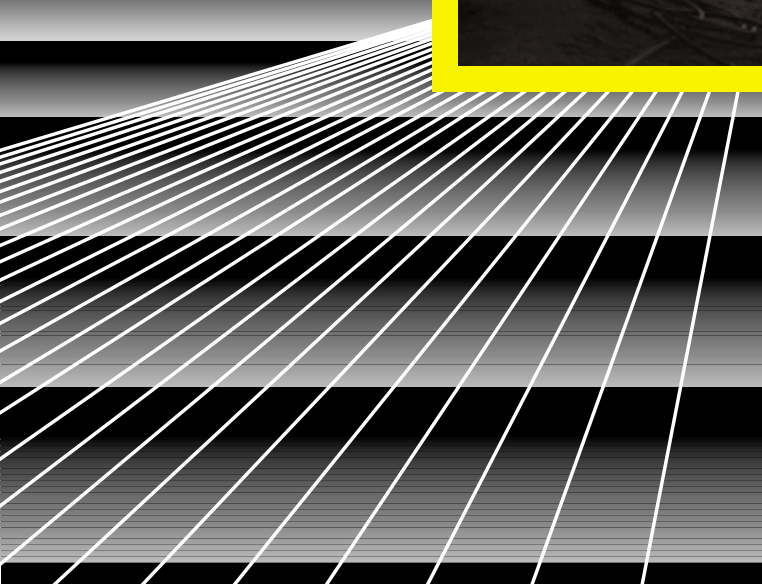


# Tunnel

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

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





**Váš partner  
v konzultační  
a projektové  
činnosti**

**Your partner  
for consulting  
and design**

**Síla v projektu  
Power in projects**



**METROPROJEKT Praha a.s.**  
I. P. Pavlova 2/1786, 120 00 Praha 2  
Česká republika  
Tel.: +420 296 325 152  
Fax : +420 296 325 153  
E-mail: [metroprojekt@metroprojekt.cz](mailto:metroprojekt@metroprojekt.cz)



# TUNEL

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

## CONTENTS

pg.

<b>Editorial:</b> Ing. Gustav Schnierer, Váhovstav – Tunely a špeciálne zakládania, a. s. ....	1
<b>Second construction phase of the PSP Goldisthal</b> Ing. Jozef Hric, Ing. Lubomír Gaňa, Váhovstav – Tunely a špeciálne zakládania, a. s. ....	2
<b>Tunnels built in the FRG</b> Ing. Ivan Cúth, Jozef Knajbel, Váhovstav – Tunely a špeciálne zakládania, a. s. ....	8
<b>Specialist foundation serving tunnellers</b> Ing. Rastislav Žuffa, Váhovstav – Tunely a špeciálne zakládania, a. s. ....	13
<b>The Horelica Tunnel – the first repeat performance of tunnelling in Slovakia</b> Ing. Stanislav Sibert, Váhovstav – Tunely a špeciálne zakládania, a. s. ....	18
<b>Construction pit in the “Karolina” area in Ostrava – Sheet pile walls</b> Ing. Jirí Tvardek, Ing. Lubor Dvořák, VOKD, a. s. ....	23
<b>Probability analysis of the effect of input parameters on the Mrázovka tunnel deformations modelling</b> Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., Dr. Ing. Jan Pruška, ČVUT Fsv Ing. Matouš Hilar, MSc., PhD. ....	27
<b>Photoreport from the Mrázovka Tunnel</b> Ing. Miroslav Kolečkář (group), VIS, a. s. ....	28
<b>Sveti Marko – the first Croatian highway tunnel driven by the NATM</b> Ing. Roman Šabata, ILF Consulting Engineers, s. r. o. ....	34
<b>Excavation and geotechnical monitoring of exploratory shafts of the Panenská Tunnel</b> Ing. Jan Kvaš, Metrostav, a. s. Ing. Pavel Gajdoš, SG Geotechnika, a. s. ....	43
<b>Safety in tunnels in the CR</b> Ing. Jiří Svoboda, Pragoprojekt, a. s. Mgr. Helena Svobodová, SPŠ MV ....	48
<b>Life jubilees</b> .....	52
<b>World of underground construction</b> .....	53
<b>News from tunnelling conferences</b> .....	55
<b>Czech Tunnelling Committee ITA/AITES reports</b> .....	56

### EDITORIAL BOARD

Chairman: Ing. Petr Vozarik - METROSTAV, a.s.  
Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. - ČVUT Praha  
Ing. Igor Fryč - POHL, a.s.  
Ing. Milan Krejcar - INSET, s.r.o.  
Ing. Josef Kutíl - INŽENÝRING DOPRAVNÍCH STAVEB, a.s.  
Ing. Libor Mařík - ILF CONSULTING ENGINEERS, s.r.o.  
Ing. Miloslav Novotný - METROSTAV, a.s.  
Ing. Pavel Polák - METROSTAV, a.s.  
Doc. Ing. Pavel Příbyl, CSc. - ELTODO EG, a.s.  
Ing. Georgij Romancov, CSc. - METROPROJEKT Praha, a.s.  
Doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc. - SG-GEOTECHNIKA, a.s.  
Ing. Stanislav Sikora - VOKD, a.s.  
Doc. Ing. Richard Šnupárek, CSc. - Ústav geoniky AV ČR  
Ing. Václav Torner - AQUATIS, a.s.  
Ing. Miroslav Uhlík - SUBTERRA, a.s.  
ČTuK ITA/AITES: Ing. Karel Matzner  
STA ITA/AITES: Ing. Miloslav Frankovský - TERRAPROJEKT, a.s.  
Ing. Peter Dinga - GEOCONSULT, s.r.o.  
Ing. Ondrej Vida - BANSKÉ STAVBY, a.s.

### PUBLISHED FOR SERVICE USE

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

### DISTRIBUTION:

ITA/AITES Member Nations  
ITA/AITES EC members  
CTuC corporate and individual members  
more than 30 external subscribers  
obligatory issues for 35 libraries and other subjects

### OFFICE

Dělnická 12, 170 04 Praha 7  
tel./fax: 667 93 479  
e-mail: matzner@metrostav.cz  
internet: http://www.ita-aites.cz  
Editor-in-chief: Ing. Karel Matzner  
Technical editors: Ing. Miloslav Novotný, Ing. Pavel Polák,  
Ing. Jozef Frankovský

Graphic designs: Petr Míšek

Printed: GRAFTOP

The Czech Tunnelling Committee ITA/AITES  
would like to invite you to its 10th Conference

UNDERGROUND CONSTRUCTION

# PRAHA 2003

Time: November 18 - 20, 2003

The conferences have been organized in the capital of the Czech Republic in three-year cycles since 1977. Prague has experienced a pronounced transformation in the course of the past ten years. Nowadays, its historic centre offers a lot of pleasure, which can be derived in the renewed beauties of the one thousand years' architectural development. Traffic issues and infrastructure of the capital are also being addressed in a new manner. It will certainly be rewarding for you to come here and combine the professional tunnelling meeting with an interesting aesthetic and touring experience. Accommodation will be provided both in the world class hotels and in cosy interior of small pensions.

Key Topics for Discussion:

- Urban underground planning and environmental aspects of underground construction
- Development, research and design of underground structures
- Implementation, equipment and operational safety of underground projects
- Maintenance, rehabilitation and refurbishment of underground structures

Preliminary Programme:

Tuesday, November 18 - the first day of the Conference:	Opening Discussion on the topic A and B Gala Party -Banquette
Wednesday, November 19 - the second day of the Conference:	Discussion on the topic C and D Conclusion
Thursday, November 20 - the third day of the Conference:	Visit to tunneling construction sites

Invitation with registration forms and detailed instruction for papers elaboration will be distributed by July 2002.

Interested individuals are invited to submit a one page, single spaced abstract to the Secretariat of the Czech Tunnelling Committee ITA/AITES not later than September 30, 2002. Notification of acceptance will be made on November 30, 2002. Final papers, including photos and graphics, are due by March 31, 2003.

Jindřich Hess  
President of the Czech Tunnelling Committee ITA/AITES

Jiří Barták  
Chairman of the Organizing Committee

Address of the Secretariat:

**Český tunelářský komitét ITA/AITES, Dělnická 12, 170 00 Praha 7,  
tel./fax: +420 2 66793479 e-mail: matzner @metrostav.cz web page: http://www.ita-aites.cz**

Český tunelářský komitét ITA/AITES  
si Vás dovoluje pozvat na 10. konferenci

PODZEMNÍ STAVBY

Termín: 18. - 20. 11. 2003

Konference pod tímto názvem se konají od roku 1977 v tříletých cyklech v hlavním městě České republiky. Praha v posledních deseti letech doznala výrazné proměny. Historické centrum dnes skýtá potěšení z obnovené krásy tisíciletého vývoje architektury. Nově jsou řešeny i dopravní problémy a infrastruktura hlavního města. Stojí za to přijet a spojit odborné setkání tunelářů se zajímavým estetickým a turistickým zážitkem. Ubytování bude připraveno v hotelích světové úrovně i v útulném prostředí malých pensionů.

Hlavní tématické okruhy:

- Podzemní urbanizmus a ekologické aspekty podzemních staveb
- Vývoj, výzkum a projektování podzemních staveb
- Provádění, vybavení a bezpečnost provozu podzemních staveb
- Údržba, sanace a rekonstrukce podzemních staveb

Rámcový program:

Úterý 18. listopadu - první den konference:	Zahájení Jednání o tématu A a B Společenský večer - banket
Středa 19. listopadu - druhý den konference:	Jednání o tématu C a D Závěr jednání
Čtvrtek 20. listopadu - třetí den konference:	Návštěva tunelářských stavenišť

Pozvánky k aktivní účasti na konferenci s podrobnými požadavky na vypracování příspěvků budou rozeslány v červenci 2002.

Abstrakty příspěvků v rozsahu max. 1 A4 je třeba předložit sekretariátu Českého tunelářského komitétu ITA/AITES nejpозději do 30. září 2002. Přijetí příspěvku bude autorům sděleno do 30. listopadu 2002.

Termín pro předložení příspěvků v konečné podobě: do 31. března 2003.

Ing. Jindřich Hess  
předseda Českého tunelářského komitétu ITA/AITES

Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.  
předseda přípravného výboru konference

Adresa sekretariátu ČTuK:

CENÍK INZERCE V ČASOPISU TUNEL			
PRICE LIST OF ADVERTISING IN THE TUNEL JOURNAL			
Pro členy ČTuK, STA a tuzemské organizace: <i>For CTuC and STA members:</i>			
UVNITŘ ČASOPISU		NA OBÁLCE ČASOPISU	
celostránkový inzerát barevný	16 000 Kč	celostránkový inzerát barevný	
půlstránkový inzerát barevný	9 000 Kč	- 2. nebo 3. strana	22 000 Kč
na kuléru celostránkový	12 000 Kč		
na kuléru půlstránkový	7 000 Kč	- 4. strana	28 000 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 14. 1. 2002			
<i>For CTuC and STA non-members from abroad: One page 1A4 advertisement in colour EUR 1200 Half-page advertisement in colour EUR 700 Advertising in the entire year's volume - reduction 10%</i>			

### POKYNY AUTORŮM KE ZPŮSOBU ZPRACOVÁNÍ PŘÍSPĚVKŮ A INZERÁTŮ DO ČASOPISU TUNEL

#### INSTRUCTIONS TO AUTHORS ON THE RULES TO BE OBSERVED IN SUBMITTING ARTICLES AND ADVERTISEMENTS FOR TUNEL MAGAZINE

Z důvodu zkvalitnění celého procesu edice časopisu žádáme všechny autory a inzerenty, aby dodržovali následující požadavky na předávané podklady:

- Text** (bez obrázků a fotografií) napsaný na PC (WORD) bez zarovnání, uložený na disketě 1,4 MB nebo zasláný e-mailem v uspořádání:
  - název článku
  - autor/autoři, organizace
  - text článku
  - očíslované podtitulky grafických příloh a fotografií (na konec článku)
- Grafické přílohy** (očíslované):
  - v originální grafické podobě
  - nebo na samostatném nosiči (disketa, ZIP, CD) ve formátu WORD nebo CORREL 8
- Fotografie:**
  - přednostně v pozitivní formě
  - nebo v digitální formě (mohou být na nosiči společně s grafickými přílohami), avšak s rozlišením min. 300 dpi
- Inzeráty:**
  - na filmech v tiskovém rastru 175 lpi (70 l/cm)
  - nebo v digitální formě na nosiči jako grafické přílohy
- Barevné otisky všech příloh**

Manuscripts shall be submitted for a higher quality of the whole edition process in the form as follows:

- The text in hardcopies** (WORD) typed without justification, downloaded on a 1.4 MB diskette or e-mailed in the following order:
  - the article title
  - author/authors, organisation
  - text of the articles
  - numbered subtitles of drawings and photos (listed at the end of the article)
- Graphic enclosures** (numbered):
  - in the original graphic form
  - or on a separate medium (diskette, ZIP, CD), format WORD or CORREL 8
- Photographs**
  - preferably in the form of positives
  - or in the digital form (photos may be downloaded on the same medium as the graphic enclosures), but with a minimum resolution of 300 dpi
- Advertisements**
  - on films within the print rastr of 175 lpi (70 l/cm)
  - or in the digital form in the same medium as the graphic enclosures
- Coloured prints of all enclosures**

# ČLENSKÉ ORGANIZACE ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA/AITES

## MEMBER ORGANIZATIONS OF THE CZECH TUNNELLING COMMITTEE AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA/AITES

### ČTuK:

**ABP, a. s.**  
Náměstí Hrdinů 6  
140 00 Praha 4

**AMBERG ENGINEERING BRNO, a.s.**  
Ptašinského 10  
602 00 Brno

**ANGERMEIER ENGINEERS, s.r.o.**  
Pilovská 216  
190 16 Praha 9

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

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

**ČERMÁK A HRACHOVEC, s.r.o.**  
Smíchovská 31  
155 00 Praha 5 - Řeporyje

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

**ENENERGIE - stavební a báňská, a.s.**  
Vašíčkova 3081  
272 04 Kladno

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

**GEOTEC GS, a.s.**  
Chmelová 2920/6  
106 00 Praha 6

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

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

**INGSTAV, a. s.**  
Noveská 22  
709 06 Ostrava - Mariánské Hory

**INGUTIS, 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

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

**KELLER SPECIÁLNÍ ZAKLÁDÁNÍ, s.r.o.**  
K Rysánci 16  
147 54 Praha 4

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

**METROSTAV, a.s.**  
Koželužská 5  
180 00 Praha 8

**OKD, DBP PASKOV, a.s.**  
739 21 Paskov

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

**PÚDIS, 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

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

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

**SMP CONSTRUCTION, a.s.**  
Na Florenci 1413/33  
113 16 Praha 1

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

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

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

**ÚSTAV GEONIKY AV ČR**  
Studentská ul. 1768  
708 33 Ostrava-Poruba

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

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

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ-  
TU OSTRAVA**  
tř. 17. listopadu  
708 33 Ostrava-Poruba

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

**ŽS BRNO, a.s.**  
závod MOSAN  
Burešova 17  
660 02 Brno

### STA:

**BANSKÉ STAVBY, a.s.**  
Košovská cesta 16  
971 74 Prievidza

**DOPRAVOPROJEKT, a.s.**  
Kominárska 2, 4  
832 03 Bratislava

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

**GEOFOS, s.r.o.**  
Veľký diel 3323  
010 08 Žilina

**GEOSTATIK, spol. s r.o.**  
Bytčická 32  
P.O.BOX B 138  
010 29 Žilina

**HORNONITRIANSKE BANE  
PRIEVIDZA, a.s.**  
ul. Matice Slovenskej 10  
971 71 Prievidza

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

**HYDROTUNEL, s.r.o.**  
Mojmírova 14  
P.O.BOX 16  
927 01 Bojnice

**CHÉMIA-SERVIS, s.r.o.**  
Zadunajská 10  
851 01 Bratislava

**INCO BANSKÉ PROJEKTY, s.r.o.**  
Miletičova 23  
821 09 Bratislava

**INFRAPROJEKT, s.r.o.**  
Kominárska 4  
832 03 Bratislava

**Ing. Ján Fabrický  
ŠPECIÁLNÉ ČINNOSTI**  
Kuklovská 60  
P.O.BOX 20  
841 05 Bratislava

**INGEO-IGHP, s.r.o.**  
Bytčická 16  
010 01 Žilina

**KATEDRA GEOTECHNIKY**  
Stavebnej fakulty ŽU v Žiline  
Komenského 52  
010 26 Žilina

**MAGISTRÁT HL.M. BRATISLAVY**  
Primaciálne nám. 1  
814 99 Bratislava

**PRÍRODOVEDECKÁ FAKULTA UK**  
Katedra inžinierskej geológie  
Mlynská dolina G  
842 15 Bratislava

**SLOVENSKÁ SPRÁVA CIEST**  
Miletičova 19,  
826 19 Bratislava

**SLOVENSKÉ TUNELY, a.s.**  
Furmanská 8,  
841 03 Bratislava

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

**STAVEBNÁ FAKULTA STU**  
Katedra geotechniky  
Radlinského 11  
813 68 Bratislava

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH**  
Katedra dobývania ložísk  
a geotechniky  
Letná 9  
042 00 Košice

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

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

**ÚSTAV GEOTECHNIKY SAV**  
Watsonova 45  
043 53 Košice

**VAHOSTAV - TUNELY A ŠPECIÁLNE  
ZAKLADANIA, a.s.**  
Borská 6  
841 04 Bratislava 4

**VODOHOSPODÁRSKA VÝSTAVBA š.p.**  
Karloveská 2  
P.O.BOX 45  
840 00 Bratislava

**VUIS-ZAKLADANIE STAVIEB, spol. s r.o.**  
Stará Vajnorská cesta 16  
832 44 Bratislava

**ZIPP BRATISLAVA, spol. s r.o.**  
Stará Vajnorská 16,  
832 44 Bratislava

**ZPA KŘÍŽÍK, a.s.**  
Masarykova 10  
080 01 Prešov

**ŽELEZNICE SLOVENSKEJ REPUBLIKY**  
Klemensova 8  
813 61 Bratislava

11. ROČNÍK, č. 4/2002  
MK ČR 7122  
ISSN 1211 - 0728

Časopis Českého tunelářského komitétu  
a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES  
Založen Ing. Jaroslavem Gránem v roce 1992  
OBSAH

str.

Úvodník: Ing. Gustav Schnierer, Váhostav – Tunely a špeciálne zakládania, a. s. . . . .	1
Druhá etapa výstavby PVE Goldisthal Ing. Jozef Hric, Ing. Lubomír Gaňa, Váhostav – Tunely a špeciálne zakládania, a. s. . . . .	2
Tunelové stavby v SRN Ing. Ivan Cúth, Jozef Knajbel, Váhostav – Tunely a špeciálne zakládania, a. s. . . . .	8
Špeciálne zakládania ve službách tunelárov Ing. Rastislav Žuffa, Váhostav – Tunely a špeciálne zakládania, a. s. . . . .	13
Tunel Horelica – prvá tunelárska repríza na Slovensku Ing. Stanislav Sibert, Váhostav – Tunely a špeciálne zakládania, a. s. . . . .	18
Zajištění stavební jámy v prostoru „Karolína“ v Ostravě – Štětové stěny Ing. Jiří Tvardek, Ing. Lubor Dvořák, VOKD, a. s. . . . .	23
Statistická analýza vlivu vstupních parametrů na modelování deformací tunelu Mrázovka Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., Dr. Ing. Jan Pruška, ČVUT Fsv Ing. Matouš Hilar, MSc., PhD . . . . .	27
Fotoreportáž z tunelu Mrázovka Ing. Miroslav Kolečkář a kol., VIS, a. s. . . . .	28
Sveti Marko – první chorvatský dálniční tunel ražený NRTM Ing. Roman Šabata, ILF Consulting Engineers, s. r. o. . . . .	34
Ražba a geotechnický monitoring průzkumných štol tunelu Panenská Ing. Jan Kvaš, Metrostav, a. s. Ing. Pavel Gajdoš, SG Geotechnika, a. s. . . . .	43
Bezpečnost v tunelech v ČR Ing. Jiří Svoboda, Pragoprojekt, a. s. Mgr. Helena Svobodová, SPŠ MV . . . . .	48
Životní jubilea . . . . .	52
Ze světa podzemních staveb . . . . .	53
Zprávy z tunelářských konferencí . . . . .	55
Zpravodajství Českého tunelářského komitétu ITA/AITES . . . . .	56

### 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 - INSET, s.r.o.  
Ing. Josef Kutil - INŽENÝRING DOPRAVNÍCH STAVEB, a.s.  
Ing. Libor Mařík - ILF CONSULTING ENGINEERS, s.r.o.  
Ing. Miloslav Novotný - METROSTAV, a.s.  
Ing. Pavel Polák - METROSTAV, a.s.  
Doc. Ing. Pavel Příbyl, CSc. - ELTODO EG, a.s.  
Ing. Georgij Romancov, CSc. - METROPROJEKT Praha, a.s.  
Doc. Ing. Alexandr Rozsypal, CSc. - SG-GEOTECHNIKA, a.s.  
Ing. Stanislav Sikora - VOKD, a.s.  
Doc. 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  
STA ITA/AITES: Ing. Miloslav Frankovský - TERRAPROJEKT, a.s.  
Ing. Peter Dinga - GEOCONSULT, s.r.o.  
Ing. Ondrej Vida - BANSKÉ STAVBY, a.s.

### VYDAVATEL

Český tunelářský komitét a Slovenská tunelárska asociácia ITA/AITES  
pro vlastní potřebu

### DISTRIBUCE:

členské státy ITA/AITES  
členové EC ITA/AITES  
členské organizace a členové ČTuK  
více než 30 externích odběratelů  
povinné výtisky 35 knihovnám a dalším organizacím

### REDAKCE

Dělnická 12, 170 04 Praha 7  
tel./fax: 667 93 479  
e-mail: matzner@metrostav.cz  
internet: http://www.ita-aites.cz  
Vedoucí redaktor: Ing. Karel Matzner  
Odborní redaktoři: Ing. Miloslav Novotný, Ing. Pavel Polák,  
Ing. Jozef Frankovský

Grafická úprava: Petr Mišek

TISK: GRAFTOP



## VÝZNAMNÝ MEDZNÍK TUNELÁRSKEJ OBCE

Rozbeh diaľničnej výstavby na Slovensku si vynútil aj odštartovanie výstavby tunelov, pričom v tomto roku dva rozostavené zaznamenali významné medzníky. Po stavebnej stránke bol dokončený tunel Branisko a zostáva ešte dokončiť jeho technologickú časť. Tunel Horelica pri Čadci bol kalotou prerazený 7. júna a krátko potom boli ukončené i práce na výlome a primárnom ostení. Do výstavby oboch tunelov sa aktívne zapojila aj naša akciová spoločnosť Váhovstav – Tunely a špeciálne zakladania Bratislava. Firma vznikla pred vyše rokom odčlenením stavebného závodu Tunely a špeciálne zakladanie od Váhovstavu, a. s., Žilina a je súčasťou holdingovej finančnej skupiny Danubia Invest Bratislava.

Výrobný program našej spoločnosti sme zamerali na projekty v podzemnom staviteľstve a v špeciálnom zakladaní. Strategický význam mala výstavba tunela Branisko a v súčasnosti je to tunel Horelica, ktorý je súčasťou budovania diaľnice D3 zo Žiliny k slovensko-poľskému hraničnému priechodu Skalité – Zwardoň. Trasa diaľnice D3 je súčasťou multimodálneho koridoru sever – juh, čiže medzinárodného európskeho ťahu E 57. Z architektonického hľadiska sú v rámci výstavby uplatnené viaceré estetizujúce prvky pri návrhu konštrukcií tak, aby sa dielo harmonicky začlenilo do okolia. Objekty technologického vybavenia tunela spĺňajú najnovšie poznatky z hľadiska jeho bezpečnej prevádzky. Na Slovensku sa zapájame aj do výstavby priemyselných závodov, obchodných centier a podzemných garáží. V súčasnosti je to napr. budovanie druhej etapy spoločnosti INA v Kysuckom Novom Meste alebo akcie v Bratislave a v jej okolí.

Naše aktivity smerujú aj do Nemecka, kde sme získali veľmi dobré referencie pri budovaní podzemnej vodnej elektrárne Goldisthal. Kompletne dielo od saviek až po výtokový objekt sme ukončili v zmluvnom termíne a v požadovanej kvalite k mimoriadnej spokojnosti investora. Na stavbe diaľničného tunela Dölzschchen pri Drážďanoch sme robili raziace práce. Súčasťou nášho výrobného programu bolo aj razenie únikovej štólne pre železničný tunel na trati Norimberg – Ingolstadt. V súčasnosti sa podieľame na výstavbe kanalizačného zberača pri Stuttgarte, ako aj metra v tomto meste. Výstavba mestských podzemných dráh je trvalým predmetom nášho záujmu, pričom sa zúčastňujeme aj na výstavbe metra v Prahe, Dortmunde a Mnichove. Naďalej so stúpajúcimi nádejami spájame možnosti našej aktívnej účasti pri riešení dopravnej problematiky v hlavnom meste SR.

Aj vo vzdialenejšej cudzine pozorne sledujeme vývoj na trhu v podzemnom staviteľstve a minimálne účasťou vo výberových konaniach dávame na známost záujem a spôsobilosť slovenských tunelárov zvládnuť i tie najnáročnejšie úlohy v tunelárstve.

Pre všetky realizované práce máme k dispozícii komplexné strojové a technologické vybavenie, odbornosťou a skúsenosťami kvalifikovaný pracovný kolektív od riadiacich až po robotnícke profesie. Zamestnávame 460 pracovníkov, v apríli roku 2002 sme získali certifikát kvality ISO 9002.

Naším zámerom pre nasledujúce obdobie bude presadiť sa serióznymi cenami, ústretovosťou k zákazníkom, garantovaním kvality a termínov. Chceme zdokonaľovať vlastný tvorivý potenciál, pričom využívame aj odborné rezervy domácich a zahraničných špecializovaných pracovísk.



## A SIGNIFICANT BREAKPOINT OF THE TUNNELING COMMUNITY

The boom of highway constructions in Slovakia pressed the need for launch of tunnel constructions, while two of them currently under construction have marked significant breakpoints this year. Civil works on the Branisko tunnel were completed while still the technological equipment section remains to be carried out. As for the Horelica tunnel near Čadca, the top heading broke through on June 7 and shortly afterwards works on

the excavation and primary lining were also finished. Our joint-stock company Váhovstav – Tunely a špeciálne zakladania Bratislava has actively participated at constructions of both tunnels. The company was founded a year ago by secession of the engineering department Tunely a špeciálne zakladania from Váhovstav, a.s., Žilina and falls under holding financial group Danubia Invest Bratislava.

We focused the production program of our company on projects within underground engineering and specialist foundation. There was a strategic significance in construction of the Branisko tunnel and currently of the Horelica tunnel, which is part of the constructed D3 highway from Žilina to the Slovakian – Polish border crossing point Skalité – Zwardoň. The route of the D3 highway is part of a multilevel corridor north-south, in other words of the international European artery E57. From the architectural point of view, there are several aesthetic elements within its frame and all under such design that would achieve harmony with the surrounding. Parts of the technological equipment correspond to newest knowledge with regards to its safe operation. In Slovakia we also take part in constructions of industrial plants, shopping malls as well as underground garages. Currently these include for instance second phase construction of the INA company in Kysucké Nové Mesto or interests in Bratislava and its vicinity.

Our activities are also focused on Germany, where we acquired very good references during construction of the underground water power plant Goldisthal. We finished the entire work from pumps to output facility within a contractual schedule and in requested quality with extraordinarily content investor. We carried out excavation works at the highway tunnel Dölzschchen near Dresden. The excavation of an exit gallery for a tunnel railway tunnel on the track Nurnberg – Ingolstadt was also part of our product program. Currently we are taking part on construction of a sewer collector near Stuttgart as well as on subway within this city. Construction of urban underground railways is our permanent object of interest, while beside the aforementioned one, we are also participating at constructions of subways in Prague, Dortmund and Munchen. Furthermore, we relish with mounting hopes our potential for active participation by solution of traffic problems in the capital of the Slovakian republic.

We follow development of the underground engineering market even in the farthest countries and at least by participation in competitive tenders we express interest as well as qualification of the Slovakian tunnelers to manage even the most complicated tunneling tasks.

As for all realized works, we possess complex mechanical and technological equipment, skilled and experienced working team at all levels from managers to manual professions. We have 460 employees, in April 2002 we acquired the certificate of quality ISO 9002.

It is our goal for the upcoming years to break through with reasonable prices, good-will towards customers, guarantees for quality and schedules. We would like to perfect our own creative potential also by using our professional pool of domestic and foreign specialized workplaces.

**Ing. Gustav Schnierer**  
predseda predstavenstva a generálny riaditeľ  
Váhovstav – Tunely a špeciálne zakladania, a. s., Bratislava

## DRUHÁ ETAPA VÝSTAVBY PVE GOLDISTHAL

### SECOND CONSTRUCTION PHASE OF THE PSP GOLDISTHAL

Ing. JOZEF HRIC, Ing. LUBOMÍR GAŇA - VÁHOSTAV - TUNELY A ŠPECIÁLNE ZAKLADANIA, a. s., BRATISLAVA

#### ÚVOD

Prečerpávací vodná elektrárňa Goldisthal s výkonom 1 060 MW je najväčšia a najmodernejšia elektrárňa svojho druhu v Európe. Prvé plány na výstavbu elektrárne boli navrhnuté v šesťdesiatych rokoch ešte v časoch bývalej NDR. S prvými raziacimi prácami, inžiniersko-geologickým prieskumom, výrubom lesného porastu a prekládkou cesty bolo začaté v roku 1975. Tieto práce boli z ekonomických dôvodov v roku 1981 prerušené. Po politickom zjednotení Nemecka sa o projekt začala zaujímať spoločnosť VEAG, združujúca výrobcov elektrickej energie, ktorá pôvodný projekt inovovala a potvrdila jeho potrebu a hospodársky prínos. Proces schvaľovania pokračovania vo výstavbe elektrárne trval až do septembra 1997, keď sa všetky zainteresované štátne úrady vrátane ochranárov životného prostredia dohodli a predložený nový projekt schválili. Dňa 29. septembra 1997 boli začaté práce na razení prístupovej štôlne do podzemnej strojovne a začala sa budovať nová infraštruktúra budúcej elektrárne. Stavebné práce zabezpečovalo združenie firiem pod vedením Walter-Bau A.G., pre ktorých sme ešte pod hlavičkou Váhostavu, a. s., začali práce na razení spodných privádzacích chodieb do podzemnej strojovne. Postupne sa náš kontrakt rozširoval aj na razenie iných objektov PVE. Spolupráca medzi Váhostavom a. s. a Walter - Bau A.G. pokračovala „Druhou etapou výstavby PVE Goldisthal“, keď pracovníci D – 11 Tunely realizovali železiarske a betonárske práce už vyrazených odtokových tunelov od saviiek až po výtokový objekt. Súčasťou dodávky bolo aj projektovanie a výroba špeciálnych debnení pre prechodové úseky a vidlice. „Prvá etapa výstavby PVE Goldisthal“ bola popísaná v časopise Tunel číslo 1 / 2000.

#### REALIZOVANÉ PRÁCE SEKUNDÁRNEHO OSTENIA ODTOKOVÝCH TUNELOV

Po vyrazení odtokových tunelov a realizácii primárneho ostenia pracovníci firmy Váhostav v apríli 2000 až v auguste 2001 vykonávali práce na sekundárnom ostení odtokových tunelov PVE Goldisthal. V horeuvedenom období bolo želané realizovať nasledovný rozsah prác:

- dočistenie základovej škáry a jej ochrana podkladným betónom
- vlastné železobetonárske práce sekundárneho ostenia odtokových tunelov

Hrubé dočistenie základovej škáry bolo vykonávané pomocou tunelového bagra Liebherr 912. Na pevné, únosné podložie bolo dočistenie dosiahnuté vyfúkaním pomocou stlačeného vzduchu, prípadne tlakovej vody. Vzhľadom k rôznorodosti geologického prostredia bola hrúbka podkladného betónu až 50 cm oproti projektom predpísanej hrúbke 10 cm. Je potrebné zdôrazniť, že geologický dozor odberateľa mimoriadne starostlivo preberal každý meter základovej škáry. Súčasťou týchto prác bolo aj osadenie kolajníc pre presun armovacieho a šalovacieho voza. Kolajnice boli smerovo a výškovo osadené podľa lasera a pred vlastnou betonážou podkladného betónu geodeticky premerané a prípadné odchýlky od požadovaných parametrov boli ihneď rektifikované.

Železobetonárske práce odtokových tunelov nasledovne:

- odtokový tunel Sever v dĺžke 346 m
- odtokový tunel Juh v dĺžke 346 m

Každý z tunelov pozostával z blokov 1 až 35, ktorých tvary vychádzali z hydraulických požiadaviek a z požiadaviek smerového a výškového vedenia odtokových tunelov. Vlastné odtokové tunely začínali napojením na ocelové sacie rúry turbín a ukončené boli záustením do výtokového objektu elektrárne – dolnej nádrže. Predmetom dodávky Váhostavu, a. s., bol nasledovný rozsah prác:

- návrh debnenia, výroba debnenia pre bloky 1, 2, 3, 4, 5, 6, 35 (viď blokova schéma obr. 1)

#### ABSTRACT

Pumping storage plant Goldisthal with an output of 1 060 MW is the largest and most modern power plant of its kind in Europe. First plans for the storage plant's construction were proposed in the sixties still in times of the former GDR. First excavation works, engineering-geological exploration, deforestation and relocation of the road began in 1975. These works were put on hold in 1981 due to economic reasons. Following a political unification of Germany, the VEAG company, consortium of electric power producers, expressed interest in the project, innovated the original project and confirmed its convenience as well as economic contribution. The process of approving the work on the construction of the storage plant to resume was not finished until September 1997, when all governmental bureaus involved along with environmental groups agreed and approved the submitted new design. On September 29 2002, works began on excavation of access addit into the underground engine room as well as on new infrastructure of the future pumped storage plant. Civil works were provided by an association of companies lead by Walter-Bau A.G., for whom we, still as Váhostav a.s., began works on excavation of lower headrace tunnels into the underground engine room. Gradually, our contract expanded to excavation of other PSP objects. Cooperation between Váhostav a.s. and Walter-Bau A.G. advanced "Second construction phase of the PSP Goldisthal", when employees of the D – 11 Tunnels realized reinforcement fixing and concrete placement works on already excavated tailrace tunnels from draught tubes all the way to the outlet structure. Design and manufacture of special formworks for the transition sections and bifurcations was part of the Váhostav a.s. contract. "First construction phase of the PSP Goldisthal" was introduced in the Tunel magazine issue 1/2000.

#### REALIZED WORKS ON SECONDARY LINING OF THE TAILRACE TUNNELS

Following excavation of the tailrace tunnels and realization of the primary lining, employees of Váhostav, a.s. realized the works on secondary lining of tailrace tunnels of the PSP Goldisthal in April through August 2001. During the aforementioned period it was desired to carry out the following scope of works:

A. Final cleaning of the foundation base and its protection using blinding concrete.

B. The own reinforced concrete placement of secondary lining of the tailrace tunnels

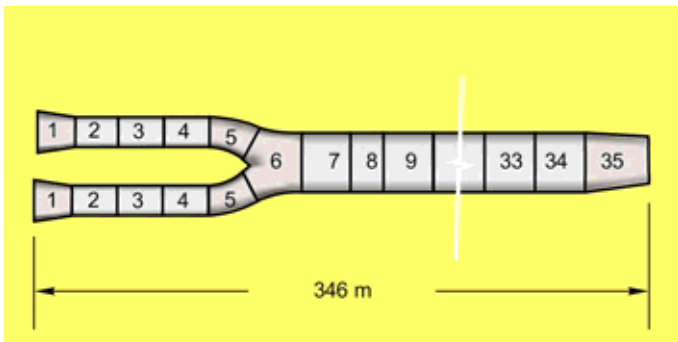
A. Rough final cleaning of the foundation base was carried out using a tunnel excavator Liebherr 912. A firm, good bearing bedding was reached by final cleaning by means of blowing out with compressed air, eventually compressed water. With regards to variability of the geological environment, the thickness of the blind concrete reached even 50 cm according to the designed thickness of 10 cm. It is necessary to emphasize that the owner's geological supervision carefully inspected every meter of the foundation base. It was also part of these works to install rails for movement of the reinforcement installation platform and the formwork. The rails were laid to line and level using a laser. Prior to own placement of the blinding concrete the rails were surveyed again, and eventual deviations from required parameters were immediately rectified.

B. Reinforced concrete placement works of the tailrace tunnels:

- tailrace tunnel North in length of 346 m
- tailrace tunnel South in length of 346 m

Each tunnel consisted of blocks 1 through 35, whose shapes derived from hydraulic requirements and from the requirements of horizontal and vertical





Obr. 1 Schéma jednotlivých blokov odtokových tunelov  
Fig. 1 Layout of individual blocks of the tailrace tunnels

kompletná betonáž sekundárneho ostenia obidvoch odtokových tunelov  
Debnenie navrhla a vyprojektovala projekčná zložka Váhostavu a výrobu debnení zabezpečovali dielne Váhostavu v Hornom Hričove.

### BLOK 1 - PRECHODOVÝ KUS ZO SAVKY

Tento blok má hydraulicky komplikovaný tvar, keď na dĺžke 12,1 m prechádza z obdĺžnikového prierezu do kruhového prierezu priemeru 5,92 m. Z tohto dôvodu boli kladené zvýšené požiadavky na výrobu debnenia a následne aj na jeho montáž priamo na bloku. Debníca plocha bola tvorená z opracovaných drevených fošní hr. 7 cm, uložených na výstužnom oceľovom ráme. Súčasťou debnenia bol aj oceľový rozperný a podporný systém. Debnenie po dĺžke bolo rozčlenené na 8 segmentov, ktorých vzájomná tuhosť bola zabezpečená skrutkami M20 a M16. Vlastná betonáž bloku bola rozdelená na tri časti: základová doska, steny, strop. Zhutňovanie betónovej zmesi v základovej doske bolo pomocou ponorných vibrátorov, v stenách kombináciou ponorných a vzduchových príložných vibrátorov a v strepe len pomocou príložných vibrátorov. Do pracovnej škáry medzi jednotlivými časťami bloku bol vkladán gumový pás hr. 1 cm a šírky 30 cm. Montáž výstu-



Obr. 2 Armovací voz spodných výtokových chodieb  
Fig. 2 Reinforcement installation platform for the tailrace tunnels

alignment of the tailrace tunnels. The own tailrace tunnels began by connection to the steel draught tubes of turbines and were terminated by discharge into the storage plant's outlet structure – lower basin. The scope of contract works of Váhostav, a.s. is as follows:

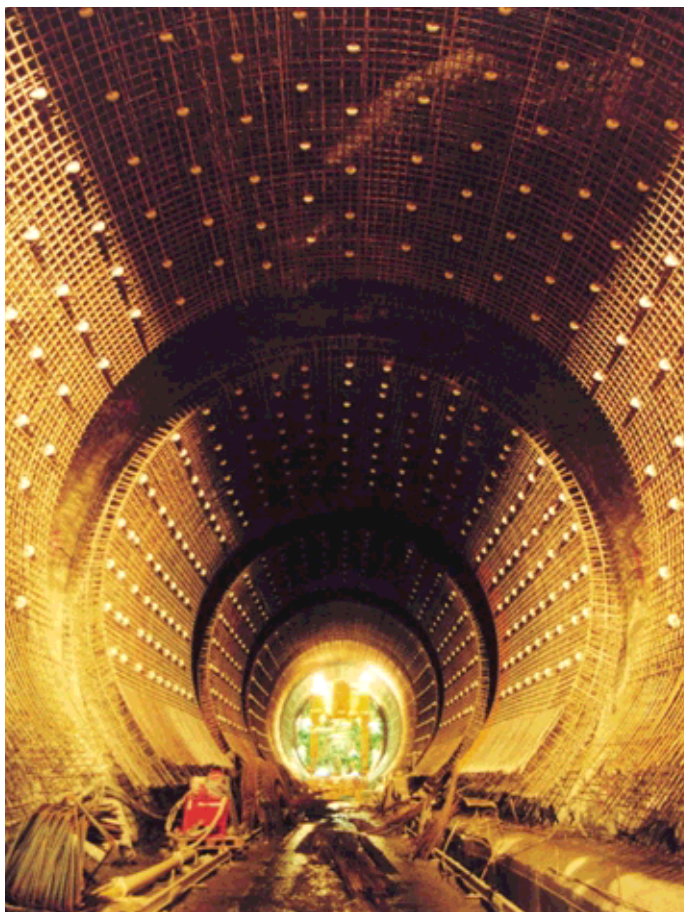
- Design of formwork, manufacture of formwork for blocks 1, 2, 3, 4, 5, 6, 35 (see block layout fig. 1)

- Complete concrete placement of the secondary lining of both tailrace tunnels

The formwork was proposed and designed by designing department of Váhostav while its manufacture was carried out in the workshop of Váhostav in Horný Hričov.

### BLOCK 1 – TRANSITION SECTION FROM THE DRAUGHT TUBES

This block has a hydraulically complicated shape, when on a 12,1 m length it proceeds from a rectangular cross profile into circular one with diameter of 5,92 m. Due to this reason, increased demands on manufacture of the formwork and subsequently also on its assembling directly in the block were placed. The formwork surface consisted of dressed planks 7 cm thick, placed on a reinforcing steel frame. A steel bracing and support system was part of the formwork. The formwork was longitudinally divided into 8 segments whose mutual rigidity was ensured through anchors M20 and M16. The own concrete placement of the block was divided into three sections: foundation slab, walls, roof. The compaction of concrete mixture in the foundation slab was carried out using immersed vibrators, in walls using combination of immersed and external vibrators and in the roof only using external vibrators. A rubber waterstop 1 cm thick and 30 cm wide was inserted into the day joints between the individual block sections. The reinforcement was installed from a working platform, amount of installed reinforcement reaches app.75 tons, amount of concrete for one transition block then 560 m<sup>3</sup>. This block always took place twice in each tailrace tunnel, that means it was necessary to rotate the formwork 4 times for both tunnels. The care of the formwork, such as smoothing the formwork surface or spraying with forming oil, fully corresponded to this fact.



Obr. 3 Horná časť celokruhovej armatúry spodných výtokových chodieb.  
V pozadí vidieť debniac voz  
Fig. 3 Upper section of the circular reinforcement of tailrace tunnels.  
The movable formwork can be seen in the back



že bola realizovaná z pracovného lešenia, množstvo zabudovanej výstuže cca 75 t, množstvo betónu 560 m<sup>3</sup> na jeden prechodový blok. V každom odtokovom tuneli sa tento blok vyskytoval 2x, tj. pre obidva tunely bolo potrebné debnenie obrátiť 4x. Tomuto faktu zodpovedala aj starostlivosť o debnenie, ako prebrúsenie debniacej plochy a nástrek formovým olejom.

