completed with elements especially of Austrian directives and standards. Turbulences which characterized said process, are the logical incidental phenomenon of the exceptionality described in previous sentences.

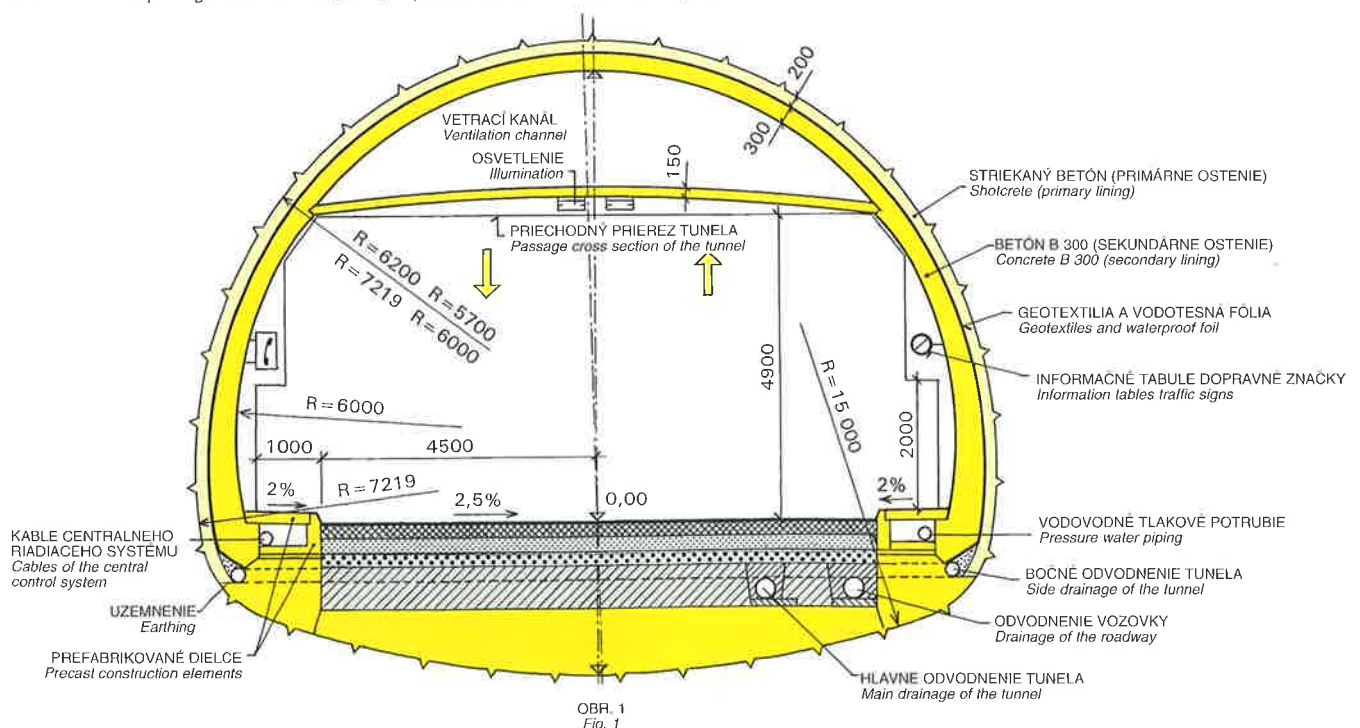
#### ZÁKLADNÉ ÚDAJE

Tunel Branisko je súčasťou stavby úseku diaľnice D 1 Beharovce–Branisko, nachádzajúceho sa na východnom Slovensku, zhruba na polceste medzi

#### BASIC DATA

The Branisko tunnel is a part of the motorway structure D 1 Beharovce–Branisko, taking place in the Eastern Slovakia, approximately in the

PRIEČNY REZ S PREJAZDNÝM PRIEREZOM 9,0x4,8m, PLOCHA VETRACIEHO KANÁLU 13,8m<sup>2</sup>  
Cross section with the passage cross section 9,0 x 4,8 m, area of the ventilation channel 13,8 m<sup>2</sup>



OBR. 1  
Fig. 1

Levočou a Prešovom. Branisko je asi 20 km dlhý horský hrebeň s nadmorskou výškou medzi 950 až 1300 m n. m., situovaný v severo-južnom smere, teda približne kolmo na trasu diaľnice. Súčasný cestný prechod štátnej cesty I/18 je vedenný sedlom s príznačným menom „Chvalabohu“. Tento horský prechod s veľmi zlými jazdnými podmienkami najmä v zimnom období bude nahradený spomenutým úsekom diaľnice, ktorý prekoná masív Braniska približne 5 km dlhým rovnomerným tunelom.

Tunel bude mať v prvej etape jednu, južnú tunelovú rúru s obojsmernou prevádzkou, ktorá by mala kapacitne postačiť na obdobie minimálne 15 rokov, keď by mala byť vybudovaná a do prevádzky uvedená druhá, severná tunelová rúra.

Výstavba tunela začala v roku 1996, keď v apríli 1996 začalo razenie prieskumnej štôlne v trase budúcej, severnej tunelovej rúry. Štôlna bola prerazená v decembri 1997 a okrem toho, že poskytla cenné poznatky o geologickom prostredí, bude využitá i v ďalšom období. Po uvedení južnej tunelovej rúry do prevádzky bude štôlna plniť funkciu únikovej cesty pre osoby.

Samotné razenie tunela od oboch portálov začalo v máji 1997. Dodávateľom stavebnej časti tunela je Združenie Branisko, ktoré okrem lídra Vodohospodárskej výstavby š. p., tvoria Banské stavby a. s., Hydrostav a. s., Váhostav a. s. a Združenie Spiš (tvorené spišskými firmami Želba a. s., Uranpres s. r. o. a Geotechnik s. r. o.). Spracovateľom realizačnej projektovej dokumentácie je Terraprojekt a. s. Bratislava.

Dodávateľom technologickú (elektro-mechanickej) časti tunela je Křížik a. s. Prešov, ktorý bol vybraný verejnou súťažou vyhodnotenou vo februári 1998.

## TECHNOLÓGIA VÝSTAVBY

Niekoľkodesiatročné obdobie, v ktorom sa na Slovensku nebudovali podzemné stavby veľkých prierezov, vyvolávalo otázky spôsobilosti dodávateľských firiem zabezpečiť razenie v požadovanej kvalite a časových súvislostiach zodpovedajúcich európskym štandardom, určeným najmä v alpských krajinách aplikovanými postupmi Novej rakúskej tunelovacej metódy. Prítom však niektoré slovenské firmy okrem skúseností s výstavbou štôlní a maloprofilových tunelov pre komunálne potreby, pre banské alebo vodohospodárske účely disponovali skúsenosťami s výstavbou dopravných tunelov, ktoré získali v zahraničí, najmä v Nemecku.

Aktuálny stav razenia tunela Branisko dáva za pravdu tým, ktorí dôverovali schopnostiam a možnostiam domácich dodávateľských firiem. Obe razičské firmy, Banské stavby a Združenie Spiš v úzkej spolupráci s rakúskymi tunelárskymi expertmi zabezpečenými prostredníctvom Terraprojektu z renomovaných firiem ILF Innsbruck a Angermeier, zvládli technológiu výstavby podľa princípov Novej rakúskej tunelovacej metódy.

Ako už bolo uvedené, razenie tunela začalo v máji 1997 a po zvládnutí najnáročnejších geologických podmienok v priortálových úsekoch (ktoré boli pri razení tunela prekonané rýchlejšie a bezproblémovjšie než pri razení prieskumnej štôlne!) sa v roku 1998 tempo razenia značne zrýchlilo a v júli 1998 bola už vyrazená polovica dĺžky tunela. Predpoklad prerazenia kaloty je v máji 1999, keď priemerné mesačné výkony sa v súčasnosti pohybujú na úrovni 300 m (spolu od oboch portálov).

## PRIEČNY REZ TUNELA

Príkladom kľukatosti ciest, ktorými sa proces prípravy tunela uberal, je jeden zo základných návrhových prvkov – priechyň rez tunela.

V roku 1995 spracoval Geoconsult Bratislava technickú štúdiu, v ktorej navrhoval priechyň rez na základe platnej normy STN 73 7507 s prejazdovým prierezom výšky 4,8 m a šírkou vozovky medzi obrubníkmi 9,0 m. Takto navrhnutý priechyň rez (na obr. 1 priechyň rez so spodnou klenbou pre najhoršie horninové prostredie) predstavoval plochu výrubu od 93,3 m<sup>2</sup> do 108,9 m<sup>2</sup>, v závislosti od triedy výrubu. Plocha vetracieho kanálu nad dopravným priestorom bola 13,8 m<sup>2</sup>.

V tom čase si už investor Slovenská správa ciest za podpory odbornej tunelárskej verejnosti plne uvedomoval rozpor medzi platnými technickými normami určujúcimi prejazdový prierez rozmerov 9,0 x 4,8 m a štandardmi platnými v európskych i mimo európskych krajinách, ktorý by viedol k zbytočnému predražovaniu výstavby.

V roku 1995 bola pre investora vypracovaná expertná štúdia (autor tohto príspevku patril do kolektívu jej spracovateľov), v ktorej boli zhodnotené štatistiky existujúcich cestných tunelov, zhmútené normy a smernice platné v tunelársky vyspelých krajinách i odporúčania odborných medzinárodných asociácií vzhľadom na ekonomické, prevádzkové a bezpečnostné aspekty priechyňového rezu cestného tunela. Na základe záverov tejto štúdie bola pre pripravované tunely na diaľničnej sieti udelená výnimka z STN 73 7507 a súvisiacich noriem, povoliujúca prejazdový prierez rozmerov 7,5 x 4,5 m. Táto redukcia môže podľa štúdie predsta-

half way between Levoča and Prešov. Branisko is a mountain ridge about 2 km long, 750 up to 1300 m above sea level, situated in the north-southern direction, i.e. approximately perpendicularly to the motorway. The present passage of the state road I/18 goes through the saddle with the characteristic name "thank God". Said mountain passage with bad driving conditions, especially during winter, will be replaced with said motorway section, which will cross the Branisko massif through a tunnel, about 5 km long.

The tunnel, within the first stage, will be formed by one tunnel tube with two-way direction traffic, the capacity of which should be sufficient for the period of 15 years at least, and then there should be built up and set into operation the other northern tunnel tube.

The work started in the year 1996, when, in April 1996, there started the driving of the trial gallery in the alignment of the future northern tunnel tube. The gallery was driven through in December 1997, and besides the fact that it provided valuable knowledge on geological conditions, it will be utilized even within the future period. After setting the southern tunnel tube into operation, the gallery will have the function of an escape passage for persons.

The proper tunnel driving on both mouths started in May 1997. Združenie Branisko joint venture is the contractor for the building part of the tunnel. Together with Vodohospodárska výstavba š. p. – the leader contractor, Banské stavby a. s., Hydrostav a. s., Váhostav a. s. and Združenie Spiš (consisting of Spiš firms Želba a. s., Uranpres s. r. o. and Geotechnik s. r. o.) form the joint venture. Terraprojekt a. s. Bratislava is the elaborator of the designs and working drawings.

Křížik a. s. Prešov which was selected in a tender evaluated in February 1998 is the supplier of the technological (electrical-mechanical) part of the tunnel.

## CONSTRUCTION METHODS

Several decade period, in which no underground structures of large cross sections were built, caused questions concerning the ability of contractors to perform driving works in the requested quality and in the chronological linking up, corresponding with European standards designed especially for the New Austrian Tunnelling method applied in regions of the Alps. But some Slovak firms, besides experience with building galleries and small profile tunnels for communal needs, for mining purposes or water industry ones, have experience with construction of transport tunnels gained abroad, especially in Germany.

The actual situation in driving the tunnel Branisko shows that those experts who trusted the ability and possibilities of domestic contractors, were right. Both driving firms, viz. Banské stavby and Združenie Spiš, in a close cooperation with Austrian tunnel experts of prestigious firms such as ILF Innsbruck and Angermeier, which was mediated by Terraprojekt, coped with the driving techniques according to principles of the New Austrian Tunnelling method.

As it has been already mentioned, the tunnel driving started in May 1997 and after having coped with most difficult geological conditions in portal sections (which were at driving the tunnel overcome quicker and with less problems than at driving the trial gallery!), the driving progress was considerably accelerated and in July 1998 one half of the tunnel length has been already driven. The calotte break through is expected in May 1999, because the average monthly outputs represent about 300 m (together from both portals).

## CROSS SECTION OF THE TUNNEL

One of the basic design elements – the cross section of the tunnel, is an example of problems relating to the tunnel preparation process.

In the year 1995 the firm Geoconsult Bratislava elaborated a technical study, where the cross section was designed according to the valid standard STN 73 7507, with the traffic clearance height of 4.8 m, and the roadway width between curb stones should be 9.0 m. The cross section designed in this way (Fig. 1 – the cross section with the invert for the worst rock conditions) represented the excavated cross section area from 93.3 m<sup>2</sup> up to 108.9 m<sup>2</sup> in dependence upon the rock class. The area of the ventilation channel over the transport space was 13.8 m<sup>2</sup>.

At that time, the investor Slovak Road Administration, supported by tunnelling experts, was fully aware of the contradiction between valid technical standards determining the traffic clearance dimensioned 9.0 x 4.8 m and standards valid in European countries even outside Europe, which would cause a useless overpricing of the construction.

In the year 1995 there was elaborated an expert's study for the owner (the author of this article was a member of the elaborator team), in which statistic data of existing road tunnels were evaluated, standards and directives valid in regions advanced in tunnel engineering, as well as recommendations of professional international associations with respect to economic, operational and safety aspects of road tunnel cross sections were summarized. With respect to conclusions of said study, an exception from the state technical standard 73 7507 and related standards was granted for prepared tunnels of the motorway network, which allows the traffic clearance of dimensions 7.5 x 4.5 m. Said reduction can



vovať na pripravovaných diaľničných tuneloch celkovej dĺžky cca 40 km úspory nákladov v hodnote viac než 2 miliardy Sk v cenovej úrovni roku 1995.

Ďalšie projektové stupne, dokumentáciu pre územné rozhodnutie a dokumentáciu pre stavebné povolenie spracovali INCO-Banské projekty s. r. o. Bratislava. V dokumentácii pre územné rozhodnutie bol už priečný rez navrhnutý s prejazdovým prierezom v zmysle výnimky z normy. Projektant v návrhu vetrania stanovil potrebnú plochu vetracích kanálov v hodnote 16 m<sup>2</sup> a navyše umiestnil pod vozovkou kolektor pre inžinierske siete, takže výsledná plocha priečného rezu sa pohybovala od 89,4 m<sup>2</sup> do 105,7 m<sup>2</sup>. Takýto priečný rez tunela bol použitý v podkladoch verejnej súťaže na dodávku stavebnej časti (obr. 2).

V súťažnom výbere obstarávateľa bolo úspešné Združenie Branisko, ktoré v ponuke predložilo alternatívny technický návrh. Tento návrh sa od súťažných podkladov odlišoval vo viacerých parametroch. Čo sa týka priečného rezu tunela, v súťažnom návrhu bol z priečného rezu vynechaný kolektor a vetrací kanál nad medzistropom podľa alternatívneho návrhu vetrania postačoval s plochou v hodnote 12 m<sup>2</sup>.

Vzhľadom na vzájomnú rozpornosť dvoch navrhnutých systémov vetrania (INCO-BP a Terraprojekt/ILF), zadal investor nezávislým zahraničným expertom spracovanie posudkov k obom návrhom. Na základe záverov týchto posudkov určil investor plochu vetracích kanálov v hodnote 14 m<sup>2</sup>.

Výsledný priečný rez podľa návrhu spracovateľa realizačnej dokumentácie Terraprojektu a. s. (obr. 3) je už definitívnym, podľa ktorého sa výstavba tunela realizuje.