### BLOKY 2, 3, 4

Tieto bloky, vedené v priamke, boli tvorené kruhovým prierezom priemeru 5,92 m, dĺžka bloku 10,0 m. Betonáž každého bloku bola rozdelená na dve časti:

- spodná klenba
- horná klenba

Debnenie pre tieto bloky bolo vyrobené komplet z ocele, tj. debniaca plocha z oceľového plechu vrátane oceľového rozperného a podporného systému. Debnenie po dĺžke bolo rozdelené na 4 segmenty vzájomne pospájané skrútkami M20 a M16. Debnenie spodnej klenby bolo možné použiť aj na hornú klenbu. Pracovný postup na týchto blokoch bol nasledovný:

- betonáž spodnej klenby blokov 2,3,4 postupne za sebou
  - otočenie debnenia na bloku 6 (v tom čase voľný priestor)
  - betonáž hornej klenby blokov 2,3,4 postupne za sebou
- Presun zmontovaného debnenia, či už z bloku na blok alebo na miesto otočenia, bol zabezpečený pomocou podvesnej drážky z I 200, ktorá bola kotvená mechanickými svorníkmi do stropu vyrazeného diela. Pri betonáži spodnej klenby bolo debnenie zabezpečené proti vztľaku betónovej zmesi pomocou vysúvateľných vzperných stĺpov vzájomne medzi sebou zavetraných. Debnenie pre hornú klenbu bolo presúvané na podpornom vozíku umožňujúcom pohyb po koľajniciach uložených na už hotovej spodnej klenbe. Debnenie do požadovanej polohy bolo prídvihnuté pomocou zdvihákov a vypodložené oceľovými klinmi. Do pracovnej škáry medzi spodnou a hornou klenbou bol vložený tesniaci gumený pás šírky 30 cm. Do každého bloku bolo zabudovaných cca 11 t výstuže a 230 m<sup>3</sup> betónu. V každom odtokovom tuneli sa tento blok opakoval 6x, tj. pre obidva tunely bolo nutné otočiť debnenie 24x pre spodnú a hornú klenbu.

### BLOCKS 2, 3, 4

These blocks, conducted in a straight line, have a circular cross profile with a diameter of 5,92 m and a block length of 10,0 m. Concrete placement of every block was divided into two parts:

- invert vault
- upper vault

Formwork for these blocks was completely made of steel, i.e. the forming area from steel plate including a steel suspension and support system. The formwork was longitudinally separated into 4 segments mutually connected using M20 and M16 bolts. Formwork of the invert vault could be used also for the upper vault. Working procedure within these blocks was following:

- concrete placement of the invert of blocks 2,3,4 consequently one after another
- turning of the formwork in block 6 (free space at that time)
- concrete placement of the upper vault of blocks 2,3,4 consequently one after another

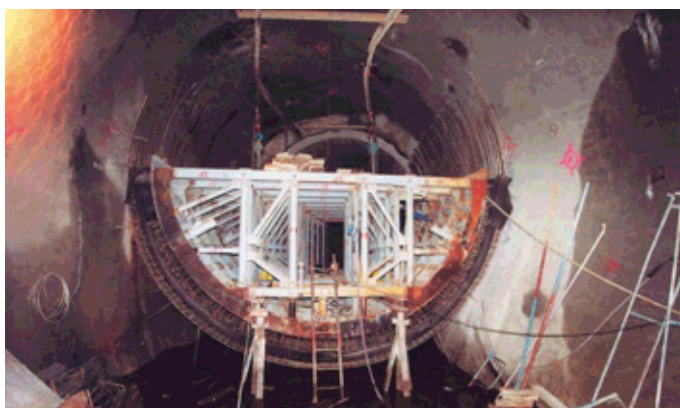
Transfer of the assembled formwork, be that from one block to another or to the spot of turning, was secured using a I 200 monorail suspended by means of mechanical anchors under the roof of the already excavated tunnel. During concrete placement of the invert vault was the formwork secured against buoyancy of the concrete mixture using adjustable steel props (pillars), mutually braced. Formwork for the upper vault was moved using a platform car allowing movement on rails placed on already completed invert. The formwork was lifted into required position using winches, and steel wedges were placed underneath. A rubber waterstop 30 cm wide was inserted into the day joint between the invert and upper vault. App. 11 tons of reinforcements and 230 m<sup>3</sup> of concrete was placed in each block. This block repeated itself 6 times in each tailrace tunnel, that means it was necessary to rotate the formwork 24 times for the invert and upper vault for both tunnels.

### BLOCK 5

This block is led in a curve of radius  $r = 25$  m and has a circular cross profi-



Obr. 4 Debniaci voz pred presunom do nového bloku betonáže  
Fig. 4 The movable formwork before moving into new concrete placement block



Obr. 6 Osadené debnenie v bloku č. 5  
Fig. 6 Installed formwork in block no. 5



Obr. 5 Uzavretie celokruhovej armatúry pred presunutím debniaceho voza  
Fig. 5 Closing of the reinforcement circle before moving the formwork



Obr. 7 Pohľad z bloku č. 8 na zabetónovanú spodnú polovicu rozdeľovacej komory (blok č. 6).  
Fig. 7 View from block no. 8 on the concreted lower half of the bifurcation chamber (block no. 6)



**BLOK 5**

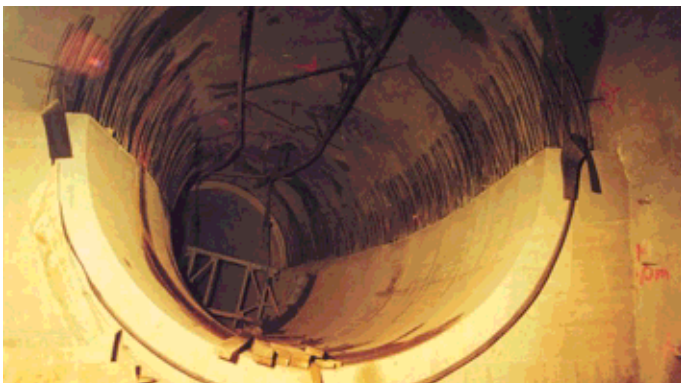
Tento blok je vedený v oblúku o polomere  $r = 25,0$  m a tvorený je kruhovým prierezom priemeru 5,92 m, dĺžka bloku 15,4 m. Tak, ako bloky 2, 3, 4, bol rozdelený na spodnú a hornú klenbu. Z toho vyplývali aj požiadavky na betonáž tohto bloku, ktoré boli podobné ako pri blokoch 2, 3, 4. Debnenie pre tento blok bolo kombináciou drevenej obálky z fošni hr. 7 cm a oceľového rozperného a podperného systému. Zhutňovanie betónovej zmesi sa robilo pomocou ponorných a príložných vibrátorov. Do bloku bolo zabudovaných cca 17 t výstuže a 350 m<sup>3</sup> betónu.

**BLOK 6 - ROZDEĽOVACIA KOMORA (VIDLICA)**

Tvarovo najkomplikovanejší blok, zabezpečujúci prechod z dvoch odtokových tunelov svetlého priemeru 5,92 m do jedného odtokového tunela svetlého priemeru 8,24 m, dĺžka bloku 13,9 m. Debnenie bolo vyrobené v kombinácii ako debniaca plocha z dreva a vnútorné vystuženie z ocele. Prvkov tak, ako bolo popísané pre blok 1 a 5. Debnenie pozostávalo z 10 segmentov medzi sebou vzájomne zoskrutkovaných. V takto komplikovanom tvare bloku boli dané zvýšené požiadavky na presnosť uloženia výstuže. Na presné uloženie výstuže nám slúžili ľahké prenosné oceľové šablóny, podľa ktorých v každom reze bolo možné skontrolovať presnosť uloženia výstuže a dodržať minimálne krytie výstuže betónom, stanovené na 6 cm. Vlastná betonáž bola rozdelená na tri časti: základová doska, steny, strop. Tieto časti boli navrhnuté tak, že vlastné debnenie sa použilo až pri stenách a strope tj. na betonáž základovej dosky nebolo použité, pričom hotová základová doska slúžila ako „stolica“ na presnú montáž debnenia stien a následne stropu.

**BLOK 35 - PRECHODOVÝ KUS DO VÝTOKOVÉHO OBJEKTU**

Tento prechodový kus prechádza na dĺžke 14,5 m z kruhového prierezu priemeru 8,28 m na štvorcový prierez 7,3 m x 7,3 m. Svojou funkciou a spôsobom realizácie plne zodpovedá bloku 1. Jediný rozdiel bol v tom, že debnenie na tento blok bolo kompletne oceľové tj. aj vrátane debniacej plochy, čo sa pri viacnásobnom použití ukázalo výhodnejšie, menej náročné na údržbu a po oddebnení bol pohľadový betón krajší.



Obr. 8 Spodná polovica bloku č. 5 po zabetonovaní  
Fig. 8 Lower half of the no. 5 block after concrete placement



Obr. 9 Pohľad z ešte nazabetonovanej rozdeľovacej komory do spodnej výtokovej chodby. Za blokom č. 7 vidieť vynechaný blok č. 8 s 3D zakrivením  
Fig. 9 View from not yet concreted bifurcation chamber into the tailrace tunnel. Behind the block no. 7 the skipped block no. 8 with the 3D curve is visible

le with diameter of 5,92 m and length of 15,4 m. Along with blocks 2,3,4, it was divided in invert and upper vault. From that also derived the same requirements for concrete placement of this block as by blocks 2,3,4. Formwork for this block was a combination of wooden envelope from 7 cm thick planks and steel bracing and support system. Density of the concrete mixture was achieved using immersed and external vibrators. 17 tons of reinforcements and 350 m<sup>3</sup> of concrete were placed in this block.

**BLOCK 6 – BIFURCATION CHAMBER**

Concerning shape the most complicated block, securing transition from two tailrace tunnels of 5,92 light diameter into one tailrace tunnel of 8,24 light diameter. The block length is 13,9 m. The formwork was made in combination as a forming surface from timber and internal reinforcement from steel elements, in the same way as described by blocks 1 and 5. Formwork consisted of 10 mutually bolted segments. There were increased requirements on accuracy of the concrete reinforcement installation in such complicated block shape. Accurate installation of the reinforcement was carried out using light, portable steel templates, enabling the accuracy to be checked in any cross section and the minimum concrete cover of the reinforcement of 6 cm to be maintained. The own concrete placement was divided into three parts: foundation slab, walls, roof. These parts were designed so that the own formwork was used only by the walls and roof, i.e. it was not used during concrete placement of the foundation slab, while the complete foundation slab served as "platform" for accurate assembling of the wall and subsequently roof formwork.

**BLOCK 35 – TRANSITION SECTION INTO THE OUTLET STRUCTURE**

This transition section proceeds on length of 14,5 m from circular cross section of 8,28 m diameter into square cross section 7,3 x 7,3 m. With its function and method of realization it fully corresponds to block 1. There is only one difference that this block's formwork was completely made of steel, that means including the forming area, which following a multiplied use turned out as better and less demanding on maintenance while after removal of the formwork was the concrete nicer at sight.



Obr. 10 Zabetónovaný prvý blok od saviek (blok č. 1 - prechod z obdĺžnikového do kruhového profilu)  
Fig. 10 The first block concreted from draught tubes (block no. 1 – conversion from rectangular to circular profile)



Obr. 11 Pohľad z dolnej nádrže do výtokového objektu. V klenbe vidieť hradidlovú šachtu  
Fig. 11 View from lower basin into the outlet structure. The gate shaft can be seen in the vault



**BLOK 8, 34**

Tieto bloky boli tvorené kruhovým prierezom priemeru 8,28 m. Sú zvláštne tým, že sú vedené v smerovom a súčasne aj vo výškovom oblúku. Na rozdiel od predchádzajúcich blokov debnenie je kompletne urobené z dreva. Dodávku debnenia zabezpečovala nemecká strana a vlastnú montáž zrealizovali pracovníci Váhostavu podľa dodanej dokumentácie. Ďalší rozdiel oproti ostatným kruhovým prierezom bol v tom, že bloky boli rozdelené na tri časti, a takto aj zabetónované. Všetky bloky popísané v tejto časti mali jeden spoločný menovateľ, a síce to, že každý z nich je neopakovateľný svojím tvarom, množstvom zabudovanej výstuže, betónu, apod. Z tohto pohľadu bola aj doba realizácie jednotlivých blokov rozdielna. Každý blok bol v harmonograme výstavby osobitne uvedený s časom potrebným na jeho realizáciu, ktorý zohľadňoval potreby nemeckého odberateľa v širších súvislostiach. Zamestnanci Váhostavu tieto potreby plne splnili, naopak v mnohých prípadoch dobu realizácie jednotlivých blokov skrátili.

**BLOK 7, 9 – 33**

Tieto bloky sú vedené v priamke, boli tvorené kruhovým prierezom priemeru 8,28 m, dĺžka lamely 10,0 m. Ich realizácia oproti skôr popísaným blokom je rozdielna v tom, že:

- armovacie práce sa robili pomocou armovacieho voza talianskej firmy CIFA
- betonáž bloku sa robila do debniaceho voza, ktorý bol tiež výrobkom firmy CIFA.

Obidva vozíky sa pohybovali po koľajniciach osadených v podkladnom betóne. Armovanie bloku sa realizovalo na dve etapy. Armovanie hornej časti (cca 2/3 bloku) sa vykonávalo v predstihu minimálne štyroch blokov, aby bol zabezpečený dostatočný priestor pre ďalšie pracovné operácie. Armovanie spodnej časti bloku a doarmovanie po dilatačnú škáru predchádzajúceho bloku sa vykonávalo tesne pred presunutím debniaceho voza. Celkové množstvo armatúry pre jeden blok bolo 18,5 t. Konštrukcia debniaceho voza umožňovala betonáž celého bloku naraz. Čas betónovania jednej lamely bol 10 – 12 hod., množstvo betónovej zmesi cca 310 m<sup>3</sup>. Vzhľadom k tomu, že išlo o bloky úplne rovnaké, s narastajúcou zručnosťou pracovníkov sa postupne skracoval čas medzi betonážou za sebou nasledujúcich blokov. Kým na začiatku bol interval medzi betonážami až 7 dní, na konci sa tento interval skrátil na 2,5 dňa.

**BLOCK 8, 34**

*These blocks had a circular cross section of 8,28 m diameter. They are special by the fact of being conducted in a horizontal, and at the same time vertical, curve. Unlike by the aforementioned blocks, here is the formwork completely made of wood. This formwork was supplied by the German side while the own assembling was carried out by employees of Váhostav according to submitted documentation. Another difference from the other circular cross sections was that these blocks were divided into three sections, and also concreted this way. All blocks described in this section had one common denominator, and thus the fact that every one of them is somehow unique in its shape, amount of the placed reinforcements, concrete etc. In this view, also the time of realization of individual blocks was different. Within construction schedule, each block had its special place and time period designated for its realization, which reflected requirements of the German client in broader context. Employees of Váhostav fulfilled these requirements, to the contrary, in many cases they even shortened the time period designated for realization of individual blocks.*

**BLOCK 7, 9 – 33**

*These blocks are conducted in a straight line and had a circular cross section of 8,28 m diameter and 10,0 m length. Their realization compared to already mentioned blocks varies in the following facts:*

- reinforcement was installed using a movable platform of the Italian company CIFA;
- concrete placement of the block was carried out into the movable formwork, which was also a product of the CIFA company.

*Both structures moved on rails installed on blinding concrete. Reinforcement of the block was realized in two phases. Reinforcement of the upper section (app. 2/3 of the block) was carried out at least 4 blocks in advance, so that sufficient space for further works would be secured. Reinforcement of the lower block section and completion of the reinforcement up to the expansion joint of the previous block was realized always shortly before movement of the formwork. The total amount of reinforcement steel for one block was 18,5 tons. Framework of the formwork allowed concrete placement of the entire block at once. Time of concrete placement of one lamella reached 10-*



Obr. 12 Pohľad na severný a južný výtokový objekt s armovacím a debniacim vozom

Fig. 12 View of the northern and southern outlet structure along with reinforcement platform and movable formwork



## BETONÁŽ ODTOKOVÝCH TUNELOV

Odtokové tunely museli svojou konštrukciou zabezpečiť stabilitu a vodotesnosť. Preto bola postupu betonáže venovaná mimoriadna pozornosť. Jednotlivé bloky boli betónované s minimálnym počtom pracovných škár, všade, kde to bolo možné, sa betonoval celý blok v jednom pracovnom cykle. Betón zodpovedajúci nášmu vodostavebnému betónu B-30 bol dovážaný v autodomiešavačoch kapacity 8 m<sup>3</sup> z výroby betónu vzdialenej 6 km. Pri každej betonáži bol prítomný zodpovedný pracovník investora, ktorý dozeral na kvalitu betónu, odoberal vzorky, a v prípade potreby dodával prísady do betónu.

Vzhľadom na to, že išlo o líniovú stavbu a pracovalo sa súčasne na viacerých pracoviskách, bolo nevyhnutné betón k jednotlivým blokom dopravovať pomocou betónovacieho čerpadla Putzmeister BSA 1409 D ocelovým potrubím až do vzdialenosti 320 m.

Najväčšie množstvo betónu bolo zabudované v blokoch 7, 9 – 33, kde sa betonoval každý blok v samostatnom cykle bez pracovnej škáry. Pri cyklicky sa opakujúcich blokoch bolo dôležité sledovať nábeh pevnosti betónu, ktorý musel byť pre oddebnenie 4 MPa. Túto pevnosť sme dosahovali zhruba po 12 hodinách od konca betonáže a kontrolovali sme ju v naposledy betónovanej časti stropu pomocou Schmidtovho kladivka.

Veľká pozornosť bola venovaná zaplňaniu presne ustaveného debnenia a spôsobu zhutňovania betónu. Pri plnení kruhového dna boli problémy s povrchom betónu z dôvodu výskytu vzduchových bublín, ktoré sa nám ani kombináciou príložných a ponorných vibrátorov nikdy nepodarilo celkom odstrániť. Vzniknuté vzduchové bubliny alebo prípadné drobné trhliny v jednotlivých blokoch sme po ukončení betonárskych prác opravovali. Na tieto práce sme boli veľmi dobre vybavení. Pomocou kvalitných drobných mechanizmov a sanačných hmôt sme povrch betónu upravili do požadovanej kvality. Všetky kozmetické úpravy povrchu betónu sa na 90 % vyskytovali v spodnej klenbe, presne sa po jednotlivých blokoch zakresľovali a takto zaevidované sa odovzdávali investorovi.

Jednou z najkomplikovanejších betonáží bolo betónovanie stropu atypického prechodového bloku 35, kde sa 650 m<sup>3</sup> betónovalo 28 hodín. Nápusťné otvory boli rovnomerne rozdelené tak, aby sa betón rozliel po celej ploche debnenia stropu. Úplné vyplnenie až 3,5 m hrubého stropu sme dosiahli rôznou výškou napúšťacích rúr v plniacich otvoroch stropnej časti, ktoré po zatvrdnutí ostali v betóne. Po odšalovaní sa miesta plniacich otvorov sanovali tak, aby aj v tomto mieste bolo zabezpečené požadované krytie betónom 6 cm.

## ZÁVER

Do odtokových tunelov PVE bolo zabudovaných 27 000 m<sup>3</sup> betónov a 1 900 ton armatúry v ťažkých podmienkach podzemnej líniovej stavby. Pri tak veľkých množstvách betónov, aké tu boli zabudované, bolo potrebné maximálne pracovné nasadenie, dokonalá organizácia pracovných operácií a bezchybná funkčnosť strojov. Termíny na ukončenie týchto prác boli presne stanovené harmonogramom a pravidelne vyhodnocované. Váhostav, a. s., sa podpísaním zmluvy na prácu a dodávku špeciálnych debnení zaviazal k ich plneniu. Hoci postup prác v začiatkoch nezodpovedal našej predstave, neskôr sme dokázali mierny sklz zo začiatku dobehnúť, dokonca sa nám podarilo skrátiť termín ukončenia odtokových tunelov o celý jeden mesiac. Týmto urýchlením našich prác sa vytvoril priestor na čiastočne dobehnutie meškajúcich prác na výtokovom objekte.

Hoci sa spodná časť už napúšťa vodou, PVE doteraz nepracuje. Až ukončenie posledných prác na montáži technológie umožní spustiť toto významné dielo do prevádzky a potom zhodnotiť jeho spoločenský prínos.



Obr. 13 Betonáž južného výtokového objektu  
Fig. 13 Concrete placement of the southern outlet structure

12 hours while amount of concrete mixture then 310 m<sup>3</sup>. Considering the fact that these blocks were completely same, along with increasing craftsmanship of the employees, the time between concrete placement of consequent blocks was gradually decreasing. While in the beginning the interval was even 7 days, in the end it diminished to 2,5 days.

## CONCRETE PLACEMENT OF THE TAILRACE TUNNELS

The structure of the tailrace tunnels had to ensure stability and watertightness. Therefore, an extraordinary attention was devoted to procedure of the concrete placement. Individual blocks were concreted with a lowest possible number of day joints, where possible, the entire block was concreted in one working shift. Concrete corresponding to Slovakian water-retaining concrete grade B-30 was imported from a 6 km distant batching plant in large-volume transmixers with capacity of 8m<sup>3</sup>. There was a responsible employee of the client at every concrete placement, who supervised quality of the concrete, collected samples, and in case of need also added ingredients into the concrete.

Considering the fact that it was a linear construction where works simultaneously proceeded at several workplaces, it was inevitable to transport the concrete to individual blocks using a concrete pump Putzmeister BSA 1409 D with steel pipes within 320 m at most. The largest amount of concrete was placed within blocks 7,9-33, where every block was concreted within separate working shift without day joints. By periodically repeating blocks it was necessary to monitor the development of concrete strength, which had to be 4 MPa after removal of formwork. We achieved this strength approximately 12 hours after the end of the concrete placement and controlled it during concrete placement of the last roof section using a Schmidt hammer.

Large attention was also devoted to filling of the precisely installed formwork and the method of concrete compaction. During filling of the circular bottom there were problems with surface of the concrete due to occurrence of air bubbles, which we were never able to fully eliminate even using combination of external and immersion vibrators. We rectified the formed air bubbles or eventual minor faults within individual blocks after termination of concrete placement works. We were very well equipped for this kind of works, using high quality small equipment and remedial materials we adjusted the surface into required quality. All cosmetic adjustments of the concrete surface occurred from 90% in the invert. All cosmetic adjustments of the concrete surface were exactly according to individual blocks mapped and in this categorized way submitted to the client.

Concrete placement of the roof of the atypical transition block 35 was one of the most complicated works, where 650 m<sup>3</sup> were placed for 28 hours. Pouring gates in the formwork were equally divided so that the concrete spread along entire area of the roof. Total filling of the up to 3,5 m thick roof slab was achieved by varying length of the inlet tubes installed in the gates, which after hardening remained in concrete. After removal of the formwork, locations of the gates were remedied so that the required minimal concrete cover of 6 cm was secured even here.

## CONCLUSION

27 000 m<sup>3</sup> of concrete and 1 900 tons of reinforcement steel have been placed into the PSP tailrace tunnels, under the tough conditions of an underground linear structure. By such amounts of concrete placed here, it was essential to maintain a highest commitment to the work, outstanding organization of work operations as well as flawless functions of machines. Dates for completion of these works were strictly determined by schedule and regularly evaluated. Váhostav, a.s. committed itself to these dates by signing a contract on manufacture and supply of special formworks. Although the progress of the works in the beginning did not correspond to our visions, soon we managed to make up the slight delay incurred at the beginning. We even managed to achieve completion of the tailrace tunnels an entire month ahead of schedule. With this acceleration of our works, a time space for partial shortening of the delay of the work on the outlet structure was created. Although the lower section is already being filled with water, the PSP is not yet working. Only completion of finishing works on installation of technology will allow putting this significant work into operation and subsequent evaluation of its social contribution.

## TUNELOVÉ STAVBY V SRN

### TUNNELS BUILT IN THE FRG

Ing. IVAN CÚTH, JOZEF KNAJBEL - VÁHOSTAV - TUNELY A ŠPECIÁLNE ZAKLADANIA, a. s., BRATISLAVA

Firma Váhostav začína prenikať na nemecký trh so sortimentom stavieb v podzemí až koncom devädesiatych rokov. Tunelové stavby v NSR začala realizovať divízia 11 razením objektov PVE v Goldistahle. Väčší rozmach nastal vytvorením závodu 08 – Tunely a špeciálne zakladanie, kedy po niečo viac ako polroku sa rozbehli práce v Stuttgarte, kde závod realizoval stavbu tunela Gäubahn na kľúč a o ďalší rok sa tento sortiment rozšíril o tunel Dölzschchen v Drážďanoch, ktorý realizoval už Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania. Niektoré stavby sú už v prevádzke, ale väčšina z nich je ešte vo výstavbe. Uvedený je prehľad stavieb, ktoré firma Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania realizovala, alebo sa ešte stále zúčastňuje ako subdodávateľ raziacich prác:

Váhostav company has started to make its way to the German market with its assortment of underground structures since the end of the 90s. Its Division 11 started tunnelling operations in the FRG by an excavation for the pumped storage scheme in Goldisthal. Larger extent came by the establishment of the Plant 8 – Tunely a špeciálne zakladanie. Its work started then in Stuttgart, where it carried out a turnkey contract for the Gäubahn tunnel for over half a year. This scope of work was extended next year by the Dölzschchen tunnel in Dresden, constructed already by the Váhostav – Tunely a špeciálne zakladanie company. Some of the structures mentioned in this article are already operated, but most of them are under construction still. The survey of structures realised by Váhostav – Tunely a špeciálne zakladanie, or those which it is still participating on as a mining subcontractor, follows:

#### GÄUBAHTUNNEL STUTTGART

Tunel Gäubahn sa nachádza v mestskej časti Sonneberg na trase cesty B 14 medzi Schattenring a Südheiner Platz. Pre mesto Stuttgart bol nevyhnutný, pretože časť tejto cesty prechádza veľkým stúpaním s množstvom ostrých zákrut, takže spôsobovala dopravné problémy veľkou hustotou cestnej premávky idúcej priamo z centra mesta. Zastupiteľstvo krajského mesta Stuttgart sa rozhodlo riešiť tento problém. Vyhrala alternatíva severného obchvatu tejto lokality s tunelmi Viereichenhau a Gäubahn, ktoré boli medzi sebou prepojené mostom a znovu napojením sa na cestu B 14. Ako sa doteraz ukazuje, toto riešenie bolo správne.

#### THE GÄUBAHN TUNNEL IN STUTTGART

The Gäubahn tunnel is found in the Sonnenberg district on the route of the B 14 road between Schattenring and Südheiner Platz. It was necessary for the town because a part of this road passes through a steep gradient with many tight curves, and caused traffic problems due to the high density of the traffic coming directly from the town centre. The Stuttgart municipality decided to solve this issue. The alternative selected bypasses this location on the north side. It contained the Viereichenhau and Gäubahn tunnels, interconnected by a bridge, and linked back to the A 14 road. It is obvious now that this solution was correct.

#### Údaje o výstavbe tunela:

Investor:	Vláda SRN
Dodávateľ:	WALTER-BAU A.G.
Subdodávateľ raziacich a betonárskych prác:	Váhostav, závod 08 Tunely a špeciálne zakladanie
Začiatok výstavby:	8. 11. 1999
Uvedenie do prevádzky:	začiatok roku 2002

#### The tunnel construction data:

Owner:	the FRG government
Contractor:	WALTER-BAU A.G.
Mining and concrete work subcontractor:	Váhostav, Plant 08 Tunely a špeciálne zakladanie
Construction beginning:	8 November 1999
Operation:	from the beginning of 2002

#### Opis tunelovej stavby:

Savba pozostáva z dvoch 10 m od seba vedených tunelových rúr. Každá rúra má dva jazdné pruhy, šírka tunela 11,5 m a dĺžka tunela je približne 300 m. Razenie začalo od východného k západnému portálu. Tunel bol razený v stredne pevnom pieskovci, ktorý bol geologickými poruchami v celej dĺžke tunela porušený. Razenie sprevádzali rozsiahle plošné prítoky vody, hlavne v miestach s nízkym nadložíom. Poloha tunela vzhľadom k obydliam hovorila, že trhacie práce budú smieť byť použité iba v ohraničenom čase. Takisto aj geológia horninového masívu nasvedčovala tomu, že prevládajúcou tech-

#### The tunnel construction description:

The tunnel consists of two parallel tubes with 10m separation. Each 11.5m wide tube has two lanes. The tunnel length is roughly 300m. The excavation started from the eastern portal. The tunnel was excavated in medium hard sandstone with geological failures along the whole length of the tunnel. The excavation was accompanied by significant surface water inflows, primarily in locations with shallow overburden. The position of the tunnel with respect to surface buildings suggested that blasting operations would be allowed within a limited time only. Also the geology of the rock mass indicated that the excavation by LIEBHERR 932 tunnel excavator with restricted blasting would prevail, therefore the removal of muck would be carried out without trucks, in the loader's bucket only.

An extraordinary feature was the mining under a railway track under a 4 – 6 m thick cover. The works support along this section was extended by a protective umbrella. The umbrella was installed at every other round by drilling 15 holes 106mm in diameter, 8m long, inclined at an angle of 15° from the horizontal. 40mm diameter steel bars were inserted into the holes, with a set of injection and breather hoses serving for pressure grouting with cement mortar into the umbrella boreholes. A fourfold protection umbrella originated in this way. It was made denser by 4 spiles in each round. 45m of the excavation was carried out in this manner in each tunnel tube. The other sections were excavated by the NATM, with the length of individual rounds varying from 0.6m to 1.6 m. The excavation was supported by sprayed concrete, steel mesh with lattice girders, and 4 to 6 m long rockbolts. The exca-



Obr. 1 Východný portál tunela Gäubahn  
Fig. 1 The Gäubahn tunnel portal East



nológii bude raziene tunelbagrom LIEBHERR 932 s obmedzením výkonu trhacích prác, a tým pádom odťažba rozpojenej horniny sa realizovala bez použitia dumprov, iba v lopate nakladača.

Zvláštnosťou bolo „podfáranie“ železničnej trate pri výške nadložia 4 – 6 m. Zaisťovacie práce v tomto úseku boli rozšírené o budovanie ochranného dáždnika. Dáždnik sa robil každým druhým záberom navŕtaním 15 ks dier  $\varnothing$  106 mm dĺžky 8 m pod úklonom 15% k horizontu. Do navŕtaných dier sa vsunuli tyče o  $\varnothing$  40 mm so sústavou injekčných a odvzdušňovacích hadíc, ktorými sa priviedla do vrtov dáždnika pod tlakom cementová malta. Týmto spôsobom sa vytvoril 4 násobný oceľový ochranný dáždnik, ktorý bol ešte v každom zábere zhusťovaný 4 m ihlami. Takto sa vyrazilo 45 m v každej tunelovej rúre. Ostatné úseky sa vyrazili NRTM, kde dĺžka jednotlivých záberov sa pohybovala od 0,6 m až po 1,6 m. Na zaisťovanie výlomu bol použitý striekaný betón, oceľová sieťovina s priehradovými nosníkmi a svorníky v dĺžkach 4 až 6 m. Čelba bola delená na kalotu, lavicu a dno. Hrúbka striekaného betónu bola 25 až 35 cm. Stúpanie tunela bolo pri razení 5,65 %.

Po ukončení raziacich prác bola kvalita vedenia raziacich prác skontrolovaná meraciami prácami plošne v sieti 0,5 m a signalizované nadtolerancie a nerovnosti povrchu primárneho ostenia striekaného betónu sa odstránili profilovaním a vybetónovaním vyrovnávajúcej vrstvy v dne tunelovej rúry. Následne potom sa zabudovala dilatlačno-izolačná fólia, armatúra a realizovala sa betonáž vnútorného ostenia. V prvej fáze sa zabetónovala spodná klenba s banketmi a nakoniec vrchná klenba. Na betonáž sa použil šalovací voz od firmy BYSTAG a na betonáž portálových stien komponenty od firmy PERI. Mesiacom apríl 2001 sme práce na tuneli Gäubahntunnel k spokojnosti investora ukončili a v súčasnosti tunel slúži už motoristom.

## TUNEL DÖLZSCHEN – DRÁŽĎANY

S výstavbou diaľnice A 17 sa začalo 21. 8. 1998. Tým sa začína naplňovať myšlienka diaľničného spojenia Prahy a Drážďan. Trasa, ktorá začínala križovatkou Drážďany – Západ a prechádza južnou oblasťou Drážďan, si vzhľadom na terénne podmienky vyžadovala vybudovať niekoľko mostov a tunelov.

Mestské časti Pesterwitz a Coschütz, ktoré pretína riečka Weißenvitz a cez ktoré v budúcnosti plánovaná trasa diaľnice A 17 povedie, museli byť prepojené dvojicou tunelov a mostom. Práce na kratšom tuneli – Dölzschen zrealizovali pracovníci a. s. Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania, ktorého technické parametre budú opísané v ďalších statiach. Po skončení raziene a profilovania sme dostali ponuku na pokračovanie raziene tunela Coschütz protičelbou už z vybudovaného mosta oproti nemecko-rakúskej osádke vo veľmi náročných podmienkach, čo svedčí o dobrých výsledkoch z priebehu raziene tunela Dölzschen a dobrom mene našej firmy u investora.

### Geometrická charakteristika tunela Dölzschen

dĺžka:	1 070 m
priečný profil:	Kalota: 69,5 – 72,5 m <sup>2</sup> Lavica: 50,0 – 51,4 m <sup>2</sup> Dno: 23,7 – 26,1 m <sup>2</sup>
profil v zálive :	Kalota: 95,5 m <sup>2</sup> Lavica: 60,1 m <sup>2</sup> Dno: 35,3 m <sup>2</sup>
priečne spojenia:	každých 300 m
svetlá výška tunela:	4,5 m
osová vzdialenosť tunelových rúr:	25 m
výška nadložia:	max 30 m



Obr. 2 Priestor pred východným portálom slúžil na medziskládku vyťaženej horniny  
Fig. 2 The area in front of the portal East was used as an intermediate stockpile of muck

vation was divided to the top heading, bench and invert. The shotcrete thickness was 25 to 35 cm. The tunnel was excavated uphill, on 5.6% gradient.

The quality of the mining work was checked after its completion by a survey carried out on a net of points at 0.5 m spacing. The locations of crossed tolerances and the shotcrete primary liner's surface unevenness was signalled and removed by profiling and casting a levelling layer at the tunnel invert. Subsequently the dilatation-waterproofing membrane and steel reinforcement was installed, and internal concrete lining cast. The invert with banquettes was cast in the first stage, and the vault afterwards. A tunnel form traveller manufactured by BYSTAG was used for the casting, and PERI's components served at casting the portal walls. We finished the work on the Gäubahn tunnel in April 2001, to the owner's satisfaction. Currently the tunnel is serving motorists.

## THE DÖLZSCHEN TUNNEL IN DRESDEN

The A 17 motorway construction commenced on 21 August 1998. By this construction the idea of a motorway interconnection of Prague and Dresden started to be implemented. The alignment, which starts from the Dresden – West intersection and passes through the southern area of Dresden, due to the terrain configuration, required the construction of several bridges and tunnels.

The Pesterwitz and Coschütz districts, which are cut through by the Weissenvitz river and through which the planned alignment of the A 17 motorway will pass in the future, had to be interconnected by a pair of tunnels and a bridge. The work on the shorter tunnel, the Dölzschen tunnel, whose technical description follows below, was carried out by the employees of Váhostav – Tunely a špeciálne zakladanie a.s. When the excavation and profiling had been completed, the Váhostav – Tunely a špeciálne zakladanie a.s. was offered to continue the work on the excavation of the Coschütz tunnel by a counter-heading from the already completed bridge, towards the German-Austrian crew, under very demanding conditions. This fact proves the very good results gained in the course of the Dölzschen tunnel and the good image of our company with the client.

### The geometrical characteristics of the Dölzschen tunnel

Length:	1,070 m
Cross section – Top heading:	69.5 – 72.5 m <sup>2</sup>
Bench:	50.0 – 51.4 m <sup>2</sup>
Invert:	23.7 – 26.1 m <sup>2</sup>
Lay-by area cross section – Top heading:	95.5 m <sup>2</sup>
Bench:	60.1 m <sup>2</sup>
Invert:	35.3 m <sup>2</sup>
Cross passages:	every 300 m
Tunnel net height:	4.5 m
Distance between tunnel tubes centres:	25 m
Overburden height:	30 m max.

### The tunnel construction data:

Contractor:	WALTER BAU A.G.
Construction beginning:	27 October 1999
Operation:	from the end of 2003



Obr. 3 Úsek kaloty s protiklenbou tunela Gäubahn v mieste s nízkym nadložím (4,5 m)  
Fig. 3 A top heading section with invert of the Gäubahn tunnel in a location with low cover (4.5 m)





Obr. 4 Čelba tunela Gäubahn s vývrtmi pre mikropilóťový dáždnik  
Fig. 4 The Gäubahn tunnel face with holes drilled for the micropile umbrella



Obr. 5 Budovanie SN kotiev v tuneli Gäubahn  
Fig. 5 The installation of SN anchors in the Gäubahn tunnel



## Údaje o výstavbe tunela

dodávateľ: Firma WALTER BAU A.G.  
začiatok výstavby: 27. 10. 2000  
uviedenie do prevádzky: koniec roku 2003

## Opis tunelovej stavby:

Dvojrúrovňový diaľničný tunel je navrhnutý tak, že každá tunelová rúra bude mať dva jazdné pruhy. Tunelové rúry sú spojené priečnymi spojkami vo vzdialenosti každých 300 m. Tunelové spojky sú unikovými cestami a budú umožňovať vzájomný prechod z jednej tunelovej rúry do druhej. Vo východnej rúre je jeden núdzový záliv dlhý 55 m. Výškové vedenie je s klesaním od portálu Roßthal k portálu Weißen – Nord 3,2 %. Tunel je smerovo vedený v oblúkoch tvaru „S“. Vetranie v tuneli budú zabezpečovať v strope zavesené ventilátory. Spolu so zariadením pre tiesňové volanie, požiarné hlásiče, hasiace zariadenia, komunikačné vybavenie (možnosť použitia mobilného telefónu, počúvanie autorádia), ako i možnosť sledovania dopravy pomocou televízie, bude vybavenie tunela spolu s bezpečnosťou na vrcholnej úrovni technických možností súčasnej doby.

## Geológia a horninové prostredie:

Na razenej trase tunela sa vyskytoval syenit, ktorý bol na viacerých úsekoch prerušený vrstvami konglomerátov.

## Technológia razenia:

Pri razení tunela Dölszchen sa používalo rozpojovanie horniny pomocou vrtno-trhacích prác. Na základe kvality horniny bolo razenie operatívne zatriedované podľa výlomových tried, a tým bola určená aj dĺžka záberu, ktorá sa pohybovala v najnepriaznivejších podmienkach od 0,8 m do 3,0 m v tých najlepších. V priemere sa dĺžka záberu pohybovala na hranici 1,5 m. Na navrtanie vývrtov pre vrtno-trhacie práce sa použili vrtacie vozy ATLAS COPCO 352 s lafetami vybavenými riadiacim systémom BEWER Kontrol – zariadením určeným na kontrolu presnosti vrtania záberu.

Po odťažení rozpojenej horniny nakladačmi Cat 966 G sa pristúpilo ku profilovaniu a k strhnutiu voľných kusov horniny z čela a obrysu tunelbagrom LIEBHERR 932 a v ďalšom kroku ku konsolidácii budúceho záberu striekaným betónom v hrúbkach 3 až 5 cm. Na nanášanie vrstiev striekaného betónu sa používala súprava Normet – Spraynec pri razení kaloty a pri razení ústupku a dna tunela súprava MEYCO. Toto rozdelenie súprav pre kalotu a ústupok malo svoj význam, ktorý do veľkej miery ovplyvnil kvalitu striekaných betónov. Spomenuté súpravy majú miesto, z ktorého sa ovláda rameno striekacej dýzy umiestnené tak, aby strojník bol k miestu nanášania betónu čo najbližšie.

K montáži priehradových nosníkov, k montáži ocelevej mrežoviny a k ostatným prácam vo výškach sa využívali dvojramenné plošiny Normet.

## Obsadenie pracovísk a postupy pri razení:

Oba portály tunela Dölszchen sú v blízkosti obývaného sídliska, preto bol výkon trhacích prác časovo vymedzený od 6. do 20. hodiny. Toto časové obmedzenie malo najväčší vplyv na výkon, a to vtedy, akonáhle došlo k technickým poruchám na strojoch. V tomto časovom pásme bol výkon osádky zameraný na výlomové práce a v ostatnom čase sa práce sústreďovali na dohotovenie poslednej vrstvy striekaného betónu a výstroja tunela. Vhodným obsadením pracovísk pracovníkmi a strojmi sa dalo dosahovať postup cez 10 m za 24 hodín pri razení kaloty na oboch razených tunelových rúrach. Osádky pracovali v 12 hodinových zmenách v desaťdenných intervaloch.



Obr. 6 Tunel Dölszchen – severný portál  
Fig. 6 The Dölszchen tunnel – North portal

## The tunnel construction description:

The twin-tube highway tunnel has been designed with two lanes for each tunnel tube. The tunnel tubes are interconnected by cross passages provided every 300 m. The cross passages serve as escape ways, and will allow passing from one tunnel tube to the other one. The eastern tube contains one emergency lay-by 55m long. The alignment is on a down gradient of 3.2% from the Rossthal portal to the Weißen portal. The horizontal alignment of the tunnel contains S-shaped curves. The tunnel ventilation will be provided by fans suspended under the ceiling. The tunnel equipment, containing SOS phones, fire alarm boxes, fire fighting equipment, communication equipment (the possibility of using mobile phones and receiving car radio signals), as well as the possibility of the traffic monitoring by TV, and the tunnel safety will be at the top level possible in terms of the current technology.

## Geology and rock environment:

The area along the tunnel alignment featured syenite occurrence, disrupted by layers of conglomerates in several sections.

## Excavation technique:

Drill-and-blast was applied in the Dölszchen tunnel excavation. The excavation was classified operatively on the basis of the rock quality using excavation classes determining the round length. The length varied from 0.8m for the most unfavourable conditions to 3.0m for the best rock. The average round length was about 1.5m. The drilling was done by ATLAS COPCO 352 drill rig equipped with the Bever Control system designed to control precise drilling for the round.

Once the disintegrated rock had been removed by Cat 966 G loaders, the excavation profiling started and loose blocks of the rock were pulled down from the face and the circumference by LIEBHERR 932 tunnel excavator. The future round was stabilised then by 3 to 5cm thick layer of sprayed concrete. Normet – Spraynec set was used for the shotcrete application, while MEYCO set sprayed concrete at the top heading, bench and invert. This distribution of the sets for the top heading and the bench had its sense. It affected the quality of shotcrete significantly. The above-mentioned sets have the place from which the boom carrying the jet is controlled positioned so that the operator is as close to the placement area as possible.

Lattice girders and steel mesh were installed and other elevated work was performed using twin-boom Normet manlift.

## Staffing of worksites and the excavation advances:

The both Dölszchen tunnel portals are located in the vicinity of an occupied housing estate. Therefore the execution of blasting was restricted to the time between 6:00 a.m. to 8:00 p.m. This time restriction affected the performance most of all when technical defects of equipment occurred. The work of the crew was focused on the excavation during the above-mentioned time period, while the work was concentrated on completion of the last shotcrete layer and the tunnel support during the remaining time.

Thanks to the suitable deployment of manpower and equipment on the working places, advance rates over 10m per 24 hours were achieved in the top heading excavation on the both tunnel tubes. The crews worked in 12-hour shifts in ten-day intervals.



Obr. 7 Kalota tunela Dölszchen  
Fig. 7 The Dölszchen tunnel top heading



**Vetrací systém tunela pri razení:**

Vetracie v tuneli sa zabezpečovalo separátnym vetracím ťahom s flexibilným vetracím potrubím o priemere  $\varnothing$  2400 mm.

**TUNEL GÖGGELSBUCH**

Súčastou nášho výrobného programu v SRN v roku 2001 bolo aj razenie únikovej štôlne pre železničný tunel na trati Norimberg – Ingolstadt. Tu sme využili remeselnú zručnosť a skúsenosti našich ľudí pri použití raziaceho stroja ALPINE AM – 50.

**ZÁVER:**

Článok v dvoch prípadoch opisuje „mestské“ tunely, z toho jeden tunel z viacerých na trase Drážďany – Praha. Tunel Dölzschchen je v podstate diaľničný, avšak oba majú veľký význam najmä z pohľadu prejazdov mestami Stuttgart a Drážďany, kde je celá osobná ako aj nákladná doprava vedená cez centrum mesta, čo spôsobuje časové straty a dopravné zápchy. Pri dokončení tunelov sa dopravné problémy razom zjednodušia, zníži sa hlučnosť a znečistenie a dopravný chaos v mestách bude už len minulosťou.

Z tunelárskeho hľadiska na obidvoch tuneloch situovaných v obtiažných geologických pomeroch slovenski tunelári zdatne konkurovali nemecko-rakúskym tak výkonomi, jako aj kvalitou prác.

**Tunnel ventilation system during the excavation:**

The tunnel ventilation was secured by a separate ventilation line with flexible ventilation ducting 2,400mm in diameter.

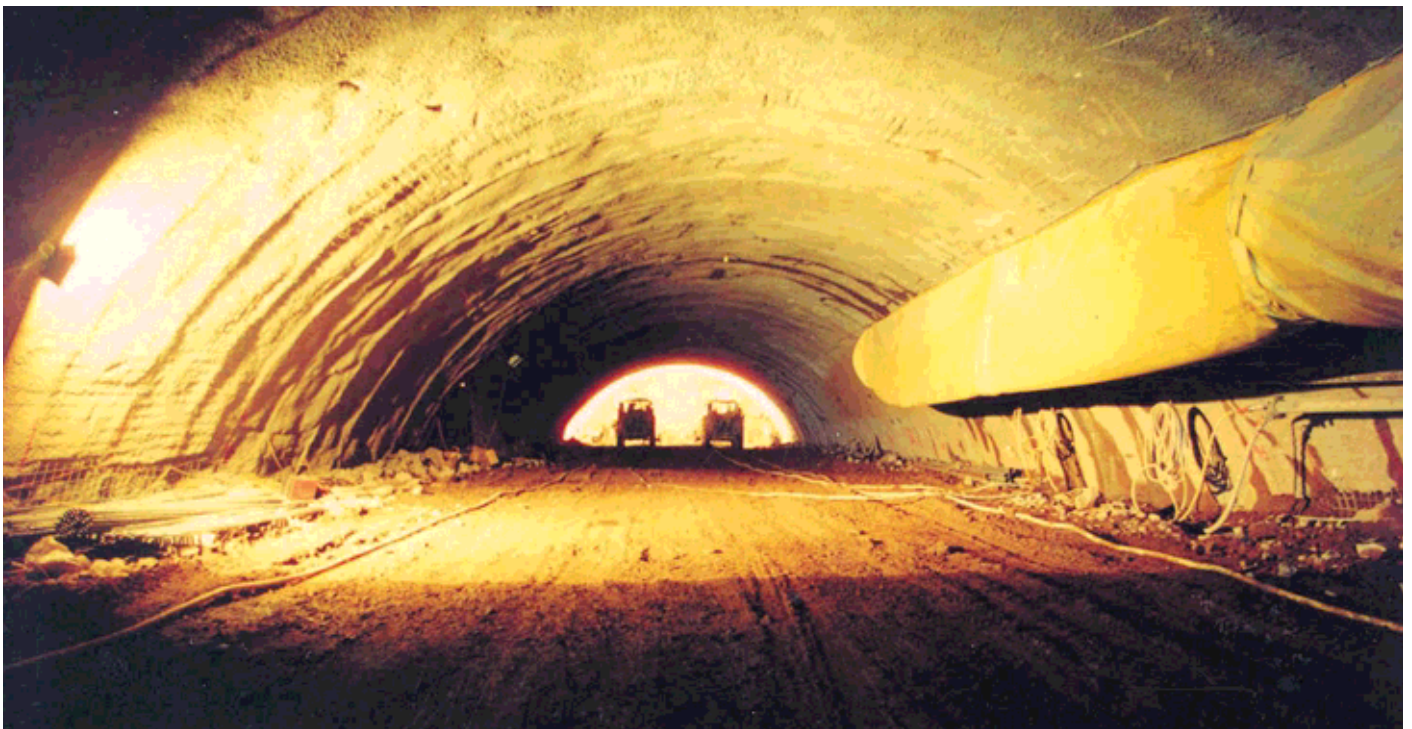
**THE GÖGGELSBUCH TUNNEL**

As a part of our production programme for the FRG in 2001, we excavated an escape adit for the railway tunnel on the Nuremberg – Ingolstadt line. We took the advantage of the experience gained by our employees in the operation of ALPINE AM – 50 tunnel boring machine.

**CONCLUSION:**

This article describes two cases of "urban" tunnels, one of them being one of the series of tunnels found on the Dresden – Prague route. The Dölzschchen tunnel is essentially a highway tunnel, but both of them are very important, primarily from the Stuttgart and Dresden towns' point of view. Both the complete passenger and freight transportation lead through the town centres, causing time losses and congestion. The traffic problems will become simpler after the tunnels completion, the noise level will drop, and pollution and traffic chaos in the towns will become the past only.

Regarding the tunnellers, we can state that Slovak crews competed successfully with German-Austrian workers on the two tunnels, both in terms of their performance and the work quality.



Obr. 8 Hrubý výlom kaloty (74 m<sup>2</sup>, šírka 16,5 m)

Fig. 8 Top heading rough excavation (74 m<sup>2</sup>, width 16,5 m)



Obr. 9 Súbežné nasadenie dvoch vrtných vozov v kalote

Fig. 9 Simultaneous operation of two drilling rigs in the top heading



Obr. 10 Tunel Göggelsbuch – oslava úspešnej prerážky

Fig. 10 The Göggelsbuch tunnel – celebration of successful breakthrough

## ŠPECIÁLNE ZAKLADANIE V SLUŽBÁCH TUNELÁROV

### SPECIALIST FOUNDATION SERVING TUNNELLERS

Ing. RASTISLAV ŽUFFA - VÁHOSTAV - TUNELY A ŠPECIÁLNE ZAKLADANIA, a. s., BRATISLAVA

#### ÚVOD

Pri realizácii diel tunelového staviteľstva v mnohých prípadoch je nevyhnutné využívať technológie špeciálneho zakladania. Stavby tunelov sa často realizujú v zložitých geologických pomeroch, kde sa striedajú pevné skalné horniny s geologickými poruchami. V portálových častiach tunelov je obvykle geológia charakteru pokryvných sedimentov, svahových sutín alebo navetralých skalných hornín.

Stavby tunelov sa realizujú na severe Slovenska vo flyšovom pásme Kysúc a na východe Slovenska v pohorí Branisko. Na týchto stavbách pracovali a pracujú aj zamestnanci našej spoločnosti v rámci jej predchodcu spoločnosti Váhostav, a. s., Žilina, alebo už od septembra roku 2001 ako samostatná spoločnosť Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania, a. s., Bratislava. Podiel prác špeciálneho zakladania na stavbách tunelov Branisko a Čadca – Horelica je nasledovný:

#### TUNEL BRANISKO

V rámci prípravy zabezpečovania západného portálu naši pracovníci realizovali spevňujúci mikropilóťový dáždnik. Geologické prostredie tu tvorili horniny paleogénu (ílovce a pieskovce) s nízkym nadložíím výrubu s výskytom podzemných vôd. Stavebná jama západného portálu bola navrhnutá ako svahovaný zárez stabilizovaný torkrétom a zemnými klincami.

Vlastný ochranný dáždnik z mikropilót tvorili vrty dĺžky 20,0 m a priemeru 156 mm. Vrty boli vystrojené oceľovými rúrami pr. 89/10 mm osadených do cementovej zálievky a následne injektované v manžetovej časti mikropilóty. Jednotlivé injektážne etáže boli od seba vzdialené 0,5 m. Pre jednu mikropilótu to znamenalo 38 etáží. Injektáž sa realizovala od ústia vrtu smerom ku koncu mikropilóty. Maximálny injekčný tlak bol 2,0 MPa. Po injektáži sa vnútrajšok mikropilót vyplnil cementovou zmesou. Takto cementovou injektážou spevnená a prearmovaná klenba výrubu umožnila bezproblémové razenie prvých metrov tunela.

Ochranný dáždnik tvorilo 53 ks mikropilót o celkovej dĺžke 1060,0 m. Mikropilóty boli realizované v klenbe budúceho výrubu tunelovej rúry, odsadené cca 0,5 m od hrany výrubu. Realizovali sa cez vodiacu šablónu, kde boli osadené prestupy pre jednotlivé mikropilóty. Tieto umožňovali presné smerové vedenie vrtov.

V rámci výstavby predportálových objektov realizovali naši pracovníci aj spevnenie definitívnych svahov na západnom portáli tohto tunela. Pre stabilizáciu boli použité injektované samozavrtavacie IBO kotvy dĺžky 6,0 m a vystužený torkrét hrúbky 20 cm. Celkovo bolo zrealizovaných 348,0 m IBO kotiev a 113,0 m<sup>2</sup> torkrétov.

#### TUNEL ČADCA – HORELICA

Túto stavbu po stavebnej časti zabezpečuje komplexne naša spoločnosť počínajúc stabilizáciou portálov, dopĺňujúcimi prácami charakteru špeciálneho zakladania, cez razenie tunelovej rúry po hydroizoláciu a definitívne sekundárne ostenie.

Z hľadiska podmienok sa stavba nachádza vo veľmi členitom území so strmými svahmi západných Beskyd vychádzajúcich z úrovne rieky Kysuca. Stavenisko tunela je nad zástavbou časti Čadca – Horelica. Tunel prechádza cez horu Čupeľ s maximálnym nadložíím cca 40,0 m. Na strane od Žiliny

#### INTRODUCTION

*It is often inevitable in the process of implementation of underground works to utilise specialist foundation techniques. Tunnels are frequently constructed under complex geological conditions of sound rock altering with geological failures. Geology characterised by covering sediments, slope debris or weathered rock usually occurs in portal sections of tunnels.*

*Slovakian tunnel structures are being realised in the north of the country, in the Kysúca flysh region, and in the east of Slovakia, in Branisko. Our company's employees have worked on those sites in the framework of its predecessor, Váhostav, a.s. company, or, since 2001, as employees of independent company Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania, a.s., Bratislava. The share of the specialist foundation work on the Branisko and Čadca-Horelica tunnels is as follows:*

#### THE BRANISKO TUNNEL

*Our workers carried out the work on a supporting micropile umbrella, being part of the preparation of the western portal support. The geology consisted of the Palaeogene rock types (claystones and sandstones), with a shallow ground water bearing cover above the excavation. The construction pit for the western portal was designed as a sloped open cut stabilised by sprayed concrete and rockbolts.*

*The protective micropile umbrella proper consisted of 20.0m long boreholes 156mm in diameter. The boreholes were provided with casing, i.e. 89/10mm steel pipes inserted into cement mortar. Grout injection was carried out subsequently within the sleeved section of the pipe. Individual injection points were 0.5m apart. This meant 38 points for one pipe. The grout was injected starting from the borehole mouth, towards the pipe end. Maximum grouting pressure of 2.0Mpa was applied. When the grouting had been finished, the pipe was filled with cement mixture. The vault reinforced by the above-described injection of cement grout allowed a trouble-free excavation of the initial meters of the tunnel.*

*The protective umbrella consisted of 53 micropiles with a total length of 1,060.0m. The micropiles were realised at the vault of the future tunnel tube excavation. The vault was offset about 0.5m from the line of excavation. A guide template with holes for particular pipes was used for the installation. They enabled precise directional guidance of the drilling.*

*As a part of the construction of pre-portal objects, our employees also supported the final slopes at the western portal of this tunnel. Grouted self-drilling IBO anchors 6.0m long, and reinforced shotcrete 20cm thick were used for the stabilisation. In total, 348.0m of the IBO anchors and 113.0m<sup>2</sup> of shotcrete were applied.*

#### THE ČADCA – HORELICA TUNNEL

*The civil part of this construction is completely supplied by our company – starting by the stabilisation of portals, supplementing operations from the field of specialist foundation, through the tunnel tube excavation, waterprooing, to the final lining.*

*Regarding the conditions, the construction is located in a very rugged area, with steep slopes of the Western Beskydy mountains emerging from the level of the Kysuca river. The tunnel construction site equipment lies above the urban setting of the Čadca – Horelica district. The tunnel passes through Čupeľ mountain, with the maximum cover of about 40.0m. On the Žilina side,*



končí v úzkom údolí potoka Klimka. Stabilizácia portálov tohto tunela je navrhnutá rozdielne.

## PORTÁL „ČADCA“

Portál na strane od mesta Čadca je navrhnutý s trvalou definitívnou úpravou svahov.

Územie portálu tvorené flyšom so striedaním ílovcov a pieskovecov rôzneho stupňa navetrania, prekrytých kvartérnymi vrstvami svahových hlin a sutín bolo skomplikované aktívnym zosuvným územím s výraznými vplyvmi podzemnej vody a svahovými vývermi. Pred realizáciou zárezu portálu „Čadca“ bolo nevyhnutné územie odvodniť vejármi horizontálnych odvodňovacích vrtov priemeru 123 mm. Dĺžka vrtov je od 80,0 do 120,0 m a celková výmera zrealizovaných vrtov je 2830,0 m.

Stavebná jama tohto portálu je navrhnutá pre dve tunelové rúry, ale v prvej etape sa realizuje iba jeden obojsmerný tunel. Po odvodnení územia bolo možné pristúpiť k hĺbeniu a stabilizácii svahov portálu. Stabilizácia sa realizovala segmentovým roštom (kombinácia monolitických horizontálnych kotevných prahov s prefabrikovanými zvislými rebrami), ktorý bol kotvený trvalými lanovými kotvami (4-lanové a 6-lanové). Únosnosť kotiev je až 750 kN. Až po aktivácii a predopnutí kotiev sa mohlo pristúpiť k odkopom ďalšej etáže. Pozdĺžne kotevné prahy boli počas realizácie podopierané rúrovými mikropilótami 114/12 mm a dlhými zemnými klincami.

V prvej etape prác sme výstroj kotvy nakupovali ale po čase sme vyvinuli konštrukciu vlastnej trvalej kotvy, na ktorú máme certifikát od TSÚS Bratislava a ktorú v súčasnosti predávame na Slovensku. Dĺžka kotiev je od 17,0 m do 33,0 m. Celkovo je realizovaných 6 úrovni kotvenia o celkovej dĺžke 9122,0 m trvalých lanových kotiev. Čelná strana portálu „Čadca“ je okrem segmentového roštu stabilizovaná aj vystuženým torkrétom hr. 20 cm a zemnými klincami dĺžky 6,0 m a 10,0 m. Celková výmera zemných klincov bola 2322,0 m a výmera torkrétov 658,0 m<sup>2</sup>. Pred razením tunelovej rúry bola klenba spevnená dáždnikom z rúrových mikropilót. Dĺžka mikropilót bola do 20,0 m, výstroj tvorila ocelová rúra 76/10 mm. Celkovo sa na portáli zrealizovalo 1824,0 m rúrových mikropilót priemeru 76/10 mm a 114/12 mm. Pomocou prvkov špeciálneho zakladania sme realizovali stavebnú jamu so životnosťou konštrukcií projektovanou na dobu minimálne 30 rokov v zosuvnom území s maximálnou hĺbkou zárezu 14,2 m, pričom potenciálne šmykové plochy boli prieskumom určené v hĺbke 8,5 až 12,0 m. Z architektonického hľadiska zabezpečenie portálu tvorí tiež zaujímavý prvok stavby (obr. 1, 2).

### Prvky špeciálneho zakladania použité pri razení tunela Horelica

Počas razenia vlastnej tunelovej rúry došlo vplyvom geologickej poruchy v staničení 271 km k spontánnemu priedvalu hornín do profilu tunela. Nepriaznivý stav bol podporený dlhotrvajúcimi zrážkami a previazanosťou puklinovej vody s povrchom. Závalom sa vytvoril šikmý komín o celkovej kubatúre cca 150,0-170,0 m<sup>3</sup>.

Keďže nadložie nad tunelom v tejto časti nie je vysoké, (maximálne nadložie je len 40,0 m), zával mal dosah až na povrch terénu. Vytvorila sa prepadlina hĺbky cca 2,0 m - 3,0 m s priemerom do 10,0 m.

Účastníci výstavby (investor, generálny projektant a dodávateľ) operatívne zvolali rokovanie a na základe nášho návrhu sa prijalo riešenie na prechod závalom pomocou spevňujúcej klenby z rúrových mikropilót.

Pred realizáciou mikropilót sa vytvoril po obvode výrubu spevňujúci golier z dvojice priehradových nosníkov doplnených betonárskou výstužou



Obr. 1 Kotvenie štvrtého horizontálneho prahu zabezpečenia portálu Čadca  
Fig. 1 Anchoring of the fourth horizontal sill of the Čadca portal support

the tunnel terminates in Klimka stream valley.

The stabilisation of the portals of this tunnel has been designed in a varying manner.

## THE "ČADCA" PORTAL

Permanent treatment to the slopes has been designed for the portal on the Čadca town side of the tunnel.

The portal area is formed by flysh. The alternation of claystones and sandstones of various degree of weathering, overlain by the Quaternary layers of slope loams and debris, was complicated by an active landslide area with considerable influence of ground water with the occurrence of slope springs. It was necessary before the excavation of the open cut in front of the "Čadca" portal to drain the area by means of fans of 123 mm diameter horizontal boreholes. The length of the holes is from 80.0 to 120.0 m; 2830.0 m of the holes were drilled in total.

A construction pit for two tunnel tubes has been designed at this portal (one bi-directional tunnel will be built in the first stage). The excavation and stabilisation of the portal slopes was possible after the draining of the area. The slopes were stabilised by means of a segmented grid (a combination of cast-in-situ horizontal anchoring sills and pre-cast vertical ribs), which was anchored by permanent cable anchors (4-strand and 6-strand ones). The pull-out strength of the anchors is up to 750 kN. Deepening of the excavation to the next level could be started after activating and pre-tensioning the anchors only. The longitudinal anchoring sills were supported by pipe micropiles 114/12 mm and long soil nails.

We purchased the anchors in the initial phase of the work, but then we developed our own design of the permanent anchor. We have this anchor certified by TSÚS Bratislava, and we are selling it in Slovakia. The anchors length is from 17.0 m to 33.0 m. Six anchoring levels have been carried out in total, with a total length of permanent cable anchors of 9,122 m. The front side of the "Čadca" portal, with the exception of the segmented grid, is also stabilised by reinforced shotcrete 20cm thick, and 6.0 to 10.0m long soil nails. The total amount of the soil nails was 2,322.0 m, and the shotcrete covered area was 658.0 m<sup>2</sup>. The roof had been reinforced by means of a pipe umbrella before excavating the tunnel tube. The micropiles were 20.0 m long. Steel pipes 76/10 mm were used as the borehole casing. In total, 1,824.0 m of the micropile pipes 76/10 mm and 114/12 mm in diameter were installed at this portal.

Using elements of specialist foundation, we realised a construction pit with the design life of its structures of 30 years as a minimum. The excavation was carried out in a slide area. The maximum depth of the pit was 14.2 m, while by the survey identified potential sliding surfaces were at a depth of 8.5 to 12.0 m. The portal support also forms an interesting architectural feature of the tunnel structure. As a proof, you can see the portal pictures enclosed to this article.

### Elements of specialist foundation utilised in the Horelica tunnel excavation

A spontaneous falling of rock into the tunnel profile due to a geological failure occurred at chainage 271 km in the course of the tunnel tube excavation. Long lasting rainfalls and interconnection of fissure water with the surface



Obr. 2 Kompletné zaistenie portálu Čadca tunela Horelica  
Fig. 2 Complete support of the Čadca portal of the Horelica tunnel





Obr. 3 Zabezpečenie portálu Žilina lanovými kotvami  
Fig. 3 Support of the Žilina portal by cable anchors

aggravated this unfavourable state of geology. A subsequent collapse created a chimney cavity with a total volume of roughly 150.0 – 170.0 m<sup>3</sup>.

As the cover above the tunnel is not high in this section (the maximum cover is 40.0 m only), the collapse reached the ground surface. A sinkhole originated about 2.0 – 3.0 m deep, with a diameter of about 10.0 m.

The construction participants (the owner, overall consultant and contractor) called operatively a meeting and, based on our proposal, a solution was adopted how to overcome the collapse zone by means of a reinforcing vault consisting of pipe micropiles.

A reinforcing collar formed by a pair of lattice girders supplemented by concrete reinforcement bars and covered with shotcrete had been created around the excavation perimeter before drilling for the micropiles. We left two rows of openings in the collar in its part where the excavation roof collapsed, enabling the directional guidance of the micropiles (54 pieces in total). When the collar shotcrete had set, we drilled holes and installed 76/10mm micropile pipes with a total length of 540.0m. The micropiles terminated in sound rock, i.e. behind the tunnel face, behind the geological failure. To stabilise the collapse zone, we deposited muck against its face and injected it with cementitious grout by means of a fan of grouting boreholes with PVC casing. Once the protective micropile vault had been built, the roof of the collapse created in this manner was strengthened by reinforced shot-



Obr. 4 Dvojradowý mikropilótvý dáždník portálu Žilina tunela Horelica  
Fig. 4 Double-row micropile umbrella of the Žilina portal of the Horelica tunnel



Obr. 5 Kompletné zabezpečenie žilinského portálu tunela Horelica – tunel v primárnej výstuži pred profilovaním  
Fig. 5 Complete support of the Žilina portal of the Horelica tunnel – tunnel before profiling, supported by primary lining.



Obr. 6 Lanové kotly s horizontálnymi oceľovými roznášacími prahmi – portál Žilina tunela Horelica  
Fig. 6 Cable anchors with horizontal steel spreading sills – the Žilina portal of the Horelica tunnel



Stavba Project	Ihly Soil nails (m)	Torkret Shotcrete (m <sup>2</sup> )	Kotvy Anchors (m)	Mikropilóty Micropiles (m)	Výplňová injektáž Back grouting (m <sup>3</sup> )	Ovodyňovacie vrty Drainage boreholes (m)
Cesta I/11 Čadca - Horelica - Tunel - portál Žilinal Road I/11 Čadca - Horelica - Tunnel - Žilina portal	1810,0 dĺžka 6 a 10 m length 6/10 m	200,0 hr. 20 cm th. 20 cm	1390,0 dĺžka 17,5 m, 16 m a 14,5 m length 17,5 m, 16 m, 14,5 m  typ: 6 Lp. 15,5 mm type: 6-strand, dia. 15,5 mm	800,0 dĺžka 20 a 25 m length 20/25 m  typ/type: 89/16 mm	0,0	0,0
Cesta I/11 Čadca - Horelica - Tunel - portál Čadca Road I/11 Čadca - Horelica - Tunnel - Čadca portal	2322,0 dĺžka 6 a 10 m length 6/10 m	658,0 hr. 20 cm th. 20 cm	9122,0 dĺžka od 17,0 do 33,0 m length from 17,0 to 33,0 m  typ: 4 a 6 Lp. 15,5 mm type: 4 and 6-strand, dia. 15,5 mm	1824,0 dĺžka 20 m length 20 m  typ/type: 76/10 mm, 114/12 mm	0,0	2830,0 dĺžka do 120 m length to 120 m  pr. 123 mm dia. 123 mm
Cesta I/11 Čadca - Horelica - Tunel - sanácia geologickej poruchy Road I/11 Čadca - Horelica - Tunnel - improvement in the geological failure area	0,0	0,0	0,0	540,0 dĺžka 10 m length 10 m  typ/type: 76/10 mm	170,0  cementová cement grouting	0,0
D1 Behárovce - Branisko - Tunel - portál západný D1 Behárovce - Branisko - Tunnel - portal West	0,0	0,0	0,0	1060,0 dĺžka 20 m length 20 m  typ/type: 89/10 mm	0,0	0,0
D1 Behárovce - Branisko - II. etapa - pravý tunel HTU pre západný portálový objekt D1 Behárovce - Branisko - stage II - right hand tube, general surface cutting for portal West	0,0	113,0 hr. 20 cm th. 20 cm	348,0 dĺžka 6,0 m length 6,0 m  typ/type: IBO	0,0	0,0	0,0
Výmery spolu Total quantities	4132,0	971,0	10860,0	4224,0	170,0	2830,0

Tab. 1 Výkazy výmer prvkov špeciálneho zakladania  
Table 1 Bills of Quantities of Specialist Foundation Items

a zastriekaný torkrétom. V časti, kde bol v klenbe výrubu priediel hornín, ponechali sme v golieri dva rady prestupov pre smerové vedenie mikropilót (celkový počet 54 ks). Po vytužnutí goliera sa realizovali vrty a mikropilóty profilu 76/10 mm celkovej výmery 540,0 m. Mikropilóty boli ukončené za čelbou výrubu za geologickou poruchou v pevnom horninovom prostredí. Pre stabilizáciu čelby závalu bol navezený materiál z výrubu, ktorý sa následne preinjektoval cementovou injekčnou zmesou vejárom injekčných vrtov s PVC výstrojom. Po vytvorení ochranej klenby z mikropilót sa takto vytvorený strop závalu spevnil vystuženým torkrétom a bolo možné rozvolnený priestor vyplniť z časti betónovou zmesou a doinjektovať cementovou injekčnou zmesou. Celkovo sa do odstránenia závalu použilo 120,0 m<sup>3</sup> cementovej injekčnej zmesi. Po vytvrdnutí injekčnej zmesi sa postupovalo s odstraňovaním horniny a razením tunela podľa pôvodnej projektovej dokumentácie metódou NRTM s tým, že sa skrátili jednotlivé zábery.

## PORTÁL „ŽILINA“

Tento portál je navrhnutý pre razenie tunela ako dočasná konštrukcia, ktorá bude upravená po vysunutí definitívnej tunelovej rúry jej presypaním. Vzhľadom na zložité geologické pomery (pri otvárani stavebnej jamy pre dočasné zabezpečenie portálu sa vytvorili už v hornej časti zosuvy svahov), bol na základe dopĺňajúceho IGP vypracovaný nový projekt, ktorý rozšíril rozsah prvkov špeciálneho zakladania. Geologické pomery staveniska boli tvorené pokryvnými vrstvami sutín (cca 2,2 m), pod ktorými sú súvrstvia ílovcov a pieskocov. Ílovcové sú tektonicky rozbité až na charakter sutín. Pieskovce sú slabšie navetrané, ale sú výrazne rozpukané. Pod touto vrstvou sa nachádza súvislá poloha veľmi porušených ílovcov charakteru tuhých až pevných ílov.

Vlastná stabilizácia dočasného portálu sa realizovala na čelnej strane (sklon svahu 5:2) pomocou dlhých klinec - 6,0 m a 10,0 m, vystuženého torkrétu hr. 20 cm

rete. Then it was possible to improve the loosened rock area partially by backfilling with concrete mix, partially by injecting cementitious grout. In total, 120.0 m<sup>3</sup> of cement grout was used for the rehabilitation of the collapse zone. Once the injection mixture had hardened, the removal of the rock and tunnel excavation according to the original design by the NATM continued, with individual rounds shortened.

## THE "ŽILINA" PORTAL

This portal has been designed for the tunnel excavation as a temporary structure. The final solution consists in backfilling a protruding section of the tunnel tube. Because of difficult geological conditions (landslides originating as high as in the upper part of the construction pit in the phase of its opening for the portal temporary support execution), a new design was elaborated on the basis of an additional engineering-geological survey. This design extended the scope of specialist foundation items application. The geology consisted of nappes of detritus (about 2.2 m) with series of strata of clays and sandstones underneath. The claystones are tectonically broken, assuming the character of debris. The sandstones are weakly weathered, but they are significantly fractured. A continuous interbed of heavily fractured claystones of the character of stiff to hard clays is found under this layer.

The temporary portal stabilisation proper was carried out at the face (the slope gradient 5:2) by means of 6.0 and 10.0 m long nails, reinforced shotcrete 20cm thick, and reinforced concrete anchoring sills secured by cable anchors of our own production. The anchors were 14.5 m, 16.0 and 17.5 m long. Side slopes were stabilised by shotcrete and soil nails only. In total, 1,810.0 m of soil nails, 200.0 m<sup>3</sup> of reinforced shotcrete and 1,390.0 m of earth cable anchors were installed.

a pomocou železobetónových kotvených prahov kotvených lanovými kotvami (naša vlastná výroba). Dĺžka kotiev bola 14,5 m, 16,0 m a 17,5 m. Bočné svahy boli stabilizované len torkrétom a zemnými klincami. Celkovo bolo realizovaných na portáli „Žilina“ 1810,0 m zemných klinčov, 200,0 m<sup>2</sup> vystuženého torkrétu, 1390,0 m lanových zemných kotiev.

Pre stabilizáciu klenby výrubu bol vytvorený dvojradový stužujúci dáždnik z rúrových mikropilót, vystrojených oceľovou rúrou 89/10 mm. Dĺžky mikropilót boli 20,0 m a 25,0 m. Celková výmera vrtovej práce bola 800,0 m.

## ZÁVER

Špeciálne zakladanie a jeho technológie sú významnou súčasťou budovania tunelových stavieb. Dôkazom toho je aj sumárna tabuľka prvkov špeciálneho zakladania (Tab. 1). Dokazuje aj veľkosť rozsahu týchto prác len na dvoch realizovaných stavbách. Je výhodou stavebnej spoločnosti, ktorá má vo svojom výrobnom programe popri tunelárskych technológiách aj technológie špeciálneho zakladania. Počas realizácie prác je možné operatívne nasaďiť tieto technológie (napríklad pri prekonávaní ťažkých geologických porúch), čím sa skracujú nečakané prestoje a urýchľuje sa celkový postup výstavby tunelového diela. Kombinácia oboch technológií je tiež výhodou z hľadiska komplexnosti ponuky prác voči zákazníkom, lebo jedna spoločnosť môže ponúknuť dodávku diela ako celku.

Výraznou výhodou je tiež aj to, že obidve technológie sú z hľadiska strojného, materiálového (torkrétu, kotvy, klince, injektáže ...) veľmi podobné a pracovníkov je možné presúvať v závislosti od ich potreby na stavbe pre obidve technológie.

V našej spoločnosti sa tak technológie špeciálneho zakladania a technológie pri realizácii tunelových stavieb stali jedným neoddeliteľným celkom ponuky našich prác.

*A reinforcing umbrella consisting of two rows of micropiles, with 89/10 mm steel pipes used as the casing, was created to stabilise the excavation roof. The micropiles were 20.0 and 25.0 m long. The total length of the holes drilled was 800.0 m.*

## CONCLUSION

*In conclusion, it is possible to state that specialist foundation and its technologies are an important part of tunnel construction. This can be also proved by the summary table of the elements of the specialist foundation, contained in the supplement to this article. It also proves the extent of these operations just on two projects. Having the specialist foundation technologies in the production programme in addition to tunnelling technologies is an advantage for a construction company. Those technologies can be applied operatively during the execution of the works, e.g. in overcoming complex geological faults. Unexpected downtimes are cut and the overall progress of the tunnel construction is accelerated in this way. The combination of the two technologies is also advantageous in terms of the completeness of the scope of work offered to clients, since one company can offer the supply of the works as a whole.*

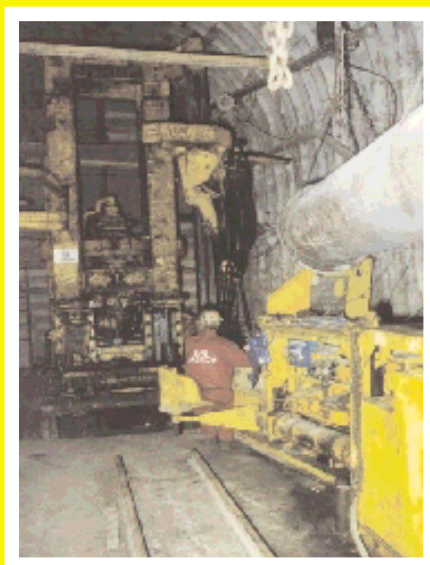
*A substantial advantage is also the fact that the both technologies are very similar in terms of the equipment and materials (shotcrete, anchors, nails, grouting, etc.), and workers can be shifted depending on the demand for the two technologies on the site.*

*In our company, the specialist foundation technologies and technologies needed for tunnel construction have become an inseparable part of our bids.*



**OKD, DPB, a.s.**  
Rudé armády 637, 739 21 Paskov

- VRTNÉ PRÁCE V PODZEMÍ (VRTY PRŮZKUMNÉ, DEGAZAČNÍ, ODVODŇOVACÍ, ZAJIŠŤOVACÍ, INJEKTÁŽNÍ, AJ.)
- VRTY VEĽKOPRŮMĚROVÉ DO PRŮMĚRU 2,4 m PRO VĚTRÁNÍ, TRANSPORT MATERIÁLU, VEDENÍ POTRUBÍ, KABELŮ APOD.
- VRTY PRO GEOLOGICKÝ PRŮZKUM, INŽENÝRSKOU GEOLOGII, VRTANÉ STUDNY, VRTY PRO TEPELNÁ ČERPADLA
- PODVRTÁNÍ OBJEKTŮ, LINIOVÝCH STAVEB A VODOTEČÍ, VRTY PRO STAVEBNICTVÍ



- INŽENÝRSKÉ SLUŽBY A ZNALECKÁ ČINNOST V OBORECH GEOMECHANIKA, GEOFYZIKA, DEGAZACE, VĚTRÁNÍ, GEOLOGIE A HYDROGEOLOGIE
- UŽITÁ GEOFYZIKA V POZEMNÍM A PODZEMNÍM STAVITELSTVÍ, V HYDROGEOLOGICKÉM A INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉM PRŮZKUMU, HORNICKÁ GEOFYZIKA
- HYDROGEOLOGICKÝ PRŮZKUM, EKOLOGICKÉ AUDITY A ANALÝZY RIZIK
- AKREDITOVANÉ ANALÝZY HORNIN, ZEMIN, VOD A ODPADŮ

DRŽITEL ČSN EN ISO 9001 : 2001  
CERTIFIKAČNÍ ORGÁN ITI - TŮV



# TUNEL HORELICA

## PRVÁ TUNELÁRSKA REPRÍZA NA SLOVENSKU

### THE HORELICA TUNNEL – THE FIRST REPEAT PERFORMANCE OF TUNNELLING IN SLOVAKIA

Ing. STANISLAV SIBERT - VÁHOSTAV - TUNELY A ŠPECIÁLNE ZAKLADANIA, a.s., BRATISLAVA

Tunel Horelica je na trase budúcej diaľnice D 3 Kysucké Nové Mesto – Skalité, ktorá bude súčasťou koridoru sever – juh na spojnici Slovenska s Poľskom. Nachádza sa v bezprostrednej blízkosti mesta Čadca. Má dĺžku 605 m, je dvojpruhový a v prvej etape výstavby bude obojsmerný. Tunel prechádza svah kóty „Čupel“ a končí v úzkom údolí potoka „U Klimka“.

Tunel Horelica je typický bočný svahový tunel. Buduje sa v rámci stavby „Cesta I/11 Čadca – Obchvat mesta, časť Čadca, Bukov – Čadca, Horelica“ v súčasnej dobe iba ako jedna tunelová rúra s dlhodobou obojsmernou premávkou, perspektívne s dobudovaním aj druhej – severnej tunelovej rúry. Dokumentácia pre stavebné povolenie (DSP) bola spracovaná v roku 1997 a v priebehu roka 1998 bola spracovaná realizačná dokumentácia. Na základe doplňujúceho inžiniersko-geologického a hydrogeologického prieskumu, ktorý bol realizovaný ešte začiatkom roku 1998, bolo zistené výrazné zhoršenie geologického prostredia oproti pôvodnému prieskumu, ktorý bol spracovaný pre DSP. Navyše v priestore portálu Čadca bol identifikovaný rozsiahly aktívny zosuv. Po zhodnotení výsledkov doplňujúceho IGP bolo rozhodnuté upraviť systém horného a dolného zaistenia portálu Čadca. Jeho stavebno-technické riešenie rešpektuje požiadavky bezproblémového budovania druhej tunelovej rúry. Súčasťou tohto riešenia je tiež geotechnický monitorovací systém, povrchové a hĺbkové odvodnenie pomocou horizontálnych odvodňovacích vrtvov.

#### GEOLOGICKÉ POMERY

Jedná sa o morfológicky veľmi členené územie so strmými svahmi západných Beskyd vychádzajúcich z úrovne rieky Kysuce a ohraničené po stranách Bukovským a Klimkovským potokom. Trasa prechádza územím, kde svahy sú pod deluviálnym pokryvom budované eocennými flyšovými horninami - ílovcami a pieskovecami račianskej jednotky v dominantnom vývoji tzv. zlínskych vrstiev. Zlínske vrstvy sa vyznačujú obvyklou prevahou pelitov (ílovice, slíene, prachovce) nad pieskovecami. V strednej časti tunela Horelica sa nachádza lokálne prevládajúca pieskovcová poloha. V oblasti portálu „Čadca“ (západný portál) prevládajú ílovice nad pieskovecami. Flyšové súvrstvie je zvetrané do hĺbky 7 – 10 m, v blízkosti tektonických porúch i do väčších hĺbok 10 – 14 m. Ako celok je toto súvrstvie málo priepustné, puklinový obeh vody je viazaný na mocnejšie polohy pieskovcov a najmä na tektonické poruchy.

Podľa výsledkov podrobného (apríl 1997) a doplňujúceho inžiniersko-geologického prieskumu (február 1998) je územie priláhlé k trase obchvatu v km 2,04 – 2,72 poznačené rozsiahlymi svahovými deformáciami, ktoré sa skladajú z troch hlavných starých zosuvov prúdového tvaru o dĺžke 350 – 500 m. V spodnej časti sa vyskytujú ďalšie dielčie zosuvy a v ich predpolí na brehovom svahu rieky Kysuca celý rad menších recentných zosuvov prúdového a frontálneho tvaru.

Najnepriaznivejšie, v potenciálnom stave, sú hodnotené iba spodné dielčie zosuvy dĺžky do 250 m s bazálnou klznou plochou v spodnej časti do hĺbky 8 – 11 m, ktorá nezasahuje do súčasnej úrovne erózneho koryta rieky Kysuca. Menšie brehové zosuvy, dotvárajúce súčasný reliéf svahového úpätia, sú zjavne recentného veku. V závislosti na premenlivej litológii flyšových vrstiev, na ich smer a sklon, zvetranie (dosah 10 – 14 m) a tektonické porušenie sa nachádza niekoľko typov a generácií svahových deformácií. Pri zosuvných svahových deformáciách boli zistené najvrchnejšie klzné zóny v hĺbke 2 – 4 m, ktoré sa viažu na styk pokryvného deluviálneho komplexu (íly a sute) s rozloženými ílovcami. Hlbší priebeh klzných zón je v hĺbke 5 – 7 m, zasahujúce už silne zvetrané až rozložené ílovice. Je považovaný ako maximálny dosah možného recentného zosuvného pretvárania svahov v súčasných podmienkach. Bazálne klzné plochy a zóny v hĺbke 8 – 11 m boli interpretované vo zvetranom súvrství ílovcov s pieskovecami ako maximálny hĺbkový dosah zosuvov staršej až najstaršej generácie.

*The Horelica tunnel lies on the future alignment of the D3 motorway from Kysucké Nové Město to Skalité, which will be part of the north-south corridor connecting Slovakia with Poland. It is located at a close vicinity of Čadca town. It is 605m long, double-lane, with bi-directional traffic in the first phase of the construction. The tunnel passes under the slope of „Čupel“ hill, and emerges at a narrow valley of „U Klimka“ stream.*

*The Horelica tunnel is a typical hillside tunnel. It has been built within the framework of the project "The Road I/11 Čadca – Town Bypass Road, the lot from Čadca - Bukov to Čadca - Horelica", currently with one tube only for bi-directional traffic. The other one, i.e. the northern tunnel tube is to be built in the future.*

*The final design was elaborated in 1997, and the detailed design was developed during the year 1998. Significantly worsened geology was identified by an additional engineering-geological and hydro-geological survey carried out at the beginning of 1998, compared to the results of the original survey serving for preparation of the final design. In addition, an extensive active landslide was located in the area of the Čadca portal. The assessment of the information obtained through the EGS resulted in the decision to modify the system of the upper and bottom support of the Čadca portal. Its structural and technical solution respects the requirements of the trouble-free construction of the other tunnel tube. This solution also contains a geo-technical monitoring system, and surface and deep drainage through horizontal drainage boreholes.*

#### GEOLOGY

*The area topography is very rugged, with steep slopes of the Western Beskydy Mountains rising from the Kysuce River level. Its side borders are formed by Bukovský and Klimkovský streams. The alignment passes through an area with slopes covered by diluvial layers consisting of Eocene flysh rocks, i.e. the Račians unit of claystones and sandstones found within the dominating evolution of so-called Zlín strata. The Zlín strata are usually characterised by pelites (claystones, marlstones, siltstones) prevailing over sandstones. Locally prevailing sandstone interbeds are found at the central part of the Horelica tunnel. Claystones prevail over sandstones in the "Čadca" portal area (the portal west). The flysh series of strata is weathered up to the depth of 7 – 10 m, even deeper in the vicinity of tectonic failures. As a whole, this series of strata is little permeable, fissure water circulation occurs in thicker sandstone interbeds and mainly in tectonic failures.*

*According to the results of the detailed (April 1997) and additional engineering-geological survey (February 1998), the area surrounding the bypass alignment at km 2.04 – 2.72 has been affected by extensive slope deformations consisting of three main old flow-type slides 350-500 m long. At the lower part of the Kysuca river's bank slope, other partial landslides occur, with a number of smaller, recent flow-type and frontal slides in their forelands.*

*The most unfavourable results of the assessment are related, in a potential condition, to the bottom partial landslides only, up to a length of 250 m, with a basal slipping surface at the bottom area at a depth up to 8 – 11 m, which does not reach to the existing level of the Kysuca river's washout. Minor bank slides forming the current relief of the slope foot are clearly of the recent age. Depending on the variable lithology of the flysh strata, their direction and dip, weathering (reaching up to 10 – 14 m) and tectonic faulting, several types and generations of slope deformations can be found. The shallowest slipping zones at landslide deformations were identified at a depth of 2 – 4 m. These are connected with the diluvial cover complex*

Porušená zóna v hĺbke do 10 – 14 m bola vyhodnotená tak, že teraz je už súčasťou zosuvného delúvia, ale pri vplyve tektoniky zodpovedá zóne dosahu intenzívneho zvetrania podložných flyšových hornín.

Výskyt podzemnej vody bol overený vo väčšine prípadov v 3 – 4 hĺbkových horizontoch:

- I. horizont v úrovni 1 – 4 m pod terénom na rozhraní kvartérneho pokryvu so zvetraným podložíom,
- II. horizont v úrovni viac ako 10 m pod terénom vo zvetranej a tektonicky porušenej zóne podložných hornín, umožňujúci infiltráciu i cirkuláciu podzemnej vody z hlbšieho obehu a väčšieho územia, hlavne z juhovýchodu.