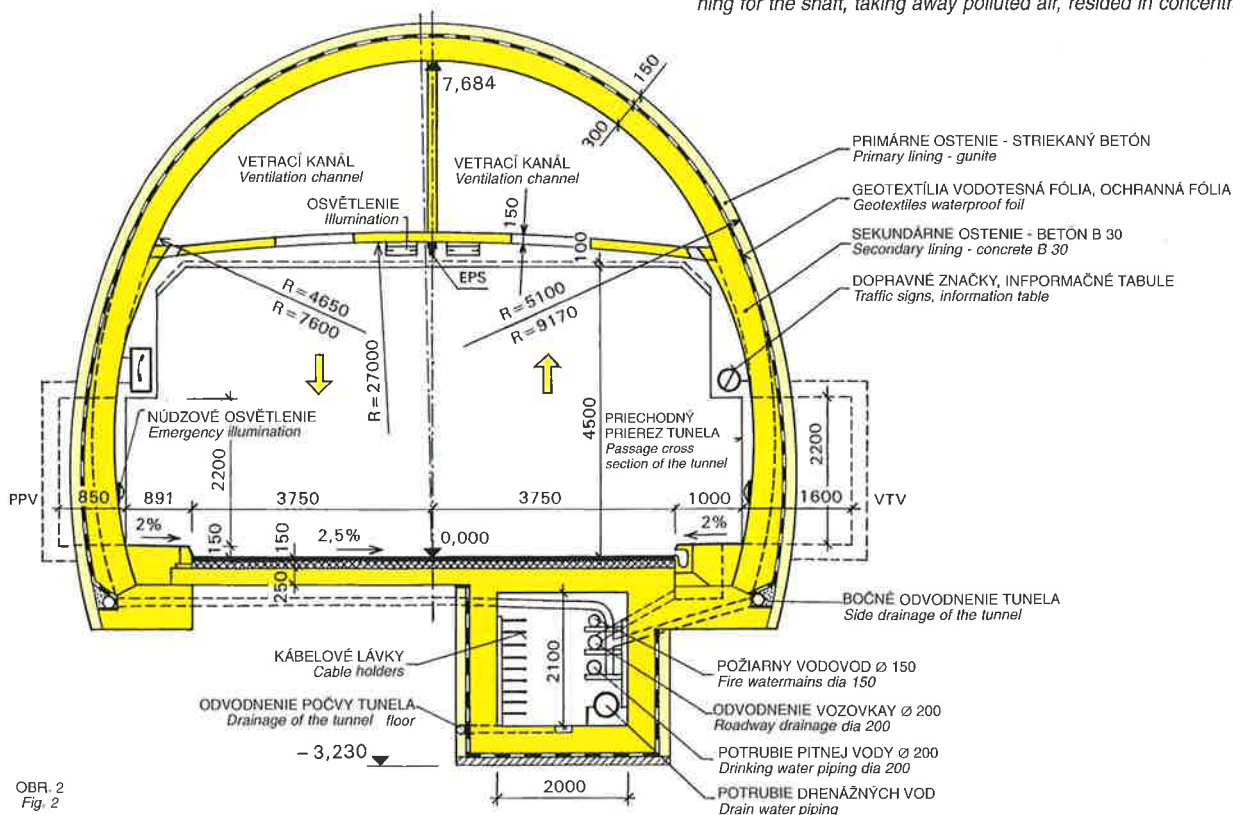
Plocha tohto priečného rezu je v závislosti na triede výrubu v hodnote od 83,2 m<sup>2</sup> pre triedu II. až po 102,7 m<sup>2</sup> pre triedu VI. so spodnou klenbou.

## VETRIANIE

Pretrvávajúcim sporným bodom pri výstavbe tunela Branisko zostávalo prevádzkové vetranie. Rozdielnosť prístupu jednotlivých projekčných firiem sa odrazila v diametrálne odlišných návrhoch vetracieho systému. K ekonomickému porovnaniu jednotlivých variantov zatiaľ nedošlo, skutočné náklady na systém vetrania so šachtou však budú v konečnom dôsledku známe a budú môcť byť porovnané s alternatívnymi návrhmi.

Návrh vetrania v technickej štúdií spracovanej Geoconsultom predpokladal polopriečne vetranie s rozdelením tunela na dva vetracie úseky. Čistý vzduch by bol vŕhaný do dopravného priestoru prostredníctvom kanálu nad dopravným priestorom plochy 13,8 m<sup>2</sup> a znečistený vzduch by vychádzal cez oba tunelové portály.

PRIEČNY REZ PREJAZDNÝM PRIEREZOM 7,5x4,5m,  
PLOCHA VETRACÍCH KANÁLOV 16,0m<sup>2</sup>  
Cross section with the passage cross section 7.5 x 4.5 m, area of the ventilation channel 16.0 m<sup>2</sup>



OBŘ. 2  
Fig. 2

represent, according to the study, as to prepared motorway tunnels of the total 40 km length, a cost saving in the amount of more than 2 milliard Sk in the price level of the year 1995.

Other project stages, the documentation for the territorial decision and the documentation for the building permit were elaborated by INCO-Banské projekty s. r. o. Bratislava. In the documentation for the territorial decision, the cross section was designed with the traffic clearance according to the exception from the standard. The designer in the ventilation design determined the needed area of ventilation channels in the value of 16 m<sup>2</sup> and, more over, there was situated a duct for engineering networks under the roadway, so that the resulting area of the cross section moved from 89.4 m<sup>2</sup> up to 105.7 m<sup>2</sup>. Such a tunnel cross section was applied in documents for the public tender concerning the building part delivery (Fig. 2).

In the tender selection there was successful Združenie Branisko which presented in the offer an alternative technical design. Said design differed from the tender documents in several parameters. As to the tunnel cross section, the services was omitted in the tender project and the ventilation channel over the intermediate ceiling slab, according to the alternative design, was sufficient with the area of 12 m<sup>2</sup>.

With respect to mutual contradictions of two designed ventilation systems (INCO-BP and Terraprojekt/ILF), the owner requested independent foreign experts to elaborate expert's opinions for both designs. With respect to said expert's opinions, the owner laid down the area of ventilation channels in the value of 14 m<sup>2</sup>.

The resulted cross section according to the design of the elaborator of the working drawings, i.e. Terraprojekt a. s. (Fig. 3), is now final and the tunnel construction is carried out according to it.

The area of said cross section depends upon the slope class in the value from 83.2 m<sup>2</sup> for the class II. up to 102.7 m<sup>2</sup> for the class VI with the invert.

## VENTILATION

Operational ventilation stayed the questionable point as to the construction of the Tunnel Branisko. The different points of view of individual firms were reflected in completely different projects for the ventilation system. The economic comparison of individual variants was not yet made, real costs for the system with the shaft, though, will be known in the final consequence and it will be possible to compare them with the alternative design.

The design how to solve the ventilation, included in the technical study elaborated by Geoconsult, suggested a semi-transverse ventilation with dividing the tunnel to two ventilation sections. Fresh air would be driven into the transport area by means of a channel over the transport space of the area of 13.8 m<sup>2</sup>, and polluted air would go out through both tunnel portals.

In the next documentation stage, the designer INCO-BP proposed a combined ventilation system with an intermediate ventilation shaft. The reason of the designing for the shaft, taking away polluted air, resided in concentration of pollutants

V ďalšom stupni dokumentácie navrhol projektant INCO-BP kombinovaný systém vetrania s medzilahlou vetracou šachtou. Dôvodom pre návrh šachty plniacej funkciu odvádzania znečisteného vzduchu boli koncentrácie škodlivín na portáloch prevyšujúce zákonom stanovené limity. Vzhľadom na vzdialenosť cca 350 m od najbližšej zástavby pri západnom portáli však bolo možné predpokladať dostatočný rozptyl škodlivín, čo ale nebolo preverené imisnou štúdiou.

Navrnutý systém vetrania delil tunel na štyri vetracie úseky, pričom v jednom úseku bol tunel vetraný pozdĺžne, v dvoch polopriečne s odvádzaním znečisteného vzduchu a v jednom polopriečne s privádzaním čistého vzduchu. Potrebná plocha vetracích kanálov pre polopriečne vetranie bola 16 m<sup>2</sup>. Odvádzanie znečisteného vzduchu bolo zabezpečené šachtou hĺbky 120 m, nachádzajúcou sa približne v polovici dĺžky tunela.

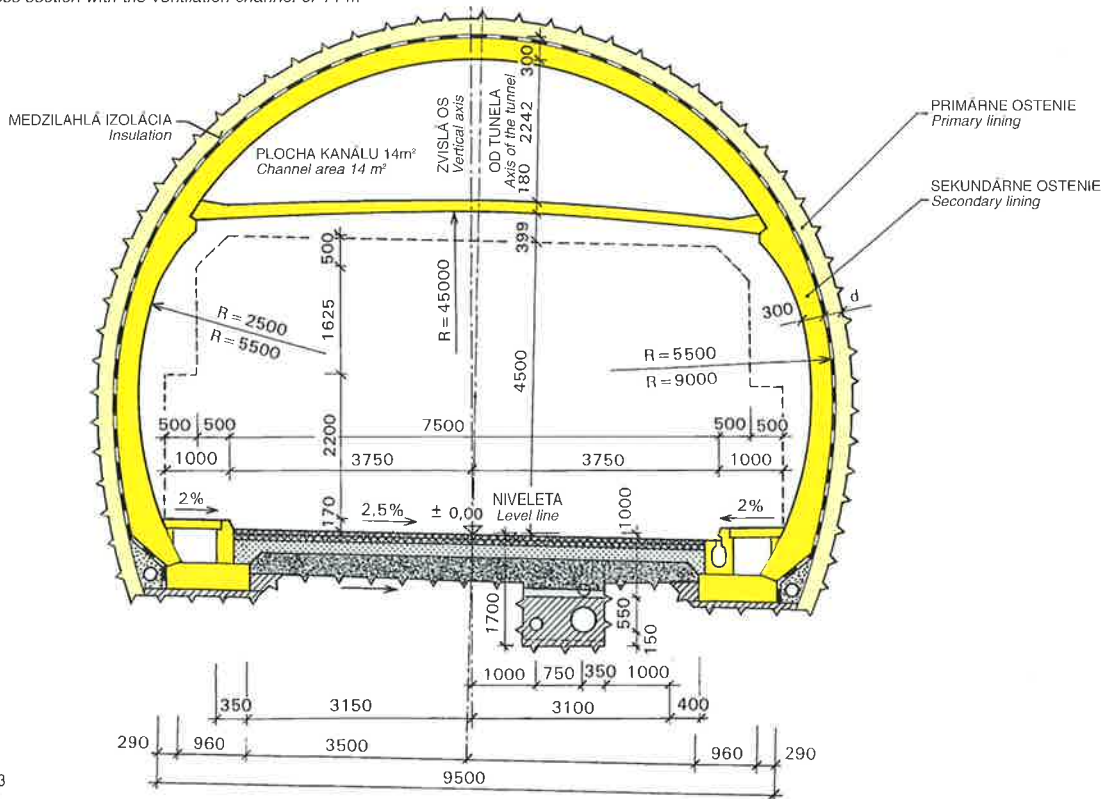
Alternatívny technický návrh, ktorý do súťaže podalo Združenie Branisko vychádzal z odlišného systému vetrania. Návrh vetrania vypracoval ILF Innsbruck pre spracovateľa realizačnej dokumentácie Terraprojekt. V alternatívnom riešení bolo navrhnuté polopriečne vetranie bez medzilahlej šachty s odvádzaním znečisteného vzduchu cez portály. Potrebná plocha vetracích kanálov

on portals; the quantity of pollutants, though crossed limits determined by law. However with respect to the distance of about 350 m from the nearest built-up area at the western mouth, it was possible to suppose a sufficient scattering of pollutants, which was, though, not tested by means of an immission study.

The proposed ventilation system divided the tunnel in four ventilation sections. In one section, the tunnel was ventilated longitudinally, in two sections in a semi-transverse way with taking away polluted air, and in one section in a semi-transverse way with delivering fresh air. The needed area of the ventilation channels for the semi-transverse ventilation was 16 m<sup>2</sup>. The taking away of polluted air was secured by means of a shaft being 120 m deep, taking place approximately in the middle of the tunnel length.

The alternative technical design sent to the public tender by Združenie Branisko was based on a different ventilation system. The ventilation system was elaborated by ILF Innsbruck for the Terraprojekt which was the elaborator of the realization documentation. In an alternative solution there was proposed a semi-transverse ventilation without any intermediate shaft, with taking away polluted air through tunnel mouths. The needed area of ventilation channels was determined in the value of 12 m<sup>2</sup>. A scattering study, which proved that the pollution

DEFINITIVNY PRIEČNY REZ S PLOCHOU VETRACIEHO KANÁLU 14m<sup>2</sup>  
Final cross section with the ventilation channel of 14 m<sup>2</sup>



bola stanovená v hodnote 12 m<sup>2</sup>. Súčasťou návrhu bola i rozptylová štúdia, ktorá preukázala, že koncentrácie škodlivín v zastavanej oblasti pri západnom portáli nepresahujú zákonom stanovené limity.

Ako už bolo uvedené, investor rozhodol na základe posudkov zahraničným expertom o veľkosti vetracích kanálov v priečnom reze tunela. Otázka konečného výberu vetracieho systému však zostala nezodpovedaná až do vyhodnotenia súťaže na technologickú časť tunela. Vybraný uchádzač Křížik Prešov v svojej ponuke predložil návrh polopriečného vetrania s medzilahlou šachtou, čím sa dlho otvorený problém definitívne uzavrel.

## ZÁVER

Uvedený vývoj technických riešení odrážal nielen odlišné prístupy jednotlivých projekčných kancelárií ale tiež výnimočnosť procesu spôsobenú faktom, že šlo o prvý tunel z celej série pripravovaných tunelov, ktorý ale bude patriť vďaka svojej dĺžke medzi stavebne i prevádzkovo najnáročnejšie. V neposlednej miere sa na problémoch podieľal i nedostatočný stav normových podkladov, ktorý bol jednotlivými projektantmi prípad od prípadu dopĺňaný o ustanovenia noriem a smerníc tunelársky vyspelých európskych krajín, najmä rakúskych. Každopádne však môžeme konštatovať, že tunel Branisko bude po uvedení do prevádzky predstavovať dielo s prevádzkovými i bezpečnostnými parametrami zodpovedajúcimi medzinárodným štandardom.

concentrations in the built-up area at the western tunnel mouth do not cross the determined limits, was a part of the project.

As it has been already mentioned, the owner decided, with respect to foreign expert's opinions, the problem concerning sizes of ventilation channels in the cross section of the tunnel. The question of the final selection of the ventilation system, though, stayed not answered till the public tender concerning the technological part of the tunnel was evaluated. The selected applicant, viz. Křížik Prešov, presented in its offer the design for a semi-transverse ventilation with an intermediate shaft, and so said problem, lasting for a long time, was finally solved.

## CONCLUSION

The mentioned development of technical solutions reflected not only different standpoints of individual design offices, but also the exceptionality of the process caused by the fact that it was the first tunnel of the whole series of prepared tunnels, which, though, with respect to its length, will be one of the most exacting both from the building point of view and from the operational one. An insufficient situation as to standard documents which were completed, case by case, by individual designers with provisions of standards and directives of regions advanced in tunnel building, especially of Austria. In any case one can state that the tunnel Branisko, after being set into operation, will represent a work having operational and safety parameters corresponding with international standards.

# INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ POMĚRY TŘEBOVICKÉHO TUNELU

## ENGINEERING-GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE TŘEBOVICE TUNNEL

Ing. JIŘÍ PAVLÍK, CsC., GEOTEST BRNO, a. s.

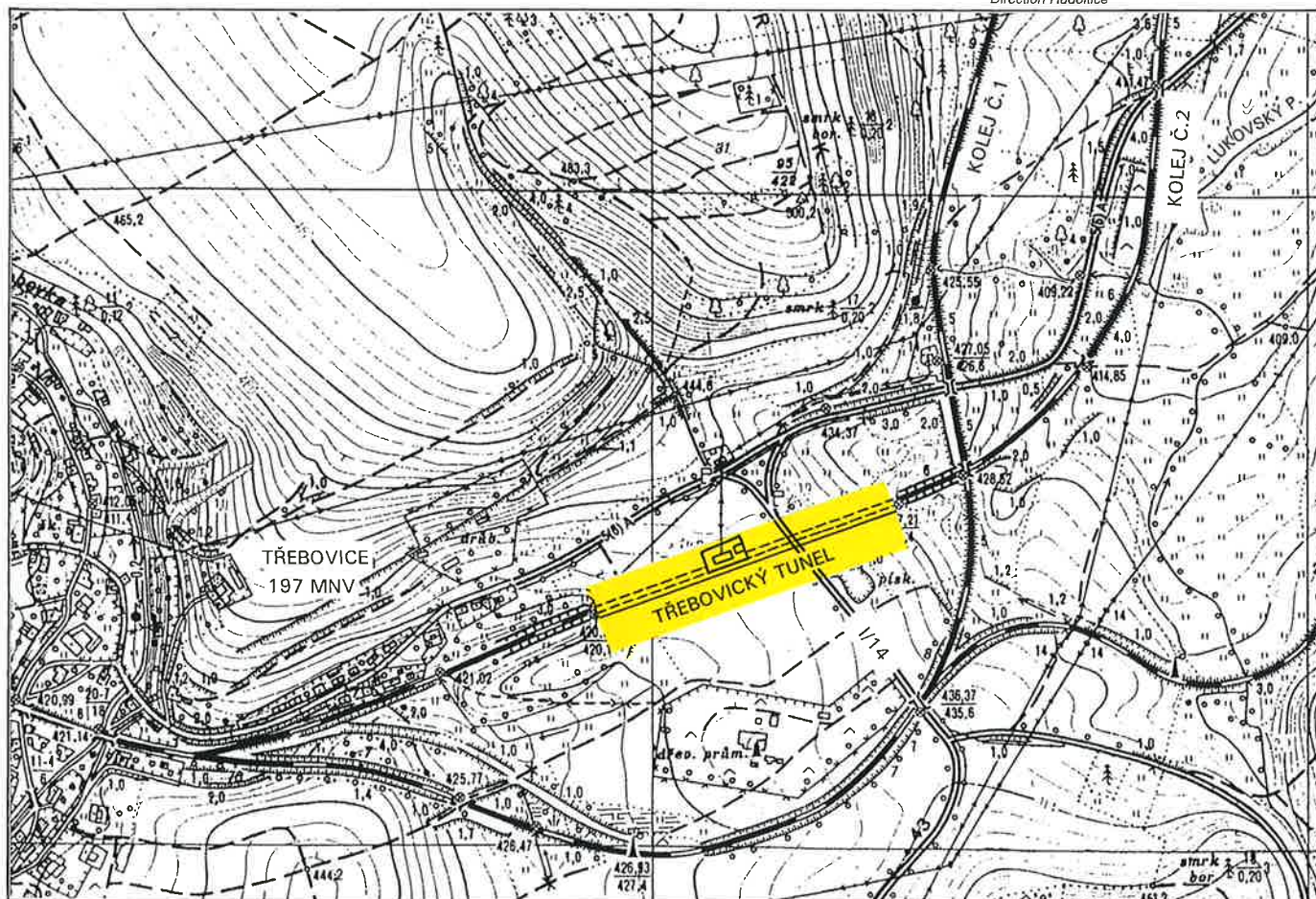
Jedním ze dvou tunelů na trati Česká Třebová–Olomouc je jednokolejný 512 m dlouhý třebovický tunel nacházející se mezi stanicemi Třebovice v Čechách a Rudoltice. Tunel má být rekonstruován v rámci modernizace a optimalizace II. železničního koridoru. Nutnost rekonstrukce spočívající především ve zvětšení průjezdného profilu vyvolala potřebu detailního vyšetření inženýrsko-geologických poměrů a stanovení hodnot geotechnických vlastností masivu tunelem proraženého potřebných pro vypracování projektu rekonstrukce.

Tunel byl vystavěn původně jako dvoukolejný v letech 1842–1845 v rámci

One of the tunnels of the railway track Česká Třebová–Olomouc is a single-track, 512 m long Třebovice tunnel, situated between stations Třebovice in Bohemia and Rudoltice. The tunnel is to be subject to reconstruction within modernizing and upgrading the II<sup>nd</sup> railway corridor. The necessity of the reconstruction, residing above all in enlarging the traffic clearance, caused the need of a detailed finding out of engineering-geological conditions and the determination of geotechnical properties of the rock in which the tunnel was driven, viz. those ones needed for elaborating the design of reconstruction.

SITUACE TŘEBOVICKÉHO TUNELU  
Lay-out of the Třebovice tunnel

SMĚR RUDOLTICE  
Direction Rudoltice



stavby železnice Olomouc–Praha. Jeho stavitelé vedení snahou o co nejpříznivější spádové poměry však nezvolili jeho lokalizaci šťastně, neboť jej umístili do sedla rozdělujícího Hřebečový hřeben, do části budované tercierními jíly prostoupenými polohami zvodněných písků – horninami pro ražbu tunelu krajně nepříznivými.

Tunel byl vyražen s nesmírnými obtížemi projevujícími se zavalováním, komínováním a především zvedáním dna a nadměrným sedáním opěr. Byl vystrojen zdívmem z pískovcových kvádrů – z materiálu, jak se později ukázalo, špatně vzdorujícímu agresivnímu prostředí parního provozu v tunelu.

Další obtiže nastaly již krátce po zahájení železničního provozu. Docházelo k boulení počvy a k deformaci klenby, která musela být rozepírána dřevěnými výztuhami, do značné míry omezujícími provoz v tunelu. Poruch postupem času přibývalo, což nakonec vyústilo v opuštění tunelu v roce 1866 a převedení železniční dopravy na nově vybudovanou trať povrchově vedenou s horšími spádovými poměry, především se strmějším sklonem na rudoltské straně.

Při zdvoukolejňování železnice v době první republiky bylo rozhodnuto využít tunel pro jednokolejný provoz ve směru od Rudoltic a pro opačný směr povrchovou trať, čímž by se bylo možno vyhnout nepříznivému stoupání na této trati. Tunel však byl již z velké části zavalen a oba jeho portály byly zničeny. Rekonstrukce, jež byla ukončena v roce 1932, proto probíhala opět s velkými obtížemi. Obezdvíčka jednokolejného tunelu byla vložena do většího profilu původního dvoukolejného tunelu v jeho relativně neporušených částech, v úsecích se zdeformovanou původní obezdívku bylo nutno starou obezdívku na mnohých místech odstranit. Nová obezdívka byla vytvořena z bloků frýdbergské žuly (ze žulovského plutonu v Rychlebských horách) považované za jeden z nejkvalitnějších kamenných materiálů. Přesto po cca 20 letech provozu bylo nutno na části tunelu klenbu rekonstruovat vložením ocelových válcovaných profilů zalitých betonem.

Materiál z výrubu tunelu a předzářezů byl uložen na povrchu území přímo nad tunel a do blízkosti hran zářezů v západní části (až k silnici I/14 přecházející napříč tunel přibližně v polovině jeho délky) ve vrstvě cca 2 m mocné, ve východní části je vrstva slabší a nepokrývající celé vymezené území.

Průzkum pro rekonstrukci tunelu proběhl ve dvou etapách. Předběžný průzkum uskutečnený SGS Praha v roce 1996 byl zaměřen na získání povšechných informací o masivu, jeho základních charakteristik i charakteristik výplně dřívějších tunelových kominů. V této etapě byly provedeny 4 vrty situované na povrchu (mimo prostor tunelu), odběr vzorků zemin a laboratorní zkoušky.

Druhou etapou byl průzkumný podrobný, jež realizoval GEOTest Brno, a. s., v letech 1997–1998. Jeho cílem bylo zjištění skutečných rozměrů stávající tunelové obezdívky včetně spodní klenby, makroskopický popis složení konstrukce stávající tunelové obezdívky, zjištění skladby a stavu horninového masivu v nejbližším okolí stávající tunelové obezdívky, stanovení indexových, přetvárných a pevnostních charakteristik zemin za opěrami a klenbami tunelu a určení agresivity podzemní vody na stavební materiály. K tomu účelu bylo uvnitř tunelu vyhloubeno celkem 64 maloprofilových jádrových vrtů # 56 mm do ostění délky 2–4,7 m (v závislosti na celkové tloušťce obezdívky) uspořádaných do 9 vějířů a 8 jádrových vrtů # 137–178 mm do počvy tunelu dlouhé až 10 m. Z vrtů byly odebrány vzorky jak zemin za obezdívku, tak i vlastního materiálu ostění. Byla rovněž vzorkována podzemní voda jejím odběrem z vrtů i míst soustředěného výtoku.

Odebrané vzorky zemin byly podrobeny zkouškám a rozborům v laboratoři mechaniky zemin a. s. GEOTest Brno. Zkoušenými zeminami byly především soudržné zeminy obklopující ostění tunelové trouby – jily převážně třídy F8, výjimečně F6 (ve smyslu ČSN 73 1001 Základová půda pod plošnými základy). Minimum vzorků reprezentovalo ojedinělé izolované vložky hlinitých až jílovitých

The tunnel was built originally as a double-track tunnel within the years 1842 to 1845 during building the railway track Olomouc–Prague. Its constructors, though, trying to achieve optimum gradient conditions, did not select its location well, because they located it in a saddle dividing the Hřebečov mountain ridge, in the part formed by tertiary formation clays pervaded with positions of saturated sands – i.e. in rocks extremely inconvenient for driving tunnels.

The tunnel was driven with extreme difficulties resulting in breaks and caving in, and, above all, in rising the bottom and in an excessive settlement of side walls. It was provided with masonry made of sandstone blocks – i.e. of material, which is not resistant against aggressive environments of the steam operation in the tunnel.

Further problems appeared just after the railway transport was set into operation. Floor bulging and deformations of the vault took place. The roof arch had to be expanded by means of wooden braces which considerably limited the operation in the tunnel. Defects increased in the course of the time which results at last in stopping the operation in the tunnel in the year 1866 and in replacing the railway transport onto the newly built up track situated at grade but with worse gradient conditions, especially with a steeper gradient towards Rudoltice.

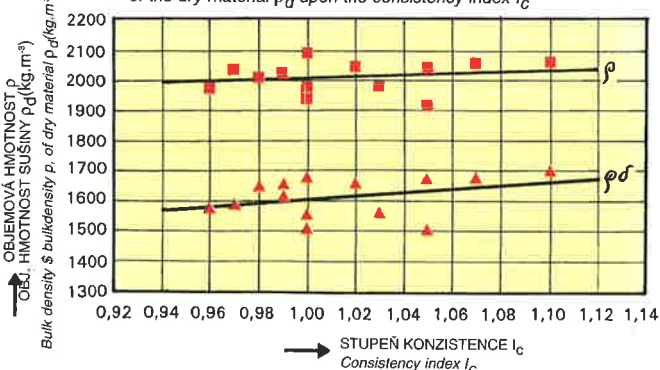
When arranging the single-track operation during the years of the first republic, it was decided to use the tunnel for the single-track operation in the direction from Rudoltice, and the at grade track for the opposite direction. In this way it would be possible to eliminate the inconvenient climbing of this track. But the tunnel was at that time mostly broken and its both portals were destroyed. That is why the reconstruction, which was completed in the year 1932, was performed with great difficulties. The lining of the single-track tunnel was built in a larger profile of the previously double-track tunnel in its relatively intact parts. In sections with a deformed original lining, it was necessary for the old lining to be removed in many places. The new lining was made of blocks of Frydberg granite (pluton in Rychleby mountains) considered as one of the best stone materials. In spite of this fact, it was necessary, after about 20 years of operation, to perform a reconstruction of the vault in a part of the tunnel, viz. by inserting rolled steel profiles grouted with concrete.

The muck from the tunnel and the portals was disposed just over the tunnel and near edges of the approach cuttings in the western part (up to the road I/14 passing over the tunnel in the transversal direction, approximately in the middle of its length), in a layer being about 2 m thick, in the eastern part in a thinner layer covering not the whole determined area.

The investigation for the tunnel reconstruction was performed in two stages. The preliminary investigation, carried out by SGS Praha in the year 1996 was directed to obtain general information concerning the massif, its basic characteristics and characteristics of fillings of the previous tunnel chimneys. In this stage there were performed four boreholes situated on the surface (outside the tunnel space), sampling of soils and laboratory tests.

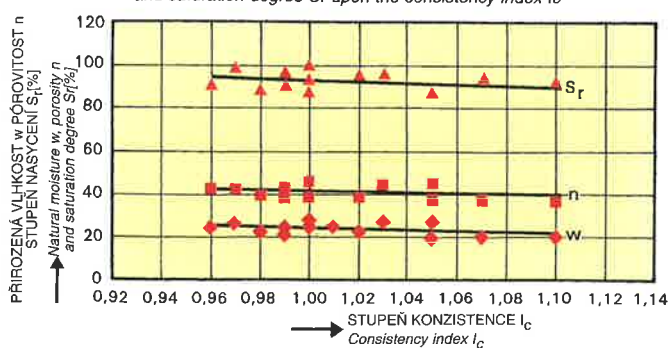
The second stage was represented by a detailed investigation which was realized by GEOTest Brno, a. s., within the years 1997 and 1998. Its task was to find out the real dimensions of the existing tunnel lining, including the invert, the macroscopic description of the structure composition of the existing tunnel lining, to find out the state of the rock massif in the nearest neighbourhood behind the existing tunnel lining, to determine deformation characteristics and strength one of soils behind supports and vaults of the tunnel and to determine the aggressivity of the underground water with respect to building materials. For this reason there were made, inside the tunnel, 64 small-profile cored bore holes, dia 56 mm, into the lining, of the length 2 to 4.7 m (in dependence upon the total thickness of the lining) arranged in 9 fans and 8 cored boreholes of dia 137 to 178 mm into the tunnel floor, up to 10 m long. From the bores there were taken both soil sam-

ZÁVISLOST OBJEMOVÉ HMOTNOSTI  $\rho$  A OBJEMOVÉ HMOTNOSTI SUŠINY  $\rho_d$  NA STUPNI KONZISTENCE  $I_c$   
Dependence of the bulk density weight  $\rho$  and the bulk density of the dry material  $\rho_d$  upon the consistency index  $I_c$



OBR. 2  
Fig. 2

ZÁVISLOST PŘIROZENÉ VLHKOSTI  $w$ , PÓROVITOSTI  $n$  A STUPNÉ NASYCENÍ  $S_r$  NA STUPNI KONZISTENCE  $I_c$   
Dependence of natural moisture  $w$ , porosity  $n$  and saturation degree  $S_r$  upon the consistency index  $I_c$



OBR. 3  
Fig. 3

písků vyskytujících se hlouběji v podloží tunelové trouby, jež citovaná norma zařazuje do tříd S4 a S5 a označuje symboly SM a SC.

Z jílovitých zemín bylo zkoušeno největší množství vzorků jílu s velmi vysokou plasticitou – třídy F8 symbolu CV. Druhými nejpočetněji zastoupenými byly jíly s vysokou plasticitou – F8 CH. Méně bylo zkoušeno vzorků jílu s extrémně vysokou plasticitou F8 CE a jílu s nízkou plasticitou F6 CI.

Statistické vyhodnocení výsledků zkoušek jílu ukázalo rozdíly v obsahu vody v zemínách odebíraných z jednotlivých zón v okolí tunelové trouby s různou napjatostí. Nejlepším ukazatelem v tomto případě je stupeň konzistence prakticky nezávislý na plasticitě zemín. Na konzistenci jsou pak závislé i další fyzikální a mechanické vlastnosti.

Uvedené závislosti ukazují grafy na obr. 2–5, do nichž jsou zakresleny body představující hodnoty naměřené na neporušených vzorcích a dále regresní přímky charakterizující teoretické závislosti srovnávaných veličin.

Na obr. 2 jsou znázorněny objemové hmotnosti zeminy v přirozeném uložení  $\rho$  a po vysušení  $\rho_d$  v závislosti na stupni konzistence  $I_c$ . I přes poměrně velký rozptyl naměřených hodnot lze vysledovat určitou lineární závislost, který je výraznější u objemové hmotnosti sušiny  $\rho_d$ . Obdobné závislosti přirozené vlhkosti  $w$ , pórovitosti  $n$  a stupně nasycení  $S_r$  na stupni konzistence ukazuje obr. 3. Přímka teoretické závislosti pórovitosti na stupni konzistence není regresní přímkou přímo naměřených hodnot, ale je stanovena z teoretické závislosti objemové hmotnosti sušiny a průměrné hodnoty hustoty pevných částic  $\rho_s$ , která na stupni konzistence je nezávislá.

Z mechanických vlastností se na stupni konzistence ukázaly závislé totální smyková pevnost a oedometrické moduly přetvárnosti. Oba parametry smykové pevnosti – soudržnost  $c_u$  a úhel vnitřního tření  $\phi_u$  se s rostoucím  $I_c$  zvětšují, přičemž nárůst soudržnosti je výraznější (obr. 4).