### GEOTECHNICKÝ MONITORING

Po celú dobu výstavby je na stavbe realizovaný geotechnický monitoring podľa zásad NRTM. Túto činnosť realizuje združenie firiem s názvom „Združenie Horelica“. Geotechnický monitoring južnej tunelovej rúry včítane komplexnej dokumentácie inžiniersko-geologických, hydrogeologických a geologicko-tektonických pomerov horninového prostredia podľa zásad NRTM obsahuje i konvergenčné merania geodetickou metódou 3D (absolútne deformácie) a invarovým pásmom SINCO (relatívne deformácie) a meranie kontaktných napätí pomocou tlakomerných krabíc, ďalej extenzometrické merania vo vzdialenosti 2 až 6 m, resp. až 8 m pre overenie a kontrolu vývoja možnej rozvoľnenej zóny v okolí tunelovej rúry. Na povrchu terénu sa sleduje vývoj poklesovej kotliny a pod povrchom i vývoj priestorových deformačných prejavov v charakteristickom deformatricko - inklinometrickom vrte. Špeciálne sa monitoruje i portálová časť tunela (najmä portálu Čadca), a to jej stabilizačná konštrukcia a tiež príslušné zosuvné územia pomocou presnej povrchovej nivelácie a podpovrchovej inklinometrie a súčasne s tým sa sleduje úroveň hladín podzemnej vody v piezometrických vrtoch a výdatnosť odvodňovacích subhorizontálnych vrtoch.

Na stavbe sú organizované pravidelné týždenné geotechnické porady a v rámci kontrolných mesačných dní bola za účasti projektanta upresňovaná technológia výstavby v zmysle 4 základných vystrojovacích tried.



Obr. 1 Portál južnej tunelovej rúry a stavebný dvor v Čadci. Vyrazená zatiaľ iba kalota

Fig. 1 Southern tube portal and construction yard in Čadca. Only the top heading excavation completed



Obr. 2 Vrtné práce v kalote tunela v úseku s predrazenou prieskumnou štôľňou  
Fig. 2 Drilling in the top heading, in the section with the pre-excavated exploration gallery

(clays and debris) and disintegrated claystones. Deeper slipping zones, reaching already heavily weathered to disintegrated claystones, are at a depth of 5 – 7m. This depth is considered to be the maximum extent of the recent landslide deformation possible under current conditions. The basal slipping surfaces and zones at a depth of 8 – 11m within weathered series of strata of claystones and sandstones were interpreted as the maximum depth reached by landslides of the older to the oldest generation. A weakness zone at a depth to 10 – 14m was assessed as being currently part of the slide diluvium, but it corresponds to the zone of the reach of the intensive weathering of underlying flysh rocks if the influence of tectonics is taken into consideration.

In the majority of cases, the occurrence of ground water was identified in 3 – 4 depth horizons:

The horizon I is 1-4m under the ground surface, at the Quaternary cover and weathered sub-base interface,

The horizon II is found deeper than 10m under the ground surface, in the zone of weathered and tectonically faulted underlying rocks. This horizon allows the infiltration and circulation of ground water from a deeper flow and from a vaster area, primarily from the southwest.

### GEOTECHNICAL MONITORING

The geo-technical monitoring according to the NATM principles has been carried out throughout the construction period. This service is provided by the association of companies named "Združenie Horelica". The geo-technical monitoring of the southern tunnel tube, including the complete documentation of engineering-geological, hydro-geological and geological-tectonic properties of the rock mass according to the NATM principles, also contains convergence measurements by a 3D surveying method (absolute deformations) and by the SINCO Invar-metal tape (relative deformations), and the measurement of contact stresses by means of pressure cells, and also extensometer measurements every 2 to 6m, or even 8m, to verify and check the development of the zone of loosened rock around the tunnel tube. Measurements from the ground surface monitor the development of the settlement trough. Under the ground surface, also the development of spatially deformational manifestations is monitored in a characteristic deformation- and inclination-metering borehole. The tunnel portal section (the Čadca portal above all) is also monitored in a special manner, i.e. its stabilisation structure, and also the adjacent landslide areas, by means of precise surface levelling and subsurface inclinometry. The water table level is monitored concurrently in piezometric boreholes, as well as the yield of sub-horizontal drainage boreholes.

Regular weekly geo-technical meetings have been organised on the site, and the construction technique has been refined in monthly progress meetings attended by the engineering consultant, using 4 basic classes of the excavation support.

### TECHNICAL SOLUTION OF THE HORELICA TUNNEL.

The Horelica tunnel's cross section is based on the categorisation of tunnels set out in the highway tunnels designing rules developed by the Slovakian



Obr. 3 Príprava trhacích prác v kalote  
Fig. 2 Preparation of blasting in the top heading



## TECHNICKÉ RIEŠENIE TUNELA HORELICA

Priečný profil tunela Horelica vychádza z kategorizácie tunelov uvedených v technickom predpise pre projektovanie diaľničných tunelov spracovanej Slovenskou správou ciest. Jedná sa o tunel kategórie „C“ s núdzovým pruhom. Je navrhnutý podľa STN 73 75 07, Projektovanie tunelov na cestných komunikáciách, ktorá už čiastočne stratila aktuálnosť. Základný projekt pre tunel bol spracovaný už v roku 1997 (DSP). Tunel je budovaný podľa zásad NRTM. Konštrukcia primárneho ostenia je navrhnutá v kombinácii striekaného betónu s oceľovými sieťami, s radiálnymi svorníkmi (kotvami) a zvarovanými priehradovými oblúkmi. V prípade nutnosti sú klenba a prístropný výrub zabezpečené vitanými pilótami a ihlami. Ochrana proti podzemnej vode je riešená plášťovou polyetylénovou izoláciou so signálnou vrstvou a drenážnym systémom. Definitívne ostenie bude železobetónové monolitické.



Obr. 4 Panoráma žilinského portálu  
Fig. 4 Panorama of the Žilina portal

Road Administration. This is a “C” category tunnel with an emergency-stopping lane. It has been designed in compliance with the STN 73 7507 standard “Design of Road Tunnels”, which has become partially obsolete.

The basic design for the tunnel was already elaborated in 1997 (final design). The tunnel is built according to the NATM principles. The primary lining structure has been designed as a combination of sprayed concrete, welded mesh, radial rock bolts (anchors) and welded lattice girders. If necessary, the vault and top heading excavation are supported by bored piles and spiles. Protection against ground water has been solved by polyethylene membrane with a signalling layer, and a drainage system. Final liner will be in cast-in-situ reinforced concrete.

## THE DESCRIPTION OF THE HORELICA TUNNEL CONSTRUCTION TECHNOLOGY

The tunnel construction started by the excavation of an exploratory gallery (in November 1999), with the excavation of the tunnel proper going on since June 2000. Frequent geological failures had to be overcome during the work.

The mined section of the tunnel tube, without portal sections, is 555m long. The Horelica tunnel is driven cyclically, following the principles of the NATM, known worldwide as the “shotcrete method”, with horizontal sequencing.

The top heading was excavated uphill, on 4.5% grade rising from the Čadca portal virtually along the overall tunnel length (555m). The bench and invert are to be excavated after the tunnel holes through the eastern portal (the Žilina portal).

According to the engineering–geological survey and subsequent geo-technical interpretation of its results, the tunnel excavation and support is divided into five support classes, according to the SIA 198 and ÖNORM 2203 standards (support class VI using micropile umbrella is in the sections close to portals only).



Obr. 5 Začiatok razenia lavice a dna z portálu Čadca  
Fig. 5 Beginning of the bench and invert excavation from the Čadca portal



## TECHNOLÓGIA VÝSTAVBY RAZENIA TUNELA HORELICA

Výstavba tunela bola odštartovaná razením prieskumnej štôlne v novembri 1999. Vlastná výstavba tunelu prebieha od júna 2000. Počas výstavby bolo nutné prekonávať časté geologické poruchy.

Razená časť tunelovej rúry bez portálových úsekov má dĺžku 555 m. Tunel Horelica sa razí cyklicky, podľa zásad NRTM, vo svete známej tiež pod názvom „Metoda striekaného betónu“ s horizontálnym členením výrubu.

Kalota bola razená dovrchne so stúpaním 4,5 % od portálu Čadca prakticky na celú dĺžku tunela (555 m) a až po jej prerazení do východného portálu (Žilina) je dovrchne razená aj spodná časť tunela (lavica), so spodnou klenbou.

Podľa inžiniersko-geologického prieskumu a následného geotechnického vyhodnotenia výsledkov je razenie a vystrojenie tunela rozdelené podľa SIA 198 a ÖNORM 2203 do päť vystrojovacích tried (vystrojovacia trieda VI je iba pod dáždnikom z mikropilót v príportálových úsekoch). Mikropilótový dáždnik je realizovaný v rámci zabezpečenia oboch portálov.

## RAZENIE KALOTY

Podmienky pre razenie kaloty v paleogénnych horninách boli obtiažne. Výrub sa zabezpečoval oblúkovou zvarovanou výstužou budovanou vo vzdialenostiach 0,6 m, 0,8 m, 1,0 m, resp. 1,2 m (výnimočne v krátkych úsekoch na vzdialenosti 1,5 m a 1,8 m) so striekaným betónom hrúbky 25 cm až 30 cm nanášanom v 3 vrstvách s dvoma ocelovými sieťami. Razilo sa pod ochrannou predrážaných ocelových ihliel dĺžky 4,0 m spravidla 30 ks na záber priemeru 28 a 32 mm. Primárnu výstuž robia kompletnou ešte kotvy. Aj keď projekt zvažoval zabudovať napr. vo výlomovej triede IV 11/12 SN kotiev na záber, z celkového počtu kotiev 5350 ks bola takmer 1/3 IBO kotvy a 2/3 SN kotvy. Striekaným betónom hr. 5 cm sa zabezpečovalo i čelo výrubu, v nie-

## DETAILED DESCRIPTION OF THE TOP HEADING CONSTRUCTION TECHNOLOGY

The conditions of Palaeogene rocks were difficult for the top heading excavation. The excavation was supported by welded arches on 0.6 m, 0.8 m, 1.0 m or 1.2 m centres (1.5 m and 1.8 m as an exception only, in short sections), with shotcrete 25cm to 30cm thick applied in 3 layers together with two layers of steel mesh. The excavation was carried out under the protection provided by 4m long steel spiling, usually consisting of 30 pcs of 28 and 32 mm diameter spiles per round. The primary lining has been made complete by anchors. Despite the fact that the design considered the installation of e.g. 11/12 SN anchors per round at the excavation class IV, nearly 1/3 of the 5,530 anchors installed were IBO anchors, and 2/3 SN anchors. The excavation face was also supported by 5cm thick shotcrete. In several locations a wedge support core had to be applied to the tunnel face. Explosives were used for the rock disintegration (20 – 45 kg per 1.2 m long round) and a tunnel excavator.

9 support schemes were applied in total during the excavation, with additional modifications, e.g. in the length or number of anchors or spiles. The excavation class IV occurred most frequently, within a length of 369.75m, i.e. along 66.4% of the total length.

As a part of the working cycle, the muck was transported to an intermediate stockpile just in front of the tunnel. The transportation of the spoil to the permanent stockpile took place in day shifts.

Because of the horizontal sequence of the excavation and the unfavourable geology, 50 – 60cm wide footing is on either side of the top heading.



Obr. 6 Tunel Horelica v primárnej výstuži - portál Čadca  
Fig. 6 The Horelica tunnel with primary lining – the Čadca portal



ktorých miestach musel byť vytvorený prifažujúci klin čela výrubu. K rozpojovaniu horniny sa používali trhaviny (20 – 45 kg na záber dĺžky 1,2 m) a tunelový bager.

Celkove bolo počas razenia použitých 29 vystrojovacích schém s ďalšími modifikáciami napr. v dĺžke alebo počte kotiev, prípadne ihliel. Najvyššie zastúpenie mala IV. výlomová trieda – 66,4 % (369,75 m).

V rámci pracovného cyklu sa rozpojená hornina vyvážala na medziskládku bezprostredne pred tunelom. Na trvalú skládku sa potom nárazovo vyvážala hornina v dennej zmene.

Z dôvodu horizontálneho členenia čelby a nepriaznivej geológie celý tunel má v kalote po oboch stranách oporné pätky 50 – 60 cm.

## ORGANIZÁCIA PRÁCE

Práca na výstavbe tunela je organizovaná v 7dňových turnusoch s pracovnou dobou od 6.00 do 18.00 hod. a od 18.00 do 6.00 hod. Osádku turnusu tvorí 2 x 6 tunelárov, 1 elektro-údržbár, 1 strojná údržba a v rannej zmene povrchový zámočník. Vedenie stavby pozostáva zo stavbyvedúceho, hospodára, mechanika, energetika, 2 meračov a 4 zmenových technikov. Vráťane pomocného personálu pracuje na stavbe 45 pracovníkov.

### Mechanizácia

- vrtný voz ATLAS COPCO 352 Boomer
- tunelbager LIEBHERR 912
- kolesový nakladač LIEBHERR 551
- obslužná plošina MERLO ROTO P 30
- zariadenie na striekaný betón ALIVA 262 – 2 ks
- zariadenie na striekaný betón MEYCO
- zásobník na suchú betónovú zmes
- stabilný kompresor ATLAS COPCO GA 160
- stabilný kompresor ATLAS COPCO GA 110
- lutňový ventilátor Korfmann 730 – 2 ks
- univerzálny nakladač LOCUST 075, JCB 2 CX
- kolesový nakladač CATERPILLAR 950 F
- autodomiešavač TATRA 815 - 3 ks
- dumper VOLVO
- nákladné autá TATRA – sklápače - 5 ks
- autobager UDS 114

## ZÁVER

Dňa 7. 6. 2002 bola prerazením kaloty završená jedna z etáp výstavby tunela Horelica. Môžeme konštatovať, že sa tak stalo bez ujmy na zdraví alebo majetku. Dosahované postupy, tj. 2 zábery na deň sú v daných podmienkach štandardom. To, že sme s razením trafili pod pripravený dvojradový dáždnik, ktorý je súčasťou zabezpečenia žilinského portálu, svedčí o kvalite prác meračov, ale aj samotných razičov a ostatných riadiacich technikov. Príprava na budovanie sekundárneho ostenia – profilovne preveria ešte presnosť výlomu, podľa predbežného zamerania by sme nemali mať žiaden podprofil.



Obr. 7 Prerážka kalotou do žilinského portálu  
Fig. 7 Top heading breakthrough to the Žilina portal

## THE WORK ORGANISATION

The work on the tunnel construction has been organised for seven days in a week, with two shifts working from 6:00 a.m. to 6:00 p.m., and from 6:00 p.m. to 6:00 a.m. One day's crew consists of 2 x 6 miners, 1 electrician and 1 mechanical maintenance man, and workshop fitter in the day shift. The construction management consists of a site manager, economist, mechanist, power engineer, 2 surveyors and 4 shift technicians. In total, 45 workers work on the site, including auxiliary personnel.

### Equipment

- ATLAS COPCO 352 Boomer drill rig
- LIEBHERR 912 tunnel excavator
- LIEBHERR 551 wheeled loader
- MERLO ROTO P 30 lifting platform
- ALIVA 262 shotcrete machine – 2 pcs
- MEYCO shotcrete machine
- dry concrete mix storage silo
- ATLAS COPCO GA 160 stable compressor
- ATLAS COPCO GA 110 stable compressor
- Korfmann 730 fan – 2 pcs
- LOCUST 075, JCB 2 CX universal loader
- CATERPILLAR 950 F wheeled loader
- TATRA 815 readymix truck – 3 pcs
- VOLVO dumper
- TATRA tipping lorry – 5 pcs
- UDS 114 telescopic excavator

## CONCLUSION

By the top heading breakthrough taking place on 7 June 2002, one of the tunnel Horelica construction phases was concluded. We can state that this happened without any harm to health or property. The advances achieved, i.e. 2 rounds per day, are a standard with respect to the given conditions. The fact that we managed to steer the excavation to hit the aim under the pre-prepared double-row umbrella which is part of the Žilina portal support, proves the quality of the surveyors' work, but also the quality of the work performed by all miners and managing technicians.

The preparation for the erection of the secondary lining, i.e. profiling, will also check the excavation preciseness. According to the preliminary survey, we should encounter no underbreak.



Obr. 8 Portál tunela Horelica v Čadci  
Fig. 8 The Horelica tunnel portal in Čadca

## ZAJIŠTĚNÍ STAVEBNÍ JÁMY V PROSTORU „KAROLÍNA“ V OSTRAVĚ – ŠTĚTOVÉ STĚNY

### CONSTRUCTION PIT IN THE “KAROLÍNA” AREA IN OSTRAVA – SHEET PILE WALLS

Ing. JIŘÍ TVARDEK, Ing. LUBOR DVOŘÁK - VOKD, a. s., OSTRAVA

#### ÚVOD

V prostoru bývalé koksovny Karolína v Ostravě se nachází ložisko znečištěné zemin, a to jak ve vrstvě navážek, tak štěrkopísku. Ve volném prostoru bylo toto ložisko izolováno pažicí konstrukcí, zeminy budou do 0,5 m pod povrch nepropustných miocenních jílu vytěženy a vyčištěny - rozsah byl operativně určován výsledky provozního vzorkování. Území je upraveno zpětným zásypem. V oblasti znečištění pod ulicí 28. října byl za účelem omezení šíření kontaminace současně vybudován drenážní systém a po provedení výkopu jámy byla oblast sanována kombinací odvodňovacích, intenzifikačních a ventingových vrtů, prováděných přes podzemní stěnu.

#### PRINCIP TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ ZAJIŠTĚNÍ STAVEBNÍ JÁMY

Zajištění stavební jámy bylo navrženo v kombinaci monolitických železobetonových podzemních stěn a stěn štětových, kotvených předpjatými pramencovými zemními kotvami, navrženými podél východní a západní strany jámy. Štětové stěny byly prováděny z předvýkopu po celé délce trasy. Předvýkop byl navržen svahovaný bez ochrany svahu. Rozhodující části ponechaných konstrukcí původní zástavby byly v rámci předvýkopu odstraněny těžebním mechanismem. Vetknutí stěn pod dno stavební jámy je dáno funkcí statickou a těsnicí. Štětové stěny jsou kotveny přes převázky. Dimenze a umístění kotvení jsou dány únosností svislých pažicích stěn. Koncepce řešení vyžaduje provádění spodních úrovní kotvení pod hladinou podzemní vody. Kotvení převázky jsou navrženy železobetonové, monolitické se zavěšením na ocelových profilech štětovic.

V celém úseku štětovicových stěn je pažicí systém navržen s funkcí dočasnou z hlediska jak antikorozi ochrany, tak z hlediska statického řešení s výpočtem v totálních smykových parametrech zemin. Provádění zemních prací bylo organizováno po úsecích tak, aby pažení s dočasnými kotvami nebylo plně exponováno déle než 3 měsíce, během nichž se v příslušném úseku provádí částečný zpětný zásyp. Předpokládaná životnost štětovicových stěn je 15 až 20 let. Ocel štětovic není opatřena zvláštní antikorozi úpravou.

#### ZADÁNÍ

Funkce štětové stěny

- statická - zajistit stěny výkopu pro provádění sanačních prací
- těsnicí - zabránit migraci znečištěné podzemní vody mimo pažením ohraničenou oblast
- zajistit rozhraní mezi zeminami rostlými a zpětným zásypem
- v rámci zajištění jámy provést ochranu stvolu bývalé těžní jámy Karolína
- tvarem štětové stěny respektovat zjištěný rozsah znečištění a zohlednit záměr budoucí zástavby území
- všechny se štětovou stěnou kolidující inženýrské sítě přeložit mimo zájmovou oblast
- zajištění stavební jámy v oblasti navržených štětovicových stěn je co do funkce pažicí konstrukcí dočasnou s expozicí stěn v trvání do 3 měsíců
- funkce těsnicí se požaduje po celou dobu provádění sanačních prací

#### GEOLOGIE

Celé území je souvisle pokryto navážkami mocností 1,6 až 5 m. Jsou tvořeny různorodým materiálem od strusky, karbonské hlušiny a cihel po škváru, dehtové kaly a další odpady. Nutno počítat i s prvky betonu, železobetonu a ocelovými nosníky. V této antropogenní vrstvě jsou pohřbeny suterénní a základové konstrukce původní stavby.

Podložní vrstva fluvialních hlín není vyvinuta v zájmovém prostoru spojitě. Jde o jílovité až písčité hlíny šedé a hnědé barvy, vesměs tuhé konzistence. Max. zastížená mocnost 2,0 m. Hlíný místně přecházejí ve fluvialní písčité sedimenty mocností 1,0 až 1,6 m charakteru střednozrnitého hlinitého písku. Bazální polohu sedimentu tvoří písčité až hlinitopísčité hrubozrné šterky o mocnosti 3,9 až 5,7 m.

Podloží je tvořeno miocenními jíly (Baden) s povrchem 6,0 až 14,5 m pod terénem. Celková mocnost se předpokládá několik desítek až stovek metrů. Jedná se o silně vápnité proměnlivě písčité jíly s vysokou plasticitou. V zájmových hloubkách do 5 m pod jejich povrchem jsou konzistence tuhé.

#### INTRODUCTION

A field of earth contamination exists in made-up ground and gravel sand layers in the premises of former coking plant Karolína in Ostrava. This area was isolated using retaining walls. In open space, the ground will be excavated up to a depth of 0,5 m under the surface of impermeable Miocene clays, and cleaned. The cleaning scope will be operatively determined according to routine sample testing results. The excavated space will be backfilled. To prevent the contamination spreading, a drainage system in the contaminated area – under 28. Řijna street – was built, and a combination of drainage, intensifying and venting holes through the retaining wall established after the pit excavation.

#### TECHNICAL PRINCIPLES OF THE CONSTRUCTION PIT SUPPORT

The construction pit support was designed as a combination of monolithic reinforced concrete diaphragm walls and sheet pile walls, anchored by pre-tensioned cable ground anchors along the eastern and western parts of the pit. Sheet pile walls were built from a pre-cut along the whole length of the route. Descending pre-cut was designed, without slope protection. The decisive parts of original structures left in the area were removed by excavators in the framework of the pre-cut execution. The wall embedment under the pit bed was determined by its static and sealing role. The sheet pile walls are anchored through walers. Dimensions and location of anchors are given by the load bearing capacity of vertical retaining walls. The design conception requires performance of lower anchoring levels under the water table level. Walers have been designed from monolithic reinforced concrete, suspended on sheet piles.

Within the entire length of the sheet pile walls, the support is designed with respect to the temporary function of both the anticorrosion protection and the structure itself. The structural analysis used total shearing parameters of the ground. Earthworks were organised in stages so that the the exposition of the sheet piles with temporary anchors would not be fully exposed longer than for 3 months. The partial backfill of the given section had to be done during those 3 months. Planned service life of the sheet pile walls is 15 to 20 years. The steel of sheet piles is not provided with any special anticorrosion treatment.

#### SPECIFICATION

Sheet pile wall functions

- statical – support the excavation walls for rehabilitation works performance
- sealing – prevent migration of contaminated ground water outside the area enclosed by the sheeting
- ensure a boarder between natural ground and backfill
- in the frameworks of pit securing to perform protection of former Karolína pit shaft
- shape of the sheet pile wall will respect discovered scope of contamination and consider intended future constructions in the area
- all engineering networks colliding with the sheet pile wall will be relocated beyond the area of interest
- Construction pit support in the area of designed sheet pile walls is a temporary structure with the exposition of the walls in period shorter than 3 months
- sealing function is required for the entire period of refurbishment works performance

#### GEOLOGY

The entire area is continually covered by fills of 1.6 to 5 m thickness. The fills consist of heterogeneous materials starting from flux, carbon waste rock and bricks to cinder, tar sediments and other waste. It is necessary to count with concrete, reinforced concrete and steel elements. Basement and foundation of original buildings are buried in this anthropogenous layer.

Bedrock layer of fluvial loams is not coherently developed in the area of interest. There are clay up to sand grounds of gray and brown color, mainly of solid consistency. The max. detected thickness is 2.0 m. The grounds pass locally into fluvial sand sediments of 1.0 to 1.6 m thickness of medium sized grains loam sand. Basal position of the sediment is created by sandy to loamy-sandy coarse-grained gravel of 3.9 – 5.7 m thickness.

The bedrock consists of the Miocene clays (Baden) with surface 6.0 to 14.5 m under terrain. Total thickness is estimated to few tens up to few hundreds of meters. These are strongly calcareous variable clays with high plasticity.



V zájmové oblasti jsou vyvinuty v podstatě dva horizonty podzemní vody. Hladina vrchního horizontu byla ověřena v hloubce 1,5 až 8,0 m pod povrchem území, vzhledem ke zřejmému omezení rozsahu takto zvodněných čoček jsou zásoby vody v této úrovni dočasně vyčerpatelné a při předvýkopu pracovní plochy nebude jejich lokální odvodnění problematické. Spodní horizont tvoří souvislou hladinu a je vázán na propustné polohy štěrků. Tato zvedeň bude v celém rozsahu těsněna pažící konstrukcí a odvodnění se zde nepředpokládá. Podzemní voda je agresivní na betonové konstrukce výskyt sýranových iontů. Dále obsahuje mimořádná množství organických látek - kontaminace.

### HYGIENICKÁ OPATŘENÍ VZHLEDEM KE KONTAMINACI

Na základě předpokládaných rizik výskytu benzolu a fenolu, případně naftalenu, bylo prováděno měření těchto škodlivin metodou detekčních trubiček nebo analyzátozem škodlivin.

Měření - benzen, fenol a naftalen:

- vždy před zahájením směny po dni pracovního klidu
- při výskytu ložiska silnějšího znečištění
- při výraznějších změnách teploty prostředí
- při podezření na zvýšené hodnoty škodlivin např. vyšší zápach

Osobní ochranné prostředky v případě překročených povolených hodnot:

- ochranný oděv - impregnovaný, typ dvoudílný nebo overall IPP
- ochrana dýchacích cest - polomaska typ 3M 6000/2000 s filtrem 6055 A2
- ochrana očí - posuzováno dle jednotlivých technologií, brýle Uvex 9301 nebo 9180
- ochrana rukou - ochranné rukavice Sol - Vex - Plus
- ochrana nohou - holínky odolné proti slabým roztokům kyselin a ropných produktů

### POPIS PRVKŮ TECHNOLOGICKÉHO ŘEŠENÍ

Štětové stěny

- štětová stěna z profilu larsen III n ve stražených délkách 8,5 až 12 m
- vzhledem k nutnosti vetknutí paty stěny do tuhých jílovitých zemín je nutno kombinovat vibrování štětovic s doberaněním výbušným beranidlem
- z titulu použití beranidla nutno situovat horní hranu štětovic minimálně do výšky 1 m nad pracovní rovinu
- z hlediska seismického zatížení okolní stavby je nutno použít vysokofrekvenční beranidlo
- v oblasti aplikace štětových stěn je nutno věnovat max. pozornost odstranění zbytků původní zástavby pod pracovní úrovní
- v koncích podzemních stěn je v armokoši provedena úprava pro vodonepropustné napojení štětové stěny. Štětovnice jsou osazeny s krajním armokošem a první štětovnice příslušného úseku je vibrována částečně do čerstvého betonu
- kritériem hloubky štětové stěny je její vetknutí do miocenních jílu min. 1,5 m v oblasti, kde nedojde k přímé expozici stěny, resp. 2,5 m v místech provádění výkopu ke stěnám.
- tolerance poloha stěny půdorysně  $\pm 500$  mm v úrovni horní hrany, svislost  $\pm 2\%$  z hloubky

They are of solid consistence in the depth of interest, i.e. up to 5m under their surface.

Basically two horizons of ground water are developed in the area of interest. The level of upper horizon was determined in a depth of 1.5 to 8.0 m under the surface of the area, with regard to clear limitation of the volume of such water lenses, water reserves in this level can be temporarily pumped out. Local drainage for the working platform pre-excitation will not be a problem. The lower horizon creates coherent surface and is connected with permeable gravel interbeds. This water-bearing bed will be sealed in its entire extent by the retaining walls, therefore no drainage is planned. Ground water is aggressive, attacking concrete structures with sulphate ions. It is also contaminated by an extraordinary high content of organic substances.

### SANITARY MEASURES WITH REGARD TO THE CONTAMINATION

On the basis of expected benzol and fenol, possibly naphthalene risks, the monitoring of these harmful elements was done using method of tube detectors or an analyser.

Benzen, fenol and naphthalene detection:

- always prior the start up of the shift after a rest day
- in deposits of stronger contamination
- on significant changes in temperature
- in a case of suspicion of higher levels of harmful elements, e.g. more intensive odors

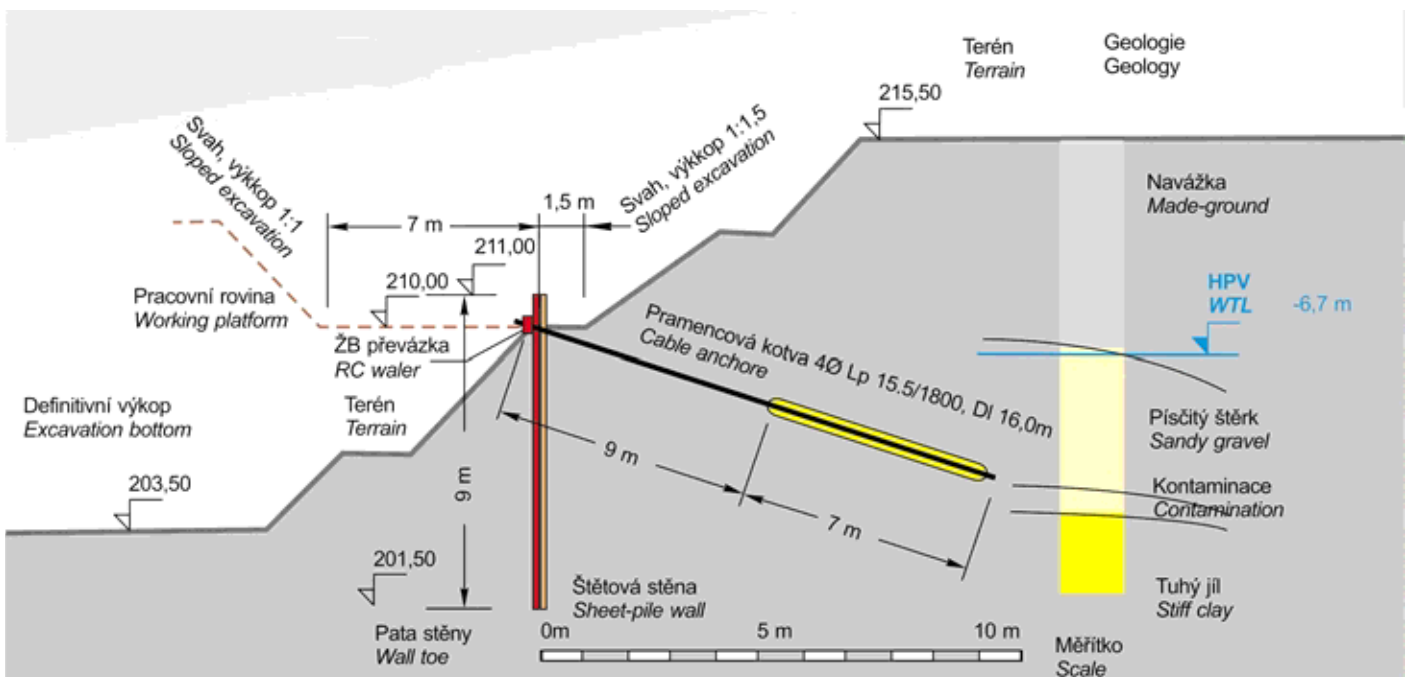
Personal protective equipment in case of exceeded permitted values:

- protective clothing - impregnated, type: jacket and trousers or an overall
- protection of air passages - semi-mask type 3M 6000/2000 with 6055 A2 filter
- eye protection - evaluated for individual technologies, Uvex 9301 or 9180 protective glasses
- protection of hands - protective gloves Sol - Vex - Plus
- Protection of feet - boots, resistance against weak acids and oil products

### DESCRIPTION OF TECHNOLOGICAL SOLUTION

Sheet pile walls

- sheet pile wall from Larsen III n profiles with installed lengths of 8.5 to 12 m.
- with regard to the need for the toe embedment in clay grounds, it is necessary to combine vibratory pile driving with explosion pile driving
- due to the use of pile drivers it is necessary to situate the upper edge of sheet piles min. at a height of 1m above the working platform
- from the viewpoint of seismic effects on neighboring construction it is necessary to use a high frequency pile-driver
- in the are of sheet piles installation it is necessary to pay the max. attention to removing the remains of original structures found under the working platform level
- reinforcement cages at the ends of diaphragm walls are modified to allow a watertight connection to the sheet pile wall. The sheet piles are installed together with the reinforcement cage, and the first sheet pile of a given part is partially vibrated into green concrete.
- the criterion of the sheet pile wall depth is its embedment into the Miocene clays, to be min. 1.5 m in the area where direct exposing of the wall is not done, or 2.5 m in the places where the walls are exposed by the excavation.
- the ground plan tolerance of the wall is  $\pm 500$  mm in the level of the upper edge,  $\pm 2\%$  of depth vertically.



Obr. 1 Vzorový příčný řez - štětová stěna  
Fig. 1 Typical cross section - Sheet-pile wall

## Kotevní převázky provedení

- kotevné převázky na štětových stěnách tvořeny železobetonovými trámy
- profily převázek zavěšeny na ocelové profily štětovnic
- boční stěny hlav kotev rozevřeny min. 10° z důvodu přístupnosti a směru napínání kotev
- podélná nosná výtuz tvarovaná do bednění (velké průměry ohýbání) pruty R16 v počtu 8 ks
- podélné pruty dl. 12 m jednotlivě stykování přesahem v délce 1,4 m
- v jednom příčném řezu stykováno max. 50 % lícové nebo rubové výtuzě
- materiál beton B20 HV4 A1, ocel 10 505
- tolerance výšková úroveň ± 200 mm
- umístění průchodky v převázce ± 100 mm proti ideální poloze

## Pramencové kotvy - provedení

- dočasně předpjaté pramencové zemní kotvy 4 Lp 15,5 mm
- kořeny situovány do vrstvy štěrkopísku, resp. miocenních jííl
- první kotevní úroveň vrtána nad HPV, spodní úroveň vrtána pod úroveň HPV přes preventry
- kotvy směřovány proti vnitřnímu „břichu“ štětové stěny (usnadnění mani-

## Walers

- walers on the sheet pile walls are created by reinforced concrete beams
- walers are suspended on sheet piles
- side walls of anchor heads are opened min. 10° due to accessibility and anchor tensioning direction
- longitudinal main reinforcement bars shaped into the formwork (large bending diameters); R16 bars – 8 pieces
- longitudinal bars 12 m long, individual jointing with 1.4 m overlap
- max 50% jointing of front face or back face reinforcement bars in one cross section.
- material: concrete B20 HV4 A1, steel 10 505
- height tolerance ± 200 mm
- location of bushing in waler ± 100 mm from ideal position

## Cable anchors - design

- temporarily pretensioned 4-strand cable anchors 4 Lp 15,5 mm
- roots situated in sand-gravel or the Miocene clay layers
- first anchoring level is drilled above the water table level (WTL), the bottom level is drilled under the WTL through preventers
- anchors directed against inner “belly” of sheet piles (easier operation when cutting sheet piles and installing the bushing)



Obr. 2 Štětová stěna s přípravou armokošů  
Fig. 2 Sheet-pile wall with reinforcement cages



Obr. 3 Beranidlo ICE 14 RF  
Fig. 3 Pile-driver ICE 14 RF



Obr. 4 Detail kotevní převázky - zavěšení na profil štětovic  
Fig. 4 Detail of anchoring waler - suspension on sheet piles



- pulace při vyřezávání štětovnic a instalaci průchodek)
- průchodky těsněny proti přítoku vody do stavební jámy
- vrtání min. prům. 151 mm s jílocementovým výplachem c:j = 6:1
- kotvy reinjektabilní s manžetovou trubkou 32/3,6 mm uprostřed svazku pramenců: injektáž kořene provedena vzestupně po etážích dl. 500 mm
- kotvy osazeny do vrtu vyplněného cementovou zálivkou
- injektování velmi pomalým chodem čerpadla, tlak na protržení zálivky min. 10 MPa, nutnost injektování ve více fázích tlakem 2,5 MPa
- spotřeba směsi na fázi a etáž 20 až 25 l ve štěrkopísku, v jílových zeminách 10 litrů
- materiál pramence prům. 15 mm s mezí pevností 1800 MPa, zálivka a injekční směs cementová c:v = 2,5:1, cement SPC 325 s přísadami proti korozi cementového kamene
- tolerance polohové dána umístěním průchodky v převázcce ± 100 mm proti ideální poloze, sklon vrtání ± 1,5 % z hloubky, osazení kotvy ve směru osy ± 150 mm

Celkové objemy prací

Total volume of the works

Zkrácený popis Brief description		Jednotka Measure Unit	Množství Quantity
Štětové stěny Sheet pile walls	beranění pile driving	m <sup>2</sup> m <sup>2</sup>	7092,5
	stražení pile pitching	m <sup>2</sup> /t m <sup>2</sup> /t	7856,7/1217,8
Zemní kotva Ground anchor	nad HPV above the WTL	ks/m piece/m	209/3492,5
	pod HPV under the WTL	ks/m piece/m	28/504
Kotevní převázky Walers	B20 B20	bm/ <sub>m</sub> <sup>3</sup> bm/ <sub>m</sub> <sup>3</sup>	539,33/181,48
	výztuž 10 505 rein. steel 10 505	t t	25,881

## TECHNOLOGIE BERANĚNÍ

K beranění štětových stěn v oblasti Karolina VOKD, a. s., použila kombinaci bezrezonančního vibračního beranidla ICE 14 RF s pneumatickým beranidlem BSP Typ 700 N. Bezrezonanční beranidlo ICE 14 RF (dnes u VOKD, a. s., nahrazeno ICE 18 RF) má max. excentrický moment 14 kgm (17,5 kgm) a max. pracovní frekvenci 2300 ot/min. (2300 ot/min.). Zvláštností vibrátoru není sama vysoká frekvence, ale to, že může být spuštěn a zastaven bez přechodu přes frekvenční pásmo zeminy, nosiče a okolní zástavby. To znamená méně rušivých vlivů na okolí a méně rušivých vlivů pro kolem stojící konstrukce. Poloha excentrů může být plynule měněna dálkovým ovládáním tak, že se excentrický moment pohybuje od 0 do 14 kgm.

Beranidlo je spuštěno s excentrickým momentem 0 a po dosažení pracovních otáček je excentrický moment nastaven na požadovanou hodnotu. Tím se při spuštění vyhneme rezonanční frekvenci zeminy, nosiče a okolních konstrukcí. Při ukončení práce je použit opačný postup - excentrický moment je ještě při pracovních otáčkách nastaven zpět na nulovou hodnotu a teprve pak je beranidlo zastaveno.

Hlavními důvody nasazení bezrezonančního beranidla jsou:

- omezení špičkových vibrací půdy
- omezení vibrací v okolních budovách
- snížení rušivých faktorů pro obyvatelstvo (hluky)
- omezení negativních vlivů na nosič beranidla
- možnost nastavení excentrického momentu za běhu od 0 - 100 %
- vyloučení rezonancí během náběhu a doběhu stroje

Vzhledem k nutnosti beranění až 2,5 m v jílu a podkračování postupu 0,25 m za 5 min. nebylo vhodné používat pro doberanění bezrezonanční beranidlo. Pro toto doberanění VOKD používá nárazové pneumatické beranidlo typu BSP 700N s těmito parametry:

Váha beranidla	385 kg
Zdvih	330 mm
Max. počet zdvihů za min.	225
Max. kinetická energie	650 kpm

## ZÁVĚR

Zajištění stavební jámy pomocí štětových stěn v prostoru bývalé koksovy Karolina je součástí projektu sanačního zásahu v lokalitě KAROLINA v Ostravě. Cílem tohoto projektu je vytvoření ekologicky nezatížené stavební plochy v bezprostřední blízkosti centra Ostravy. VOKD, a. s., se na tomto projektu podílela kromě popisované stavby i výstavbou drenážního kolektoru o celkové délce 210 m, který byl prováděn metodou protlačování železobetonových rour Ø 1250 mm.

Základní podmínkou pro realizaci zakázky štětových stěn byla kombinace kvalitní a výkonné beraní techniky. VOKD použila vlastní bezrezonanční vibrační beranidlo ICE 14 RF v kombinaci s pneumatickým beranidlem BSP typu 700 N. Díky této kombinaci beranidel bylo možno i v obtížných geologických podmínkách lokality KAROLINA provést kompletní zaberanění štětových stěn.

- bushings sealed against water seepage into the construction pit
- drilling min diameter of 151 mm, with clay-cement flushing; cement/clay ratio 6:1
- re-injectable anchors with 32/3.6 mm diameter tube-a-manchette in the center of the bundle of strands; root injection is carried out in the upward direction, in phases, at 500 mm spacing
- anchors inserted into drill holes are filled with cement mortar
- very slow revolutions of the injection pump, minimum pressure of 10 MPa is needed to break the cement fill; the grouting must be carried out in several phases, with a pressure of 2.5 MPa
- the consumption of the mixture per stage and phase is 20 to 25 l in sand-gravel and 10 l in clayey grounds.
- the 15 mm diameter strand strength was 1800 Mpa, cement was used for the borehole filling and the injection grout (c/w = 2.5:1, cement SPC 325 with additives preventing cement stone corrosion)
- tolerance is given by position of bushing in waler ± 100 mm against ideal position, drilling inclination ± 1.5% of the depth, axial deviation of the anchor setting ± 150 mm.

## PILE DRIVING TECHNIQUE

A combination of ICE 14RF resonance-free vibrating pile-driver and pneumatic pile-driver BSP, type 700 N, was used for the sheet pile wall driving in Karolina VOKD, a. s.

The ICE 14 RF resonance-free pile-driver (nowadays replaced by ICE 18 RF in VOKD a.s.) has the max. eccentric moment of 14 kgm (17.5 kgm) and max. operating frequency of 2300 rpm (2300 rpm). The specialty of the vibrator is not the high frequency itself, but the fact that it can start working and stop the work without passing through the frequency ranges of the ground, the pile-driver carrier and neighboring structures. That means less disturbing influence on the environment and less disturbing influence on neighboring structures. The position of eccenters can be continuously changed by remote control. The eccentric moment can be varied from 0 to 14 kgm.

The pile-driver starts the operation with zero eccentric moment and, after the operational rotations are reached, the eccentric moment is set to the required value. Thus the resonance frequency of ground, the carrier and neighboring structures is avoided at the start up. When the work is completed, a reverse process is used, i.e. the eccentric moment is set back to the zero value when the operation rotations are still on, and then the pile-driver is stopped.

The main reasons for the resonance-free pile-driver use are:

- the limitation of peak vibrations of ground
- the limitation of vibrations in neighboring structures
- the reduction of residents disturbing factors (noise)
- the limitation of negative influence on the pile-driver carrier
- the possibility of eccentric moment adjusting from 0 - 100 % during the operation

- elimination of resonance in the course of the machine start and run-out phase

With regard to the need for driving the piles up to 2,5 m to clay and progressing slower than 0,25 m in 5 min, it would not be appropriate to use the resonance-free pile-driver. For this piling, VOKD, a. s., uses impact pneumatic pile-driver of BSP 700N type with the following parameters:

pile-driver weight	385 kg
stroke	330 mm
Max. No. of strokes per min.	225
Max. kinetic energy	650 kpm

## CONCLUSION

The construction pit support using sheet pile walls in the area of the former coking plant Karolina is part of a rehabilitation project in the KAROLINA premises in Ostrava. The goal of this project is the creation of a development area just near the center of Ostrava, free of any ecological burdens. VOKD, a. s., participated in this project by the above described construction and also by construction of a drainage collector with the total length of 210 m, which was built using Ø 1250 mm reinforced concrete pipe jacking.

The basic condition for implementation of the sheet piling was a combination of good quality and powerful pile driving equipment. VOKD, a. s., used its own resonance-free vibration pile-driver ICE 14 RF in combination with pneumatic pile-driver BSP of 700 N type. Thanks to this combination of pile-drivers it was possible to build the sheet pile walls completely, even in the difficult geological conditions of the KAROLINA locality.

## PRAVDĚPODOBNOSTNÍ ANALÝZA VLIVU VSTUPNÍCH PARAMETRŮ NA MODELOVÁNÍ DEFORMACÍ TUNELU MRÁZOVKA

### PROBABILITY ANALYSIS OF THE EFFECT OF INPUT PARAMETERS ON THE MRÁZOVKA TUNNEL DEFORMATIONS MODELLING

Prof. Ing. JIŘÍ BARTÁK, DrSc., Dr. Ing. JAN PRUŠKA, ČVUT FSV  
Ing. MATOUŠ HILAR, MSc., Phd.

#### RESUMÉ

V příspěvku jsou shrnuty používané metody statistické analýzy vlivu vstupních parametrů při modelování podzemních staveb (Monte Carlo, bodové odhady momentů pravděpodobnosti, výběr vrstev, latinské hyperkrychle, fuzzy technika) a zmíněny nepřesnosti v modelování geotechnických úloh. V aplikační části článku je ukázána statistická analýza vstupních dat metodou latinských hyperkrychlí a její výsledky při numerickém modelování deformací tunelu Mrázovka v km 5,160 západní tunelové trouby.

#### ÚVOD

Chování geomechanického modelu a výstupy řešení jsou zásadním způsobem ovlivněny hodnotami vstupních parametrů. Parametry použitých konstrukčních prvků je možné stanovit poměrně přesně, hlavním problémem je určení pevnostních a deformačních vlastností horninového masivu. V provedených studiích byly výsledné deformace tunelového nadloží vypočteny jako funkce pěti náhodných parametrů, které zahrnují nepřesnosti vstupních charakteristik horninového masivu. K statistickému vyhodnocení výsledných deformací se nejčastěji používá metoda Monte Carlo či metoda bodových odhadů momentů pravděpodobnosti. Tyto metody jsou však poměrně náročné na čas výpočtů v případě vyššího počtu náhodných parametrů. Hlavním cílem článku je představit jinou statistickou metodu – tzv. metodu latinských hyperkrychlí. Při použití této metody je počet běhů programu značně redukován, což při větším počtu náhodných parametrů může přinést zásadní úsporu výpočetního času.

#### NEPŘESNOSTI V MODELOVÁNÍ

Při analýze geotechnických úloh je obecně nutné rozlišit tři základní druhy nepřesností:

1. Vnitřní nepřesnost, která je způsobena náhodnými aspekty fyzikálního chování geotechnické konstrukce a horninového masivu.
2. Vnější nepřesnost, způsobená chybami ve stanovení parametrů materiálů, které vstupují do výpočtu.
3. Chyby v měření skutečných veličin, např. deformací.

Třetí druh nepřesností není ve skutečnosti důležitý při prvotním návrhu, navržená konstrukce jím nijak není zatížena; jakmile je však prováděna zpětná analýza, mohou i tyto chyby ovlivnit konečnou konstrukci. První typ nepřesností by mohl být ošetřen jako náhodný proces v průběhu vlastního výpočtu, což je dosti komplikované. Z těchto důvodů se většinou v geotechnických analýzách uvažuje nejčastěji o druhém typu nepřesností, tedy o nepřesnostech způsobených chybami ve stanovení vstupních parametrů materiálů, a to často pouze u materiálů horninového masivu, jejichž variabilita je nejpodstatnější. Počet charakteristik je závislý na použitém modelu chování masivu; např. nejrozšířenější Mohr-Coulombův model vyžaduje pět základních charakteristik ( $E_{def}, \nu, c, \varphi, \gamma$ ), které můžeme označit jako náhodné veličiny  $q_{1j}, \dots, q_{5j}$  ( $j$  je označení vrstvy horninového masivu).

#### POUŽÍVANÉ STATISTICKÉ METODY

Jestliže hodnoty parametrů  $q_{1j}, \dots, q_{5j}$  jsou specifikovány pro všechny vrstvy, deformace geotechnické konstrukce  $X(q_{ij})$  mohou být vypočítány ve formě běžné deterministické analýzy konstrukce. Nejběžnější metodou pro statistické určení  $X(q_{ij})$  je simulace založená na náhodném výběru vstupních parametrů  $q_{ij}$  dle jejich rozdělení v každé vrstvě horninového masivu  $j$  (metoda Monte Carlo). Pro každý náhodně vybraný vzorek  $q_{ij}^k$  ( $k=1,2,\dots,m$ ) je spočtena odezva  $X^k$  a poté lze vyhodnotit rozdělení  $X^k$  (na základě předpokladu, že každá odezva  $X^k$  má stejnou pravděpodobnost). Tato metoda však obecně vyžaduje větší počet výpočtů odezvy než jiné metody. Její další nevýhodou je problematické stanovení relativní důležitosti jednotlivých vstupních parametrů  $q_{ij}$ . Z tohoto důvodu je výhodnější používat metodu bodových odhadů momentů

#### RESUME

This paper gives a summary of methods of statistical analysis of the impact of input parameters used in modelling underground structures (Monte Carlo, point estimations of probability moments, selection of layers, Latin hypercubes, fuzzy technique), and touches on inaccuracies in the process of geotechnical problems modelling. The application section of this paper contains a statistical analysis of input data, using the Latin Cubes Method, and its results in numerical modelling of the Mrázovka tunnel deformations at km 5.160 of the western tunnel tube.

#### INTRODUCTION

Behaviour of a geotechnical model, and outputs of its solution are crucially affected by values of input parameters. Parameters of structural elements applied can be determined in a relatively exact manner. The main problem is in determination of rock mass strength and deformation properties. For the studies carried out, resultant deformations of the tunnel cover were computed as a function of five random parameters, covering the inaccuracies in input characteristics of the rock mass. The Monte Carlo method or the method of point estimations of probability moments is used most often. Although, those methods are relatively time consuming in terms of the calculations in a case of a higher number of random parameters. The main aim of this paper is to introduce another statistical method, so called Latin Hypercubes Method. Application of this method reduces the number of the program runs considerably, which fact may mean radical savings in the time of computation in case of higher number of random parameters.

#### INACCURACIES IN MODELLING

Three basic sorts of inaccuracies have to be distinguished in the analysis of geotechnical problems:

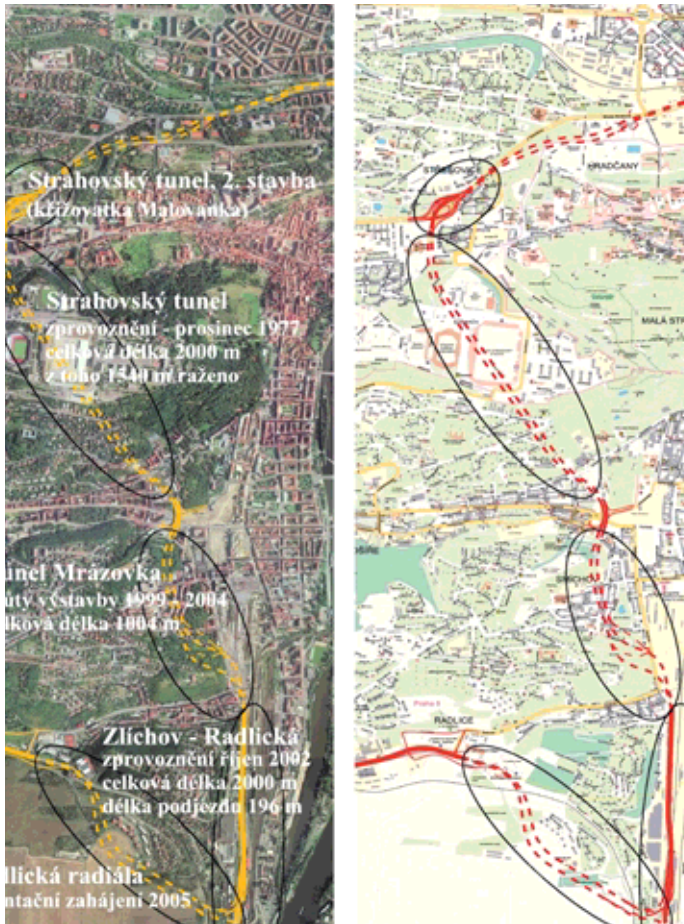
1. Internal inaccuracy due to random aspects of physical behaviour of a geotechnical structure and rock mass.
2. External inaccuracy due to errors in determination of parameters of materials, which enter the computation.
3. Errors in measurement of actual values, e.g. deformations.

The third sort of inaccuracies is not, as a matter of fact, important in the phase of an initial proposal since the inaccuracy does not affect the proposed structure at all. However, those errors may affect the final structure in the course of the back analysis. The first sort of inaccuracies could be treated as a random process during the computation proper, but this is rather complicated. For that reason, the second sort of inaccuracies, i.e. the inaccuracies due to the errors in determination of input parameters of materials, is mostly considered in geotechnical analyses, frequently of rock mass materials only as their variability is essential. The number of characteristics depends on the mass behaviour model utilised. For example Mohr-Coulomb model requires five basic characteristics ( $E_{def}, \nu, c, \varphi, \gamma$ ), which can be denoted as random quantities  $q_{1j}, \dots, q_{5j}$  ( $j$  is denotation of a rock mass layer).

#### STATISTICAL METHODS APPLIED

If the values of the parameters  $q_{1j}, \dots, q_{5j}$  are specified for all layers, the deformations of a geotechnical structure  $X(q_{ij})$  can be computed in a form of a general deterministic analysis of a structure. The most usual method of statistical determination of  $X(q_{ij})$  is a simulation based on random sampling of input parameters  $q_{ij}$  according to their distribution within each rock mass layer  $j$  (the Monte Carlo method). Response  $X^k$  is calculated for each randomly selected sample  $q_{ij}^k$  ( $k=1,2,\dots,m$ ), then the  $X^k$  distribution can be evaluated (based on an assumption that the probability of each response  $X^k$  is identical). Although, this method generally requires a larger number of the response calculations than other methods. Another disadvantage is the objectionable determination of relative significance of individual input parameters  $q_{ij}$ . On this account, utilisation of the point estimations of probability moments method is preferable. This method requires two values (points) only,  $q_{ij} = \bar{q}_{ij} \pm s_{ij}$  (0.5 probability each), selected for each input parameter ( $\bar{q}_{ij}$  mean value,  $s_{ij}$  standard deviation of  $q_{ij}$ ). The response is identified for  $2n$  combinations of the input values. The probabilities of the identified responses are identical, therefore there is no problem simply to calculate the mean value and scatter of resultant values. In addition, there is no problem in determi-





1



2



3

## FOTOREPORTÁŽ ZE STAVBY TUNELU MRÁZOVKA

### PHOTOREPORT FROM THE MRÁZOVKA TUNNEL CONSTRUCTION

Obr. 1 Městský okruh – jihozápadní segment (tunelové stavby)  
Fig. 1 City circle – south-west segment (tunnel structures)

Obr. 2 Mimoúrovňová křižovatka mezi Strahovským tunelem a tunelem Mrázovka  
Fig. 2 Grade-separated crossing between the Strahovský tunnel and Mrázovka tunnel

Obr. 3 Informační centrum dopravních staveb městského okruhu před severním portálem tunelu Mrázovka (suterén objektu Na Zatlance 13, Praha 5)  
Fig. 3 Public relations centre informing about the structures of the city road circle at the portal North of the Mrázovka tunnel (the basement of the building Na Zatlance 13, Prague 5)

Obr. 4 Prostor severního portálu tunelu Mrázovka před zahájením V pozadí výkopová jáma hotelu Mövenpick  
Fig. 4 The portal North of the Mrázovka tunnel before the start Excavation pit for the Mövenpick hotel in the background

Obr. 5 Dtto při stavbě obou tunelů  
Fig. 5 Ditto during both tunnels construction

Obr. 6 Vodorovné členění výrubu třípruhového tunelu  
Fig. 6 The horizontal sequence of the three-lane tunnel excavation

Obr. 7 Svislé členění třípruhového tunelu s primárními obezdívkami bočních tunelů  
Fig. 7 The vertical excavation sequence for the three-lane tunnel with primary lining in sidewall drifts

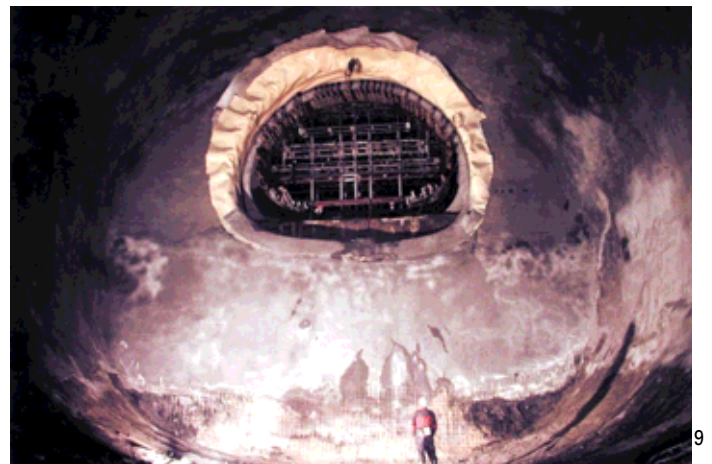
Obr. 8 Fréza EICKHOFF - jihozápadní portál ZTT  
Fig. 8 EICKHOFF roadheader – the south-western portal of the WTT

Obr. 9 Strojovna vzduchotechniky s vzduchotechnickým kanálem vedoucím k výdechové šachtě  
Fig. 9 The ventilation plant room with a ventilation duct leading to the exhaust shaft

Obr. 10 Rozplet tunelů - kanály pod vozovkou jako součást sekundární obezdívky  
Fig. 10 Tunnel bifurcation – ducts under the carriageway as a part of the secondary lining

Obr. 11 Izolace Sarnafil se systémem trubek pro doinjektování  
Fig. 11 SARNAFIL waterproofing system with pipes for subsequent grouting







pravděpodobnosti. Tato metoda vyžaduje pouze dvě hodnoty (body)  $q_{ij} = \bar{q}_{ij} \pm s_{ij}$  (každou s pravděpodobností 0,5), které jsou vybrány pro každý vstupní parametr ( $\bar{q}_{ij}$  střední hodnota,  $s_{ij}$  směrodatná odchylka  $q_{ij}$ ). Odezva je zjišťována pro  $2^n$  kombinací vstupních hodnot. Zjištěné odezvy mají stejnou pravděpodobnost, a proto není problém jednoduše vypočítat střední hodnotu a rozptýl výsledných hodnot. Navíc není problémem stanovení relativní důležitosti vstupních parametrů.

Odlíšnou cestou pro snížení počtu běhů programu je použití metody výběru vrstev. Tato metoda je založena na známém rozdělení vstupních parametrů  $q_{ij}$ . Rozmezí těchto parametrů je rozděleno na N intervalů  $\chi_{q_{ijh}}$  (vrstvy) se stejnou pravděpodobností a poté je provedeno m náhodných výběrů intervalů (stejně tak jako náhodných hodnot uvnitř intervalů).

Vylepšením tohoto přiblížení je metoda latinských hyperkrychlí. V této metodě je rozmezí vstupních parametrů  $q_{ij}$  rozděleno na N intervalů  $\chi_{q_{ijh}}$  ( $h=1,2,\dots,N$ ), které mají stejnou pravděpodobnost  $1/N$ . Počet intervalů N metody latinských hyperkrychlí je stanoven shodně s celkovým počtem běhů programu. Z každého intervalu je hodnota parametru vybrána pouze jednou (tj. je použita v jednom a pouze v jednom běhu programu). Jestliže je N vysoké, není nutné tuto hodnotu vybírat náhodně (dle rozdělení pravděpodobnosti uvnitř intervalu), ale je možné ji stanovit jako těžiště intervalu. Speciální forma metody latinských hyperkrychlí obsahuje následující náhodný výběr intervalů  $\chi_{q_{ijh}}$  testovaných pro jednotlivé běhy programu – pro každý náhodný parametr pro každou vrstvu může být posloupnost celých čísel, reprezentujících náhodnou permutaci čísel  $1,2,\dots,N$ , asociována s náhodnou permutací vstupních parametrů. Ke generaci těchto náhodných permutací lze využít běžnou počítačovou knihovnu. Výsledkem k-tého běhu programu je velikost deformace  $X^k$ .

Ukázalo se, že metoda latinských hyperkrychlí dává podstatně menší rozptýl odhadů než ostatní metody při stejném počtu běhů počítače N. Experimenty ukazují, že obvykle by měl stačit výběr  $N = n$  (počet běhů programu rovný počtu náhodných parametrů). Výhodou metody latinských hyperkrychlí je však to, že vstupní rozsah každého parametru je zcela pokryt, což umožňuje komplexnější představu o chování odezvy.

Na rozdíl od této metody vyžaduje metoda bodových odhadů momentů pravděpodobnosti  $2^n$  běhů, její výhodou však je poměrně jednoduché hodnocení relativní důležitosti každého parametru, což je v metodě latinských hyperkrychlí poněkud komplikovanější.

Jiný přístup pro ohodnocení vlivu vstupních parametrů je použití fuzzy techniky. Pokud budeme parametry chování horniny brát jako fuzzy (neurčité, rozmazané) hodnoty, můžeme při použití fuzzy techniky a kombinace parametrů vygenerovat čísla, která docela věrně představují proměnlivost chování horninového masivu a mohou být použita jako vstupní parametry řešení. Z důvodu, že fuzzy technika připouští jistotu „neurčitost“ zahrnutou v určení parametrů, nabízí se její použití v aplikaci na indexové klasifikace horninových masivů. Jako příklad můžeme uvést norskou klasifikaci podle indexu Q, který oceňuje kvalitu horninového masivu empirickým systémem s pěti parametry (všechny parametry jsou vyjádřeny počtem klasifikačních bodů):

- $J_n$  – počet puklinových systémů
- $J_a$  – zvětrání ploch diskontinuity či výplní
- $J_r$  – drsnost puklin
- $J_w$  – vodní tlak
- RQD – hodnocení masivu dle klasifikace RQD
- SRF – podmínky tlakového projevu horninového masivu.

$$\text{Vztah pro index Q: } Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Pro konkrétní aplikaci, kterou uvádí HUDSON – HARRISON (1997), paramet-

nation of relative significance of the input parameters.

Application of the method of selection of layers is a different way how to reduce the number of the program runs. This method is based on a known distribution of input parameters  $q_{ij}$ . The range of those parameters is divided into N intervals  $\chi_{q_{ijh}}$  (layers) with identical probability, then m random samples of intervals are selected (and random samples inside the intervals as well).

The Latin hypercubes method is an upgrade of this approximation. In this method, the range of input parameters  $q_{ij}$  is divided into N intervals  $\chi_{q_{ijh}}$  ( $h=1,2,\dots,N$ ), having identical probability of  $1/N$ . The number N of the intervals at the Latin hypercubes method is determined identically with the overall number of the program runs. A parameter value is selected from each interval once only (it is used in one and only one program run). If the N is high, this value does not have to be selected randomly (according to the probability distribution within the interval). It can be determined as a gravity centre of the interval.

Special form of the Latin hypercubes method contains the following random sampling of the intervals  $\chi_{q_{ijh}}$  tested for particular program runs. i.e. for each random parameter, for each layer the sequence of integer numbers representing a random permutation of numbers  $1,2,\dots,N$  can be associated with a random permutation of the input parameters. Common computer program library can be used for generation of these random permutations. The result of a kth run of the program is the magnitude of deformation  $X^k$ .

It turned out that the Latin hypercubes method provides substantially lower spread in assessments than the other methods at the same number N of computer runs. Experiments prove that usually a selection  $N=n$  (the number of the program runs identical with the number of random parameters) should be sufficient. The advantage of the Latin hypercubes method is the fact that the entry range of each parameter is fully covered. This makes creation of a more complex idea of the response behaviour possible.

In contrast to this method, the method of point estimations of probability moments requires  $2^n$  runs. Although, its advantage is comparatively simple assessment of the relative significance of each parameter, which is a little bit more difficult at the Latin hypercubes method.

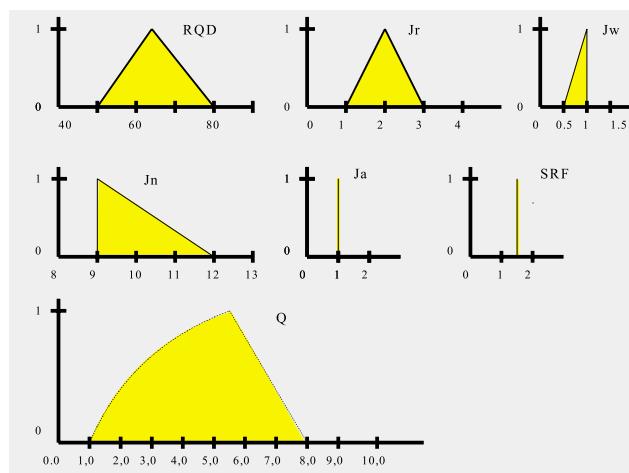
Another attitude towards the assessment of the effect of the input parameters consists in application of the fuzzy technique. If we consider the rock mass parameters to be fuzzy values, we can use the fuzzy technique and a combination of the parameters to generate figures, which represent the rock mass variability quite truly, and can be used as input parameters of the solution. Because of the fact that the fuzzy technique allows certain vagueness in the parameters determination, the idea of its application suggests itself in the field of rock mass index classification. As an example, we can mention Norwegian classification according to the Q index, which assesses the rock mass quality by means of an empirical system comprising five parameters (all the parameters are defined by a number of classification points):

- $J_n$  – number of joint systems
- $J_a$  – weathering of discontinuity planes or filling
- $J_r$  – joints roughness
- $J_w$  – water pressure
- RQD – rock mass assessment according to the RQD classification
- SRF

Relationship for the index Q:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

For the specific application referred to by HUDSON – HARRISON (1997), the RQD and  $J_r$  parameters fluctuate within certain range, the  $J_w$  parameter mostly assumes its maximum value, and similarly the  $J_n$  parameter assumes its minimum value. Remaining two parameters SRF and  $J_a$  can assume one value only (they are considered to be constants). We apply the fuzzy technique on the basic relationship for determination of the Q index (Fig. 1). The result will be a fuzzy classification value (in the case of our example the value of 5.8, which originated by means of a combination of individual parameters), and a probability distribution of remaining values. It follows from the non-linear distribution (convex shape) that the Q index will probably assume values less than 5.8, which fact signals an increase in the probabili-



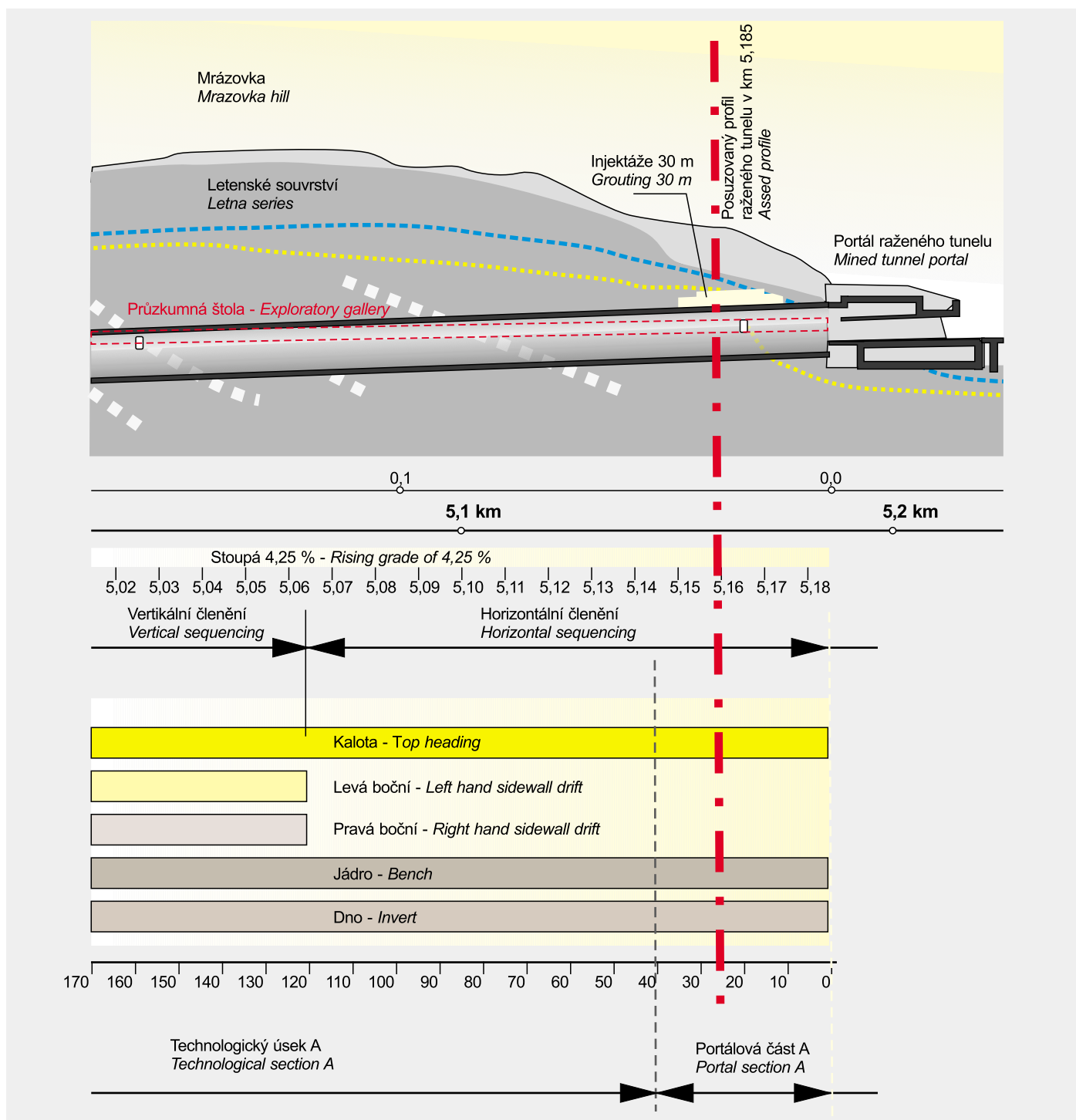
Obr. 1 Užití fuzzy techniky při určení indexu Q (dle HUDSON-HARRISON, 1997)  
Fig. 1 Application of the fuzzy technique in assessment of the Q index  
(by HUDSON-HARRISON, 1997)

ry RQD a  $J_r$  kolísají v určitém rozsahu, parametr  $J_w$  většinou nabývá své maximální hodnoty a podobně parametr  $J_p$  své minimální hodnoty, zbývající dva parametry SRF a  $J_a$  mohou nabývat jen jedné hodnoty (považují se za konstantu). Na základní vztah pro určení indexu Q aplikujeme fuzzy techniku (obr. 1) a výsledkem bude fuzzy klasifikační hodnota (v našem příkladě hodnota 5,8, která vznikla kombinací jednotlivých parametrů) a pravděpodobnostní rozdělení zbylých hodnot. Z nelineárního rozdělení (konvexní tvar) vyplývá, že index Q bude pravděpodobně nabývat hodnoty menší než 5,8, což signalizuje zvětšení pravděpodobnosti, že podmínky v horninovém masivu budou horší, než by se dalo usuzovat na základě samostatné hodnoty indexu Q.

ty that the conditions in the rock mass will be worse than it could be expected on the basis of an isolated value of the Q index.

#### APPLICATION OF THE LATIN HYPERCUBES ON THE MRAZOVKA TUNNEL

The excavation of the western tube of the Mrazovka tunnel started towards the end of the year 1999, from the northern portal, towards the south (Fig.2). The western tunnel tube was driven in very difficult geological conditions, mostly in heavily fractured mass of Ordovician clayey and clayey-silty shales, locally replaced by hard quartziferous shales and quartzites. Horizontal face division was designed (top heading-side wall areas-invert). This generally represents a rather simple sequential excavation with primary support by vault, side walls lining and invert. As we know today, this procedure was applied within an about 120m long section from the northern portal only, just under Mrazovka Hill, with not too much good results.



Obr. 2 Podélný řez tunelem Mrázovka v oblasti severního portálu  
Fig. 2 Longitudinal section through the Mrazovka tunnel, in the North portal area



## APLIKACE METODY LATINSKÝCH HYPERKRYCHLÍ NA TUNEL MRÁZOVKA

Ražba západní trouby tunelu Mrázovka započala ke konci roku 1999 od severního portálu směrem k jihu (obr. 2). Západní tunel byl ražen ve velmi obtížných geologických poměrech, převážně v silně porušeném masivu ordovických jílovitých a jílovito-prachovitých břidlic, místy vystřídáných tvrdými prokřemenělými břidlicemi a křemenci.

Členění čelby bylo navrženo horizontální (kalota-jádro-dno), což obecně znamená poměrně jednoduchou postupnou ražbu s primárním vystrojováním horní klenbou, opěrovými částmi ostění a spodní klenbou. Jak je již dnes známo, byl tento postup ražby aplikován pouze v úseku délky asi 120 m od severního portálu přímo pod vrchem Mrázovka, a to s nepříliš dobrými výsledky.

V posuzovaném profilu km 5,160 (viz. obr. 2) nebyl sice přímo zpracován statický výpočet, nechalo se však důvodně předpokládat, že deformace ostění a horninového masivu nebudou v žádném případě horší, než vykázaly výsledky stanovené několika alternativami matematických modelů, provedenými renomovanými odborníky (s jejich vlastním uvážením vstupních parametrů a specifických předpokladů výpočtu) pro velmi nepříznivý a obávaný profil pod Ostrovského ulicí v km 4,850. V tomto profilu byly osmi matematickými modely deformace terénu výpočtem stanoveny v rozmezí 42 až 115 mm, průměrná hodnota činila 68,5 mm.

Projektant správně na základě provedených rozborů navrhl řadu antipoklesových opatření pro tunelování pomocí NRTM (sanační injecktáže, jehlování, mikropilotové „deštníky“, mikropiloty pod patou kaloty, výjimečné kompenzační injecktáž). Kombinací těchto opatření dle konkrétních podmínek ražby měla být zajištěna limitní deformace povrchu území ve velikosti 60 mm. Brzy po začátku ražby ze severu s horizontálním členěním se začaly v obtížných geologických poměrech (řada za sebou probíhajících tektonických poruch, v nichž bylo realizováno několik podpůrných opatření včetně sanační injecktáže) projevovat nadměrné deformace primárního ostění tunelu a povrchu území nad tunelem, které překračovaly očekávané hodnoty deformací stanovené projektem. V km 5,160 se měřené poklesy terénu ustálily na hodnotě 166 mm, poklesy masivu ve vrcholu výrubu (zjištěno extenzometrickým měřením v daném profilu) na hodnotě 194 mm.

Výstupy dodatečného matematického modelování tunelu Mrázovka v km 5,160 byly prověřeny metodou latinských hyperkrychlí. K výpočtům byl použit program PLAXIS, který je založen na metodě konečných prvků. Vzhledem k ražbě tunelu pomocí NRTM byl vlastní výpočet rozdělen do několika fází, které vystihují průběh pobírání čelby. Prostorové chování čela výrubu a jeho vliv na deformace a napjatost masivu bylo v rovině simulováno speciálním postupem při zatěžování výrubu a ostění (tzv.  $\beta$  - metodou) – v každém stavu budování konstrukce byl nevystrojený výrub zatížen třetinou celkového zatížení, zbylé dvě třetiny byly přisouzeny ostění. Pro simulaci chování horninového masivu byl použit Mohr-Coulombův konstitutivní vztah. Intervaly vstupních parametrů horninového masivu ( $E_{def}$ ,  $\nu$ ,  $c$ ,  $\phi$ ,  $\gamma$ ) byly voleny zcela v souladu se závěry inženýrskogeologického průzkumu.

## VÝSLEDKY

Z výsledků statistické studie (tab. 1) vyplývá, že v profilu km 5,160 celkové sedání terénu mělo s pravděpodobností 95 % ležet mezi hodnotami 50 mm a 167 mm, celkové poklesy tunelového výrubu ve vrcholu klenby měly s pravděpodobností 95 % ležet mezi hodnotami 71 mm a 213 mm. Interval sedání terénu bez poklesů způsobených průzkumnou štolou je 41 až 136 mm, u stropu výrubu 65 mm až 198 mm.

Z porovnání všech výsledků (deterministické statické výpočty, měřené hodnoty, pravděpodobnostní analýza) je zřejmé, že pravděpodobnostní analýza lépe prognózuje možné deformace horninového masivu, které jsou podstatně závislé na náhodné proměnlivosti vstupních geotechnických parametrů, specifických pro použité konstitutivní vztahy matematického modelu.

Nutno konstatovat, že zvětšené deformace, provázející ražbu s horizontálně členěnou čelbou, nikde nevedly ke ztrátě stability horninového masivu, škodám na objektech v nadloží a na povrchu území. Lokální více než patnácti-centimetrové poklesy terénu v lesoparku Mrázovka nebyly prakticky vizuálně patrné a po asi 120 m ražby byly trvale sníženy vlivem přechodu na vertikální členění ražby pod přípustnou deformaci terénu 60 mm.

## ZÁVĚR

Aplikace metody latinských hyperkrychlí vycházela ze tří základních předpokladů, jejichž platnost může být diskutabilní (stejná závislost parametrů horniny na základní charakteristice jednotlivých vrstev horninového masivu, normální rozdělení pravděpodobnosti výskytu parametrů horninového masivu, normální rozdělení výpočtených deformací). V případě nezávislosti parametrů však stoupne počet náhodných proměnných, a tím také potřebný počet výpočtů (např. v případě provedených výpočtů by u jednotlivých modelů počet potřebných spuštění výpočtového programu stoupl z původních 5 na  $5^8=40$ ).

Although the static analysis had not been carried out directly for the assessed profile at km 5.160, it was possible to reasonably expect that the lining and rock mass deformations would on no account be worse than the deformations proved by the results determined by several alternatives of mathematical models carried out by renowned experts (with the input parameters and specific assumptions of the calculation adopted by their own) for very adverse and feared profile under Ostrovského Street at km 4.850. Eight mathematical models were used for this profile, resulting into the surface deformations computed within a range of 42 to 115 mm, with an average value amounting to 68.5 mm.

The design engineer correctly proposed, on the basis of the analyses carried out, a series of anti-subsidence measures for tunnelling by the NATM (saving grouting, spiles, micropile umbrellas, micropiles under the top heading footings, exceptionally compensation grouting). The limiting deformation of the area surface of 60 mm was to be ensured through a combination of those measures, depending on specific conditions of the excavation.

Soon after the beginning of the excavation from the north with the horizontal sequencing, excess deformations of the tunnel primary lining and the ground surface above the tunnel started to appear in difficult geological conditions (a series of successive tectonic faults for which several supporting measures were applied, including saving grouting), crossing the expected values of deformations set out by the design. At km 5.160, the measured subsidence of the ground surface stabilised at a value of 166 mm, the rock mass subsidence at the opening crown (determined by extensometer measurement at the given profile) at a value of 194 mm.

Outputs of the additional mathematical modelling of the Mrázovka tunnel at km 5.160 were crosschecked by the Latin hypercubes method. Computations were carried out by PLAXIS software, which is based on the finite element method. Because of the NATM tunnel excavation, the computation was divided into several phases corresponding to the face excavation phases. Spatial behaviour of the tunnel face and its effect on deformations and state of stress of the rock mass was simulated in plane by a special procedure at the excavation and the liner loading (so-called  $\beta$ -method) – the unsupported excavation in each stage of the structure development was loaded by one third of the total loading, remaining two thirds of the loading were assigned to the liner. Mohr-Coulomb constitutive relationship was used for simulation of the rock mass behaviour. Intervals of the rock mass input parameters ( $E_{def}$ ,  $\nu$ ,  $c$ ,  $\phi$ ,  $\gamma$ ) were selected in a full compliance with the conclusions of engineering and geological investigation.

## RESULTS

It follows from the results of the statistical study (Tab. 1) that there was a probability of 95% that the values of total ground surface settlement at km 5.160 would lie between 50mm and 167mm, and a probability of 95% that the values of tie settlement of the tunnel excavation at the vault crown would lie between 71mm and 213mm. The interval of the ground surface settlement, with the settlement caused by the exploration gallery excavation deduced, is 41 to 136 mm, at the excavation roof it is 65 mm to 198 mm.

It is obvious from a comparison of all results (deterministic static calculations, measured values, probabilistic analysis) that the probabilistic analysis provides better prognoses of rock mass deformations possible, which depend substantially on random variability of input geotechnical parameters specific for the applied constitutive relationships of the mathematical model. It must be stated that the increased deformations going along with the horizontally sequenced excavation have never caused a loss of rock mass stability, damage to buildings or structures at the overburden and on the ground surface. Local cases of subsidence in Mrázovka forest park exceeding fifteen centimetres were practically visually unperceivable, and they were, after about 120 m of excavation, permanently reduced under an allowable terrain deformation of 60 mm as a result of transition to the vertical excavation sequence.

## CONCLUSION

The application of the Latin hypercubes method was based on three basic assumptions, whose validity can be disputable (identical relationship between rock parameters and the basic characteristics of individual rock mass layers, normal distribution of the rock mass parameters occurrence probability, normal distribution of computed deformations). But should the rock parameters be independent, the number of random variables as well as the number of computations required would increase (e.g. in the case of the performed computations, the number of runs of the computation program required for individual models would rise from the original 5 to  $5^8=40$ ). It is useful for a qualified statistical evaluation of modelling results to apply the Latin hypercubes method, which allows, compared to other common statistical methods (the Monte Carlo method, the point estimations of probability moments method, etc.), to achieve substantial savings in the computation time.

A more general conclusion can be made on the basis of a comparison of the results obtained by application of the Latin hypercubes method on the Mrázovka tunnel western tube at km 5.160 with the values measured and obtained by the deterministic computation that it is desirable to carry out at least a partial study of the effect of the rock mass parameters variability on the resulting behaviour of the structure. If the probability of achieving unfavourable values of deformations (or other monitored variables) is high, it is desirable to consider application of other adequate techniques (e.g. another type of the excavation sequencing, grouting, pre-lining systems) already in the designing phase.

This paper was elaborated in the framework of the solution of the research project MSM:21000003 "Development of algorithms of computer mechanics and their application in engineering".

Ke kvalifikovanému statistickému vyhodnocení výsledků modelování je výhodné využít metodu latinských hyperkrychlí, která vzhledem k ostatním běžně užívaným statistickým metodám (metoda Monte Carlo, metoda bodových odhadů momentů pravděpodobnosti atd.) umožňuje zásadní úsporu výpočetního času.

Z porovnání výsledků, které byly získány aplikací metody latinských hyperkrychlí na západní troubu tunelu Mrázovka v km 5,160, s hodnotami měřenými a získanými deterministickým výpočtem lze učinit obecnější závěr, že při výpočtu podobně náročných geotechnických konstrukcí je žádoucí provést aspoň částečnou studii vlivu proměnlivosti parametrů horninového masivu na výsledné chování konstrukce. Při vysoké pravděpodobnosti dosažení nepříznivých hodnot deformací (nebo jiných sledovaných veličin) je žádoucí zvážit již při návrhu použití adekvátních technologií (např. jiný typ členění výrubu, injektáže, PL- systémy).

Příspěvek byl zpracován v rámci řešení výzkumného záměru MSM: 210000003 „Rozvoj algoritmů počítačové mechaniky a jejich aplikace v inženýrství“.

## LITERATURA/REFERENCES

BARTÁK, J. - HILAR, M. (2001): Program Plaxis. Geotechnika, 2/2000, str. 8-11.  
BARTÁK, J. - PRUŠKA, J. - MACHÁČEK, J. - HILAR, M. (2001): Numerical Modelling of Underground Structures. Proceedings of Workshop FSv ČVUT Praha .

BARTÁK, J. - CHMELAR, R. - HILAR, M. (2001): Modelová analýza nadměrných deformací tunelu Mrázovka v oblasti severního portálu. Zakládání staveb, roč. XIII, č. 1/2001, str. 22-28.

BAŽANT, P. - LIU, K. L. (1985): Random Creep and Shrinkage in Structures: Sampling. Journal of Structural Engineering. ASCE, 111, 5, 1112-1134.

HILAR, M. (2000): Numerical Analysis of the Supporting Measures with Effect on the Tunnel Deformations (MSc. dissertation). Heriot-Watt University, Edinburgh, U.K.

HUDEK, J. (1999): Přehled geotechnických charakteristik ZTT tunelu Mrázovka - km 5,160. Zpráva IG průzkumu, PUDIS Praha.

HUDEK, J. - VOREL, J. (1999): Komplexní zhodnocení inženýrskogeologického průzkumu pro automobilový tunel Mrázovka. PUDIS Praha.

HUDSON, J. A.- HARRISON, J. P.: Rock Engineering Mechanics. Pergamon, UK, 1997, ISBN 0-08-041912-7.

PRUŠKA, J. (2001): Metody fuzzy a RES v podzemním stavitelství. Stavební obzor 10, č. 5/2001, str. 145-148.

Výpočet Computation	Celkové poklesy Total settlement		Poklesy štoly Gallery settlement		Poklesy bez vlivu štoly Settlement without the gallery effect	
	Povrch (mm) Surface level	Tunel (mm) Tunnel	Povrch (mm) Surface level	Štola (mm) Gallery	Povrch (mm) Surface level	Tunel (mm) Tunnel
1	79	107	15	8	64	99
2	153	197	29	14	124	183
3	92	125	18	10	74	115
4	85	111	15	8	70	103
5	134	171	25	12	109	159
$\bar{X}$ (průměr) (average)	108,60	142,20	20,40	10,40	88,20	131,80
s (směr. odchylka) (standard deviation)	29,41	35,61	5,64	2,33	23,80	33,31
$\bar{X} + 2s$ (p=95,45%)	167,42	213,42	31,69	15,06	135,81	198,43
$\bar{X} - 2s$ (p=95,45%)	49,78	70,98	9,11	5,74	40,59	65,17
$\bar{X} + 2s$ (p=68,27%)	138,01	177,81	26,04	12,73	112,00	165,11
$\bar{X} - 2s$ (p=68,27%)	79,19	106,59	14,76	8,07	64,40	98,49
VAR X (rozptyl) (standard deviation)	5,69	6,22	2,65	1,75	5,15	6,02

Tab. 1 Výsledky pro ZTT km 5,160  
Table 1 Results for the WTT km 5,160



# SVETI MARKO – PRVNÍ CHORVATSKÝ DÁLNIČNÍ TUNEL RAŽENÝ NRTM

## SVETI MARKO – THE FIRST CROATIAN HIGHWAY TUNNEL DRIVEN BY THE NATM

Ing. ROMAN ŠABATA, ILF CONSULTING ENGINEERS, s. r. o.