Oedometrické moduly přetvárnosti byly vzhledem k jejich závislosti na napjatosti zjišťovány ve čtyřech oborech normálního napětí: 0,05–0,1 MPa, 0,1–0,2 MPa, 0,2–0,4 MPa a 0,4–0,6 MPa. Čáry teoretických hodnot závislosti modulů na stupni konzistence byly pro jednotlivé obory napětí stanoveny jako regresní přímky převrácených hodnot naměřených modulů v oedometru. V grafu na obr. 5 mají proto tyto čáry hyperbolický tvar patrný zejména u hodnot modulů v oborech nejnižších a nejvyšších napětí, kde uvedená závislost je významná.

Na základě popsaných závislostí byly stanoveny hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností, použitelné pro geotechnické výpočty pro jednotlivé zóny v okolí tunelové trouby, jejichž vymezení znázorňuje obr. 6. Hodnoty geotechnických vlastností příslušné jednotlivým zónám jsou sestaveny do tabulek 1 a 2.

Zóna I představuje pásmo odlehčení nad klenbou tunelu charakterizované stupněm konzistence  $I_c = 0,94$ . Tomuto stupni konzistence odpovídají nejméně příznivé uváděné hodnoty geotechnických vlastností uváděné v tabulkách.

Obdobné pásmo odlehčení existuje i pod spodní klenbou tunelu – zóna IV. Díky realizaci 10 m hlubokých vrtů v této oblasti bylo možno ji rozdělit do dílčích zón (označených IV a až IV e) s postupným nárůstem stupně konzistence vlivem zvyšování napětí vlastní tíhou a tím ke zlepšování vlastností.

Zvýšení napětí v zóně II v bocích za operami a zejména v pásmu koncentrace napětí pod jejich základy (zóna III) se rovněž projevuje mírným zlepšením vlastností, neboť toto zvýšení způsobuje, že jíly mající konzistenci původně tuhou ji mění na pevnou ( $I_c = 1$  v zóně II,  $I_c = 1,05$  v zóně III).

Pro masív jílu nedotčený změnami napjatosti v okolí tunelové trouby v úrovni jejího středu byl na základě zkoušek stanoven stupeň konzistence  $I_c = 0,98$ – $0,99$ , kterému odpovídají hodnoty fyzikálních a mechanických vlastností zóny IV a.

Zkoušky jílu ukázaly jejich objemovou nestálost při měnícím se obsahu vody. Jíly jsou bobtnavé – u zemín třídy F8 byla naměřena bobtnavost hodnotami

plés behind the lining and even samples of the proper lining material. There was also performed a sampling of underground water by means of its taking from bore holes and even from places of its concentrated discharge.

The taken samples of soils were subject to tests and analyses in the Laboratory for soil mechanics of the joint-stock company GEOTest Brno. The tested soils were represented above all by cohesive soils, surrounding the lining of the tunnel tube – clays mostly of the class F8, exceptionally F6 (in the tenor of the standard ČSN 73 1001 Subsoil under shallow foundations). The minimum of samples represented by isolated inserts of loamy up to clayey sands taking place deeper in the subsoil of the tunnel tube, which are classified by the cited standard into classes S4 and S5, and indicated by symbols SM and SC.

As to clayey soils, there was tested a majority of samples having a very high plasticity – class F8, symbol CV. The next very numerous samples were clays having a very high plasticity – F8 CH. Less samples of clays with an extremely high plasticity F8 CE and clays with a low plasticity F6 CI were tested.

The statistic evaluation of clay test results showed differences of the water content in soils taken from individual zones surrounding the tunnel tube with a various strength. The consistency degree, in fact independent upon the soil plasticity, is the best indicator in that case. Even further physical and mechanical properties are dependent upon the consistency.

The said dependences are shown by the graphs on Figs. 2 to 5, in which there are drawn points representing values measured on intact samples, and also regressive straight lines characterizing theoretical linear dependences of the compared quantities.

On Fig. 2 there are shown bulk density of the soil in a natural position  $\rho$ , and after drying  $\rho_d$ , in dependence upon the consistency index  $I_c$ . In spite of a relatively large differences as to the measured values, a linear dependence can be followed which is more significant as to the volume weight of the dry material  $\rho_d$ . Analogous dependences of the natural moisture  $w$ , porosity  $n$ , and saturation degree  $S_r$  upon the consistency index, are shown on Fig. 3. The straight line of the theoretical dependence of porosity upon the consistency index is not a regressive straight line of directly measured values, but it is determined from the theoretical dependence of the dry material bulk density and the average value of the density of solid particles  $\rho_s$  which is independent upon the consistency index.

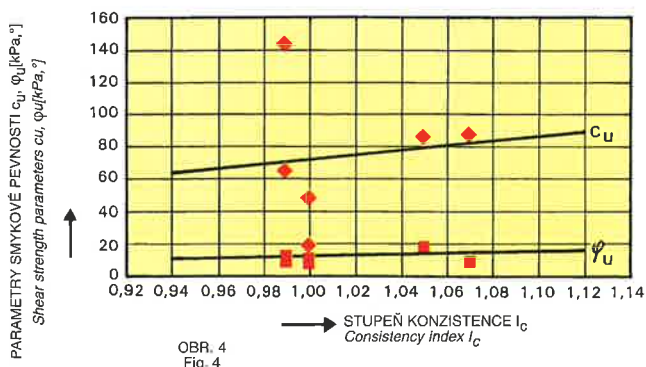
As to mechanical properties, on the consistency index, there appeared as dependent the following factors: total shearing strength and oedometric moduli of deformation. Both parameters of shearing strength, viz. cohesion  $c_u$  and angle of internal friction  $\phi_u$ , are increasing with the increasing  $I_c$ , and the cohesion increase is more significant (Fig. 4).

Oedometric moduli of deformation have been found out, with respect to their dependence upon strength, in four steps of normal stress: 0.05 to 0.1 MPa, 0.1 to 0.2 MPa, 0.2 to 0.4 MPa and 0.4 to 0.6 MPa. Lines of theoretical dependence values of moduli upon the consistency index have been determined for individual steps of stress as regress straight lines of reciprocal values having been measured in an oedometer. That is why in the graph showed on Fig. 5, said lines have a hyperbolic form, apparent especially as to moduli corresponded to the lowest and highest stress, where the mentioned dependence is important.

On the basis of described dependences there were determined values of physical and mechanical properties, applicable for geotechnical calculations for individual zones in the neighbourhood of the tunnel tube, the definition of which is shown on Fig. 6. Values of geotechnical properties of individual zones are arranged in tables 1 and 2.

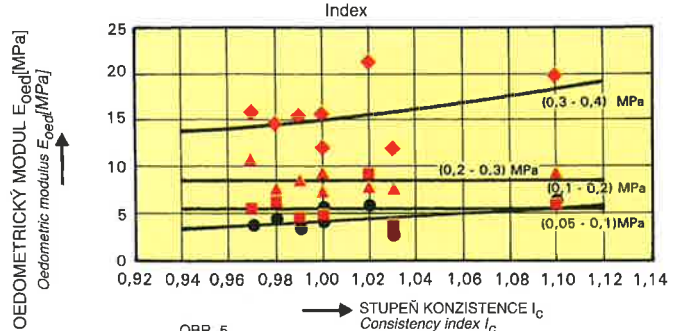
The zone I represents the relief zone over the tunnel vault characterized by the consistency index  $I_c = 0,94$ . The least favourable values of geotechnical properties mentioned in the tables correspond with the said consistency index.

ZÁVISLOST PARAMETRŮ SMYKOVÉ PEVNOSTI  $c_u$ ,  $\phi_u$  NA STUPNI KONZISTENCE  $I_c$   
Dependence of shear strength parameters  $c_u$ ,  $\phi_u$  upon the consistency index  $I_c$



OBRAZ 4  
Fig. 4

ZÁVISLOST OEDOMETRICKÝCH MODULŮ  $E_{oed}$  NA STUPNI KONZISTENCE  $I_c$   
Dependence of oedometric moduli  $E_{oed}$  upon the consistency index  $I_c$



OBRAZ 5  
Fig. 5

8,5–17,3 %, u zemin třídy F6 hodnotou 5,9 %. Na dvou vzorcích reprezentujících třídu F8 byla stanovena informativně smršťitelnost – 12,5 % a 15 %.

Z dalších popisných vlastností byly zjišťovány obsah uhlíkatů (naměřen v množství 6,7–16,1 %) a obsah organických látek stanovením váhových ztrát žháním. Jíly obsahuje organické látky v množství zpravidla 2,1–3,1 %, pouze u dvou vzorků byl naměřen obsah vyšší 4,3 a 5,2 %.

Zjištěné geotechnické vlastnosti ukázaly vyšetřované jíly jako horninu velmi nepříznivou pro ražbu podzemních děl. Právě tyto nepříznivé vlastnosti byly příčinou zmíněných poruch a těžkostí při výstavbě tunelu a jeho rekonstrukcích. Vtlačování jílu do výrubu a zatlačování opěr do podloží, jež měly za následek výškové posuny celé trouby a vznik propadlin na povrchu, způsobila především malá smyková pevnost neschopná vzdorovat relativně velkým napětím od vlastní tíhy nadloží působícím na ostění. Ke zvyšování tlaků na výstroj tunelu i vtlačování jílu do volného prostoru přispěla nemalou mírou další nepříznivá vlastnost jílu – bobtnání po jejich vystavení vzdušné vlhkosti. Na vtlačování jílu do výrubu se podílely i organické příměsi zakonzervované v masivu jílu tlakem nadložních vrstev – po jejich odkrytí se vystavily účinkům vzdušného kyslíku, jež podnítil hnilobné procesy doprovázené dalším zvětšováním objemu jílu vývinem plynů.

Propadliny (podle archivních materiálů jich mělo být 7) nejsou dnes na povrchu patrné – byly vyplněny vytěženým materiálem z rekonstruovaného tunelu. Podrobným průzkumem byl ověřen materiál propadlin vniklý do prostoru tunelu pouze v jednom místě, a to v profilu v km 7,545. V tomto místě byl zjištěn za ostěním materiál různorodý – převážně hlinitého charakteru s obsahem kamenů. Kromě toho na základě průzkumu lze usuzovat na existence propadlin v místech charakterizovaných profily v km 7,680 a v km 7,793 projevujících se deformacemi původní obezdívky. V těchto místech však za ostěním byly navrtány původní neogenní jíly, avšak přemístěné z nadloží.

Vlastní tunelová trouba prochází kromě příportálových úseků a míst propadlin masivem jílu, jejichž konzistence je tuhá až měkká a mění se v jejím okolí. Z hlediska ražby jíly představují silně tlačivé horniny III. stupně ražnosti, jež jsou podle Protodjakonova zařazovány do třídy VII s koeficientem pevnosti  $f_p = 1$ . Podle Terzaghiho téměř jílu náležejí součinitel  $c, T$  v mezích 1,1 až 2,1. V propadlinách a v úseku navazujícím na vjezdový portál bylo na základě průzkumu doporučeno uvažovat snížení hodnot uvedených součinitelů –  $f_p = 0,6$  a  $c, T = 1,1$  a v navážkách, jimiž procházel úsek u výjezdového portálu, neuvažovat vůbec s vytvořením horninové klenby a ostění dimenzovat na plnou výšku nadloží.

Ostění stávajícího tunelu je tvořeno dvěma základními typy materiálů. Obezdívka původního dvoukolejného tunelu byla vybudována z pískovcových

An analogous zone of relief exists even under the invert of the tunnel – the zone IV. With respect to the realization of 10 m deep bores in this area, it was possible to divide it into partial zones (marked as IVa to IVe) with a gradual increase of the consistency index due to increasing the stress by the proper weight, and in this way to improve the properties.

The stress increase in the zone II, in sides behind the roof arch supports, and especially in the zone of the stress concentration under their foundations (the zone III) is also characterized by a slight improvement of properties, because said increase causes that clays, the original consistency of which was originally stiff, transformed it to firm one ( $l_c = 1$  in the zone II,  $l_c = 1.05$  in the zone III).

For the massif of clays, unaffected by changes of the state of stress near the tunnel tube, in the level of its centre, there was determined, on the basis of tests, the consistency index  $l_c = 0.98$  to 0.99, which values of physical and mechanical properties of the zone IVa correspond to.

Tests of clays proved their volume unsteadiness at a variable water content. Clays are swellable – as to soils of the class F8 there was measured the swelling ability of values 8.5 to 17.3 %, as to soils of the class F6 it was the value 5.9 %. As to two samples representing the class F8, the shrinkage ability was determined, informatively, to 12.5 % and 15 %.

As to other descriptive properties there were found out: content of carbonates (measured in the quantity of 6.7 to 16.1 %) and the content of organic substances by determining weight losses caused by annealing. Clays comprise organic substances usually in the quantity of 2.1 to 3.1 %, only in two samples there was measured a higher content, viz. 4.3 and 5.2 %.

The found out geotechnical properties showed the respective clays as a rock very inconvenient for driving underground works. Just said inconvenient properties were the cause of the mentioned defects and difficulties when excavating the tunnel and when reconstructing it. A pressing of clays into the stope and of sinking of vault supports into the subsoil, which caused vertical movement of the whole tube and the slumping of the surface, were caused, above all, by a low shearing strength, unable to resist the relatively high stress caused by the proper weight of the overburden affecting the lining. The increase of pressures on the tunnel support, as well as the pressing of clays into a free space, was also caused in a considerable extent by another inconvenient property of clays – their swelling after they have been exposed to humidity. A pressing of clays into the stope was also caused by organic admixtures conserved in the massif of clays by the pressure of overburden layers; after having been uncovered, they were exposed to effects of air oxygen which instigated decay processes accompanied with a further volume increase of clays by developing gases.

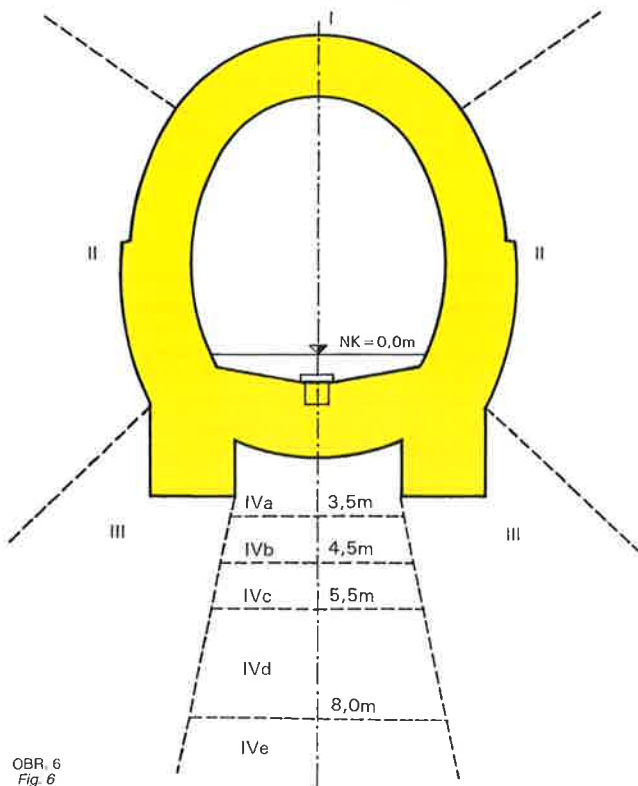
Slumps (according to archive materials there were to be 7) are not apparent today on the ground – they were filled with muck from the reconstructed tunnel. The detailed investigation verified material of slumps penetrated into the tunnel space only in one place, viz. in the profile of km 7.545. In this place there was found, behind the lining, varied material – mostly of an loamy character, with a stone content. Besides that, on the basis of an investigation, one may consider that there exist slumps in places characterized by profiles in km 7.680 and km 7.793, shown by deformations of the original lining. In said places, though, behind the lining, there were bored original neogennous clays, but transferred from the overburden.

The proper tunnel tube passes, besides sections near tunnel mouths and slump places, through the massif of clays, the consistency of which is stiff up to soft and it varies in its neighbourhood. With respect to driving operations, clays squeezing represent very squeezing rocks of the IIIrd excavation class, which are classified, according to Protodjakonov, in the class VII, with the strength coefficient  $f_p = 1$ . Pursuant to Terzaghi, said clays are of the coefficient  $c, T$  within the limits 1.1 to 2.1. In slumps and in the section linking up to the mouths of the tunnel, it was recommended on the basis of an investigation, to consider a value decrease of mentioned coefficients –  $f_p = 0.6$  and  $c, T = 1.1$ , and in made-up grounds, through which the section near the exit portal passed, not to take into consideration any forming of a rock arch, and to design dimensions of the lining to the full height of the overburden.

The lining of the existing tunnel is formed by two fundamental types of material. The lining of the original double-track tunnel was made of sandstone blocks, and its back part was made in some places in blocks of siltstones. Free spaces of overbreakings, in which in some profiles there were found even remainders of a provisional wooden support, were also filled with siltstones.

The original lining, though, was underdimensioned and it was not able to resist to considerable pressures which caused its deformation and even its complete destruction in many places. During the reconstruction there was made a new lining of the single-track tunnel, viz. made of granite block masonry, inserted in the free space of the double-track tunnel, after the deformed and broken sections have been stabilized. Pursuant to the handed over documentation, the shape of the new lining should correspond with the types 10b, 13a, 14a, 15 and 15a of railway standards, and in two sections, the lining was afterwards rescued by means of reinforced concrete. Thicknesses of individual lining shells were found out by means of core bores arranged in a fan shape, and on the basis of results of said investigation there were drawn approximate shapes and composition of the existing tunnel support. The existing tunnel lining character is shown by means of four typical profiles on Fig. 7, illustrating a various lining composition: In the profile TR-6 in km 7.740, the sandstone lining of the double-track tunnel was kept and the new granite lining, after the reconstruction to a single-track tun-

ZÓNY JÍLOVÉHO MASÍVU V OKOLÍ TUNELOVÉ TRUBY  
Zones of the clay massif in the surroundings of the tunnel tube



## GEOTECHNICKÉ VLASTNOSTI JÍLŮ HODNOTY NEZÁVISLÉ NA KONZISTENCI

## GEOTECHNICAL PROPERTIES OF CLAY VALUES INDEPENDENT UPON CONSISTENCY

Tabulka č. 1  
Table No. 1

Třída zeminy Soil class			F6	F8
Mez tekutosti Liquid limit	$w_l$	%	48,9	69,1
Číslo plasticity Plasticity index	$I_p$	%	27,5	44,0
Hustota pevných částic Density of solids	$\rho_s$	kg.m <sup>3</sup>	2721	2753
Smrštitelnost Shrinkage	$w_s$	%	–	14,0
Bobtnavost Swelling ability	$b$	%	5,9	11,2
Stupeň konzistence Consistency index	$k$	1	0,85	0,94–1,05
Efektivní soudržnost Effective cohesion	$c_{ef}$	kPa	15	21,4
Efektivní úhel vnitřního tření Effective angle of internal friction	$\varphi_{el}$	°	28	17,4
Reziduální soudržnost Residual cohesion	$c_r$	kPa	10	14,4
Reziduální úhel vnitřního tření Residual angle of internal friction	$\varphi_r$	°	12	9,7
Poissonovo číslo Poisson's ratio	$\nu$	1	0,40	0,42

## GEOTECHNICKÉ VLASTNOSTI JÍLŮ V ZÓNÁCH NAPJATOSTI V OKOLÍ TUNELOVÉ TROUBY

## GEOTECHNICAL PROPERTIES OF CLAYS IN ZONES OF STRESS NEAR THE TUNNEL TUBE

Tabulka č. 2  
Table No. 2

Třída Class	Zóna Zone	$I_c$	$w$	$\rho$	$\rho_d$	$n$	$s_r$	$c_u$	$\varphi_u$	$E_{oed}$ v oboru napětí (MPa) $E_{oed}$ in the stress extent (MPa)			
										0,05–0,1	0,1–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6
										1	%	kg.m <sup>3</sup>	kg.m <sup>3</sup>
F8 CH, CV	I	0,94	26,5	1993	1575	42,8	96	89	9,9	3,6	5,4	8,5	13,8
	II	1,00	24,9	2004	1606	41,7	95	87	11,8	4,0	5,4	8,5	15,1
	III	1,05	23,5	2014	1632	40,7	93	86	13,3	4,6	5,4	8,5	16,5
	IVa	0,98	25,4	2001	1596	42,0	95	88	11,2	3,9	5,4	8,5	14,6
	IVb	1,00	24,9	2004	1606	41,7	95	87	11,8	4,1	5,4	8,5	15,1
	IVc	1,02	24,3	2008	1617	41,3	94	87	12,4	4,3	5,4	8,5	15,6
	IVd	1,03	24,1	2010	1622	41,1	94	86	12,7	4,4	5,4	8,5	15,9
	IVe	1,04	23,8	2012	1627	40,9	94	86	13,3	4,5	5,4	8,5	16,2
F6 CI		0,85	25,5	2039	1625	40,3	100	124	5,8	4,3	6,2	8,8	15,1

$I_c$  – stupeň konzistence  
 $w$  – přirozená vlhkost  
 $\rho$  – objemová hmotnost v přirozeném uložení  
 $\rho_d$  – objemová hmotnost vysušené zeminy  
 $n$  – pórovitost  
 $s_r$  – stupeň nasycení  
 $c_u$  – totální soudržnost  
 $\varphi_u$  – totální úhel vnitřního tření  
 $E_{oed}$  – oedometrický modul přetvárnosti

$I_c$  – consistency index  
 $w$  – natural moisture  
 $\rho$  – bulk density in original order  
 $\rho_d$  – bulk density of dry material  
 $n$  – porosity  
 $s_r$  – saturation degree  
 $c_u$  – total cohesion  
 $\varphi_u$  – total angle of internal friction  
 $E_{oed}$  – oedometric modulus of deformation

kvádrů, přičemž její rubovou část místy tvořily bloky prachovců. Prachovci byly rovněž vyplňovány volné prostory nadvýlomů, v nichž byly v některých profilech shledány i zbytky dřevěné provizorní výstroje.

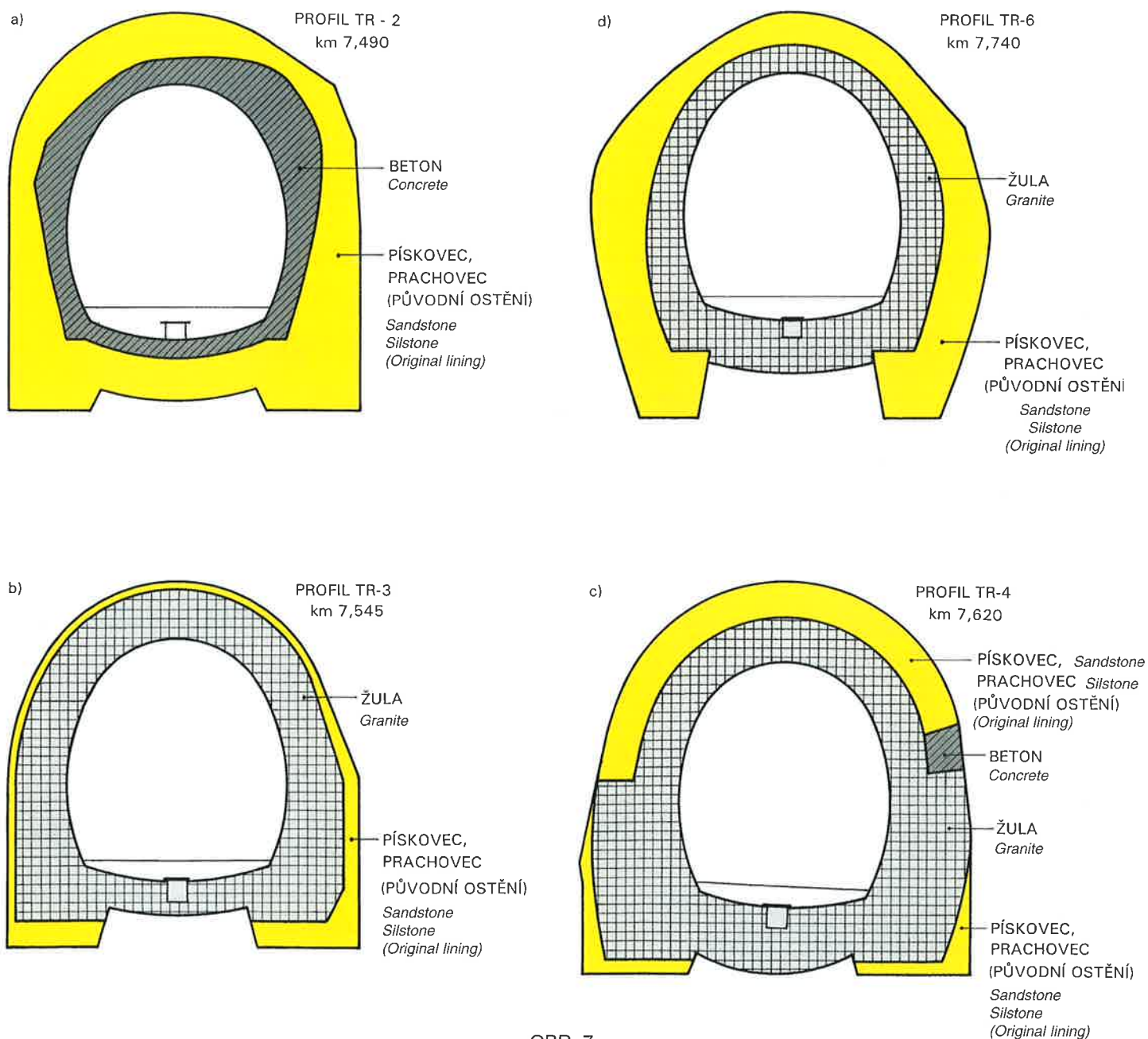
Původní obezdívka však byla poddimenzována a nebyla schopna vzdorovat značným tlakům, které způsobily na mnoha místech její deformaci i úplnou destrukci. Při rekonstrukci byla vytvořena nová obezdívka jednokolejného tunelu ze žulového kvádrového zdiva vložením do volného prostoru dvoukolejného tunelu po zmáhání deformovaných a zavalených úseků. Podle předaných podkladů měl tvar nové obezdívky odpovídat typům 10b, 13a, 14a, 15 a 15a železničních normálí, přičemž ve dvou úsecích byla později obezdívka sanována železobetonem. Jádrovými vrty vějířovitě uspořádanými byly zjišťovány tloušťky jednotlivých vrstev ostění a na základě výsledků této sondáže byly vykresleny přibližné tvary a skladba současné výstroje tunelu. Současný charakter obezdívky tunelu znázorňují čtyři typické profily v obr. 7 ukazující různé složení ostění: V profilu TR-6 v km 7,740 bylo pískovcové ostění dvoukolejného tunelu zachováno a nová žulová obezdívka byla při rekonstrukci na tunel jednokolejný do něj symetricky vložena, pouze byla kompletně vyměněna spodní klenba. Naproti tomu v profilu TR-3 v km 7,545 (nacházející se v prostoru jedné z propadlin) byla původní obezdívka zřejmě tak zdeformována, že ji bylo nutno téměř celou nahradit obezdívkou novou. V profilu TR-4 v km 7,620 bylo vyměněno zdivo opěr pat-

nel, was inserted in it symmetrically, only the invert was completely replaced. In contrary to it, in the profile TR-3 in km 7.545 (taking place in the space on one of the slumps), the original lining was evidently deformed in such an extent that it was necessary to replace it, nearly all, by a new one. In the profile TR-4 in km 7.620, the masonry was replaced probably because of damaging its sandstone material by weathering and smoke gases of steam locomotives, but the original vault was kept – it was only supported by means of the inserted granite lining. The profile TR-2 in km 7.490, is characterized by the section, in which, during the additional reconstruction in the fifties, the internal granite lining was replaced by concrete, reinforced with steel girders.

As the tunnel bore holes, arranged in a fan shape, showed, the lining in the top of the vault has the total thickness 1.2 to 2 m, of which the granite masonry represents mostly 0.8 to 0.9 m, in some places even 1.4 m, above all in the top of the vault (formed by blocks of said thickness!). In some profiles, behind the original sandstone lining, there were found siltstones up to the distance of 2.5 m from the mouth of the tunnel, filling, likely originally free spaces of overbreaking, eventually spaces arisen after the tunnel vault collaps. In two profiles even free spaces were found out by means of boring behind the lining. In most profiles there were found remainders of the original provisional wooden support by the bors.

### SKLADBA TUNELOVÉHO OSTĚNÍ

Tunnel lining structure



OBR. 7



ně z důvodu narušení jeho pískovcového materiálu zvětráváním za přispění kouřových plynů parních lokomotiv, avšak původní klenba zůstala zachována – byla jen podepřena vloženou žulovou obezdívkou. Profil TR-2 v km 7,490 charakterizuje úsek, v němž při dodatečné rekonstrukci v padesátých letech bylo vnitřní žulové ostění nahrazeno betonem vyztuženým válcovanými ocelovými nosníky.

Jak ukázala věrohodně uspořádaná vrty v tunelu, ostění v klenbě má celkovou tloušťku 1,2–2 m, z čehož na žulové zdivo připadá většinou 0,8–0,9 m, místy i 1,4 m, především v záklenku (tvořené bloky této tloušťky!). V některých profilech navíc za původní pískovcovou obezdívkou byly zjištěny prachovce až do vzdálenosti 2,5 m od líce tunelu vyplňující pravděpodobně původně volné prostory nadvýlomů, případně prostory vzniklé po zavalení tunelu. Ve dvou profilech byly za obezdívkou navrtány i volné prostory. Ve většině profilů byly vrty zastřeženy zbytky původní dřevěné provizorní výstroje.

Tunel má v celé své délce vybudovanou spodní klenbu, a to většinou žulovou nebo betonovou, případně kombinovanou z obou materiálů. V jednom profilu byla zjištěna pouze původní klenba pískovcová. Nejvyšší úroveň rubu vrcholu spodní klenby byla zastřežena v profilu v hloubce 1,2 m pod niveletou koleje, nejhlubší v hloubce 2,9 m. V horní části spodní klenby je vynechán volný prostor odvodňovacího kanálu, jenž je funkční a odvádí vodu směrem k výjezdovému portálu.

Laboratorní zkoušky vzorků odebraných z ostění ukázaly značné rozdíly v jakosti obou typů konstrukčních materiálů. Kvádrové zdivo vnitřní novější obezdívky je budováno z velmi pevného materiálu odolného proti povětrnostním vlivům, vnější zdivo původního tunelu tvořené pískovci je velmi narušeno, takže jeho pevnost je řádově nižší než pevnost žul nové obezdívky.

Současným tunelovým ostěním proniká do prostoru tunelu na několika místech voda. Celkem bylo dokumentováno 19 úseků zavodnění. Nejvýznamnější zavodnění bylo zjištěno v úseku ve staničení km 7,690–7,727. Úsek je charakterizován stupněm zavodnění 4 – voda ze stropu a stěn intenzivně vytéká v souseděných výtocích a tvoří i souvislé vodní provazce. K intenzitě zavodnění v tomto úseku přispívá i existence kanalizace zjištěné v 10 m hluboké betonové šachtě nacházející se na povrchu v blízkosti tunelové trouby, přibližně ve staničení km 7,700. Do šachty je přiváděna kanály rovnoběžně s osou tunelu, a to z obou stran (pravděpodobně i z prostoru bývalého hliniště, později využitého jako skládka odpadů cca 100 m jižně od východní části tunelu) a odváděna právě do nadloží místa s největšími průsaky. Stejným stupněm zavodnění jsou charakterizovány úseky km 7,565–7,575, km 7,598–7,603, km 7,613–7,630, km 7,770–7,792, km 7,828–7,838 a km 7,855–7,863.

Podle chemického rozboru je voda slabě agresivní na stavební materiál především zvýšeným obsahem útočného oxidu uhličitého, přičemž na jednom vzorku byla zjištěna i slabá síranová agresivita. Pro betonové konstrukce vystavené účinku podzemní vody postačí primární ochrana – při přípravě betonu použití odolných druhů cementu.

Výsledky podrobného i předchozího předběžného průzkumu ukazují, že geologické a geotechnické podmínky jsou z hlediska připravované rekonstrukce značně nepříznivé, což již ukázaly obtíže při výstavbě tunelu i jeho dosavadních rekonstrukcích. Masiv vysoce plastických neogenních jílo představuje silně tlačivé prostředí vyžadující nejsilnější tlakové typy výstroje tunelové trouby a zvláštní technologické postupy výstavby tunelu. Hydrogeologická problematika rekonstrukce přes určité zavodnění současného tunelu ve srovnání s geotechnickými problémy se jeví méně významná.

Vzhledem k tomu, že cílem rekonstrukce je především zvětšení průřezného profilu, další nepříznivou skutečností je existence ostění současného tunelu představující značnou kubaturu odlišně rozpojitelného materiálu v jílovém prostředí, což omezí použití technologií aplikovaných pro novostavby v obdobném prostředí. Proto navrhované postupy zvětšování průřezného profilu musí s touto skutečností počítat.