### ÚVOD

Po rozpadu bývalé Jugoslávie se v ekonomicky nejvyspělejších nástupnických státech Slovinsku a Chorvatsku začaly investovat značné prostředky do vybudování moderní dopravní infrastruktury. To bylo vyvoláno změnou hlavních dopravních směrů, způsobenou jednak vznikem nových státních celků a zároveň díky poloze v sousedství Evropské unie, se kterou tyto země nejvíce obchodují. Preferována je výstavba dálnic, neboť stávající dálniční síť není schopna pojmout silně vzrůstající objem zejména silniční dopravy. Díky hornatému terénu lemujícímu Jadranské pobřeží je zároveň třeba vybudovat celou řadu tunelů. Prvním z nich na území Chorvatska je tunel Sveti Marko, který se nachází na dálnici Záhřeb – Rijeka, asi 15 km západně od města Karlovac.

### VŠEOBECNĚ

Tunel je dlouhý 290 m, sestává ze dvou oddělených tunelových trub osově vzdálených 30 m, ve kterých jsou vždy dva jízdní pruhy. Směrově je trasa vedena převážně v přímé, pouze v portálových oblastech přechází do přechodnicových oblouků. Výškově probíhají obě trouby ve vrcholovém oblouku o poloměru 25 000 m, což přineslo jisté komplikace při řešení odvodnění. Příčný sklon vozovky je 2,5 %. Pikantností tohoto tunelu je skutečnost, že podchází hřbitov obce Bezjakovo Brdo včetně obřadní síně. Převážná část délky obou trub byla vybudována hornickým způsobem, nadloží se pohybovalo od 2 m do 22 m. Portálové bloky a 36 m délky západní roury byly vybudovány v otevřené jámě. Vzhledem k malé délce tunelu nebyly nutné žádné propojky ani tunelový vodovod s hydranty a tunel není nuceně větrán.

### GEOLOGICKÉ POMĚRY A VOLBA TUNELOVACÍ METODY

Horninový masiv byl tvořen klastickými a karbonátovými sedimenty spodního triasu, překrytými kvarténními pokrývnými útvary. Klastické sedimenty představovala pestrá série písčitých dolomitů, hlinitých slínů a jílovitých břidlic. Karbonátové sedimenty v jejich podloží tvořily převážně vrstvy dolomitů a pískovců. Hladina podzemní vody se nacházela pod úrovní spodní klenby tunelu. Horniny skalního podloží byly silně zvětralé a jejich mocnost v nadloží tunelu byla do 17 m. Modul deformace se pohyboval kolem 80 Mpa, Poissonovo číslo kolem 0,3, koheze byla 50 kPa a úhel vnitřního tření 25°. U kvarténních pokrývků byly parametry ještě horší. Šířka výrubu jedné tunelové roury byla 11 m. Tunel byl vyražen novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM). Celá ražená část byla kvůli výše uvedeným parametrům horninového masivu zajištěna kromě standardního vystrojení NRTM také předstihovými injektážními deštníky. Na rozdíl od ražby ve skalních nebo



Obr. 1 Pohled na stavební jámu severních portálů a hloubeného úseku  
Fig. 1 A view of the construction pit for the north portals and the cut-and-cover section

### INTRODUCTION

Considerable investments in development of a modern traffic infrastructure started after the disintegration of former Yugoslavia in economically most advanced succession states of Slovenia and Croatia. This process was induced by a change in the main directions of traffic caused by the origination of new states and, at the same time, owing to their position neighbouring with the European Union, which these countries have been doing most of their business with. Development of highways is being given priority, as the existing highway network is not capable of coping with the heavily increasing volume of transport carried out predominantly on roads. Due to the mountainous terrain surrounding the Adriatic Sea shore it is necessary to build a series of tunnels. In Croatia, the first of them is the Sveti Marko tunnel, found on the Zagreb – Rijeka highway, about 15 km west from Karlovac town.

### IN GENERAL

The 290 m long tunnel consists of two separated double-lane tunnel tubes, with the distance between centres of 30 m. Horizontal alignment is mostly straight, with transition curves at portal areas only. Vertical alignment of the two tubes is a convex curve, on a radius of 25,000 m, causing certain complications in the drainage design. The crossfall of the roadways is 2.5 %. A peculiarity of this tunnel is the fact that it passes under a cemetery of Bezjakovo Brdo municipality, including the mortuary-mourning hall. The major part of the tunnel tubes' length was built by mining methods. The overburden thickness varied from 2 m to 22 m. The portal blocks and a 36m-long section of the western tube were constructed in open pits. Thanks to the short length of the tunnel, neither cross passages nor a tunnel water distribution with fire hydrants were required, and the tunnel is not ventilated mechanically.

### GEOLOGY AND SELECTION OF THE TUNNELLING METHOD

The rock mass consisted of the Lower Jurassic clastic and carbonate sediments, overlaid with the Quaternary cover. The clastic sediments were represented by a varied series of sandy dolomites, loamy marls and shales. The carbonate sediments underneath consisted mostly of dolomite and sandstone layers. Water table was found beneath the tunnel invert level. The bedrock was heavily weathered, and its thickness above the tunnel crown was up to 17 m. The modulus of deformation varied around 80 Mpa, Poisson's ratio around 0.3, cohesion was 50 kPa, and the angle of internal friction 25°. The parameters of the Quaternary cover were even worse. The width of one tunnel tube cross-section was 11 m. The tunnel was excavated by the New Austrian Tunnelling Method (NATM). In addition to standard NATM support means, the whole mined portion of the tunnel was supported by pre-grouting umbrellas. As opposed to rock or semi-rock excavation under a sufficient cover, it was impossible in this case to expect that the anticipated deformations could be coped with by anchoring. Therefore tough primary lining was designed and the invert closing prescribed at a distance from the face not exceeding 1 diameter of the tunnel tube.

### EXCAVATION AND EXCAVATION SUPPORT

#### PREPARATORY WORK

Both tunnel tubes were driven from the northern portal pit. The bottom part of the pit up to a height of 8 m was sloped at a 60° angle and secured with 10-15cm thick shotcrete reinforced with welded wire mesh and 10 m long IBO anchors spaced at 2x2 m centres. The upper part of the pit was provided with 1:1 slopes, without other support measures. A 2 m wide berm was cre-

poloskalních horninách s dostatečným nadložíím nebylo možno počítat s tím, že by se předpokládané deformace daly zvládnout pomocí kotvení, proto byla zároveň navržena tuhá primární obezdivka a předepsáno uzavření profilu ve vzdálenosti nejdále 1 průměr tunelové trouby od čelby.

## RAŽBA A ZAJIŠTĚNÍ VÝRUBU

### PŘÍPRAVNÉ PRÁCE

Obě tunelové roury byly raženy ze severní portálové jámy. Ta byla ve spodní části na výšku 8 m vysvahována ve sklonu 60° a zajištěna stříkaným betonem tloušťky 10 – 15 cm, vyztuženým ocelovými svařovanými sítěmi a 10 m dlouhými IBO-kotvami v rastru 2 x 2 m. Horní část jámy byla vysvahována ve sklonu 1 : 1 bez dalšího zajištění. Mezi dolní a horní částí byla vybudována 2 m široká berma. Pravá (západní) tunelová roura vchází do hory v místě terénní deprese, a proto jsou ražené portály odsazeny v podélném směru o 36 m. Počátek ražby levé (východní) roury probíhal v sousedství otevřené jámy pro pravou rouru s nadložíím pokravných útvarů o mocnosti 2 – 6 m. Šířka horninového pilíře mezi výrubem a sousední jámou byla 8 m. Jižní portálová jáma měla spíše charakter odřezu, neboť tunel vychází z hory šikmo ke spádnicí portálového svahu a bezprostředně na něj navazuje most. Portály tunelových trub jsou v podélném směru odsazeny o 23 m. Portálové bloky, budované hloubeně, byly o 2 m zataženy do rozšířeného výrubu ražené části. Spodní část portálové jámy byla vysvahována zhruba na výšku tunelů ve sklonu 3 : 1 a zajištěna kotvením a stříkaným betonem se sítěmi jako v předchozím případě. Vrchní část byla vysvahována ve sklonu 1 : 1,5 a měla již definitivní tvar portálového zářezu. Stříkaný beton byl po skončení ražby obložen kamennými bloky, vyskládanými ve stejném sklonu, které tvoří konečnou podobu portálového zářezu.

### PŘEDSTIHOVÉ INJEKTÁŽNÍ DEŠTNÍKY

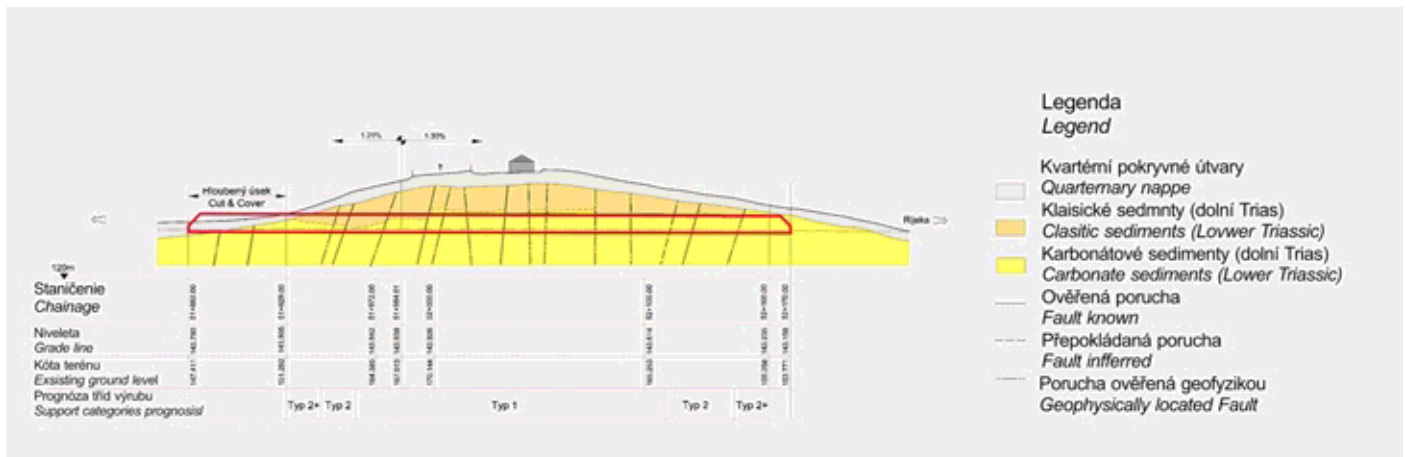
Celý tunel byl budován v nepříznivých geologických podmínkách. Pro zajištění bezpečné ražby byly proto v celé jeho délce použity deštníky z mikropi-

ated between the lower and upper level. The right-hand (western) tunnel tube cuts into the mountain at a location of a terrain depression. Therefore the mined portals are relatively offset by 36 m. The left-hand (eastern) tube excavation beginning took place in the vicinity of the open pit for the right-hand tube, with the overlying cover 2-6 m thick. The rock pillar between the excavation and the neighbouring pit was 8m wide.

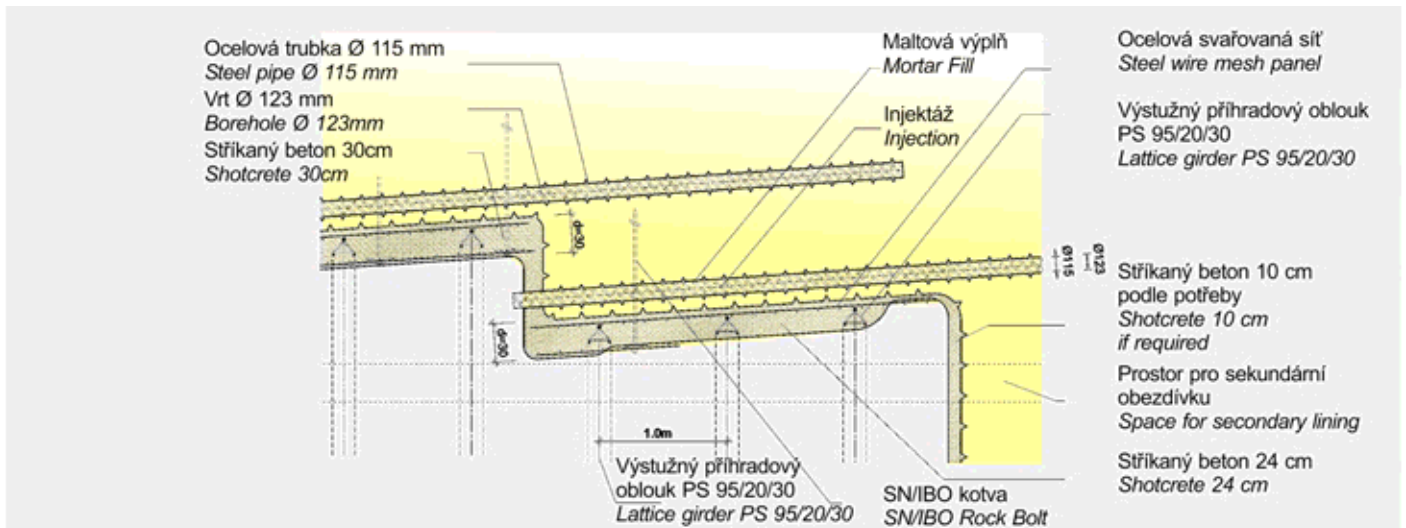
The southern portal pit was rather a half-cutting as the tunnel emerges from the mountain skew to the line of maximum incline of the portal slope, and is directly followed by a bridge structure. The portals of the tunnel tubes are relatively offset by 23 m. The cut-and-cover portal blocks extended to the enlarged excavation of the mined part. The bottom part of the portal pit was sloped roughly up to the tunnels height level, at a 3:1 slope, and supported by anchors and shotcrete with mesh, identically with the above case. The upper part sloped at a 1:1.5 gradient was given the definitive shape of the portal cutting. When the excavation had been finished, the sprayed concrete surface was clad with stone blocks placed at the same inclination, forming the final appearance of the portal cutting.

### PRE-GROUTING UMBRELLAS

The whole tunnel was built under unfavourable geological conditions. Therefore, to secure safe excavation, micropile umbrellas were applied along the whole tunnel length consisting of perforated steel pipes 115 mm in diameter, with 6 mm wall thickness, inserted into 123 mm-diameter bore holes. Individual sections were 15m long, with a 3 m overlapping. The micropiles were drilled on 40cm centres. To allow trouble-free drilling of individual sections, the excavation had to be enlarged every 12 m so that the micropile axis was offset from the following excavation face by 17 cm, and an additional minimally 30 cm wide space remained above for the drilling gear. When the drilling and installation of the pipes in a particular section had been completed, the annulus between the pipe and the borehole wall was filled with mortar. A sleeve created in this manner prevented the injection



Obr. 2 Podélný geologický řez tunelem Sveti Marko  
Fig. 2 Longitudinal geological section through the Sveti Marko tunnel



Obr. 3 Rozšíření výrubu v místě navrtání další sekce injektážního deštníku  
Fig. 3 The excavation enlargement at the place of drilling for next section of the grouting umbrella



lot, sestávající z ocelových perforovaných trubek o průměru 115 mm a tloušťce stěny 6 mm, osazovaných do vrtů o průměru 123 mm. Délka jednotlivých sekcí byla 15 m, podélný přesah 3 m. Osová vzdálenost jednotlivých mikropilot v místě navrtání byla 40 cm. Aby bylo možno jednotlivé sekce bez problémů navrtat, bylo nutno provést na každých 12 m rozšíření výrubu tak, aby osa mikropiloty byla od líce následujícího výrubu o 17 cm odsazena a nad ní zbylo ještě min. 30 cm místa ke stávajícímu líci stříkaného betonu pro vrtné soustrojí. Po navrtání a osazení trubek v každé sekci byla spára mezi trubkou a stěnou vrtu vyplněna maltou, která po zatvrdnutí vytvořila objímku, zabráňující pronikání injekční směsi zpět k ústí vrtu. Poté byly jednotlivé mikropiloty příslušné sekce zainjektovány.

Podle geometrického uspořádání mikropilot byly použity dva typy dešťníků. Prvním z nich byl dešťník ve tvaru vertikálně převýšeného vějíře s mikropilotami umístěnými pouze v klenbě kaloty. Výhodou tohoto řešení je zachování geometrie výrubu při jeho převyšování, přičemž se mění pouze výška kaloty. V tomto případě lze pro celou délku sekce použít stejné vyztužovací oblouky, pouze s proměnnou délkou v oblasti paty kaloty. Vystrojení výrubu bylo v tomto případě podle potřeby doplněno jehlováním po stranách předstihového dešťníku. Tento typ dešťníku byl použit pro lepší geotechnické parametry horninového prostředí.

Druhým typem byl dešťník ve tvaru radiálně rozbíhavého vějíře. Mikropiloty byly v tomto případě navrtány až do odklonu 57° od svislé osy profilu, kde začíná rozšíření paty kaloty. Geometrie kaloty i opěří byla proměnná v závislosti na rozvěření vějíře. Tento typ dešťníku byl použit pro ražbu v horších geologických poměrech.

### TŘÍDY VÝRUBU

Ražený úsek obou tunelových trub byl rozdělen na základě statické analýzy do dvou tříd výrubu. Typ 1 označoval třídu výrubu s vertikálně převýšeným typem injektážního dešťníku, která byla uplatněna ve střední části tunelu. Typ 2 označoval třídu výrubu s radiálně rozbíhavým typem injektážního dešťníku, která byla použita pro oblasti s nižším nadložím. Pro příportálové oblasti byly navíc použity doplňující vyztužovací prvky. Vzhledem k daným fyzikálně-mechanickým vlastnostem horniny nebylo nutno použít trhacích prací a ražba byla prováděna pomocí tunelového bagru nebo hydraulického kladiva.

Ve třídě výrubu typ 1 byla ražba rozčleněna na kalotu, jádro a dno se spodní klenbou. Délka záběru byla 1 m a profil byl uzavírán v sedmém záběru od čelby. Výrub byl zajištěn kotvením po stranách předstihového dešťníku, v případě potřeby i jehlováním, a 30 cm silným primárním ostěním ze stříkaného betonu, vyztuženým dvěma ocelovými svařovanými sítěmi a příhradovými vyztužnými oblouky. Spodní klenba byla rovněž zajištěna stříkaným betonem tloušťky 30 cm se dvěma sítěmi. Pro kotvení byly zvoleny buď IBO-kotvy, nebo SN-kotvy podle toho, zda mělo prostředí charakter horniny, nebo spíše ulehle zemin. V kalotě byla délka kotev 3 – 4 m, v jádru 4 – 6 m vzhledem k poměrně velkému poloměru zakřivení, který vznikl v důsledku převyšování profilu.

Ve třídě výrubu typ 2 byla ražba rozčleněna stejně jako v předcházejícím případě, délka záběru i vystrojení byly shodné. Rozdíl byl v tom, že díky větší šířce injektážního dešťníku se v kalotě kotvilo i mezi předstihové mikropiloty. V závislosti na výsledcích geotechnických měření bylo v případě potřeby

grout from flowing back to the hole mouth. Subsequently the individual micropiles of the particular section were grouted.

Two umbrella types were used, depending on the geometrical configuration of the micropiles. The first one was a vertically surmounted fan-shaped umbrella with micropiles placed at the top heading vault only. The advantage of this solution is that the excavation geometry is maintained at its surmounting, while the top heading's height only varies. In this particular case, identical support arches can be used within the whole section length, whose legs' length only varies in the springing area. Spiling at the sides of the pre-grouted umbrella complemented the excavation support in this particular case on an as needed basis. This umbrella type was used in case of more favourable geotechnical parameters of the rock mass.

A radially diverging fan-shaped umbrella was the other type. In this case, the micropiles were drilled with a deflection from the vertical axis of the profile up to 57°, where the top heading's footing enlargement begins. The cross section of the top heading and the side wall areas varied depending on the fan opening. This umbrella type was used for excavation in worse geology.

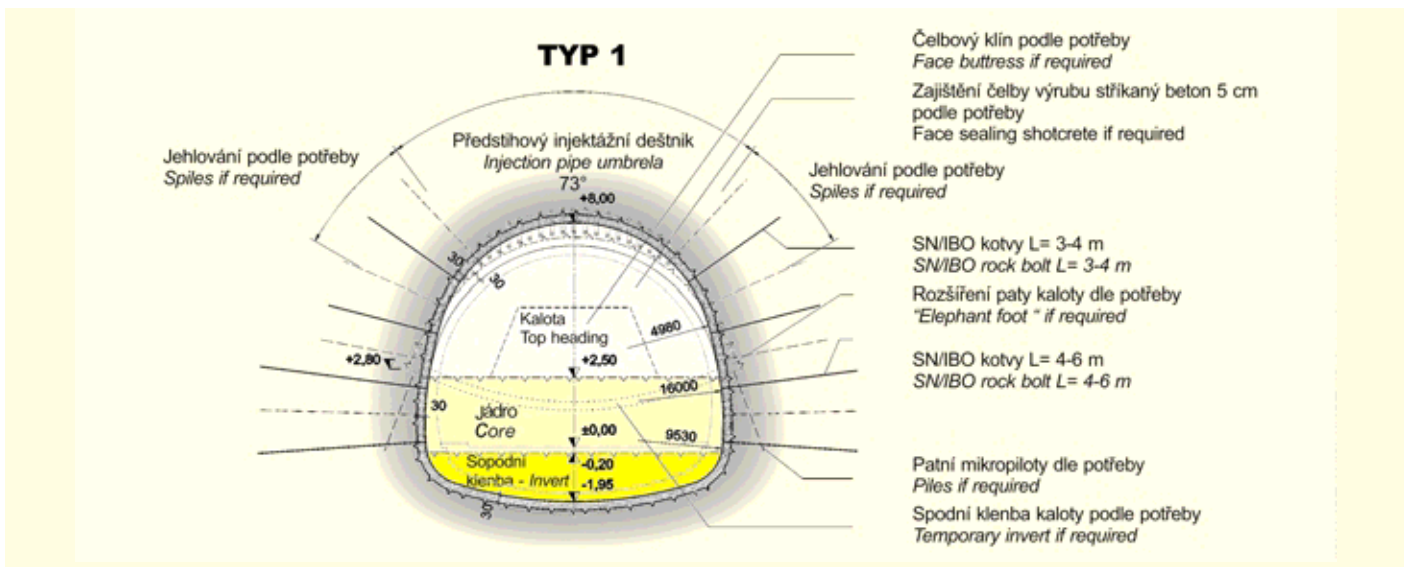
### EXCAVATION CLASSES

The mined sections of the two tunnel tubes were divided into two excavation classes. Type 1 denoted an excavation class with the vertically surmounted type of the grouting umbrella, which was applied in the central part of the tunnel. Type 2 denoted an excavation class with the radially diverging type of the grouting fan, which was utilised for areas with lower overburden. In addition, complementing elements were used for portal areas. Blasting operations were not needed thanks to the given physical and mechanical properties of the rock. Tunnel excavator or hydraulic breaker were sufficient for the excavation.

For the excavation class Type 1, the excavation was phased into top heading, core and invert sequence. The round length of 1m was applied, and the profile was closed by invert in the seventh round from the face. The excavation was supported by anchors at the sides of the pre-grouting umbrella, even by spiling if required, and a 30 cm-thick primary shotcrete lining reinforced by two layers of welded mesh and lattice girders. Invert was also supported by shotcrete 30cm thick, with two layers of mesh. IBO-type anchors or SN-type anchors were used for anchoring, depending on the environment character being either rock or rather settled soil. The anchors were 3 – 4 m long in the top heading, while for the core excavation, due to a relatively large radius of the lining curvature originating as a result of the profile surmounting, a length of 4 – 6 m was needed.

For the excavation class Type 2, the excavation was phased identically as in the previous case, the round lengths and the support were the same. The difference consisted in anchors being placed even between the advanced micropiles, due to the greater width of the grouting umbrella. Depending on geotechnical measurement results, the support for both excavation classes was complemented by a wedge support core, shotcrete applied on the face, by widening of the top heading footing, or also micropiles at the top heading footing, or even securing the top heading invert by sprayed concrete.

In the areas close to the portals, the Type 2 excavation class was applied, complemented by the face support using 8 m-long IBO-anchors, while the above-mentioned complementing support elements application was com-



Obr. 4 Příčný řez tunelem s vertikálně převýšeným injektážním dešťníkem  
Fig. 4 Cross section through the tunnel with vertically surmounted grouting umbrella

vystrojení v obou třídách výrubu doplněno čelbovým klínem, zajištěním čelby stříkaným betonem, rozšířením paty kaloty, případně i mikropilotami v patě kaloty, nebo dokonce spodní klenbou v kalotě, zajištěnou stříkaným betonem.

V příportálových oblastech byla pro ražbu použita třída výrubu typ 2, doplněná o zajištění čelby 8 m dlouhými IBO-kotvami, přičemž doplňující prvky vystrojení z předchozího odstavce byly použity povinně. Tloušťka stříkaného betonu primární obezdívky byla po celém obvodu profilu zesílena na 35 cm, délka všech kotev byla zvětšena na 6 – 8 m a jejich rastr zhuštěn. Schéma pobírání bylo v tomto případě upraveno tak, že výrub jádra tvořil v podstatě prodloužení čelbového klínu z kaloty až na úroveň počvy opěří. Profil byl uzavírán rovněž v sedmém záběru od čelby. Na počátku ražby levé tunelové roury byly kotvy na pravé straně kaloty provrtány až do sousední otevřené stavební jámy pro pravou tunelovou rouru, kde na ně byly osazeny kotevní hlavy i z druhé strany a poté staženy tak, že tvořily v podstatě předpjatou výztuž horninového pilíře.

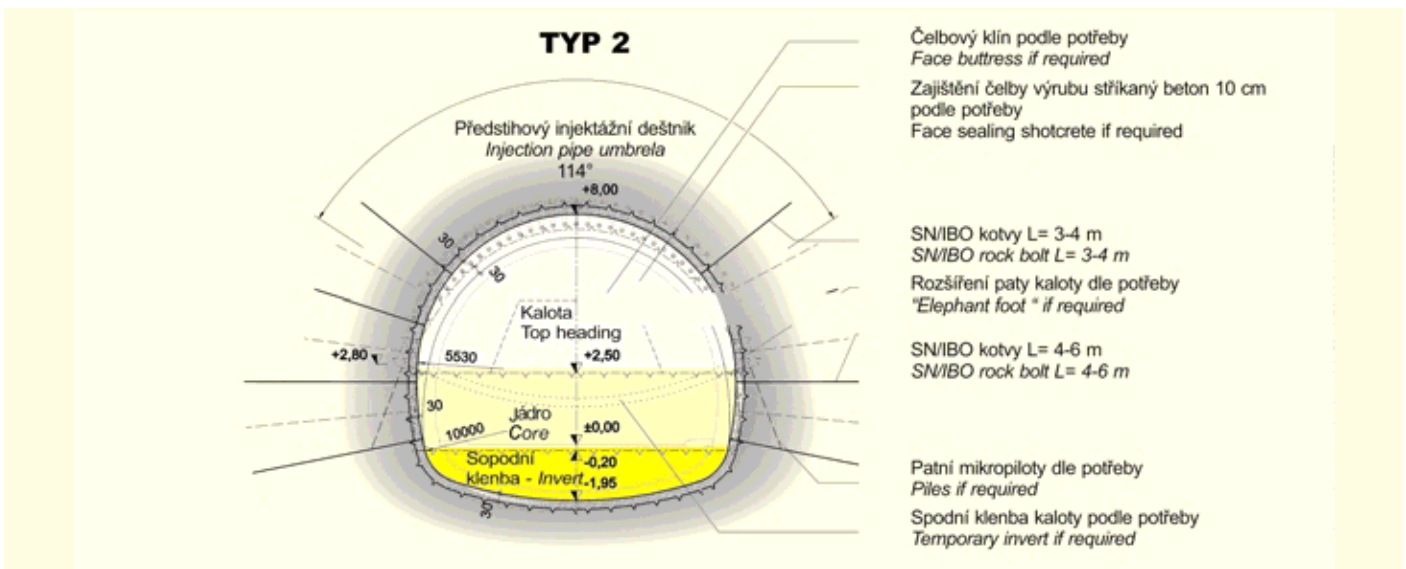
## GEOTECHNICKÁ MĚŘENÍ

Pro sledování deformací horninového masivu byl vypracován program geotechnických měření. Ta probíhala jednak na povrchu, v oblasti předpokládané poklesové kotliny, a také v tunelových rourách. Na povrchu byly umístěny v osách obou trub měřické body v odstupu po 25 m, pomocí nichž bylo měřeno sedání v čase, v závislosti na prostorové poloze čelby. Tatáž měření

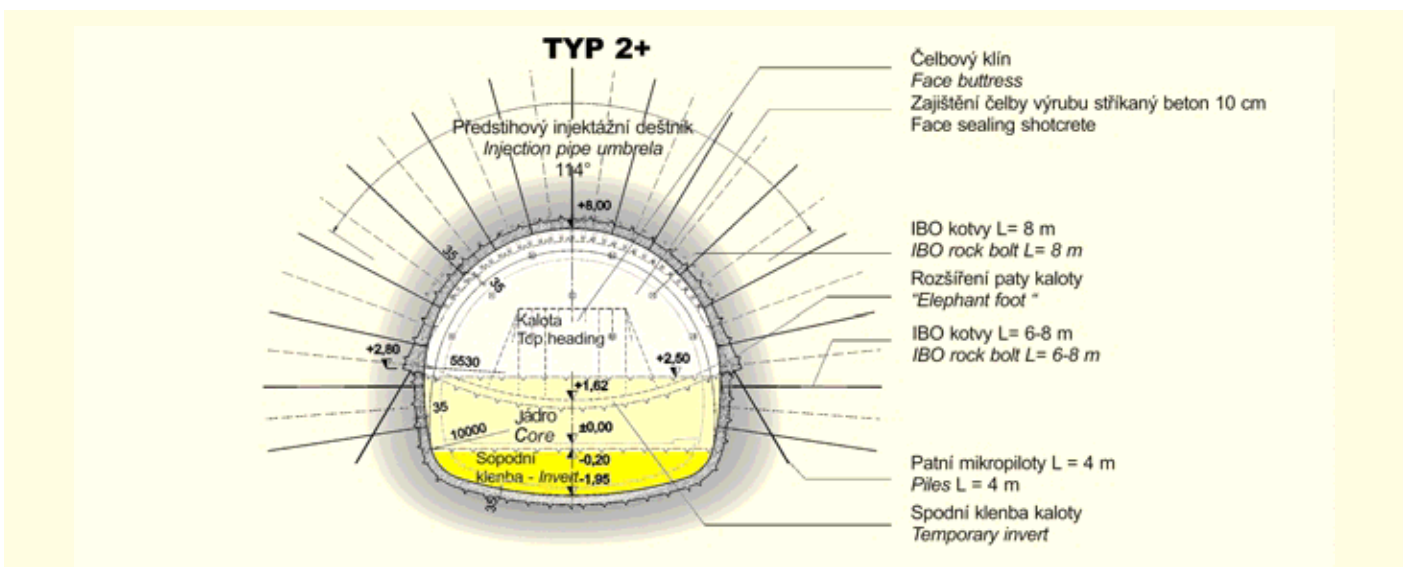
pulsory. The primary lining shotcrete thickness increased to 35 cm around the full section, the length of all anchors rose to 6 – 8 m, and their spacing became denser. The excavation sequence was modified in this case. In essence, the core excavation consisted in the excavation of the wedge support core in the top heading extending down to the core bottom. The profile was also closed at the seventh round from the face. At the beginning of the left tunnel tube excavation, the anchors on the right-hand side of the top heading were drilled through, up to the adjacent open construction pit excavated for the right-hand tunnel tube. Face plates were mounted on those anchors even from the opposite side. The anchors were tensioned then, forming in substance a pre-tensioned support of the rock pillar.

## GEOTECHNICAL MEASUREMENTS

A programme of geotechnical measurements was developed for the monitoring of the rock mass deformation. The measurements were carried out both on the surface, within the anticipated settlement trough area, and also inside the tunnel tubes. Survey points on the surface were placed at 25 m spacing above the centre lines of the two tunnel tubes. They allowed measurement of the settlement changing with time, depending on the spatial position of the face. The same measurements were carried out inside the tunnels too, using survey points installed at about 12 m spacing in the vault (denser at portals). In addition, five-point convergence stations were established in the tunnels every 20 – 25 m, where deformations and convergences



Obr. 5 Příčný řez tunelem s injektážním deštníkem ve tvaru radiálně rozbíhavého vějíře  
Fig. 5 Cross section through the tunnel with radially diverging fan-shaped umbrella



Obr. 6 Příčný řez tunelem s vystrojením výrubu v příportálových oblastech  
Fig. 6 Cross section through the tunnel with the excavation support in areas close to portals



probíhala i v tunelech, kde byly v klenbě osazeny měřické body po asi 12 m (u portálů hustěji). V tunelech byly dále osazeny po 20 – 25 m pětibodové konvergenční profily, kde byly měřeny deformace a konvergence primární obezdívky, resp. horninového masivu.

Kromě těchto měření byly navíc použity také inklinometry. Pět z nich bylo umístěno přímo v tunelových rourách a dalších 13 (z toho 6 ks délky 20 m a 7 ks délky 30 m) na povrchu. Jednalo se o kombinované inklinometry, schopné měřit deformace v různých hloubkách v jednom vrtu zároveň. Tímto způsobem bylo chování horninového masivu dostatečně přesně sledováno a výsledky měření byly obratem zohledňovány při volbě vhodného množství a typu vystrojovacích prostředků.

## DEFINITIVNÍ OSTĚNÍ

### SEKUNDÁRNÍ OBEZDÍVKA RAŽENÉ ČÁSTI

Na základě výsledků statických výpočtů byla v ražené části použito ostění z prostého betonu, tloušťky min. 30 cm. V oblasti opěří, kde jsou vyšší ohybové momenty a zároveň větší poloměr profilu, byla tato tloušťka téměř o polovinu zvětšena. V důsledku rozšiřování profilu při ražbě, nutného pro osazování jednotlivých sekcí injektážních deštříků, však ve skutečnosti dosahovala tloušťka sekundárního ostění až 1 m. Spodní klenba je v celé ražené části z prostého betonu, v ose tunelu dosahuje tloušťky 1 m a pod základovými pasy asi 40 cm. Samotné základové pasy, zajišťující přenos napětí mezi horní a spodní klenbou, jsou průběžné, z prostého betonu, široké 120 cm a vysoké 40 cm. Standardní délka jednotlivých bloků betonáže byla 12 m. Vždy první blok v hoře od raženého portálu, resp. tři bloky levé tunelové roury v sousedství otevřené jámy pro pravou rouru byly konstrukčně vyztuženy. Spáry mezi jednotlivými bloky byly do hloubky 8 cm od líce obezdívky opatřeny náběhovým rozšířením a vyplněny elastomerovým kompresním provazcem.

### PORTÁLY A HLOUBENÁ ČÁST

Všechny čtyři portálové bloky, jako i tři bloky vybudované v otevřené jámě, byly dimenzovány na plné zatížení způsobené následným přesypáním. Statickým výpočtem bylo navrženo železobetonové ostění tloušťky 60 cm, jejíž vnitřní líc koresponduje se sekundárním ostěním v ražené části. Vnější líc je paralelní s vnitřním až do místa svislé tangenty v opěří, odkud pokračuje

of the primary liner or the rock mass were measured.

Apart from the above measurements, also inclinometers were used. Five of them were positioned directly inside the tunnel tubes, while additional 13 pieces (out of that 6 pcs 20m long and 7 pcs 30m long) were installed from the surface. They were combined inclinometers capable of measuring deformations at various depths in one borehole simultaneously. This procedure allowed sufficiently accurate monitoring of the rock mass behaviour. In the turn, the measurement results were taken into consideration in the process of selection of suitable amount and type of the means of support.

## FINAL LINER

### SECONDARY LINING OF THE MINED PART

Based on the results of structural analysis, a minimally 30 cm-thick mass concrete lining was designed. In the side wall area, where bending moments are higher and the cross-section radius is bigger, the thickness was increased by nearly one half. As a matter of fact, the secondary lining thickness reached 1m due to the cross-section enlargement carried during the excavation work to make the installation of individual sections of the grouting umbrellas possible. The invert is from mass concrete within the whole mined part. Its thickness reaches 1m on the tunnel axis, and about 40 cm under the strip footing. The strip footings themselves, securing the stress transfer between the vault and invert, are continuous, from mass concrete, 120 cm wide and 40 cm high. Standard length of individual casting blocks was 12 m. Each first block behind a mined portal, and three blocks of the left-hand tunnel tube found next to the open pit for the right-hand tube, were provided with concrete reinforcement. The joints between individual blocks had a tapered groove 8cm deep in the liner's internal surface, filled with an elastomer compression rope.

### PORTALS AND THE CUT-AND-COVER PART

All the four portal blocks as well as the three blocks built in the open pit, were designed to withstand full loading by the subsequent backfill. The structural analysis ensued into the design of the 60cm thick reinforced concrete envelope, whose internal surface corresponds with the secondary lining used in the mined part. The external and internal surfaces are parallel up to



Obr. 7 Pohled na severní portály po dokončení betonáže

Fig. 7 View of the north portals after completion of concrete casting

čuje svisle dolů. Základové pasy jsou na vnitřní straně provedeny shodně s raženou částí a na vnější straně vytaženy až k vnějšímu líci horní klenby. Spodní klenba je na rozdíl od ražené části prohloubena a rovněž vytažena až k vnějšímu líci základového pasu. V tomto místě má tloušťku 20 cm a v ose tunelu dosahuje 132 cm. Spodní klenba jakož i základové pasy jsou vybudovány z monolitického železobetonu.

Portálové bloky jsou v podélném směru seříznuty ve sklonu 1 : 1. Tím bylo dosaženo opticky vyváženého přechodu od volné trasy dálnice do tunelu. Portálový věnec tvoří zborcená plocha stejné tloušťky jako zbytek portálového bloku (60 cm), která je v každém bodě kolmá na oba líce ostění. Začíná vždy v místě, kde je tloušťka obezdívky již konstantní, tj. asi 1,5 m nad vozovkou, kde má v podélném směru sklon 45° a pokračuje do klenby portálu, kde je svislá. Toto řešení bylo zvoleno proto, že jej lze velmi snadno vybednit pomocí dřevěných prken, osazených kolmo na bednicí vůz v požadovaném podélném sklonu řezu. Vrchol klenby tunelu je tak asi o 5,3 m blíže směrem k hoře. V oblasti rozšířené opěry portálu, podél svislého vnějšího líce ostění, je čelní strana portálu rovněž svislá.

Portálové i hloubené bloky byly následně přesypány zeminou a terén byl v bezprostředním okolí patřičně vymodelován. U severních portálů byla vyplněna i terénní deprese a portály obou tunelových trub umístěny oproti předcházejícímu stupni dokumentace do stejného staničení. Tím bylo docíleno architektonicky harmoničtějšího perspektivního pohledu.

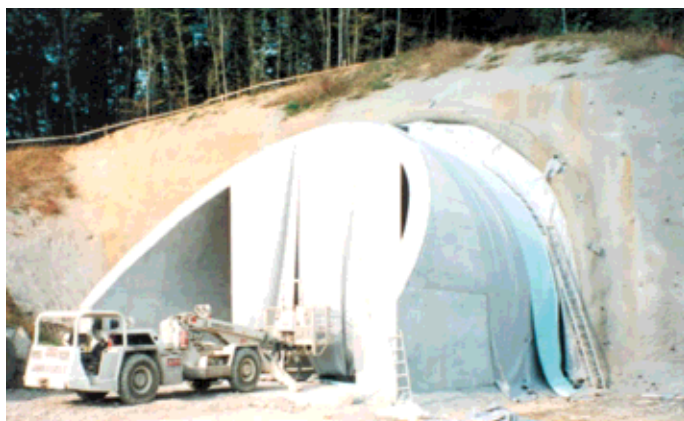
### VÝKLENKY

V každé tunelové rouře byly vybudovány vždy na levé straně ve směru jízdy dva výklenky pro elektrotechnická zařízení šířky 160 cm, hloubky 170 cm a výšky nad nouzovým chodníkem 225 cm. Dále byly vždy po 48 m oboustranně zřízeny výklenky pro čištění drenáže tunelu. Ty jsou hluboké 40 cm, široké 140 cm, vycházejí z líce vnitřního ostění náběhem o výšce asi 2 m a je jich dohromady 9 párů. Všechny výklenky jsou situovány v ražené části tunelu. Výklenky pro čištění drenáže jsou díky staticky výhodné geometrii provedeny pouze z prostého betonu a výklenky pro elektrotechnická zařízení jsou z železobetonu.

Umístění nevyztužených výklenků pro čištění drenáže v tunelovém bloku bylo zvoleno s ohledem na smršťování betonu a s tím spojeným tvořením trhlin. Největší napětí ze smršťování vznikají ve středu délky tunelového bloku, a protože výklenky byly betonovány zároveň s definitivní obezdívkou,



Obr. 8 Tunelový blok s oběma druhy výklenků  
Fig. 8 Tunnel block with both types of niches



Obr. 9 Pohled na vytaženou izolaci z posledního rozšíření ražené části na jižní portál  
Fig. 9 View of the waterproofing membrane protruding from the last enlargement of the mined part to the South Portal

the location of the vertical tangent, from which place it becomes vertical. Foundation strips are carried out identically with those of the mined part on the internal side, while they continue up to the external face of the upper vault on the external side. The invert is, as opposed to the mined part, deepened and also extended up to the external face of the foundation strip. It is 20cm thick at this place, while the thickness reaches 132 cm on the tunnel axis. The invert and strip foundation are from mass concrete.

The portal blocks are cut skew, reposing at 1:1. Thanks to this measure an optically balanced transition of the highway route from the open space to the tunnel was achieved. The portal collar has a twisted surface perpendicular at each point to both faces of the liner. Its thickness is identical with the thickness of the remaining part of the portal block, i.e. 60cm. Its beginning is always at such a location where the liner's thickness is constant, i.e. about 1.5m above the carriageway, where its longitudinal gradient is 45°, and continues up to the portal crown where it is vertical. This solution was adopted because the formwork can be easily assembled using wood planks fixed perpendicular to the form traveller, at the longitudinal slope required at the particular cross section. Thus the summit of the tunnel vault is about 5.3m closer to the mountain. In the area of the widened portal side wall, along the vertical extrados of the liner, the front side of the portal is also vertical.

The portal blocks and cut-and-cover blocks were subsequently covered with soil backfill, and the surface in the close vicinity was suitably modelled. A terrain depression at the northern portals was also backfilled, and, contrary to the preceding level of design documentation, the portals of the two tunnel tubes were placed to identical chainages. An architectonically more harmonic perspective view was achieved in this manner.

### NICHES

Two niches for electrical equipment were built in each tunnel tube. The 160cm wide, 170 cm deep and 225 cm high (measured from the emergency pavement level) niches are on the left-hand side of the particular tunnel tube (viewed looking in the traffic direction). Further, niches for the tunnel drainage cleaning up were provided every 48 m, on both sides (9 pairs in total). The niches are 40 cm deep and 140cm wide. Their inclined back face starts from the 40 cm depth and ends at the internal lining intrados at a height of about 2 m. All the niches are situated in the mined part of the tunnel. Owing to their geometry, advantageous in terms of structural analysis, the drainage cleaning niches could be built in mass concrete only, while the niches for electrical equipment are from reinforced concrete.