Celkově lze říci, že rekonstrukce tunelu ve stávající trase bude velmi obtížná, ať se bude provádět ražením nebo hloubením z povrchu díky popisovaným geologickým poměrům. Příznivější poměry pro ražbu by mohl poskytnout vlastní Hřebečovský hřeben budovaný pevnějšími křídovými horninami, které lze nejlépe zastihnout severně od tunelu ve vzdálenostech 200–300 m. Přemístění trasy železnice do těchto míst by si však vyžádalo prodloužení tunelu na přibližně dvojnásobnou délku.

*In the whole length of the tunnel there was built up an invert, mostly made of granite or concrete, eventually combined of both materials. In one profile there was found out only the original sandstone vault. The highest level of the reverse side of the invert top was found out in the depth of 1.2 m under the level line of the rail, the deepest one in the depth of 2.9 m. In the upper part of the invert, there is made a draining channel which is in function and drains water to the exit moath.*

*Laboratory tests of samples, taken from the lining, showed considerable quality differences of both types of construction materials. Ashlar masonry of the inner newer lining has been built of a very firm material, resistant against weather influences, the external masonry of the original tunnel made of sandstone is very eroded, so that its strength is lower by an order than the strength of granite of the the new lining.*

*Water penetrates in the tunnel space through the existing tunnel lining in several places. Altogether 19 sections of water penetration have been documented. The most important water penetration was found out in chainage of km 7.690 to 7.727. The section is characterized by the water penetration degree 4 – water flows out intensively out of the roof and walls in concentrated outlets and forms continuous water trickles. The intensity of water penetration in this section is also affected by the existence of sewerage found out in a 10 m deep concrete shaft, taking place on the surface, near the tunnel tube, approximately in the chainage km 7.700. Water into the shaft, is delivered by means of channels parallel to the axis of the tunnel and taken away just into the overburden of the place with the most intensive water penetration, viz. from both sides (Probably even from the space of the previous loam pit, afterwards utilized as a spoil heap, about 100 m south of the eastern part of the tunnel) and directed just to the overburden at the location with the most intensive water penetration. With the same degree of penetration there are characterized sections of km 7.565 to 7.575, km 7.598 to 7.603, km 7.613 to 7.630, km 7.770 to 7.793, km 7.828 to 7.838 and km 7.855 to 7.863.*

*According to the chemical analysis, water is slightly aggressive as to the building material, above all by the increased volume of the aggressive carbon dioxide, and in one sample there was found out even a slight sulphate aggressivity. For concrete structures exposed to effects of underground water, a primary protection will be sufficient – when preparing concrete, resistant sorts of cement must be applied.*

*Results of a detailed and previous preliminary research show that geotechnical conditions are considerably inconvenient with respect to the prepared reconstruction which has been already proved by troubles arisen during the construction of the tunnel and its hitherto performed reconstructions. The massif of very plastic neogennous clays represent very squeezing surroundings requiring the most strong pressure bearing types of the tunnel tube support and special technological processes of the tunnel construction.*

*The hydrogeological problems of the reconstruction, in spite of a certain water penetration into the existing tunnel, seem to be less important in comparison with geotechnical problems.*

*With respect to the fact that the aim of the reconstruction resides above all in enlarging the passage profile, there exists another unfavourable fact, viz. the hitherto existing tunnel lining representing a considerable cubature of a differently disintegratable material in the clay surroundings which shall limit technologies applicable for new buildings in an analogous surroundings. That is why the proposed processes of enlarging of the traffic clearance must take into consideration said fact.*

*Generally it may be said that the tunnel reconstruction in the existing route will be very difficult, let it be performed by driving or excavating from the surface, due to the described geological conditions. More advantageous conditions for driving would be provided by the proper Hřebečov ridge consisting of more rigid cretaceous rocks, which can be found north of the tunnel in the distance of 200 to 300 m. The transfer of the railway alignment to these places would require the extension of the tunnel to an about double length.*

## LITERATURE

## LITERATURA

- [1] Šrédli, L., Chochol, J.: Závěrečná zpráva geotechnického průzkumu železniční trati Krasíkov–Česká Třebová v km 5,300–25,600 tunel Třebovice. SGS Středočeská geologická společnost s. r. o. Praha, 1996.
- [2] Krajcar: Studie Třebovický tunel – rekonstrukce, technické posouzení. SEDOS s. r. o. Praha, 1996.
- [3] Hořejší, J., Mařík, L., Stehlík, E.: Studie ČD DDC Technické posouzení třebovického a tatenického tunelu. ILF Consulting engineers s. r. o. Praha, 1996.
- [4] Pavlík, J., Pivnička, L.: Provedení geotechnického a stavebně-technického průzkumu třebovického a tatenického tunelu v rámci stavby ČD, DDC Modernizace trati Krasíkov–Česká Třebová. Zpráva o průzkumu pro rekonstrukci třebovického tunelu. GEOtest Brno, a. s., 1998.
- [1] Šrédli, L., Chochol, J.: Final report of the geotechnical investigation of the railway track Krasíkov–Česká Třebová in km 5.300 to 25.600 tunnel Třebovice. SGS Středočeská geologická společnost s. r. o. Praha, 1996.
- [2] Krajcar: Study Tunnel of Třebovice – Reconstructions, Technical Expertise SEDOS s. r. o. Praha, 1996.
- [3] Hořejší, J., Mařík, L., Stehlík, E.: Study ČD DDC Technical Expertise of the Třebovice and Tatenice Tunnel. ILF Consulting Engineers s. r. o. Praha, 1996.
- [4] Pavlík, J., Pivnička, L.: Performance of geotechnical and building-technical investigation of the Třebovice Tunnel and Tatenice Tunnel within the building ČD, DDC Modernization of the track Krasíkov–Česká Třebová. Report on the investigation for reconstructing the Třebovice Tunnel. GEOtest Brno, a. s., 1998.

## TUNELÁŘSKÉ OSOBNOSTI TUNNELLING PERSONALITIES

ČESKÝ TEXT ČLÁNKU BYL UVEŘEJNĚN V Č. 3/98 TOHOTO ČASOPISU

### PROF. ING. FRANTIŠEK RŽIHA AUTHOR OF THE TUNNELLING ENGINEERING THEORY

Every engineering scientific discipline has its classic, who formed first theoretical foundations and arranged them in a coherent system – e.g. for the concrete engineering it was Joseph Monier. Professor František Ržiha has an analogous importance for the tunnel engineering, because he arranged its principles, formed a recognized system of them and wrote down a textbook concerning this problem. It was the first theoretical book about tunnels and tunnelling. When it was republished in Germany on the occasion of the 100th anniversary of the F. Ržiha's death, F. Ržiha emerged from the apparent chaotic history of the tunnel engineering as a generally recognized personality who deserved the title of the founder. He was the first who explained principles, according to which the tunnelling workers control and overcome a rock massif when tunnelling. This knowledge is especially pleasant for us, because he was a Czech native.

Fr. Ržiha was born in 1831 in Lipová (Hainspach in German), a community located in Šluknov area in Bohemia. He studied the civil engineering discipline at the polytechnical university (at that time it was not divided according to nations) in Prague. He completed his study in the year 1851, in the age of 20 years, and started his building practice, performed partially at tunnelling firms, partially as a supervisor at tunnelling works. First he worked in the Austrian Alps at the building up of the railway track over Semmering, and then at driving further Austrian railway tunnels. With his increasing age and reputation, he was asked to take part even in difficult new structures abroad, in Prussia, Westphalia and other German states. He also performed activities as a building contractor. After the year 1870, under his management, there were laid out 500 km of new railway tracks in northern Bohemia and Saxony. In the year 1878 he was nominated professor of railway engineering and tunnel one at the Technical University in Vienna, where he was teaching very successfully for twenty years. We can believe the information of the Otto's Encyclopaedia, where it is stated that the Ržiha's popularity among students was caused by the fact that „his lectures were interesting and his examinations indulgent”. So it has been very difficult for his subsequent lecturers to keep such a high level at teaching this interesting discipline, viz. the underground engineering.

The Ržiha's scientific method resided in systematic observations of mechanical effects during tunnelling, analysis of applied measures and their effectivity, and in the systematic classification. After his fifteen year practice as a building contractor and investor of railway tunnels, he published his knowledge and experiences in the year 1887 (1st volume) and 1972 (2nd volume) in the "Textbook for building tunnels". Let us mention main problems being solved in it.

#### Classification of minerals for tunnelling:

The author solved the classification with respect to disintegration and workability which is the basis of present classification systems. He defined seven mineral classes and provided each of them with a numerical index which corresponds with the quantity of work needed for disintegrating the volume unit (of course by means of technology existing at that time). M. M. Protodjakonov, professor in Jekaterinburg, studied at that time western literature and promptly transformed Ržiha's indexes by means of rounding off to „coefficients of strength according to Protodjakonov”, which are even at present applied for structural tunnel engineering.

#### Tunnel collapses or sinking:

Mr. Ržiha looked for knowledge on correct and incorrect tunnelling by observing many collapses and sinkings which he could observe in the practice. He introduced the classification of collapses with respect to reasons. This part of the book was not overcome till the present time, because one's own faults are rarely documented publicly. The book is well illustrated and it should be example for civil engineers who should utilize the opportunity to be present at the place of a collapse for publishing direct knowledge.

#### Tunnels support:

At that time, tunnels were equipped with timberwork. Mr. Ržiha declared that it is necessary to remove from the tunnelling technology habits arisen during an unrestrained development of mountain railway tracks. He tried to replace them with scientifically based rules. He analyzed applied methods for making timberwork and to classify them. He compared Austrian timberwork (at the Austrian method which opens and secures the full tunnel profile), German method (applying the core method) and Belgian method (at the upbolting tunnelling method). He performed an analysis which resulted in favour of the Austrian timberwork. In this way he started one hundred years lasting victorious attack of Austrian tunnelling methods from the then "old" Austrian Tunnelling Method up to the present NATM.

#### Tunnel lining:

When observing defects during building up, Mr. Ržiha laid down principles which are valid till the present day. He found out that the lining was to be mounted tightly and in an active way to the rock and that it was to form a closed structure and that the ring of the lining, after having opened the stope, had to be closed again within a short time by means of the invert.

#### Subsidences:

In the year 1980, Mr. Ržiha was invited to present his opinion as to damages concerning the housing over underground works in the coal field of Ostrava. In his work, he formulated principles of the up-to-date solution of this problem. The term „angle of draw" has its origin just there.

Prof. Ržiha was decorated many times for his merits. The Austrian emperor granted him high decorations, the title Court Councillor. The kings of Prussia, Saxony and Bavaria, promoted him to the knighthood in the year 1883. That was the reason of his noble predicate "Franz von Ržiha". He died on June 22, 1897, in Simmering and he has been buried in the cemetery Maria Schutz. The list of his publications is mentioned in Bibl. 1.

Theoretical principles of our famous engineer are briefly and truthfully expressed in his own statement: „The skill of an engineer resides in his ability to be far from any rock pressure, i.e. to prevent it from the rise, which is much greater skill than to get through with any pressure already arisen.”

Bibl. 1. Maindl, B., Ržiha, F.: Wegbereiter für den Ingenieur-tunnelbau, Felsbau, 1997, No. 6.

Ing. Jiří Kazda, Czech Railways, Prague  
Prof. Ing. Jiří Mencl, Slovak Technical University, Bratislava.

## ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ ITA/AITES NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

### MEZINÁRODNÍ KONFERENCE V SANKT PETERBURGU 8.–10. 9. 1998

### INTERNATIONAL CONFERENCE IN SANKT PETERBURG, SEPTEMBER 8 TO 10, 1998

Tuto konferenci s názvem „Podzemní město – geotechnologie a architektura, uspořádala Ruská tunelářská asociace pod patronací ITA/AITES a ISSMGE (Mezinárodní společnost pro mechaniku zemin a geotechniku) za aktivní podpory nejvýznamnějších ruských společností a organizací, zabývajících se touto problematikou, i samotného města Sankt Peterburg. Její význam a mezinárodní charakter byl posílen zasedáním exekutivy ITA/AITES jakož i účastí několika významných zahraničních firem a odborníků. Některé firmy, jako např. LOVAT z Kanady, IMPREGILO a GEODATA z Itálie, NCC ze Švédska a HERRENKNECHT ze SRN přímo konferenci sponzorovaly a jejich zástupci se aktivně zúčastnili jak její přípravy tak vlastního jednání.

V rámci úvodního zasedání, které zahájil náměstek gubernátora Sankt Peterburgu J. A. Antonov, pozdravil konferenci také prezident ITA/AITES p. Alfred Haack. V bloku tzv. „plenárních referátů“ vystoupil s obsáhlou informací generální ředitel Metrostavu ing. J. Hess, který jakožto viceprezident Mezinárodní tunelářské asociace seznámil přítomné s její strukturou, činností, náplní a zaměřením jejích pracovních skupin i výhledy do budoucna.

Jednání konference pak proběhlo ve čtyřech sekcích:

1. Podzemní město a koncepční problémy jeho rozvoje (podtitul: využití podzemí, architektonické a dispoziční řešení, plánování investic) – 26 příspěvků, z toho 7 ze zahraničí.
2. Podzemní město a geomechanika (podtitul: zvláštní problémy průzkumu a projektování, konstrukční řešení) – 31 příspěvků, z toho 4 zahraniční.
3. Podzemní město a geotechnologie (podtitul: stavební postupy a zařízení) – 29 příspěvků, 5 ze zahraničí.
4. Podzemní město a ekologie (podtitul: ochrana prostředí, prognózy a monitoring) – 28 příspěvků, z toho 1 ze zahraničí.

Třebaže pro přednesení referátů pořadatelé vyhradili většinu doby jednání konference (celkem dva a půl dne, přičemž se zahajovalo v 9 a končilo v 18 hodin s hodinovou přestávkou na oběd), nedostalo se na všechny autory a většinu referujících musel být omezen čas vyhrazený k přednášce. Je třeba ocenit přístup předsedajících jednotlivých sekcí, kteří operativně reagovali na přednášené téma i na zájem publika, takže ty nejzajímavější problémy bylo možno prezentovat v potřebném rozsahu a podrobnostech. Česká republika byla – vedle již zmíněného hlavního referátu ing. J. Hesse – zastoupena jedním příspěvkem v 1. sekci (autoři Dvořák, Novotný, Romancov) a jedním příspěvkem ve 2. sekci (autoři Dvořák, Sochůrek). Oba příspěvky byly vybrány k přednesení (nakonec byl vzhledem k neúčasti autorů druhého přednesen pouze první z nich, prezentovaný jako příspěvek ČTuK), a lze konstatovat, že námětem i zpracováním zaujaly jak vědeckou radu konference, tak mnohé účastníky, kteří o přestávkách na tato témata diskutovali. Případní zájemci se s nimi mohou seznámit (jakož i se všemi ostatními příspěvky) ve sborníku, který má sekretariát ČTuK k dispozici.

Z velkého množství dalších přednesených referátů by bylo velice obtížné jmenovat ty nejdůležitější, jelikož téměř všechny se vyznačovaly zajímavostí námětu, dobrou úrovní odborného zpracování i obrazového doprovodu. Autora této informace však zvláště zaujal referát p. J. Andersona z Velké Británie, který se zabýval problematikou u nás dříve neznámou, ale nyní též velice aktuální, totiž právními spory souvisejícími s přípravou a realizací stavebních projektů. Podle jeho vývodů jen v Anglii stojí tyto spory ročně přes 3,5 miliardy(!) liber šterlinků. O co by bylo užitečnější za tyto peníze něco postavit! Není divu, že v této souvislosti cituje Shakespeara: „The first thing we do, let's kill all the lawyers, neboli volně přeloženo „první věc je pobít všechny právníky“. Bylo by zajímavé zjištění, jak jsme v tomto směru na tom my, ale je velmi pravděpodobné, že bychom dospěli k obdobné smutným závěrům.

*This conference, named „Underground City – Geotechnologie and Architecture“ was organized by the Russian Tunnelling Association under the sponsorship of ITA/AITES and ISSMGE (International company for soil mechanics and geoengeering) at an active support of the most important Russian companies and establishments which occupy themselves with this problems, as well as of the city Sankt Peterburg. Its importance and international character was stressed by the session of the ITA/AITES executive, as well as by the presence of several important firms and specialists. Some firms, such as LOVAT from Canada IMPREGILO and GEODATA from Italy, NCC from Sweden and HERRENKNECHT from FRG provided a direct sponsorship of this conference, and their representatives took an active participation both in its preparation and in the proper proceedings.*

*Within the opening session, which was opened by the Vice-Governor of Sankt Peterburg J. A. Antonov, also the president of ITA/AITES – Mr. Alfred Haack, greeted the conference. In the block of so called „plenary statements“ there appeared, with a comprehensive information, the General Manager of METROSTAV Ing. J. Hess, who, as the Vice-President of the International Tunnelling Association, informed the audience with its structure, activities, work and tasks of its Working Committees and with perspectives.*

*The proceedings of the conference was then realized in four section:*

- 1<sup>st</sup> – *Underground town and conception problems of its development (sub-title: utilization of underground, architectonic and lay-out solution, investment planning) – 26 papers, 7 of them from abroad.*
- 2<sup>nd</sup> – *Underground town and geomechanics (sub-title: special problems of research and project, structural solution) – 31 papers, 4 of them from abroad.*
- 3<sup>rd</sup> – *Underground town and geotechnologie (sub-title: building processes and equipment) – 29 papers, 5 of them from abroad.*
- 4<sup>th</sup> – *Underground town and ecology (sub-title: environment protection, prognoses and monitoring) – 28 papers, 1 of them from abroad.*

*In spite of the fact that for reading papers there was reserved most of the time of the conference proceedings (altogether two and half days, the beginning was at 9 a.m. and the end 6 p.m., with one hour break for lunch), not all authors could read their papers at all, and most of them were limited as to time. Chairmen of individual sections must be praised for their operative reactions to respective subjects and to the audience interest, so that the most interesting problems could be presented in the needed scope and details. The Czech Republic was – besides the main report of Ing. J. Hess, represented with one paper in the 1st section (authors Dvořák, Novotný, Romancov) and one paper in the 2nd section (authors Dvořák, Sochůrek). Both papers were selected for reading (at last, because of the absence of authors of the second paper, there was read only the first of them which was presented as the paper of the Czech Tunnelling Committee), and it can be stated that its subject and kind of elaboration attracted attention both of the Scientific Board and many of participants who discusses the subjects during brakes. Eventual interested persons can get acquainted with them (as well as with all other papers) in the transcriptions, which the secretariat of the Czech Tunnelling Committee have at disposal.*

*A very high number of papers were read, and it would be very difficult to indicate the most important, because nearly all were characterized by an interesting subject, good level of professional elaboration and accompanying figures. The author of this information, though, was especially interested in the paper of Mr. J. Anderson from the Great Britain, the subject of which concerned problems, unknown previously in our country, but at present being also very actual, viz. legal disputes having something to do with a preparation and realization of building projects. According to his conclusions, said disputes in England cost annually more than 3.5 miliard(!) GBP. What an advantage it would be, to build up something for said amount! It is not surprising that in this connection he cited Shakespeare: „The first thing we do, let's kill all the lawyers.“ It would be interesting to find out what is the situation in this matter in our country, but it is very presumable, that our conclusions would be sad in an analogous way.*

## JEŠTĚ JEDNOU K SVĚTOVÉMU TUNELÁŘSKÉMU KONGRESU V SAO PAULO: OPEN SESSION

### SAO PAULO WORLD TUNNEL CONGRESS 1998 ONCE MORE: THE OPEN SESSION

Open session byla tentokrát věnována tématu: Příspěvek maloprofilových tunelů k rozvoji velkoměst.

Pan Kalyan Ray, delegát Spojených národů, ve svém úvodním projevu zdůraznil rostoucí význam využívání podzemního prostoru a tunelů v budoucím vývoji velkoměst.

Jsme svědky významné změny v historii lidstva. Na přelomu století více než polovina světové populace bude žít ve městech. Kolem roku 2030 bude městská populace dvojnásobná oproti venkovské. Čím více lidí bude žít ve velkoměstech a městech, čím víc zde bude ekonomické aktivity, tím víc se zplodí odpadů a spotřebovává zdroje.

Infrastruktura je systém podporující život, který umožňuje městům fungovat. Vzdávající objem pitné a odpadní vody musí proudit podzemními tunely, obchodní centra musí být obsluhována metry a podzemní kabely musí dodávat energii a zvládnout všechny provoz prostřednictvím informačních dálnic, pokud města mají zvyšovat svou produktivitu a ekonomickou efektivnost a udržet si svůj konkurenční ráz i v jedenadvacátém století.

V tomto kontextu pan Ray vyzdvihl velký význam činnosti ITA/AITES při přenosu informací, ve vzdělávání a při účasti na strategických studiích.

S ohledem na závažnost problémů s financováním zdůraznil naléhavou nutnost, aby správní orgány zapojily soukromý sektor do budování a obhospodařování infrastruktury potřebné pro tvorbu a udržení přijatelného životního prostředí při rozvoji měst.

Specifické příklady byly uvedeny pro města: Johannesburg, Delhi, Sao Paulo, Tokio a Paříž.

Další všeobecné informace v zájmu řešení těchto problémů podal pan R. Bielecki, prezident Mezinárodní společnosti pro bezvýkopové technologie.

Hlavní závěry vyplývající z jejich příspěvků:

- zvláště významnou roli mají vodohospodářství, dodavatelé energie, distributoři pitné vody, správci kanalizací a čištění odpadních vod, kolektorů atd., jakož i přepravci všech druhů materiálu,
- nutnost průzkumu – od samého začátku – možného vzájemného vlivu mezi různými druhy podzemních kabelů, trubních vedení a kanalizací a to jak z technického hlediska tak z hlediska organizovaného využití podzemí při kolektORIZACI,
- nutnost objektivního posuzování mezi povrchovým a bezvýkopovým řešením. V každém případě musí být brány v úvahu všechna hlediska včetně společenských nákladů v nejširším smyslu.

*The open session was devoted to "The contribution of small-sized tunnels for development of metropolises".*

*In his keynote address, Kalyan Ray (UNCHS) highlighted the increasing importance of utilising underground space and tunnels in the future development of cities.*

*We are witnessing a momentous transition in the history of mankind. By the turn of the century, more than half of the world's population will be living in cities. By 2030, urban populations will be twice the size of rural populations. It is in the cities and towns that more people will live, more and more economic activity will take place, most pollution will be generated and most resources consumed.*

*Infrastructure is the life-support system that makes cities work. An increasing volume of water and waste must flow through those underground tunnels, the central business districts must continuously be fed by the metros, and the underground cables must carry the energy and cope with the traffic through the information highways, if the cities have to enhance their productivity and economic efficiency and retain their competitive edge in the twenty-first century.*

*In this context, he pointed out the great relevance of the activities of ITA through information, education and strategic studies.*

*Addressing the financing challenge, he emphasised the urgent need for governments to creating and enabling environment for increased private sector participation in the creation and the operation of that infrastructure needed for economic development.*

*Specific examples were presented for the following metropolises: Johannesburg, Delhi, Sao Paulo, Tokyo and Paris.*

*A more general information was made by R. Bielecki, President of the International Society for Trenchless Technology, on the interest of this solution.*

*The main headline coming out of their interventions were:*

- *the extremely important role played by the water management, as well as permanent energy provider, as drinking water distributor, as evacuator of used water by way of sewers, utility tunnels etc. . . . , as transport means for all kind of materials,*
- *the need to study, from the beginning, the possible interactions between the various types of underground cables, ducts and canalizations, as well from a technical point of view as far as organized use of the underground, specially by means of utility tunnels,*
- *the need for a fair competition between the cut and cover solution and the trenchless solution; in any case all elements, including social costs in the broadest sense, have to be taken into account.*

Podle materiálů z kongresu zpracoval:  
Presented according to the Congress materials by:  
Ing. Karel Matzner

## ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU ITA/AITES CZECH TUNNELLING COMMITTEE REPORTS

### ČESKÝ TUNELÁŘSKÝ KOMITÉT (ČTuK)

reprezentuje Českou republiku v ITA/AITES spolu se dvěma kolektivními členy, jimiž jsou akciové společnosti Metrostav a Subterra. Vznikl v roce 1982 (tehdy jako Československý tunelářský komitét) z iniciativy podniků zúčastněných na výstavbě metra v Praze. Předseda ČTuK je dlouholetým členem výkonného výboru ITA/AITES a letos byl zvolen jejím viceprezidentem.

Někteří odborníci z řad členů ČTuK jsou členy pracovních skupin asociace.

ČTuK sdružuje organizace, společnosti firmy, vysokoškolská a vědecká pracoviště i jednotlivce zainteresované v podzemním stavitelství a vědních oborech s ním souvisejících. Registruje 36 investorských, projektových, inženýrských a výrobních společností, 4 vysokoškolská a vědecká pracoviště a dalších 21 individuálních členů.

Předsednictvo ČTuK se na svém zasedání 8. 10. 1998 zabývalo přípravou pracovního shromáždění svých členských subjektů a zejména dalším rozvojem služeb, které jim může komitét poskytnout. ČTuK je schopen vytvořit si finanční rezervu na podporu cílevědomé publicity našich tunelářských aktivit, poznatků a zkušeností z teorie i praxe či výsledků výzkumu z oborů souvisejících s podzemním stavitelstvím. Předpokládá vysílat na odborné světové kongresy a konferenční delegáty, kteří by reprezentovali české tunelářství hodnotnými příspěvky a naopak zprostředkovali přenos informací o novinkách ve světě našim odborníkům.

Komitét hodlá rovněž podněcovat a podporovat pořádání tuzemských seminářů zaměřených ke konkrétním předem dohodnutým tématům. Cílem těchto seminářů by měla být pomoc při řešení aktuálních problémů z oboru podzemního stavitelství.

Další oblastí rozšíření služeb pro členy je podpora zájezdů a exkurzí na předem určené odborné akce v tuzemsku i zahraničí (výstavy, semináře, konference, zajímavé stavby).

ČTuK si současně vytváří potřebnou rezervu na předstíhové zajišťování konference „Podzemní stavby 2000“. Přípravný výbor konference, jehož složení bylo odsouhlaseno na pracovním shromáždění v Ostravě 21. 10. 1998, již zahajuje svou činnost. Podle rozhodnutí poslední konference PS '97 budou i další konference tematicky zaměřeny především na podzemní urbanismus a jeho ekologické aspekty při rozšiřování infrastruktury velkoměst.

Ing. Karel Matzner  
sekretář ČTuK  
Secretary of CTuK

### THE CZECH TUNNELLING COMMITTEE (CTuC)

represents the Czech Republic in ITA/AITES together with two collective members, viz. the joint stock companies Metrostav and Subterra. CTuC was established in the year 1982 (at that time as the Czechoslovak Tunnelling Committee), due to the initiative of enterprises taking part in the construction of the Metro in Prague. The Chairman of CTuC is a member of the Executive Committee of ITA/AITES for many years, and this year he was elected as its Vice-President.

Some experts – members of CTuC – are members of working groups of the Association.

CTuC associates enterprises, companies, firms, scientific and university centres, individuals interested in underground engineering and related scientific disciplines. It registers 36 investor companies, design, engineering and production ones, 4 scientific and university centres, and further 21 individual members.

The Board of CTuC, on its session dated October 8, 1998, discussed the preparation of a working meeting of its member subjects and especially the further development of services which the Committee can provide them. CTuC is able to form a financial reserve for supporting a methodical publicity of our tunnelling activities, knowledge and experience gained from the theory and practice, or of research results of disciplines related to underground engineering. It is supposed to send to professional world congresses and conferences delegates which should represent the Czech tunnelling engineering with high-quality papers and, vice versa, mediate an information transfer about novelties in the world to our specialists.

The Committee shall also instigate and support an organizing of home seminars aimed at topics agreed in advance. A help at solving actual problems concerning the underground engineering should be the aim of said seminars.

A support of trips and excursions to professional actions in inland and abroad (exhibitions, seminars, conferences, interesting structures), is the further sphere of enlarged services for our members.

CTuC forms in advance a needed reserve for ensuring the conference "Underground structures 2000". The Preparatory Committee of the conference, the composition of which was approved on the working meeting in Ostrava on October 21, 1998, just starts its activity. According to the decision of the last conference PS '97, even further conferences shall be directed, first of all, to the underground town-planning and its ecological aspects at enlarging the infrastructure of cities.



## TERRAPROJEKT a.s.

### Terraprojekt offers:

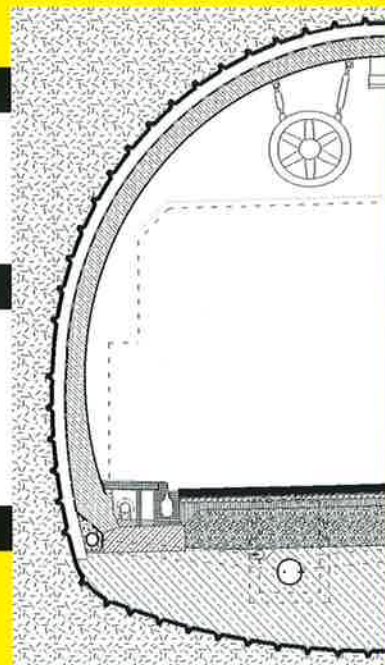
- Feasibility and economic studies
- Design and engineering works
- Project Management and supervision

### In the field of:

- Tunnels and underground structures
- Roads, motorways and railways
- Landfills and water treatment plants
- Civil engineering and architecture

### Office:

TERRAPROJEKT a.s., Podunajská 24, 821 06 Bratislava, SLOVAKIA  
tel.: ++421-7-5523 771-6, fax: 5523 103, e-mail: terraprojekt@gtinet.sk



## SPRAVODAJSTVO ZO SLOVENSKEHO TUNELÁRSKEHO KOMITÉTU SLOVAK TUNNELLING COMMITTEE REPORTS

### SLOVENSKÝ TUNELÁRSKY KOMITÉT (STK)

vznikol koncom roku 1992 po rozdelení Československa na dva samostatné štáty. Do ITA/AITES bol STK prijatý v apríli 1993 na svetovom kongrese v Amsterdame. STK v súčasnosti združuje 29 organizácií, ktoré sa svojou odbornosťou na tunelárskej výstavbe podieľajú.

Slovensko má bohatú tunelársku históriu z minulého storočia z čias rozvoja železničnej dopravy, keď sa na železničnej sieti postavilo okolo 80 tunelov. Vznikli tu technicky náročné diela, ktoré sa stavali v geologicky značne narušenom a zvodnelom prostredí Karpatského masívu. Ako príklad uvediem aspoň najdlhší jednokofajový železničný tunel na trati Banská Bystrica–Diviaky s dĺžkou 4700 m a slučkový tunel pri Telgárte 1200 m na trati Margecany–Banská Bystrica.

Po roku 1955 nastalo obdobie úplného útlmu tunelových stavieb a až po roku 1995 na Slovensku došlo k aktualizácii výstavby diaľničných tunelov. Prvý diaľničný tunel sa začal stavať v roku 1996. Ide o tunel Branisko s dĺžkou takmer 5000 m. Tunel Branisko bude uvedený do prevádzky v roku 2001.

Ďalším tunelom vo výstavbe je tunel Ovčiarsko dĺžky cca 2200 m pri Žiline, na ktorom je vyrazená prieskumná štôľňa. Razenie tunelovej rúry v plnom profile sa začne v roku 1999.

Na diaľnici D 18 smerom na Poľsko je v počiatočnom štádiu tunel Horelica dĺžky 570 m a na diaľnici D 1 sa razí prieskumná štôľňa najdlhšieho tunela v SR Višňové. Na tuneli Branisko sa aplikuje NRTM a touto metódou sa majú raziť aj tunely Ovčiarsko a Horelica. Na tuneli Višňové s prihliadnutím na jeho dĺžku a prevahu skalných hornín na jeho trase sa uvažuje s nasadením tunelovacieho stroja priemeru 11,9 m.

Jednou z hlavných úloh Slov. tunelárskeho komitétu bolo tento program tunelových stavieb podporiť, vyzdvihnúť ich prínos a umožniť transfer najnovších poznatkov zo zahraničia. Za týmto účelom STK poriada vlastné konferencie s medzinárodnou účasťou ako bola konferencia v Poprade v októbri 1995 a v novembri 1996 v Prievidzi.

Úspešnou akciou STK bola aj 1. medzinárodná výstava a sympóziu pod názvom „Tunely 98“, Žilina, jún 1998. Na tejto akcii sa nám podarilo v súlade s postupujúcou výstavbou dať priestor aj zahraničným výrobcom technických prostriedkov a technológií potrebných pre výstavbu tunelov.

Okrem vlastných odborných akcií prikladáme veľkú váhu aj každoročnej účasti na svetových kongresoch ITA/AITES a takisto konferenciám poriadaným národnými komitétmi, kde naši členovia aktívne prispievajú a súčasne začínajú p#sobiť aj v jednotlivých pracovných skupinách. Zvlášť si ceníme spoločné vydávanie odborného časopisu TUNEL s Českým tunelárskym komitétom. V tomto časopise máme možnosť podrobne publikovať dianie na tunelových stavbách v SR.

### THE SLOVAK TUNNELLING COMMITTEE (STC)

was founded by the end of 1992, after the Czechoslovakia had been divided into two separate states. Until then the experts working in this field were associated in the common Czechoslovakia Committee, which was established in 1982.

After the previous preparation there were accepted into the International Committee ITA/AITES the sole Slovak Committee in April 1993 at the World Congress in Amsterdam. At an early stage of the STC there were 18 member organisations and at present we have 29 organisations, which in fact covers nearly all organisations, that are engaged in the tunnel engineering.

Slovakia has a rich tunnelling history from the last century, from times when the railway traffic expanded and there were constructed about 80 tunnels on the entire railway network. There were created technically very demanding works, when they had to be built in geologically rather disturbed and water saturated environment of the Carpathian massif. For example I mentioned at least the longest one-track railway tunnel on the railway line Banská Bystrica–Diviaky–Martin (app. 4700 m) in the Middle Slovakia and loop tunnel by Telgárt on the railway line Margecany–Banská Bystrica in the East Slovakia. Besides railway tunnels there were built also tunnels for water supplies, transport and other tunnels, but in as smaller extend.

After 1950 there was a damping period, when practically no tunnels there were built. If any tunnel was built, it was rather unique. It was reasoned, that the tunnel construction is highly economically demanding and there were sought other solutions.

Only after 1992 planned activation of the Motorway network in Slovakia, that was integrated into the European corridors, the construction of the road transport tunnels was updated.

In April 1996 a new age history of tunnels construction in Slovakia began, when the Pilot tunnels of the Branisko tunnel started to be driven in the northern tube in length of the 4800 m in Eastern Slovakia. This tunnel was the first in sequence, as a mountain massif of the same name represents the greatest time delay by the construction of Motorway network in Slovakia. At present time the Pilot tunnel with profile of up to 14 m<sup>2</sup> is successfully driven along the whole tunnel length and the south tunnel tube in full profile has been already driven up to 55 % of length.

The tunnel Ovčiarsko is another tunnel under construction. It is app. 2200, long and it is located in the Middle Slovakia near the city of Žilina. There already has been the entire Pilot Tunnel here and a construction of full profile is prepared.

On the Motorway D 18 in the direction to Poland there is being built at the initial stage the tunnel Horelica. It will be 570 m long. On the Motorway D 1 is being built the Pilot tunnel of the longest tunnel in the Middle Slovakia – Višňové. It is 7400 m long and the diameter of the Pilot tunnel is 3,5 m. By the construction of tunnels Branisko, Ovčiarsko, Horelica the huge tunnel tube is supposed to be driven, respectively it is already driven by means of the method NATM. By the tunnel Višňové there is contemplated the main tunnel of diameter 11,9 m to be driven in hard rock (granodiorit) by a TBM machine.

One the Slovak Tunnelling Committee's main tasks was to support this programme for tunnel constructions, to point out their contribution and to make it possible to accept the newest international knowledge, for it to be used in each one individual construction and in this way to enhance the tunnel construction industry. For this purpose the STC regularly holds its own international Conferences such as the Conference in Poprad in October 1995, where the entire programme of tunnel construction was introduced in detail.

The Conference "Tunnels for the third millennium", that was held in November 1996 in Prievidza, was another very successful international event. At this Conference we could present first experiences from our own tunnel driving and to the compare them with the experiences of foreign participants.

Successful event organised by the STC was also the first international show and symposium of underground structural parts, called „Tunely 98“, that was held in June 1998 in Žilina. This kind of event we intend to organise regularly. At this event we have managed to give a room also to foreign producers of tunnel technology, that is necessary for tunnel construction.

Besides of our own expert events we consider important to take part every year in world ITA/AITES Congresses, or also in conferences held by national Committees, where also our members actively contribute and as well they are gaining the newest knowledge and they begin to spread the influence in the work groups. We particularly value the common issuing of the professional journal TUNEL together with the Czech Tunnelling Committee. We have an opportunity to publish in detail what is going on at our construction sites in this journal and as well we can also take over the most current articles and knowledge from abroad.

These are the areas of our activities, that we want to expand in future to order underground structural works such as public transport, parking places, etc.

Ing. Juraj Keleši,  
predseda STK

President of the Slovak Tunnelling Committee

## KALENDARIUM ITA/AITES

CALENDAR ITA/AITES

### KALENDÁŘ AKCÍ ITA/AITES, TUNELÁŘSKÝCH KONGRESŮ A KONFERENCÍ (AKTUALIZOVANÝ K 21. 10. 1998)

**8.–10. 12. 1989**, Basel, Švýcarsko, 4. Mezinárodní výstava INTERTUNNEL (Europe) 98 – tunelářství a podzemní těžba

**15.–18. 1. 1999**, Dallas, USA, mezinárodní stavební veletrh „The International Builder's Show“, největší na západní polokouli – 93 000 m<sup>2</sup> výstavní plochy

**14.–17. 3. 1999**, SAGEEP 99 – Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems – Oakland Marriot City Centre, Oakland, California, U.S.A. fax (+1 303) 843 6232

Akce ISTT – International society for trenchless technology (Mezinárodní společnost pro bezvýkopové technologie)

**21.–24. 3. 1999**, Melbourne, 10. australská tunelářská konference „The Race of Space“. 30. 9. 1998 – uzávěrka příspěvků  
Pořádá: Australian Underground Construction and Tunnelling Association.

**20.–24. 4. 1999**, Brno, Výstaviště, 4. Mezinárodní stavební veletrh

**29. 5.–3. 6. 1999**, Oslo, světový tunelářský kongres „World Tunnel Congress Oslo '99“ a 25. Valné shromáždění ITA/AITES. Termín pro kompletní příspěvek po přijetí abstraktu 15. 1. 1999

**7.–10. 6. 1999**, Amsterdam, konference o mechanice zemin – XIIth European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering „Geotechnical Engineering for Transportation Infrastructure“

**15.–17. 6. 1999**, Paris No-Dig Live 99  
Paříž – předvádění bezvýkopových technologií in situ, pořádá národní společnost FSTT, Info fax (+33 1) 48 70 99 79

**29. 6.–4. 7. 1999**, Xian, Shaanxi, Čína, 8. mezinárodní tunelářská konference „Underground Space 1999“

**17.–19. 8. 1999** 2nd Latin American Congress on Trenchless Technology – Buenos Aires, Argentina, fax (+54 1) 774 2423

**25.–28. 8. 1999**, Paříž, kongres o mechanice hornin – „9th International Congress on Rock Mechanics“, abstrakty příspěvků do 15. 8. 1998, příspěvky do 31. 12. 1998

**11.–14. 10. 1999**, Budapešť, konference o bezvýkopových technologiích – 17th International NO-DIG '99, abstrakty příspěvků do 15. 10. 1998, fax (+49 4035) 7232900. Motto „Střední

Evropa – trh pro bezvýkopové technologie“. Součástí konference je výstava a předvádění technologií in situ.

**25.–28. 10. 1999**, Paříž, mezinárodní konference o podzemním stavitelství „Underground Works: Ambitions and Realities“ abstrakty do 30. 11. 1998, konečný text příspěvků do 31. 3. 1999

**13.–18. 5. 2000**, Durban, JAR, světový tunelářský kongres a 26. Valné shromáždění ITA/AITES, „World Tunnel Congress: Tunnels under Pressure“.

Abstrakty – poslední možnost k doručení do 30. 11. 1998, konečný text příspěvku do 30. 8. 1999

**15.–19. 10. 2000** International No-Dig 2000 – Perth, Western Australia – Mezinárodní konference o bezvýkopových technologiích Perth – Austrálie, fax (+61 8) 9291 9978

**7.–15. 9. 2001** International No-Dig 2001 Prague, CZ – Mezinárodní (celosvětová) konference o bezvýkopových technologiích v Praze pod mottem „Praha – most mezi východem a západem“. Tel./fax (02) 35 20 00. Součástí konference je výstava a předvádění technologií in situ.

Závěrem:

- ke všem akcím Vám poskytneme další informace z podkladů, které máme k dispozici
- využíváme všech možností, tj. zveřejněním v „Tunelu“, při Valných shromážděních či dopisy, abychom Vás informovali o tunelářských konferencích ve světě. Chceme Vás tím vybídnout k další aktivitě v publikační činnosti a k častější prezentaci výsledků práce v našem oboru na světovém fóru. Zajistíme Vám odeslání příspěvků pořadatelům. Pokuste se uplatnit naším prostřednictvím příspěvek i v případě, že jste nestihli termín pro „call for papers“.

Ing. Karel Matzner

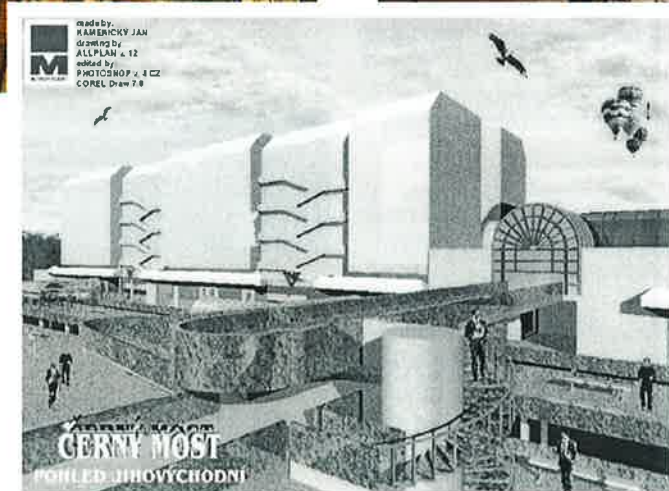
## INFORMACE

INFORMATION

### PŘÍRŮSTKY KNIHOVNY ČTuK ACCESIONS OF CTuK LIBRARY

- Protlačení nekruhových profilů kolektorových přípojek v podmínkách nesoudržných zemin v prostředí městské zástavby, Ing. Roman Vaňura, oceněná diplomová práce
- Sborník příspěvků z konference „Underground City: Geotechnology and Architecture“, Petrohrad 9/98
- Metropoliteny na liniach melkovo založenija, J. C. Frolov, J. E. Kruk, Moskva 1994
- Sborník přednášek ze 4. konference o bezvýkopových technologiích, Jeseník 10/98
- Celoživotní vzdělávání (nabídka vzdělávacích programů pro stavební práce na 9/98–6/99), ČKAI a Svaz podnikatelů ve stavebnictví

**METROPROJEKT Praha a.s.**  
**CZECH INDEPENDENT PROJECT AND ENGINEERING COMPANY**  
**offers the following services:**



- pre-investment studies & analyses
- project documentation at all levels
- transformation & authorisation of project documentation of foreign clients in compliance with Czech norms and regulations
- advisory & consulting services

- for
- cut & cover tunnelling
  - drill & blast tunnelling
  - slurry walls & trenches
  - soft ground tunnelling
  - underpinning
  - underground communication
  - railway, metro, tram and trolleybus tracks
  - motorways, highways, roads
  - underground parking lots

CONTACT ADDRESS:

**METROPROJEKT Praha a.s.**

Nám. I. P. Pavlova 2/1786, 120 00 Praha 2, Czech Republic  
 Phone: + (420 2) 96 204 121, Fax: + (420 2) 96 204 122  
 E-mail: metroprojekt@metroprojekt.cz





# INŽENÝRSKÁ KANCELÁŘ PŘI ČESKÉM TUNELÁŘSKÉM KOMITÉTU ITA/AITES

## ENGINEERING OFFICE OF THE ITA/AITES CZECH TUNNELLING COMMITTEE

nabízí orgánům státní správy a samosprávy, investorům, projektantům  
a dodavatelům objektivní a vysoce kvalifikované

● **expertízy** všech typů studií a projektů  
z oblasti podzemního urbanismu a podzemních staveb

● **návrhy a posuzování**

- hloubených i ražených podzemních staveb
- sanační opatření a rekonstrukční postupy  
při zakládání staveb a podzemním stavitelství
- využití stávajících i nových podzemních prostor  
pro účely ukládání odpadů, skladování energetických médií,  
zásobování vodou, čištění odpadních vod, garážování apod.
- stability skalních stěn

● **konzultace** koncepčních i dílčích problémů inženýrské geologie,  
mechaniky hornin, zakládání staveb a podzemního stavitelství

offers expert references of projects and constructions of all problems of the

- underground construction
- underground planning
- engineering geology
  - rock mechanics
- foundation engineering
  - and other ones

**KONTAKTNÍ ADRESA:**  
**CONTACT ADDRESS:**

Sekretariát Českého tunelářského komitétu ITA/AITES, Dělnická 12, 170 04 Praha 7  
Tel./fax: 66 79 34 79, Ing. Karel Matzner

## PROVÁDÍ A ZAJIŠŤUJE:

- zpevňující a těsnící injektáže
- návrhy technických řešení a projekty injektážních prací
- technologický dozor při injektážních pracích
- speciální technologie v inženýrském stavitelství
- kotvení, svorníkování, mikropiloty



**CarboGrouting**  
akciová společnost

## OBLAST POUŽITÍ:

- povrchové i podzemní stavitelství
- vodohospodářské a energetické stavby
- důlní stavby, hornictví

Lihovarská 10  
716 03 Ostrava-Radvanice  
Tel.: 069/6258 433, 6258 434  
Tel./Fax: 069/612 36 23

## CENÍK INZERCE V ČASOPISU „TUNEL“

### PRICE LIST OF ADVERTISING IN THE JOURNAL „TUNEL“

Pro členy ČTuK a tuzemské organizace:  
For CTuC members:

#### UVNITŘ ČASOPISU

celostránkový inzerát černobílý	11 000 Kč
celostránkový inzerát barevný	14 000 Kč
půstránkový inzerát černobílý	5 500 Kč

#### NA OBÁLCE ČASOPISU

celostránkový inzerát barevný	
– 3. strana	20 000 Kč
celostránkový inzerát barevný	
– 4. strana	25 500 Kč

Inzerce v celém ročníku – sleva 10 %

Redakce si vyhrazuje právo regulace inzerce s ohledem na druh a velikost podle počtu zájemců a jejich požadavků.

Ceník schválen Redakční radou časopisu 8. 1. 1998.

For CTuC non-members from abroad:

One page 1A advertisement in colour	2 000 DM
Half-page advertisement in colour	1 000 DM
Advertising in the entire year's volume - reduction 10%	

# SUBTERRA

CIVIL ENGINEERING



TRANSPORT MANAGEMENT, INDUSTRIAL, WATER AND APARTMENT BUILDINGS

CONSTRUCTION OF TUNNELS, MUNICIPAL COLLECTORS AND OTHER UNDERGROUND PROJECTS

RECONSTRUCTION OF TUNNELS, SEWERS AND OTHER STRUCTURES

LIQUIDATION OF DANGEROUS WASTE, BUILDING OF DUMPSITES

DESIGNING AND ENGINEERING ACTIVITIES, ACCREDITED LABORATORY

SUBTERRA a.s.  
Bezová 1658  
147 14 Prague 4  
Czech Republic

Tel.: +420 / 2 / 4406 1111  
Fax: + 420 / 2 / 4446 6179



METROSTAV joint-stock company means more than a mere metro construction. It represents a dynamic Czech construction company with a notable tradition, stable current position and a clear future. Projects completed include commercial and retail centers, industrial and transport related construction projects, engineering construction, construction for water and wastewater sector, reconstruction and renovation of building, housing and residential projects, underground construction. All of its work performed with a quality edge, now guaranteed by its quality management system certified in 1998 to ISO 9002. Turnkey implementation of project concepts in the required time - that is Metrostav's program in its entirety.

# METROSTAV

*In partnership with us you will be the best*

Contact us under:  
METROSTAV a.s.  
Dělnická 12, 170 04 Prague 7, Czech Republic  
Tel: +420 2/667 93 34, Fax: +420 2/80 82 75  
e-mail: mts@bohem.cz