Locations of the non-reinforced drainage cleaning niches within a tunnel block were chosen with respect to concrete shrinkage and related creation of fissures. The highest shrinkage stresses originate at the midpoint of a tunnel block length. As the niches were cast together with the final liner, it is inappropriate to place them just to the centre of the block. Namely it could happen that a network of cracks would originate around in the mass concrete of the lining, whose width could exceed the prescribed limit. For that reason a distance of the niche's axis 3 m from the joint between the casting blocks was chosen, leaving about 2 m length of standard secondary liner between the niche wall and the block joint.

The larger niches for electrical equipment were, similarly to the adjacent surrounding area of the internal liner, reinforced, and the reinforcement resolved the issue of shrinkage fissures creation. For that reason their axis was at a distance of 5 m from a joint between two blocks, allowing so maintenance of the embedment lengths of longitudinal reinforcing bars. An abnormal case occurred within one of the blocks, containing both kinds of the niches on one tunnel side. There was an axial distance of 4m between the niches, with the above-mentioned distances of 4 m kept.



Obr. 10 Pohled na tunelovou drenáž u portálu (vpravo) a odvodnění vrstev vozovky (vlevo)  
Fig. 10 View of the tunnel drainage at a portal (right), and drainage of the sub-base courses (left)



není vhodné je umístit právě do středu bloku. Mohlo by se totiž stát, že se v prostém betonu ostění kolem výklenku vytvoří síť trhlin, jejichž šířka by mohla překročit předepsanou mez. Z toho důvodu byla zvolena poloha 3 m od spáry mezi bloky betonáže k ose výklenku. Tím zbylo mezi stěnou výklenku a blokovou spárou asi 2 m délky standardního sekundárního ostění.

Větší výklenky pro elektrotechnická zařízení byly, tak jako bezprostřední oblast vnitřního ostění kolem nich, vyztuženy a tato výztuž pokryla i tvoření smršťovacích trhlin. Proto byla jejich osa vzdálena 5 m od spáry mezi bloky, s ohledem na kotevní délky výztuže v podélném směru. V jednom z bloků nastal anomální případ, neboť zde byly na jedné straně tunelu umístěny oba druhy výklenků. Osová vzdálenost mezi nimi byla při dodržení výše popsaných vzdáleností 4 m.

## IZOLACE A ODVODNĚNÍ TUNELU

### IZOLACE

Vzhledem k dostatečné hloubce hladiny podzemní vody byly obě tunelové roury drenážovány. Izolovat bylo proto třeba pouze proti srážkovým vodám, které prosakují skrz nízké a propustné nadloží. Bylo použito mezilehlé izolace z plastových pásů tloušťky 2 mm, umístěných vždy od klenby tunelu po boční drenáže, nacházející se na vnější straně základových pásů. Izolace byla upevněna na vyrovnávací vrstvu z jemnozrného stříkaného betonu, která kopírovala vnitřní líc primárního ostění a vyrovnávala povrchové nerovnosti. Izolace pak byla osazena a svařena tak, že respektovala rozšíření výrubu nutná pro zhotovení předstihových deštníků a celý prostor uvnitř byl až k lici sekundárního ostění vyplněn betonem.

### TUNELOVÁ DRENÁŽ

Pro odvedení vod prosakujících horninovým masívem ke konstrukci tunelu byly pro každou tunelovou rouru použity dvě perforované plastové trubky DN150, podkovovitého tvaru s rovným dnem. Umístěny byly do betonového lože mezi základovými pásy a primární obezdívkou a obsypány říčním štěrkem. Vzhledem k tomu, že je tunel veden ve vrcholovém oblouku s poloměrem 25 000 m, bylo nutno umístit drenážní trubky tak, aby bylo dosaženo min. podélného spádu 0,5 %. To vedlo k tomu, že uprostřed tunelu je drenáž umístěna o něco výše a u portálů naopak o něco níže, než by byla optimální poloha. Vzhledem k tolerancím v prostoru pro vedení drenáže je však toto řešení možné. Šachty pro čištní drenáže jsou situovány po 48 m, což je i přes minimální spád dostatečná vzdálenost, aby bylo možno drenáž udržet funkční po celou dobu životnosti tunelu. Každá šachta sestává ze dvou čisticích otvorů o rozměrech 60 x 40 cm, umístěných za sebou v podélném směru a překrytých litinovými poklopy s těsněním proti pronikání kapalín. U portálových a hloubených bloků byla drenáž vyvedena na vnější stranu konstrukce a místo zásyvu štěrkem byl použit filtrační beton.

### ODVODNĚNÍ VNITŘNÍHO PROSTORU TUNELU

Ve vnitřním prostoru tunelu jsou instalovány dva druhy odvodnění. Jedním je odvodnění podkladních vrstev vozovky a druhým odvodnění vod z vozovky, nouzových chodníků a stěn tunelu. V prvním případě se jedná o „čistou“ vodu, která může nastoupat odspodu přes neizolovanou spodní klenbu, případně proudit podkladními vrstvami vozovky od portálů a ve druhém případě jde o „špinavou“ vodu, která je do tunelu zanesena buď provozem vozidel, nebo vodu použitou pro čištění tunelu.

Odvodnění podkladních vrstev vozovky bylo řešeno podobně jako u tunelo-

## TUNNEL WATERPROOFING AND DRAINAGE

### WATERPROOFING

With respect to a sufficient depth of the water table, it was possible to drain both tunnel tubes. Therefore it was necessary to protect the structure against rain water only, seeping through the low and permeable overburden. Intermediate waterproofing membrane 2mm thick was applied, installed from the tunnel crown to the side drains found on the outer side of the strip foundation. The membrane was fixed on a levelling layer of fine-grained shotcrete, copying the internal face of the primary liner and removing the surface roughness. The membrane was installed and welded in a manner respecting the excavation enlargements needed for execution of the pre-grouting umbrellas, and the whole space up to the secondary liner's face was filled with concrete.

### TUNNEL DRAINAGE

Two perforated, horseshoe-shaped pipes DN150 with flat bottom, were used for each tunnel tube to evacuate water seeping through the rock mass to the tunnel structure. They were placed in concrete bed between the foundation strips and primary liner, and backfilled with pebble. Due to the fact that the tunnel alignment is a convex curve, on a radius of 25,000 m, the drainage pipes had to be placed so that the drainage gradient was not less than 0.5%. This resulted into the drainage position a little higher at the tunnel middle, and a little lower at the portals than an optimal position would have been. Although, this solution is viable thanks to the tolerances in the space available for the drainage routing. The drainage cleaning manholes are situated at intervals of 48 m. This distance is, despite the minimal gradient, satisfactory for keeping the drainage operational for the whole lifetime of the tunnel. Each manhole consists of two cleaning holes 60x40 cm, positioned in tandem in the drainage direction, and covered with cast-iron covers sealed against penetration of liquids. At the portal blocks and cut-and-cover blocks, the drainage was routed to the external side of the structure. Filtration concrete was used for the backfill instead of pebble.

### DRAINAGE OF THE TUNNEL INTERIOR

Two drainage systems are installed in the tunnel interior. One system is the drainage of the sub-base courses, the other one is the drainage of water from the carriageway, emergency pavements and tunnel walls. The former system evacuates "clean" water, which can rise from the bottom through the uninsulated invert or flow through the sub-base courses from the portals. The latter system deals with "dirty" water, brought to the tunnel either by the traffic, or water used for the tunnel cleaning.

The sub-base courses drainage was solved similarly to the tunnel drainage, i.e. by horseshoe shaped plastic perforated pipe DN150 with flat bottom. A levelling concrete layer at a 2.5 % crossfall was cast on the invert, whose lower edge the pipe was embedded on. The drainage is connected to the cleaning manholes on the side tunnel drainage. It is also cleaned up from these manholes. At the portals, both this drainage and the tunnel drainage discharge to a seepage pit.

To evacuate the "dirty" water, a slot channel combined with a curb was installed at the right edge of the road (viewed looking in the traffic direction). The horizontal slot is 3 cm wide, and its position is at the road edge, next to



Obr. 11A Prefabrikát šterbinové odpadní roury s otevřenou šterbinou

Fig. 11A Precast unit of the slot channel, with open slot



Obr. 11B Ditto s uzavřenou šterbinou

Fig. 11B Ditto with the closed slot



Obr. 12 Prefabrikát horní části syfonu šterbinové odpadní roury s normou stěnou

Fig. 12 Precast unit of the upper part of the interceptor on the slot channel with the baffle wall

vé drenáže plastovou perforovanou trubkou DN150, podkovovitěho tvaru s rovným dnem. Na spodní klenbu byla vybetonována vrstva vyrovnávacího betonu s příčným spádem 2,5 %, do které byla trubka na spodním okraji osazena. Drenáž je svedena vždy po 48 m do čistících šachet boční tunelové drenáže, odkud je také čistěna. U portálů pak je tato drenáž odvedena spolu s tunelovou drenáží do vsakovací jámy.

Pro odvedení „špinavých“ vod byla osazena vždy u pravého okraje vozovky ve směru jízdy štěrbínová odpadní roura, kombinovaná s obrubníkem. Štěrbina je široká 3 cm a je umístěna vodorovně na kraji vozovky před obrubníkem. Pro výpočet kapacity odvodnění byl proveden hydraulický výpočet. Vzhledem k nízkému podélnému spádu bylo akceptováno řešení odvedení vody s časovým zpožděním. To znamená, že hlavním kritériem bylo rychlé odvodnění plochy vozovky, přičemž vlastní odtok vody uvnitř štěrbínové roury je rozložen na delší časové období. Aby bylo v případě nehody a výtoky hořlavých látek zabráněno hoření uvnitř štěrbínové roury, byly v závislosti na podélném sklonu po každých 48 – 108 m osazeny syfony a štěrbina vždy 9 m před a za syfonem uzavřena. Plocha štěrbínové roury byla zvolena s ohledem na nízký spád a syfony 514 cm<sup>2</sup>. Podmínkou bylo, že nesmí dojít ke zpětnému vytékání hromadící se kapaliny zpět na vozovku. Tomu zabráňuje uzavření štěrbiny před syfonem. Vzdálenost mezi syfony vymezuje spolu s plochou vtokové štěrbiny potřebnou kapacitu pro odvedení předepsaného množství 50 000 litrů kapaliny v požadovaném čase 20 min., přičemž je splněna i podmínka, že kapalina bude pojmuta štěrbinou v délce max. 200 m. Průměrný odtok přitom dosahuje při zvolené odtokové ploše, daném podélném spádu a rozmístění syfonů, které proudění kapaliny brzdí 40l/s. „Špinavé“ vody byly u portálů svedeny z obou tunelových trub do kalových jámek.

Pro čištění štěrbínové roury byly po každých 48 m osazeny čistící šachty. U každého syfonu jsou dva otvory o rozměrech 19 x 36 cm, umístěné vždy před a za nornou stěnou a překryté přišroubovaným poklopem z nerezového plechu, zaručujícím těsnost proti pronikání vzduchu a kapalin. Mimo syfony je čistící šachta tvořena jedním otvorem o rozměrech 20 x 36 cm a překrytý stejným způsobem. V místě syfonů bylo nutno provést přerušení průběžného základového pasu, neboť odvodnění bylo uloženo na něm a pro provedení syfonu byla potřeba větší hloubka. Celý odvodňovací systém štěrbínové roury (jakož i obrubníky a desky nouzových chodníků) byl sestaven z prefabrikátů, uložených do maltového lože, které byly vyrobeny v místní betonárně dle projektové dokumentace. Zejména u norných stěn syfonů se jednalo o velmi komplikované tvary, jejichž zabetonování nebylo jednoduchou záležitostí a muselo se betonovat natřikrát. Přesto však byla výroba prefabrikátů zvládnuta v požadovaném čase a ve vynikající kvalitě. Příčné spáry byly při osazování vyplněny maltou.

## VNITŘNÍ KONSTRUKCE

Vnitřní konstrukce tunelu, které byly součástí kontraktu, tvoří vozovka, nouzové chodníky a příčky ve výklencích pro elektrotechnická zařízení. Vozovka je v každé tunelové rouře široká 7,7 m a skládá se z následujících vrstev:

- obrusná asfaltbetonová vrstva tloušťky 6 cm se zesvětlovací příměsí;
- nosná asfaltbetonová vrstva tloušťky 12 cm;
- vrstva drceného kameniva (kufř) tloušťky 52 cm.

Nouzové chodníky jsou umístěny oboustranně a mají šířku min. 90 cm. Od vozovky jsou odděleny železobetonovým obrubníkem tl. 20 cm, resp. štěrbínovou odvodňovací rourou, které jsou uloženy do maltového lože na základových pasech. Konstrukci chodníku tvoří železobetonová deska tloušťky 13 cm, osazená na vnitřní straně do vybraní obrubníku, resp. štěrbínové roury a na vnější straně na výstupku sekundární obezdívky, k tomuto účelu zhotovenému již při její betonáži. Na tomto výstupku byl nejprve uložen vyrovnávací beton, tak aby měly desky chodníku po osazení dostředný sklon 2 %, poté umístěny neoprénové pásy, na které byly desky položeny a spáry vyplněny maltou. Nakonec byly rozšířené konce spar u horního povrchu vylity asfaltem, aby nedocházelo k zatékání vody pod chodníky při čištění tunelové obezdívky. V prostoru pod chodníky jsou umístěny kabelové kanály. Kabely jsou v nich volně uloženy do pískového lože. Kabelové kanály byly po každých 50 m odvodněny do prostoru kufř pod vozovkou. V místě výklenků pro elektrotechnická zařízení jsou kabely vyvedeny stranou do výklenku. Před portály jsou pomocí chrániček odvedeny do kabelových tras volné trasy dálnice.

Pro oddělení prostoru tunelu od elektrotechnických zařízení ve výklencích byly vybudovány dělicí příčky, umístěné přibližně tangenciálně k vnitřnímu líci sekundárního ostění. V nich jsou osazeny jednokřídlové dveře o rozměrech 70/210 cm, zajišťující přístup obsluhy k zařízením uvnitř výklenků.

## VYBAVENÍ TUNELU

Vzhledem k tomu, že tunel Sveti Marko je krátký, tvoří jeho provozní vybavení pouze osvětlení, dopravní značení, elektrotechnická zařízení ve výklencích, kabelové trasy a uzemnění. Vybavení bylo realizováno místními specializovanými firmami, ke stavební části náleželo pouze uzemnění. To bylo

the curb. A hydraulic analysis was carried out to determine the drainage capacity. Because of the low gradient a system of delayed evacuation of water was adopted. This means that the main criterion was a quick evacuation of water from the road pavement, while the water outflow from the channel is distributed over a longer time period. To prevent burning of a flammable substance inside the slot channel in a case of accidental spillage, there are interceptors installed every 48-108 m (depending on the channel gradient), and the slot is closed 9m before and behind each interceptor. The cross section area of the slot channel of 514 cm<sup>2</sup> was designed with respect to the low gradient and interceptors. The necessary condition was that the accumulating liquid could not flow back on the road pavement. Such an event was prevented by the slot closure before the interceptor. The capacity of the drainage system is determined by the distance between the interceptors and the area of the intake slot. Specifications require a capacity of 50,000 litres of liquid to be evacuated within 20 minutes, while the liquid has to be taken in within the slot length of 200 m as a maximum. Under such the conditions, i.e. the chosen area of passage, the given gradient and spacing of the interceptors decelerating the flow, the average outflow reaches 40 litre/s. The "dirty" water from both tunnel tubes was collected to settling tanks.

Manholes for cleaning the slot channel were installed every 48 m. There are two openings at each interceptor, with dimensions of 19x36 cm. They are positioned before and behind the baffle wall, covered with bolted stainless steel sheet cover guaranteeing air- and liquid-tightness. Apart from the interceptors, the cleaning manhole has one opening with dimensions of 20x36cm, and is covered identically. The continuous strip foundation had to be interrupted at the interceptor locations since the drainage was placed on it, and the construction of the interceptor required bigger depth. The whole slot channel drainage system (as well as the curbs and slabs of emergency pavements) was assembled from precast elements produced at local batching plant according to drawings. Namely the interceptor baffle walls with their complicated shapes were difficult to form, and they had to be cast in three steps. Despite that fact, the prefabrication was coped with within the time required and in excellent quality. Transverse joints were filled with mortar during the installation.

## INTERNAL STRUCTURES

Internal tunnel structures which were covered by the contract were the carriageway, emergency pavements and partition walls in the niches for electrical equipment. The carriageway is 7.7 m wide in each tunnel tube. It consists of the following courses:

- asphaltic concrete wearing course, 6 cm thick, with a lightening admixture
- asphaltic concrete bearing course, 12 cm thick
- crushed aggregate course (road bed), 52cm thick

Emergency pavements minimally 90 cm wide are along both sides of the tunnel. They are separated from the carriageway by 20cm thick reinforced concrete curbs, i.e. slot channel prefabricates, placed into mortar bed on foundation strips. The pavement structure is formed by a reinforced concrete slab, 13cm thick, locked on its internal side into a recess in the curb, or in the slot channel, and resting on its external side on a step projecting from the secondary liner, prepared for this purpose in the casting phase. First a levelling concrete layer was spread on this step so that the pavement slabs were on a slope towards the centre of 2 %. Neoprene strips were placed then, and the slabs were laid on them. Joints were backfilled with mortar. Eventually asphalt was poured to the widened ends of the joints, preventing water seepage under the pavements during the tunnel lining clean up. Under the pavements there are cable ducts. They contain cables freely placed in a sand bed. The cable channels were drained every 50 m into the road bed space under the carriageway. The cables have branches at the locations of niches for electrical equipment, leading to the niches. In front of the portals, they are routed to the cable runs leading along the free highway alignment. To separate the tunnel space from the electrical equipment in the niches, partition walls were built, located roughly tangentially to the internal face of the secondary liner. They contain single-wing doors with dimensions of 70 x 210 cm allowing access of the operators to the equipment inside the niches.

## THE TUNNEL EQUIPMENT

As the Sveti Marko tunnel's length is quite short, its operational equipment consists of lighting, road signs and marking, electrical equipment in the niches, cable runs and grounding system. This equipment was supplied by local specialist firms. The grounding system only was part of the civil works contract. It was carried out by means of a continuous ground conductor, FeZn strip 30x40 mm, led at the upper part of the foundation strips, on the left-hand side of the tunnel (viewed looking in the traffic direction). The grounding of the electrical equipment contained in the niches, as well as concrete reinforcement of the blocks which they were installed in, were con-



provedeno pomocí průběžného zemnicího pásu Fe/Zn 30 x 4 mm, vedeného v horní části základových pasů na levé straně tunelu ve směru jízdy. Na něj byla vodivě připojena výztuž v těch tunelových blocích, kde byla osazena a uzemnění elektrotechnických zařízení ve výklencích. Osvětlení je napájeno z výklenců, elektrickým vedením umístěným na povrchu ostění a vedeným dále v zavěšeném korýtku, souběžně s linií osvětlení. U portálů je kromě průběžného tunelového osvětlení instalováno také akomodační osvětlení pro snazší překonání rozdílu intenzity světla vně a uvnitř tunelu.

## ZÁVĚR

Tunel Sveti Marko je vydařeným příkladem moderního tunelového stavitelství, uskutečněným v zemi, která byla až dosud pro výstavbu tunelů spíše exotická. Tento úspěšný průlom byl umožněn díky důvěře zadavatele ve zkušenosti projektanta a prováděcí firmy a díky dovednostem zaměstnanců místních dodavatelských firem, kteří se pod odborným vedením zahraničních expertů rozhodnou měrou zasloužili o zdárný průběh výstavby. Přestože byli všichni zúčastnění postaveni před nelehkou úlohu, vyprojektovat a vybudovat dílo ve složitých geologických poměrech v neznámých podmínkách dodavatelsko-odběratelských vztahů (účast místních firem na výstavbě byla podmínkou zadavatele při vypisání soutěže) a postupovat zčásti podle nezažitých a neověřených národních normových a směrniceových podkladů, přičemž byl kladen velký důraz na kvalitu a zároveň přijatelnou cenu, podařilo se všechna kritéria splnit.

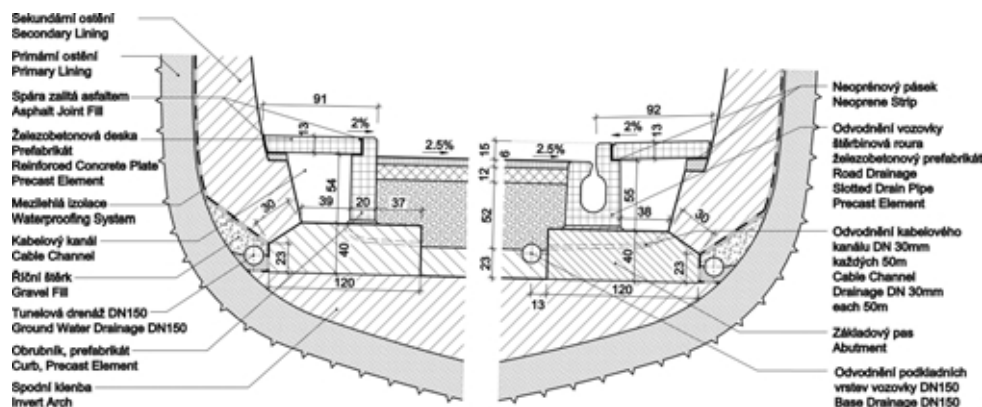
Výsledkem je tunel jednoduché konstrukce, opticky vydařeného vzhledu, nezatěžující okolní prostředí a svou funkcí plně vyhovující danému účelu, navíc pořízený za přiměřené náklady. Na tomto místě se nabízí úvaha, zda by právě tento tunel neměl být příkladem pro nové tunely, které se budou v blízké době realizovat v síti českých a slovenských dálnic, nebo i v jiných zemích, kde je obdobná konfigurace terénu i hospodářská situace, a zda by zkušenosti, získané realizací tunelu Sveti Marko, ať už ze strany zadavatele, nebo zhotovitelů, neměly být v budoucnu uplatněny v praxi i v jiných regionech. Zřejmě nelze pochybovat o tom, že by to bylo jen ku prospěchu věci.

## ZÁKLADNÍ TECHNICKÁ DATA

Název stavby: Tunel Sveti Marko  
Umístění: Dálnice Záhřeb – Rijeka, 15 km jihozápadně od města Karlovac  
Zadavatel: Institut Građevinarstva Hrvatske d.d.  
Autocesta Rijeka – Zagreb d.d.  
Projektant: ILF Consulting Engineers  
Zhotovitel: Bau Holding (Strabag/Ilbau Austria) s místními subdodavateli  
Délka: levá roura – 265 m, pravá roura – 288 m  
Počet jízdních pruhů: 2 + 2  
Délka ražená část: levá roura – 243 m, pravá roura – 231 m  
Mocnost nadloží: 2 – 22 m  
Délka hloubené části: levá roura – 22 m, pravá roura – 57 m  
Mocnost přesypu: 1 – 3 m  
Náklady na 1 km tunelové roury (stavební část): 19 600 EUR (z toho 1/3 inženýrské deštříky, 1/3 razba a zajištění výrubu a 1/3 sekundární obezdívka a vnitřní konstrukce)  
Doba výstavby: 01/99 – 10/99

## PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ ČLÁNKU

ILF – Projekt realizace tunelu Sveti Marko  
ILF – Dokumentace skutečného provedení tunelu Sveti Marko  
ILF – Fotodokumentace výstavby tunelu Sveti Marko



Obr. 13 Příčný řez konstrukcemi nouzových chodníků  
Fig. 13 Cross section through the emergency pavement structures

nected to the conductor. The lighting is fed from the niches, by electric lines installed on the lining surface and further placed in a suspended cable tray, in parallel with the lighting line. At the portals, an accommodation illumination is installed in addition to the regular tunnel lighting, making it easier to overcome the shock of the difference in the light intensity outside and inside the tunnel.

## CONCLUSION

The Sveti Marko tunnel is a good example of results of the modern tunnelling industry, achieved in a country, which has been considered rather exotic in the tunnelling sphere. This successful breakthrough was possible thanks to the employer trusting the engineering consultant's and main contractor's experience, and owing to the skill of employees of local contractors, who, led by foreign experts, gained a major share of recognition for the successful development of the construction. Although all participants had to face the difficult task of designing and implementing the works in a complex geology, unknown conditions of supplier-customer relations (the participation of local companies in the works was employer's tender condition), and working partially according to unabsorbed and unproven national standards and directives while great stress was placed on both the quality and reasonable cost, all the criteria were successfully met.

The result is a tunnel of a simple design, optically excellent appearance, imposing no burden on the environment, perfectly serving its purpose through its smooth operation, and, in addition, built at a reasonable cost. An idea suggests itself at this place whether just this particular tunnel should not become a paradigm serving for new tunnels to be built in the close future within the network of Czech and Slovak highways, or in other countries where there are similar terrain configuration and economic conditions, and whether the experience gained by constructing the Sveti Marko tunnel, by both the employer and contractors, should not be applied in practice even in other regions. Obviously there is no doubt that this would be beneficial for the things.

## BASIC TECHNICAL DATA

Construction name: Sveti Marko Tunnel  
Location: Zagreb – Rijeka highway, 15 km south-west from Karlovac  
Employer: Institut Građevinarstva Hrvatske d.d.  
Autocesta Rijeka – Zagreb d.d.  
Engineering consultant: ILF Consulting Engineers  
Contractor: Bau Holding (Strabag/Ilbau Austria) and local subcontractors  
Length: left-hand tube – 265 m, right-hand tube – 288 m  
Number of lanes: 2+2  
Mined part length: left-hand part – 243 m, right-hand part – 231 m  
Cover thickness: 2-22 m  
Cut-and-cover part length: left-hand tube – 22 m, right-hand tube – 57 m  
Backfill thickness: 1-3 m  
Cost of 1 km of the tunnel tube (civil part): EUR 19,600.00 (out of that 1/3 for grouting umbrellas, 1/3 for excavation and excavation support, and 1/3 for secondary lining and internal structures)  
Construction period: 01/99 – 10/99

## SOURCES FOR CREATION OF THE PAPER

ILF – Detailed design of the Sveti Marko tunnel  
ILF – As-built documentation of the Sveti Marko tunnel  
ILF – Progress photographs of the Sveti Marko tunnel construction

# RAŽBA A GEOTECHNICKÝ MONITORING PRŮZKUMNÝCH ŠTOL TUNELU PANENSKÁ

(stavba 0807/II-J, dálnice D8)

## EXCAVATION AND GEOTECHNICAL MONITORING OF EXPLORATORY GALLERIES OF THE PANENSKÁ TUNNEL

(structure 0807/II-J, D8 highway)

Ing. JAN KVAŠ, METROSTAV, a. s.

Ing. PAVEL GAJDOŠ, SG GEOTECHNIKA, a. s.

### ÚVOD

Záměrem autorů předloženého příspěvku je seznámit širší a odbornou veřejnost s pracemi probíhajícími při ražbě dvou průzkumných štol pro plánovaný dálniční tunel Panenská na stavbě dálnice D8 Praha – Ústí nad Labem – státní hranice ČR/SRN. Investorem akce je Ředitelství silnic a dálnic ČR, zhotovitelem průzkumných štol Metrostav, a. s. – Divize 5 a nositelem inženýrskogeologického průzkumu a geotechnického monitoringu firma Arenal, s. r. o., ve spolupráci s akciovou společností SG – Geotechnika. Generálním projektantem je firma Valbek, spol. s r. o., spolupracující s německou společností Bunk, zpracovatelem RD je Pragoprojekt, a. s., a firma Tubes.

### CÍLE PRŮZKUMNÝCH ŠTOL

Hlavním cílem průzkumných štol, tak jak je uvedeno v RD a v projektu geotechnického monitoringu, je zpřesnění doplňkového geotechnického průzkumu (připortálových úseků) pro dálnici D8 – stavbu 0807/II Knínice – státní hranice ČR/SRN, který v roce 1998 zpracovala firma Arenal, s. r. o., Praha. Zmíněný průzkum byl veden z povrchu pomocí jádrových vrtů v kombinaci s geofyzikálními metodami a polními zkouškami. Průzkumné štoly slouží k získání detailnější představy o geologických, hydrogeologických a geotechnických poměrech na jižním a severním portálu tunelu. Výsledky průzkumných prací budou využity při vypracování prováděcího projektu tunelové stavby.

Během ražeb jsou kromě geologických, hydrogeologických a tektonických jevů zaznamenávány i informace o průběhu razících prací, stabilitě výrubů, tvorbě nadvýlomů apod. Současně s ražbou je prováděn geotechnický monitoring, který slouží jednak provozním potřebám ražby vlastních průzkumných děl, jednak pro získání představy o deformačních vlastnostech horninového masívu a jeho reakcích na umělé zásahy pro účely následné interpretace a aplikace na velký tunel. Výsledky komplexu prací budou dále sloužit k upřesnění technologie ražby, k stanovení rážnosti hornin, k specifikaci charakteristických geotechnických parametrů horninového masívu (vstupní data pro statická a jiná řešení), k zařazení horninových celků do tunelářských klasifikací apod.

V neposlední řadě je nutné zmínit i celospolečenský dopad průzkumných prací na realizaci tohoto náročného úseku dálnice.

### UMÍSTĚNÍ A VEDENÍ TRASY BUDOUCÍHO TUNELU

Tunel je součástí stavby 0807 (Trmice – st. hranice). Trasa dálnice naváže na německé straně na trasu spolkové dálnice A 17. Staveniště je situováno ve vrcholové partii východní části Krušných hor. Severní portál je umístěn přibližně 400 m severozápadně od osady Panenská, jižní portál přibližně 1 km severovýchodně od obce Nakléřov. Délka projektované tunelové trasy je asi 2 km. Uvažováno je s výstavbou dvou tunelových trub. Osa tunelů není přímá – tunely budou vedeny v oblouku. Kromě překonání morfologické konfigurace terénu budou tunely převádět silniční dopravu i pod oblastí s významnými krajinnými prvky, zoologickou lokalitou a pásmem hygienické ochrany vodního zdroje. Tunely se budou jak u severního, tak i u jižního portálu zahlubovat kose k vrstevnicím terénu. Tunely budou podcházet neosídlené, nezastavěné území tvořené pozemky charakteru louka, pastvina a les. Jediným umělým objektem na povrchu, který bude trasa díla křížit, je místní silniční komunikace Nakléřov – Petrovice.

### ZÁKLADNÍ ÚDAJE O PRŮZKUMNÝCH ŠTOLÁCH

Průzkumné štoly jsou situovány v připortálových úsecích. Pracovně jsou díla označována jako „jižní štola“ a „severní štola“. Cílem průzkumných štol je zpřesnění podrobného geologického průzkumu, jako podkladu pro další stupně projektové dokumentace. Obě štoly mají naprojektovány shodné technické parametry. Délka každé štoly činí 150 m. Příčný profil štol je podkovovitý, jeho plocha se pohybuje v rozmezí od 21,68 do 23,67 m<sup>2</sup> v závis-

### INTRODUCTION

It is intention of authors of this contribution to inform the broader as well as professional community of the works advancing at excavation of two exploratory galleries for the designed highway tunnel Panenská on section of the D8 highway Prague – Ústí nad Labem – national border CR/Germany. The directorate of roads and motorways of the CR is the investor, Metrostav, a. s. – Division 5 the contractor for the exploratory galleries. Arenal s.r.o., in cooperation with the joint-stock company SG – Geotechnika, is responsible for the engineering-geological exploration as well as geotechnical monitoring. The company Valbek s.r.o. cooperating with a German company Bunk is the performance design (PD) suppliers.

### PURPOSES OF THE EXPLORATORY GALLERIES

It is the main purpose of the exploratory galleries, such as stated in the PD and design for geotechnical monitoring, to refine the supplementary geotechnical exploration (by-portal sections) for the D8 highway – structure 0807/II Knínice – national border CR/Germany, which was elaborated by Arenal s.r.o. Praha in 1998. This exploration was conducted from the surface using core bores in combination with geophysical methods and field tests. Exploratory galleries help to obtain more detailed idea of geological, hydrogeological and geotechnical conditions by southern and northern tunnel portal. Results of the exploratory works will be used during elaboration of performance project of the tunnel structure.

Beside geological, hydrogeological and tectonic phenomena, also information on the course of excavation works, stability of excavated openings, formation of overbreaks etc. are taken down during the excavation. A geotechnical monitoring is carried out along with the excavation, which serves to cover operational needs of excavation of the own exploratory works as well as to obtain idea about deformation properties of the rock massif and its reactions to artificial impacts for the purposes of subsequent interpretation and application on the large tunnel. Results of a set of works will further serve to refine the excavation technology, determination of the rock excavation level, specification of the characteristic geotechnical parameters of rocky massif (input data for static and other solutions), classification of rock complexes into tunneling classes etc.

Last but not least it is necessary to mention the general social impact of the exploratory works on realization of this complicated highway section.

### LOCATION AND ALIGNMENT OF THE FUTURE TUNNEL

Tunnel is a part of the 0807 structure (Trmice – national border). The alignment on the German side will continue by the A17 highway. The construction yard is situated within mountainous section of the Eastern Krušné mountains. Northern portal is located app. 400 m to northwest of the Panenská settlement, southern portal then app. 1 km northeast of the village Nakléřov. Length of the designed tunnel route reaches app. 2 km. Construction of two tunnel tubes in being considered. Tunnel axis is not linear – tunnels will be conducted in a curve. Beside overcoming the morphologic terrain configuration, tunnels will also transfer road traffic below areas with significant landscape elements, such as a zoological locality and a zone of water sources protection. By both northern and southern portal, the tunnels will be excavated at an angle to the terrain contour lines. Tunnels will underpass unsettled area consisting of parcels characterized by meadow, pasture and forest. The only man-made object on the surface, crossed by the route of the work, is the local road Nakléřov – Petrovice.



losti na vystrojovací třídě (z hlediska vžitých klasifikací se názvoslovně jedná spíše o „průzkumný“ tunel – hranice mezi tím, co nazýváme štolou, a co tunelem je  $16 \text{ m}^2$ ). Na základě zhodnocení předchozích prací byly pro ražbu průzkumných štol vyčleněny 3 vystrojovací třídy A, B a C. Při jisté dávce zjednodušení a schematizace lze jednotlivé vystrojovací třídy ve vztahu k podmínkám ražby a horninového prostředí charakterizovat následovně: vystrojovací třída A – kvalitní horninové prostředí, vystrojovací třída B – průměrné horninové prostředí, vystrojovací třída C – nestabilní horninové prostředí. Při ražbě je využíváno principů NRTM (stříkaný beton, betonářské sítě, poddajná výztuž – příhradové ramenáty Vammtex zkroužené do předepsaného tvaru, systematické kotvení hydraulicky rozpínanými svorníky typu Boltex 12 délky 3 m ve štolě a 6 m v kalotě, kontrolní sledování). Hornina je rozpojována pomocí trhacích prací. K trhacím pracím je používána plastická trhavina Danubit. Obě štoly jsou raženy ve vrcholu budoucí kaloty tunelové trouby; severní štola je ražena v levé (západní) a jižní štola v pravé (východní) troubě. Severní štola je ražena úpadně, jižní dovrchně, obě se sklonem 3,95 %. V místech se zhoršenými stabilitními poměry jsou štoly na 40 m dlouhém zkušebním úseku přibírány a přestrojovány na profil kaloty budoucího tunelu. Pro tyto účely je definována samostatná vystrojovací třída C – kalota. Ostění štol i v rozšíření na kalotu je pouze primární.

Před zahájením vlastní ražby bylo nutné zbudovat přístupové komunikace k oběma portálům (severní v délce 220 m, jižní 1492 m). Obě komunikace byly, z důvodu co nejmenšího narušení původního porostu, v maximální možné míře vedeny po stávajících nepevných lesních cestách. V těsné blízkosti obou portálů jsou zbudována dočasná pracoviště, která se z důvodu minimalizace ekologické zátěže tohoto území při provádění průzkumných prací skládají pouze ze zázemí nezbytně nutného pro realizaci vlastních ražeb – převážná část souvisejících technologií je situována mimo dotčenou lokalitu.

Stavební práce na přístupových komunikacích, skřívce lesní půdy a vybudování přoportálových zářezů včetně zajištění vlastních portálů byly zahájeny v říjnu loňského roku, vlastní ražba pak začala 5. dubna slavnostním uložením sv. Barborky, patronky všech horníků a tunelářů, kterého se účastnili jak čeští, tak i němečtí přední zástupci z řad politiků a odborníků. Termín dokončení průzkumných štol je 31. 10. 2002.

Při ražbě severní i jižní štoly byly použity v podstatě shodné strojní sestavy skládající se z vrtacího vozu SECOMA, hydraulické zvedací plošiny KTR M2, rypadla JCB 3CX 4x4, nakladače VOLVO 120C na jižním a přepravníkového nakladače 4LF.1GHH na severním portále.

#### BASIC DATA ON THE EXPLORATORY GALLERIES

Exploratory galleries are located within portal sections. The works are unofficially called "southern gallery" and "northern gallery". It is the purpose of exploratory galleries to refine the detailed geological exploration as a framework for further steps of project documentation. Both galleries are designed with the same technical parameters. Length of each gallery is 150 m. Galleries' cross profile has a horseshoe shape, its area ranges between  $21,68$  and  $23,67 \text{ m}^2$  depending on the support class (from the viewpoint of common classification it is rather an "exploratory tunnel" – there is a  $16 \text{ m}^2$  limit between what is still called a gallery and what a tunnel). Based on evaluation of preceding works, three equipment classes A, B and C were designated for excavation of the exploratory galleries. With some simplification and schematization it is possible to characterize the individual support classes in relation to excavation conditions and rock environment in the following way: support class A – high-quality rock environment, support class B – average rock environment, support class C – unstable rock environment. NATM methods (shotcrete, reinforcing mesh, yieldable lattice girders Vammtex shaped into required form, systematic anchoring using hydraulically expandable bolts of Boltex 12 type with length of 3 m in the gallery and 6 m in the calotte, controlling supervision) are used during the excavation. The rock is broken using blasting works. Plastic explosive Danubit was used during the blasting works. Both galleries are being excavated at top of future calotte of the tunnel tube, northern gallery in the left (western) and southern gallery in the right (eastern) tube. Northern gallery is being excavated downhill while the southern uphill, both with an 3,95 % incline. In places with worse stability conditions are the galleries enlarged on a 40 m long trial section and their support changed to match the profile of the future tunnel calotte. For these purposes, an individual support class C – calotte is defined. Also this enlarged section is supported by primary lining only.

Before commencement of the own excavation, it was necessary to construct access roads to both portals (220 m long to northern one and 1492 to southern one). Both roads were, from reasons of lowest possible damage to the original forest, in most feasible cases conducted along existing unpaved forest pathways. Temporary workplaces were established in close vicinity of



Obr. 1 Severní portál  
Fig. 1 Northern portal





Obr. 2 Provádění tahových zkoušek hydraulicky upínaných svorníků typ BOLTEX 12  
Fig. 2 Execution of pull-out tests of the hydraulically expanded rockbolts of BOLTEX 12 type

the portals, and from reasons of minimization of ecological impact on these places they only consist of backup equipment essential for realization of the own excavation – prevailing part of coherent technologies is located outside the affected area.

Engineering works on the access roads, forest soil stripping, and on excavation of the portal cuts including the support of the portals began in October last year, the own excavation then began on April 5 by a ceremonial deposit of St. Barbara, a benefactor of all miners and tunnelers, in which both Czech and German top political and professional representatives took part. According to schedule, exploratory galleries will have been completed by October 31, 2002.

During excavation of northern as well as southern gallery, almost same mechanical sets, consisting of drilling set SECOMA, hydraulic elevating platform KTR M2, excavator JCB 3CX 4x4, loaders VOLVO 120C at the southern and the load-haul-dump 4LF.1GHH at the northern portal, were used.

#### GEOLOGICAL CONDITIONS

The future tunnel is located within the crystalline area of the Krušné mountains. It is a complex of regionally metamorphic rocks consisting of biotitic gneisses with bed-like positions and inlets of amphibolites, double-mica gneisses, paragneisses, metagranodiorites, polarized metapegmatites and metaaplitites from the Precambrian to the Lower Palaeozoic. From rocks of the Variscan age, streaks of granite porphyry are represented. All of the aforementioned rock types have been encountered during the during excavation of the exploratory works. As for so far not encountered rock types which are likely to occur in a tunnel constructed in such geological formation, for instance streak rocks from the lamprophyres, erlanes, quartzite gneisses etc can be mentioned.

Northern gallery including the pre-portal cut is localized into an area, which has been affected by an intense fossil erosion, occurring already in the Precretaceous era – erosion mantle was encountered by exploratory bores even below the Upper Cretaceous sandstones, which have been preserved as tectonic-denudating relics in the area and close vicinity of the Panenská settlement. Fossil erosion could have possibly continued even in the Tertiary. Erosion processes were supported by tectonic faults in the massive as well as by older hydrothermal metamorphoses probably spatially and genetically connected with the nearby deposit of fluorite and barite. The rocks are generally heavily altered. From alterations, mostly hematization and chlori-



Obr. 3 Rozšíření severní průzkumné štoly na profil budoucí kaloty velkého tunelu  
Fig. 3 Expansion of the northern exploratory gallery into future large tunnel calotte profile



## GEOLOGICKÉ POMĚRY

Budoucí tunel je situován do oblasti krušnohorského krystalinika. Jedná se o komplex regionálně metamorfovaných hornin tvořený biotitickými rulami s ložními polohami a vložkami amfibolitů, dvojslídnych rul, pararul, meta-granodioritů, usměrněných metapegmatitů a metaaplítů stáří prekambrium až spodní paleozoikum. Z hornin variského stáří jsou zastoupeny žíly granitových porfyrů. Všechny výše uvedené horninové typy byly ražbou průzkumných děl zastíženy. Z doposud nezastížných horninových typů, které lze při stavbě tunelu v této geologické formaci očekávat, lze uvést např. žilné horniny ze skupiny lamprofyrů, erlány, kvarcitické ruly apod.

Severní štola včetně předportálového zářezu je lokalizována do prostoru, který byl postižen intenzivním fosilním zvětráním, ke kterému došlo již v předkřídové době – zvětralinový plášť byl zachycen průzkumnými vrty i pod pískovci svrchní křídly, které se zachovaly jako tektonicko-denudační reliktů v prostoru a těsně okolí osady Panenská. Fosilní zvětrání mohlo částečně pokračovat i v terciéru. Zvětrávací procesy byly usnadněny jednak tektonickým porušením masívu, jednak staršími hydrotermálními přeměnami souvisejícími prostorově a geneticky pravděpodobně s nedalekým ložiskem flouritu a barytu. Horniny jsou vesměs silně alterovány. Z alterací byly popsány především hematitizace a chloritizace, méně sericitizace a kaolinizace.

Jižní štola byla ve své úvodní části ražena směrově po žile zbrídlíčnatělého metapegmatitu. Později přešla do zvětralého, rozpukaného a vcelku jednotvárného ortorulového komplexu.

Z měření drobných a středních tektonických prvků se jako dominantní tektonické směry jeví směr špičácký (SZ – JV) a směr krušnohorský (SV – JZ).

## HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

U severní štoly byla před zahájením ražby obava z potenciálně možných zvýšených přítoků do díla ze zaklesnutých tektonickodenudačních ker pískovců svrchnokřídového stáří, které tvoří lokální rezervoár podzemní vody. „Podfárání“ oblasti výskytu křídových reliktů se zvýšenými přítoky do štoly neprojevovalo. Přitoky puklinové vody do díla byly v průběhu ražby vcelku vyrovnané. Celkové přítoky do štoly se prozatím pohybují kolem 2,5 – 3 l/s. Katastrofické srážky, které postihly naši republiku v polovině srpna 2002, zapříčinily zastavení prací na 2 dny. Problémem nebyla ani tak podzemní voda, jako spíše voda povrchová. Během přívalových dešťů 11. – 13. 8. 2002 došlo k zatopení štoly povrchovou vodou ze srážek (úpadní dílo). Po odčerpání byly práce obnoveny.

U jižní štoly byl zastíženy zvodnělý puklinový systém, který se vzhledem k otevřenosti diskontinuit, sklonovým poměrům a malé kapacitě horninového prostředí velmi rychle doplňuje ze srážek a zároveň se i velmi rychle vyprazdňuje. Celkový přítok do díla se pohybuje kolem 3 l/s. V maximu, v období přívalových dešťů dosáhl odhadem cca 15 l/s.

## VÝKON GEOLOGICKÉ SLUŽBY

Od zahájení prací je na stavbě přítomna stálá geologická služba (2 pracovníci společnosti SG – Geotechnika), která pořízuje průběžnou primární geologickou dokumentaci a fotodokumentaci čeleb, vede správu databáze jednotlivých měření a zajišťuje odběr horninových vzorků pro mechanické zkoušky a petrografické rozborů. Po každém odstřelu je geologem zhodnocena kvalita výrubu a formou zápisu do provozní dokumentace doporučena odpovídající vstrojovací třída primárního ostění.

## GEOTECHNICKÝ MONITORING

Geotechnický monitoring zahrnuje následující měření:

- Konvergenční měření – v každé štolě je osazeno 7 pětiprvkových konvergenčních profilů, krok mezi profily je cca 20 m. Konvergence jsou měřeny jako absolutní – optickou metodou. Výsledky jsou bezprostředně po změření převedeny do grafické formy – v programu Arch-Tech, kterým je na stavbě vybaven počítač v geologické buňce. Konvergenční měření slouží jak pro ražbu průzkumných štol, tak i pro následné statické výpočty pro stavbu samotného tunelu. V místech rozšíření na kalotu jsou příslušné profily přestrojeny.
- Nivelace povrchu – ve shodných staničních s konvergenčními profily jsou osazeny a měřeny body pro přesnou nivelaci na povrchu. Cílem je zmapování poklesové kotliny v předportálových úsecích.
- Monitoring portálových stěn – vzhledem k požadavku zhotovitele štol byly na každé portálové stěně osazeny 4 monitorovací body.
- Extenzometrická měření – na 3 vrtech probíhají extenzometrická měření z povrchu. Extenzometry jsou osazeny jako čtyřstupňové.
- Na 2 vrtech jsou měřeny pórové tlaky.
- Pro upřesnění deformačních vlastností horninového masívu jsou v každé štolě naprojektována presiometrická měření (v každé štolě 3 presiometrické profily).
- Měření tlaků mezi stříkaným betonem a horninou a měření radiálních tlaků ve stříkaném betonu.
- Dále jsou prováděna seismická měření, sledování tahových zkoušek kotev a shromažďování vstupů pro matematická modelování.

## ZÁVĚR

V současné době je ukončena ražba na severním portále a na jižním probíhá

tization have been documented, in lesser scale also sericitization and kaolinization.

Southern gallery was in its initial section excavated in direction along a streak of slated metapegmatites. Later it proceeded into eroded, faulted and generally monotonous ortogneiss complex.

According to measurements of small and medium tectonic elements, the tectonic directions towards Špičák (NW – SE) and Krušné mountains (NE – SW) are predominant.

## HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS

As for the northern gallery before commencement of the excavation, there was an existing fear of potential increased inflows into the work from locked tectonic-denudating sandstone plates of the Upper Cretaceous age, which form the local groundwater reservoir. "Undermining" the occurrence area of the cretaceous relics had not had the effect of increased inflows into the gallery. Inflows of crevice water into the work have been relatively stable during the excavation. Total inflows into the gallery are so far estimated to reach app. 2,5 – 3 l/s. Disastrous rainfalls which affected our republic in mid August 2002 caused a suspension of works for 2 days. Rather than the groundwater, the surface one caused the problem. During heavy rainfalls of August 11-13 2002, one gallery (the downhill excavated one) was filled with surface rainfall water. All works were resumed after drainage.

A water saturated crevice complex was encountered in the southern gallery, which is being due to openness of fissures, slope conditions and small capacity of the rocky environment filled with rainfall water very quickly as well as very quickly drained again. The total water inflow into the work ranges around 3 l/s. It hit its maximum during the heavy rainfalls with app. 15 l/s.

## PERFORMANCE OF THE GEOLOGICAL SERVICE

Since the commencement of works, a permanent geological service (2 employees of SG – Geotechnika) has been present at the construction yard and elaborated a continuous primary geological documentation and photo-documentation of faces, managed administration of databases of individual measurements and provided selection of rock specimen for mechanical tests as well as petrographic analyses. Following every blasting, quality of the excavation is evaluated by a geologist and by means of entry into the operational documentation a correspondent support class of the primary lining is recommended.

## GEOTECHNICAL MONITORING

Geotechnical monitoring covers the following measurements:

- Convergence measurement – 7 five-element convergence profiles are installed in each gallery, distance between profiles is app. 20 m. Convergences are being measured as absolute – using optical method. The results are immediately after measurement transferred into graphic form – using Arch-Tech program, which is installed on a computer in the cabin used by geologists. Convergence measurement serves for both the excavation of exploratory galleries and subsequent structural analyses for construction of the own tunnel. The support in the places of the calotte enlargement is modified.
- Surface leveling – within same spots as convergence profiles, points for precise surface leveling are installed and measured. Their purpose is to map the settlement zones within portals sections.
- Monitoring of portals walls – with regards to request of the galleries' contractor, 4 monitoring points were installed on every portal wall.
- Extensometric measurements – extensometric measurements are proceeding from the surface in 3 bores. Four-level extensometers are installed.
- Porous pressures are being measured at 2 bores
- In order to specify deformation attributes of the rock massif, pressiometric measurements are designed for each gallery (3 pressiometric profiles in each gallery)
- Measurement of pressures between shotcrete and rock as well as measurement of radial pressures in shotcrete itself
- Furthermore, seismic measurements, monitoring of anchor pull-out tests and collection of data for mathematical modeling are being carried out.

## CONCLUSION

As of now, excavation of the northern portal is completed while at the southern one the gallery enlargement into future calotte profile is underway. Lower submitted data thus presents preliminary conclusions – by the time of preparation of this article the exploratory works have not yet been finished. Geological and hydrogeological conditions determined by the northern gallery are, contrary to those expected in design, slightly more favorable. Although the rocky massif is seriously tectonically faulted and moreover affected by widespread fossil erosion including hydrothermal alterations, stability of the excavation is generally good. The range of rocks degraded to

rozšíření štol na profil budoucí kaloty. Niže prezentované údaje tedy představují předběžné závěry – v době přípravy tohoto článku nebyly průzkumné práce ještě ukončeny.

Geologické a hydrogeologické poměry ověřené severní štolou jsou oproti projektem předpokládaným mírně příznivější. Přestože je horninový masív intenzivně tektonicky porušen a navíc postižen rozsáhlým fosilním zvětráním včetně hydrotermálních alterací, stabilita výrubů je vesměs dobrá. Rozsah hornin rozložených (degradovaných) až na materiál na přechodu mezi horninami a zeminami není vysoký. Jedná se spíše o několik dílčích úseků v poruchových zónách. Obávané „podfárání“ oblasti rozvlečených a zakleslých křídových ker (úseky s nebezpečím zvýšených přítoků ze zvodnělých pískovců) se na zvodnění výrubů výrazněji neprojevovalo. Převládajícím stupněm ražnosti (vyjádřeno vystrojovací třídou) je střední třída B. Deformační vlastnosti horninového masívu jsou dobré. Deformace zjištěné konvergenčními měřeními jsou nízké a po několika prvních dnech se ustálují. Maximální deformace nepřekračují hodnotu 1 cm. Podobně i nivelační měření na povrchu.

Geologické poměry, ověřené jižní štolou, prozatím v zásadě potvrzují původní předpoklady. Dílo bylo zpočátku (na plnou čelbu) vedeno tělesem usměrněného hrubozrnného metapegmatitu, na okrajích silně zbrzdličnatého. I když štola více či méně sledovala směr brzdličnatosti (strmé úklony k SSV až SV), stabilita výrubů byla dobrá (plochy diskontinuit byly převážně stupňovité, drsné – vyšší úhel tření na plochách oslabení horninového masívu). Přibližně v centrálním úseku štol se stabilitní poměry zhoršily. Štola přešla do zvětralého komplexu muskovit – biotitických ortorul. Ruly byly místy extrémně zvětralé (charakter soudržné zeminy). Zastoupení vystrojovacích tříd B a C v zásadě odpovídá projektu. Neuplatnila se pouze třída A. Avizovaná významnější akumulace podzemní vody zadržena za hydraulickou bariérou nebyla zastížena. Zvodnění je puklinové, puklinový systém je více méně otevřený. Plošný rozsah kolektoru není zřejmě vysoký. Doposud provedená měření a sledování naznačují jak na rychlé doplňování, tak i na rychlé vyprazdňování kolektoru. Výsledky konvergenčních i nivelačních měření jsou analogické jako v případě severní štol.

Projektem definované vystrojovací třídy primárního ostění se v podmínkách lokality poměrně dobře osvědčily. Průzkum potvrdil výrazně nižší podíl mechanicky rozpojitelých hornin než byl předpoklad. Podíl těchto hornin je zanedbatelný. Ražba probíhá pouze pomocí trhacích prací.

Geotechnický monitoring je prováděn od samého počátku zahájení prací. Byl prováděn jak při realizaci předzářezů, tak v průběhu výstavby vlastních štol. Geotechnický monitoring slouží pro kontrolu a řízení technologického postupu výstavby díla, zejména pro aplikaci jednotlivých druhů vystrojovacích tříd a sanačních prvků. Jeho výsledky budou dále sloužit pro příslušná statická řešení při aplikaci na vlastní tunel. Geotechnický monitoring představuje soubor měření a pozorování zaměřený na sledování a kontrolu reakce horninového prostředí na stavbu. Jsou také sledovány veškeré indukované účinky v okolí stavby. Výsledkem je observační metoda výstavby díla, která je typickým prvkem NRTM. Na základě doposud provedených prací lze konstatovat, že NRTM se jeví jako optimální metoda pro stavbu tunelů Panenská.

#### ZDROJE:

- Realizační dokumentace stavby 0807/II Část J – Průzkumné štol pro tunel Panenská zpracovaná firmou Pragoprojekt, a. s.
- Projekt prací geotechnického monitoringu průzkumných štol „tunelu Panenská (stavba 0807/II-J, dálnice D8)
- Geotechnický monitoring průzkumných štol tunelu Panenská – dílčí zpráva č.2 (Ing. Pavel Gajdoš, RNDr. Václav Hušner)



Obr. 4 Jižní portál  
Fig. 4 Southern portal

a material found at the transition limit of rocks to grounds is not high. These are rather several partial sections within faulted zones. The feared "undermining" of the area of diffuse and locked Cretaceous layers (sections with a danger of increased inflows from saturated sandstones) has not had any significant effect on water inflows into the excavation. The predominant rock excavation level (expressed using the support class) is the middle class B. Deformation attributes of the rock massif are good. Deformations ascertained through the convergence measurement are low and become stable after first few days. Maximum deformations do not exceed the value of 1 cm. It is quite similar with leveling measurement on the surface.

Geological conditions verified by the southern gallery so far generally confirm original expectations. The work since its very beginning has been conducted through a body of polarized rough-grained metapegmatite, significantly schistose on the edges. Although the gallery more or less copied the direction of schistosity (sharp turns between NNE and NE), the excavation stability is good (discontinuity areas were mostly gradual, rough – higher friction angle at areas of weakness planes in the rock massif). Stability conditions worsened approximately in the central gallery section. The gallery advanced to eroded complex of muscovite – biotitic orthogneisses. The gneisses were in certain spots extremely eroded (character of cohesive mould). Representation of the support classes B and C generally corresponds to the design. Only class A was not used. Estimated larger accumulation of groundwater kept behind the hydraulic barrier was not encountered. Water saturation is of the fissure type, the fissure system is more or less open. The area of the collector is obviously not large. Measurements and monitoring so far elaborated suggest both fast filling and fast emptying of the collector. Results of convergence and leveling measurements are analogical to those in case of the northern gallery.

Primary lining support classes defined by the design have attested quite well in conditions of the location. In contrary to the expectation, the exploration confirmed a significantly lower portion of mechanically excavatable rocks in contrary to the expectation. Portion of these rocks is negligible. The excavation proceeds only using blasting works.

Geotechnical monitoring is being carried out since the very commencement of works. It was carried out by realization of pre-cuts as well as during excavation of the own galleries. Geotechnical monitoring serves for control and management of technological procedure of the work construction, especially for application of individual types of support classes and remedial elements. Its results will further serve as source for accordant structural analyses during application on the tunnel proper. Geotechnical monitoring represents a set of measurements and observations focused on monitoring and checking of reaction of the rock environment on the construction work. Also, all induced impacts in vicinity of the structure are monitored. An observational method of work construction, which is a typical NATM element, is a result. Based on so far realized works it can be stated, that the NATM has proven to be optimal method for construction of the Panenská tunnels.

#### SOURCES:

- Realization documentation of the 0807/II structure, section J – Exploratory galleries for the Panenská tunnel elaborated by Pragoprojekt a.s.
- Design of works of geotechnical monitoring of exploratory galleries in the Panenská tunnel (structure 0807/II-J, D8 highway)
- Geotechnical monitoring of exploratory galleries in the Panenská tunnel (Ing. Pavel Gajdoš, RNDr. Václav Hušner)



Obr. 5 Vrtání vějíře pro presiometrické zkoušky  
Fig. 5 Boring of a fan for pressiometric tests



# BEZPEČNOST V TUNELECH V ČR

## SAFETY IN TUNNELS IN THE CR

Ing. JIŘÍ SVOBODA - PRAGOPROJEKT PRAHA, Mgr. HELENA SVOBODOVÁ - SPŠ MV PRAHA

### ÚVOD

Dálniční tunely musí být pro uživatele bezpečné, ale i komfortní a přívětivé. Bezpečnost provozu v tunelu je základním požadavkem, hlavní podmínkou, prioritou. Proto v koncepci díla nelze z hlediska bezpečnosti připustit žádný omyl. I když jsou např. těžké požáry v tunelu řídké, skutečnost nás poučuje, že je s nimi třeba počítat. A ani nehoda není vyloučena. Důležité je vše předvídat – i to nejhorší, aby se nic neponechalo osudu ani důsledkům případného lidského nebo materiálního selhání. Při navrhování tunelů je nutné důsledně dodržovat, ba raději předstihovat nejpřísnější požadavky předpisů a využívat přitom posledních technologických postupů.

K bezpečnosti provozu přispívá i automobilistův pocit pohodlí a bezpečí při udržení bdělosti, proto je třeba, aby i povrch tunelové obezdivky v zorném poli řidiče a povrch vozovky byl navržen pro potěšení z jízdy, hluk způsobený jízdou vozidel výrazně snížen např. drobnou zrnitostí vozovky nebo pohltivým obkladem stěn. I světlá barva vozovky a výrazné architektonické ztvárnění povrchů stěn přispívají k jednotnosti osvětlení a jsou nutnou podmínkou pro výsledně klidné řešení bez obav z tunelového efektu. Tunel nesmí být rovný, oblouky a úprava povrchů a osvětlení musí dovolit automobilistům jízdu v nejlepších podmínkách.

Pro bezpečnost v tunelu je velmi důležitá plynulost jízdy vozidel a je nutné zabránit zejména zbytečnému předjíždění a „klíčkování“ vozidel v tunelu. Je třeba stanovit jak spodní hranici, tak i horní hranici rychlosti vozidel. Optimální se jeví jako minimální rychlost 40 – 50 km/hod. a maximální rychlost 70 – 80 km/hod.

### ZÁKLADNÍ PRAVIDLA BEZPEČNOSTI V TUNELU

První povinností je detekovat, informovat, intervenovat = zjistit, oznámit, zasáhnout během minut, ne-li sekund po nehodě.

Každé stojící vozidlo v tunelu představuje potenciální riziko nehody. Proto je kladen velký důraz na klasické detekční a poplachové systémy (kamery, videokamery, EPS, detektory kyslíčnicku uhelnatého, opacimetry), ale i osobní dohled dispečera.

Je nutné okamžitě informovat ostatní automobilisty. Rychlost informování řidičů je zásadní, neboť je nutné zabránit tomu, že by malá nehoda zapříčinila opravdové nebezpečí (velkou řetězovou nehodu). Je třeba rychle zastavit dopravu v jednom nebo více pruzích, popřípadě uzavřít tunelovou troubu.

Zásah první pomoci musí proběhnout v následujících minutách. Záchrana musí být na místě co nejdříve (cca do 5 až 7 minut). Vlastní zásah musí začít min. 30 vteřin po oznámení poplachu, zjištění či zpozorování stojících vozidel. Pro operativní zásah především hasičů a dalších záchranných vozidel je velmi důležitý gabarit. Jeho velikosti je přímo úměrná rychlost a kvalita prvního zásahu záchranného týmu.

Při sebemenším nebezpečí musí mít řidiči možnost přivolat pomoc, případně se ukryt v bezpečném prostoru mimo vlastní ohrožený tunel (tunelovou troubu). První zásah musí proběhnout maximálně do 5 až 10 minut po vzniku požáru, kdy je v tunelu při vozovce stále ještě vrstva relativně čistého vzduchu umožňující únik řidičů. Proto jsou v tunelu navrhovány SOS výklenky vybavené protipožárními prostředky s možností přivolání pomoci, únikové chodby a propojky apod. Rozbor příčin a průběhu posledních neštěstí v tunelech ukázal, že nejdůležitější je, aby řidiči co nejdříve opustil ohrožený prostor v tunelu. Čas, který zbývá řidiči při požáru, než dojde k zamoření otravnými kouřovými plyny, odpovídá uběhnutí vzdálenosti cca 200 m. Proto by únikové cesty měly být každých max. 200 m, informační systém pro cestující také každých 200 m (jedná se zejména o informační proměnlivé tabule, proměnné značky). Informace musí být poskytována i pomocí okamžitého automatického vstupu do rozhlasového vysílání.

Zakouření českých připravovaných tunelů je velmi rychlé, neboť u většiny tunelů se uvažuje s podélným větráním, které je sice ekonomicky a provozně velmi výhodné, ale při požáru nevhodné. Z požárního hlediska je nejlepší příčné větrání, které snadno „izoluje“ místo požáru od ostatního díla. Při podélném větrání dochází vlivem proudění vzduchu po cca 200 – 300 m ke smíchání špatného vzduchu ve vrcholu klenby tunelu s čistým vzduchem, který je dole v vozovce. Podélné větrání lze velmi těžko regulovat, okamžitě obrátit směr proudění lze pouze s určitou časovou prodlevou. Proto je také důležité výrazné označení únikových cest, záchranných prostředků a prostředků pro zdolávání požáru. Značení musí být viditelné i v mimořádných situacích při výpadku osvětlení a při zakouření tunelu v případě požáru.

### INTRODUCTION

Highway tunnels must be safe for users, but also comfortable and nice-looking. The operational safety is the essential requirement, major condition, priority. Therefore, from the safety's viewpoint no mistake is to be tolerated within the work's concept. Although for instance heavy fires are rare in tunnels, reality teaches us that they have to be taken into consideration. And a potential accident can never be excluded. It is important to predict – even the worst, so that nothing is left to its own destiny or to consequences of potential human or material failures. During designing tunnels, it is essential to consistently follow, or rather even outrun the strictest requirements and at the same time use latest technological procedures.

Also the driver's own feeling of comfort and safety under full consciousness contributes to the safety of operation, and therefore it is necessary for even the road surface and the tunnel walls in driver's line of sight to be designed for the pleasure of driving, for the vehicle noise to be significantly reduced for instance by tiny grain of the road or absorbing cover of walls. Also light color of the road and distinct architectural design of wall surfaces contribute to unification of the illumination and are therefore a prime requisite for peaceful final solution without fears of the tunnel effect. The tunnel must not be straight. The curves, surface finishes and illumination must allow driving in the best conditions available.

Traffic fluency is very important for safety in tunnel and it is necessary to prevent useless overtaking and "zigzagging" of vehicles in the tunnel. It is hence necessary to set a lower as well as upper vehicle speed limits. A minimal speed of 40 – 50 km/h and maximal speed of 70 – 80 km/h have proven optimal.

### FUNDAMENTAL RULES OF SAFETY IN TUNNEL

The first duty is: detect, inform, intervene = determine, report, take action in minutes, if not seconds.

Every immobile vehicle in the tunnel represents a possible risk of accident. Therefore, a large emphasis is being put on conventional detection and alarm systems (cameras, VCR cameras, electrical fire alarm, carbon oxide detectors, opacimeters) as well as on personal supervision by a dispatcher. It is necessary to immediately notify other drivers. The promptness of the notification is essential, because it is necessary to prevent the situation that a small accident could cause a real threat (large chain accident). Traffic is to be swiftly stopped in one or more lanes, eventually entire tunnel tube closed.

A first aid intervention must take place within subsequent minutes. Rescue forces must be at the spot as soon as possible (app. within 5 to 7 minutes). Their action must begin at least within 30 seconds after the notification of the alarm, location or identification of immobile vehicles. The tunnel clearance is essential for operative action especially of fire squad and further rescue service vehicles. Speed and quality of the first intervention of the rescue squad is directly proportional to its dimensions.

Even in the case of a petty danger a driver must have the possibility to call for help, or to find a shelter within a safe area outside the threatened tunnel (tunnel tube). The first intervention must take place within 5 to 10 minutes after fire broke out, when there is still abundance of relatively fresh air at the road level allowing the drivers to escape. Therefore, SOS niches, equipped with fire protection tools along with possibility to call for help, escape corridor and intercom etc., are designed for tunnels. Analyses of the causes and development of recent accidents in tunnels have shown that it is most important for a driver to quickly leave the endangered tunnel area. The time which a driver has left by fire before suffocation due to poisonous exhalations, corresponds to a 200 m distance run. Therefore, emergency exits should take place every 200 m, the drivers' information system also every 200 m (this concerns mostly variable information panels, variable signs). Information must be submitted also using immediate automatic intrusion into radio transmission.

Filling with smoke in Czech designed tunnels proceeds very swiftly, because most of tunnels plan an axial ventilation, which is very economical and operationally favorable, however, less favorable when it comes to fire. From the viewpoint of fire protection, the transversal ventilation is the best, as it easily "isolates" the fire center from the rest of the structure. With axial ventilation, contaminated air from the tunnel vault top mixes with fresh air from the road level due to air currents along app. 200 – 300 m. Axial ventilation can be hardly regulated while immediate currents' direction can be reversed only with a certain delay. Also because of that, a distinct marking of emergency exit ways, rescue and fire fighting tools is so important. Marking has to be visible even in extraordinary situations such as illumination blackout or smoke in tunnel in the case of fire.

**KVALIFIKOVANÝ A VYCVIČENÝ PERSONÁL**

Jedním z důležitých prvků aktivní bezpečnosti v tunelu je odborná příprava veškerého personálu podílejícího se na řízení dopravy v tunelu a na likvidaci mimořádných událostí. Důležitá je také dostupnost sil a prostředků jednotek požární ochrany a dalších složek integrovaného záchranného systému v reálném požadovaném čase. Dobré nebo špatné provozování má vliv nejen na vlastní dopravní charakteristiky tunelu, ale i na provozní náklady.

**PLÁNY A POSTUPY**

Pro všechny „možné“ situace musí být zpracováno více scénářů, nejlépe formou operativních karet, které jsou umístěny přímo v jednotlivých vozidlech podílejících se na záchranné akci. Je třeba plánovat záchranné operace již v průběhu přípravy výstavby tunelu a koordinovat vlastní technická řešení právě s ohledem na možnost záchrany. Je velmi obtížné popsat kvalitu záchranných operací. Proto musí být provedeny některé kalkulace týkající se časového plánu reakce a důsledků odhadem a po uvedení tunelu do provozu upravit dle výsledků cvičení. To poskytuje základ první pomoci pro vytvoření strategie zásahů a operativních zásahů.

**VÝCVIK A DRIL**

Plány a postupy by měly jen nevýznamnou hodnotu, kdyby nebyly znovu a znovu procvičovány. Velký význam má okamžitá následná korekce chyb. Cílem je dosáhnout lepšího porozumění mezi jednotlivými odpovědnými orgány a také udržet a zdokonalovat efektivnost připravenosti (police, hasiči, záchranná lékařská služba apod.).

**ZÁKLADNÍ PŘEDPISY PLATNÉ V ČR**

V České republice jsou v oboru tunelových staveb na pozemních komunikacích zpracovány předpisy odpovídající evropským standardům. Jde především o tyto normy, vyhlášky a předpisy:

**ČSN 73 75 07 – „PROJEKTOVÁNÍ TUNELŮ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ“**

Základní norma pro projektování zejména stavebního řešení tunelů. Tato norma se nezabývá posouzením délek a kapacit únikových cest, určení stupně požární bezpečnosti a mezních velikostí požárních úseků. Toto je předmětem základní normy ČSN 7308 02 „Požární bezpečnost u tunelových staveb – společná ustanovení“. Tuto normu nelze u tunelových staveb dodržet ve všech ustanoveních. Jedná se zejména o rozměry požárního úseku, který tvoří vlastní tunelovou troubu.

Vyhláška ČBU č. 55/1996 Sb. o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti provádění hornickým způsobem v podzemí, ve znění vyhlášky č. 238/1998 Sb. Tato vyhláška stanoví požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu tunelového díla.

Vyhláška ČBU č. 340/1992 Sb. o požadavcích na kvalifikaci a odbornou způsobilost a o ověřování odborné způsobilosti pracovníků k hornické činnosti a činnosti provádění hornickým způsobem. Vyhláška stanovuje především požadavky na kvalifikaci pracovníků zhotovitele díla.

Zákon č. 360/1992 Sb. České národní rady z 7. 5. 1992 o výkonu povolání autorizovaných architektů a výkonu povolání autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě. Tunely a podzemní stavby musí projektovat inženýr s autorizací geotechnika a příslušným báňským oprávněním pro projektování.

**TP 98 TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ TUNELŮ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

První vydání bylo již v roce 1998, nová verze je z r. 2002 a plně nahrazuje původní technické podmínky. Tyto podmínky stanovují zásady pro technologické vybavení tunelů na pozemních komunikacích. Stanoví metodiku výpočtů provozních souborů, které lze exaktně počítat. U ostatních souborů jsou stanoveny základní technické požadavky a funkční principy. TP jsou základem pro systémově sjednocenou technologii tunelů v České republice.

**TP 154 PROVOZ, SPRÁVA A ÚDRŽBA TUNELŮ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ**

Technické podmínky stanovují podmínky pro provozování, správu a udržování tunelů pozemních komunikací. Kromě dobrého technického návrhu tunelu má zásadní význam pro bezpečnost provozu i jeho následné provozování. Dobré nebo špatné provozování má vliv nejenom na vlastní charakteristiky tunelu, ale i na provozní náklady. Kromě technologického vybavení má podstatný vliv i organizace činnosti, cvičenost a znalosti personálu. Tento předpis je základní předpis pro vypracování provozních řádů a provozní dokumentace budoucího tunelu.

**TKP STAVEB POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ, KAPITOLA 24 TUNELY, PODZEMNÍ OBJEKTY, GALERIE**

Technické kvalitativní podmínky jsou souborem požadavků objednatelů staveb na provedení, kontrolu a převzetí prací, výkonů a dodávek. Stanovují kvalitativní požadavky na materiál a zhotovování práce. Požadavky defino-

**QUALIFIED AND WELL-TRAINED PERSONNEL**

One of the most important factors of active tunnel safety is the professional proficiency of the entire staff that takes part in traffic control in the tunnel and in solving emergencies. Also the availability of forces and means of fire protection units as well as of the other components of the integrated rescue system within real required time is essential. Good or bad operation has an impact not only on the own traffic attributes of the tunnel, but also on operational costs.

**PLANS AND PROCEDURES**

As for all "potential" situations, several scenarios have to be developed, preferably using operation cards, which would be located directly inside individual vehicles taking part in the rescue operation. It is necessary to plan rescue operations already during the course of tunnel construction and coordinate the technical solutions exactly with regards to rescue possibility. It is very difficult to describe the quality of rescue operations. Therefore, certain calculations concerning the time schedule of reaction and consequences had to be elaborated by estimation and after the tunnel is put into operation adjusted according to practice results. That gives a first aid framework for creation of strategy for interventions and well as operational interventions.

**TRAINING AND DRILL**

Plans and procedures would have only an insignificant value if they had not been exercised over and over. Immediate subsequent error correction is of great importance. It is our goal to achieve better communication between individual responsible institutions and also to perfect the effectiveness of preparedness (police, fire brigade, medical emergency service etc).

**BASIC REGULATIONS VALID IN THE CR**

Regulations corresponding to European standards are elaborated in the Czech Republic for the field of road tunnel structures. These include the following standards, notices and regulations:

**CSN 73 7507 – "DESIGN OF ROAD TUNNELS"**

The basic standard for design, especially of civil solution of tunnels. This standard does not regulate lengths and capacities of emergency exit ways, determination of fire protection level or marginal sizes of fire compartments. That is subject of the basic standard ČSN 73 08 02 "Fire protection at tunnel structures – common principles". However, this standard cannot be fulfilled in all points by tunnel structures. This mostly concerns dimensions of the fire compartment, which forms its own tunnel tube.

CBM (Czech Bureau of Mines) Notice no. 55/1996 Coll. on requirements for provision of safety and health protection during work as well as safety of operation during activities carried out through mining methods in the underground, in the wording of the Notice no. 238/1998 Coll. This notice sets requirements for provision of safety and health protection during work as well as for safety of operation in a tunnel structure.

CBU Notice no. 340/1992 Coll. on requirements for qualification and professional skills and on verification of professional skills of workers for mining activity as well as activity carried out through mining methods. The notice especially sets requirements for qualification of workers of the work's contractor.

Act no. 360/1992 Coll. of the Czech National Council from May 5, 1992 on profession exercise of authorized architects and profession exercise of authorized engineers and technicians active in civil engineering. Tunnels and underground works must be designed by an engineer with authorization of geotechnician and of correspondent mining license for design.

**TP 98 SPECIFICATIONS - TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF ROAD TUNNELS**

First issue already in 1998, newer version from 2002 fully replaces the original specifications. These specifications set principles for technological equipment of road tunnels. They set the method of calculations of operational files that can be exactly calculated. As for the other operational files, basic technical requirements and functional principles are determined. The TP 98 is the fundament for systematically unified tunnel technologies in the Czech Republic.

**TP 154 SPECIFICATIONS - OPERATION, ADMINISTRATION AND MAINTENANCE OF ROAD TUNNELS**

The specifications define requirements for operation, administration and maintenance of road tunnels. Beside good technical design for a tunnel, also the tunnel's subsequent operation is of essential importance for safety of operation. Good or bad operation has an impact not only on the traffic attributes of the tunnel, but also on operational costs. Beside technological equipment, also organization of activities, training and personnel's knowledge have a significant influence. This regulation is the fundamental regulation for elaboration of operational guidelines as well as operational documentation of the future tunnel.

**TKP SPECIFICATIONS OF ROAD STRUCTURES, CHAPTER 24 TUNNELS, UNDERGROUND OBJECTS AND GALLERIES**

Technical and qualitative conditions are a set of contractor's requirements for realization, supervision and takeover of works, outputs and supplies. They determine qualitative requirements on material and building works. Requirements defined and mentioned within the TKP are also fundamental for elaborator of the detailed design.



vané a uvedené v TKP jsou zásadní rovněž pro zhotovitele realizační dokumentace stavby.

Tato kapitola byla zpracována v r. 1999 Pragoprojektem, a. s., a je členěna na část A – stavební část na část B – technologické vybavení tunelů.

### TKP-D STAVEB POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ, KAPITOLA 7 TUNELY, PODZEMNÍ OBJEKTY A GALERIE

Tento předpis řeší způsob a formu zpracování projektové a částečně i provozní dokumentace. Byl zpracován Pragoprojektem, a. s., v roce 1998. Stanoví technicko-kvalitativní podmínky pro dokumentaci a rozsahy jednotlivých stupňů dokumentace. Je dělena na část stavební a na část technologickou. Současně řeší i rozsah doprovodných dokumentací zejména geotechnického průzkumu a monitoringu, pasportizace objektů a činnosti autorského dozoru. Tyto TKP-D je nutné nově doplnit o stanovení rozsahu provozní dokumentace tunelů tj. zásady provozního řádu a vlastní provozní řád.

### POŽÁRNÍ BEZPEČNOST

V současné době chybí v ČR souborná vyhláška, která by komplexně řešila požární ochranu tunelů. Proto je v projektanské praxi využívána nová přechodná technická směrnice Ministerstva dopravy, pošt a telekomunikací SR, sekce cestnej infrastruktúry „TSV 0401 Požiarňa ochrana tunelov na cestných komunikáciách“, která je na Slovensku platná od 1. 10. 2001. Tato vyhláška řeší komplexně požární bezpečnost v tunelech.

Směrnice obsahuje tyto části:

- požární riziko v požárních úsecích a požadavky na konstrukci stavby,
- bezpečnostní stavební úpravy,
- únikové cesty,
- odstupy,
- zařízení na protipožární zásah,
- technické a technologické zařízení.

Součástí jsou také přílohy pro:

- určení počtu evakuovaných osob,
- výpočet času úniku a času evakuace,
- výpočet potřeby vody a určení sil a prostředků na hašení,
- doporučená bezpečnostní opatření.

### DALŠÍ SOUVISEJÍCÍ NORMATIVNÍ DOKUMENTY

- zákon č. 239/2000 Sb. o integrovaném záchranném systému a o změně některých zákonů;
- zákon č. 133/1985 Sb. o požární ochraně ve znění pozdějších předpisů;
- zákon č. 353/1999 Sb. o prevenci závažných havárií, způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky (zákon o prevenci závažných havárií) ve znění zákona č. 258/2000 Sb.
- zákon č. 240/2000 Sb. o krizovém řešení a změně některých zákonů (krizový zákon);
- zákon č. 361/2000 Sb. o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (silniční zákon).

### ZÁVĚRY A POUČENÍ Z POŽÁRŮ SILNIČNÍCH TUNELŮ MONT-BLANC (24. 3. 1999)

Bilance požáru byla celkem 39 mrtvých, z toho bylo 27 osob nalezeno ve svých vozidlech a další 2 v jiných, 9 osob bylo nalezeno mimo vozidla. Beton obvodivky byl narušen v délce 900 m. Cesty šíření požáru byly následující – sálání a plameny, konvekce (vedení tepla), hořící kapaliny a hořlavý živičný chodník. Velmi rychle bylo zničeno elektrozařízení v oblasti ohniska požáru. Hydrantový systém zůstal funkční (kapacita 1000 l/min, hydrant každých 150 m), ale byl minimálně využíván – pouze na italské straně. Žádný z použitých systémů požární signalizace neidentifikoval požár jako první. První zprávu podal opacimetr o abnormální opacitě (průhlednosti).

### ZÁVĚRY:

- vysoká dodávka čerstvého vzduchu společně s podélnou rychlostí vzduchu napomohly rychlému šíření zplodin hoření v celém průřezu tunelu,
- zplodiny hoření o vysoké teplotě nebyly dostatečně odváděny,
- vozidla zastavovala ve velmi krátkých vzdálenostech za sebou,
- světelné informace byly instalovány po 1200 m, nebyly viditelné a často ani funkční,
- tunel má pouze jednu obousměrnou troubu a nemá únikovou chodbu,
- tunel byl řízen ze dvou řídicích středisek, koordinace byla velmi špatná,
- způsob odborné přípravy záchranářů byl naprosto nedostatečný,
- naprosto nedostatečný se ukázal první zásah, připravené požární vozidlo servisní organizace u portálu bylo bez kvalifikovaných záchranářů.

### POŽÁR V TUNELU TAUERN

Tunel Tauern je moderní tunel s jednou tunelovou troubou vybavený moderní technologií. V tunelu byly prováděny rekonstrukční práce a doprava byla řízena světelnou signalizací. Do zastaveného vozidla narazila další vozidla. Po řetězové nehodě došlo k požáru vozidel. Bilance nehody byla 12 mrtvých, 60 zničených vozidel. Likvidace požáru trvala 12 hodin, i když místo požáru bylo od portálu pouze 600 m.

### ZÁVĚRY:

- k velkým materiálními ztrátám a ztrátám na lidských životech došlo i za stavu, kdy technologie pracovala relativně spolehlivě,
- opět se však jednoznačně projevil problém evakuace, rychlosti a řízení zásahu.

This chapter was elaborated by Pragoprojekt, a.s., in 1999 and is divided into section A – Engineering part and section B – technological equipment of tunnels.

### TKP-D SPECIFICATIONS OF ROAD STRUCTURES, CHAPTER 7 TUNNELS, UNDERGROUND OBJECTS AND GALLERIES

This regulation deals with the method and form of elaboration of design and partially operational documentation. It was elaborated by Pragoprojekt, a. s., in 1998. It sets technical-qualitative conditions for documentation as well as ranges of individual documentation levels. It is divided into engineering and technological sections. At the same time it solves the range of support documentation, especially of geotechnical exploration and monitoring, passportization of structures and activities of the contractor's supervision. These TKP-D must be updated with determination of range for operational documentation of tunnels, i.e. principles of operational guidelines as well as the guidelines proper.

### FIRE SAFETY

As for contemporary Czech Republic, a complex notice, which would globally regulate the fire protection in tunnels, is missing. Therefore, in the designing reality a new temporary technical instruction of the Ministry of transportation, postal services and telecommunications of SR, department of road infrastructure, "TSV 0401 Fire protection of road tunnels", which has been effective since October 1 2001, is being used. This notice globally regulates fire safety in tunnels.

The instruction includes the following sections:

- Risks of fire within fire compartments and requirements on structure's framework,
- Safety civil adjustments,
- Emergency exit ways,
- Spacing,
- Equipment for firefighting intervention,
- Technical and technological equipment.

Included are also annexes for:

- Determination of number of evacuated persons,
- Calculation of exit time and time of evacuation,
- Calculation of water supply and determination of forces and tools for fire extinguishing,
- Recommended safety measures

### FURTHER COHERENT NORMATIVE DOCUMENTS

- Act no. 239/2000 Coll. on integrated rescue system and alteration of certain acts;
- Act no. 133/1985 Coll. on fire protection in the wording of later regulations;
- Act no. 353/1999 Coll. on prevention of major accidents caused by selected dangerous chemical substances and chemical preparations (Act on prevention of major accidents) in the wording of Act no. 258/2000 Coll.;
- Act no. 240/2000 Coll. on management of risks and alteration of certain acts (Act on risks);
- Act no. 361/2000 Coll. on road traffic and alteration of certain acts (Road Act).

### CONCLUSIONS AND LESSONS FROM FIRES IN ROAD TUNNELS MONT-BLANC (24. 3. 1999)

The total fire casualties included 39 dead, 27 from them were found in their own vehicles and other 2 in someone else's. 9 bodies were found outside any vehicles. Concrete liner was damaged in a 900 m long section. Ways of fire dissemination were following: radiation and flames, convection (heat conduction), liquids on fire and flammable asphalt sidewalk. Electrical equipment within the fire's center was destroyed very quickly. Hydrant system remained functional (capacity 1000 l/min, hydrant per 150 m), but it was used minimally – only on the Italian side. None of the used systems of fire signalization identified the fire as first. First report was submitted by an opacimeter on abnormal opacity (transparency).

### CONCLUSIONS:

- High supply of fresh air along with axial air speed contributed to fast dissemination of fire exhausts within the entire tunnel cross section;
- Fire exhausts of high temperature were not drained sufficiently;
- Vehicles were stopping in too short distances after another;
- Light information signs, that were installed every 1200 m, were not visible and often not even functional;
- The tunnel has only one bi-directional tube and no emergency exit corridor;
- The tunnel was operated from two control centers while their coordination was appalling;
- Methods of professional preparation of rescue units was completely insufficient;
- The first intervention proved as absolutely inadequate, usable fire fighting vehicle of the servicing organization at the portal had no qualified rescue units.

### FIRE IN THE TAUERN TUNNEL

The Tauern tunnel is a modern single-tube tunnel equipped with newest technology. Refurbishment works were proceeding in the tunnel and traffic was operated using traffic lights. Other vehicles collided with the one that stopped. Following a chain collision, a fire broke out among the vehicles. The total casualties included 12 dead and 60 destroyed vehicles. Fire extinguishing took 12 hours, although its location was only 600 m behind the portal.

### CONCLUSIONS:

- Serious material damage as well as human casualties occurred despite the condition of relatively smooth-working equipment;
- However, the problem of evacuation, speed and management of the intervention explicitly reappeared.

## ZÁKLADNÍ POUČENÍ PRO ČESKÉ TUNELY NA DÁLNICÍCH

- tunely je nutné budovat zásadně jako jednosměrné, dvourourové,
- instalace automatického detekčního systému nehod se jeví jako nezbytná, zejména u dlouhých tunelů (zastavení vozidla),
- tunely musí být provozovány jednou společností (i přeshraniční),
- je nutné včas informovat všechny, kteří se nacházejí uvnitř tunelu,
- elektrotechnické vybavení musí být odolné proti požáru, zejména musí být umožněna komunikace i v případě krizové události,
- únikové cesty a východy musí být řádně označeny a musí umožnit orientaci a únik osob při požáru v zakouřeném prostředí,
- dispečer musí organizovat první nasazení z obou portálů do 5 min. od vyhlášení poplachu,
- provozní řád a havarijní plán musí zpracovávat jediný zpracovatel,
- musí být stanoveny pro důležité tunely odpovídající záchranné jednotky a vnitřní bezpečnostní plán,
- je nutné položit důraz v oblasti prevence a výchovy řidičů, aby nezůstávali stát bezprostředně za hořícím vozidlem a včas opustili svá vozidla a unikli do chráněných únikových prostor.

## STANDARDIZACE A LEGISLATIVNÍ PODPORA ZAJIŠTĚNÍ POŽÁRNÍ BEZPEČNOSTI TUNELŮ

Česká norma ČSN 737507 řeší celou problematiku spojenou se zabezpečením výstavby a provozu tunelů pouze částečně. Další předpisy TP 98 a TP 154 řeší již příslušné části bezpečnostní koncepce podrobněji. Zainteresované orgány a organizace projevily zájem o spolupráci s Ř HZS (ředitelství Hasičského záchranného sboru). Koncem roku 1998 došlo ke jmenování trvalého zástupce Ministerstva vnitra ČR – ředitelství Hasičského záchranného sboru do sekce „Silniční tunely“ v tzv. „Silniční společnosti“. Od této chvíle dochází k bezprostřední spolupráci všech odborníků připravujících tunelové stavby v ČR a ke zpracovávání odborného pohledu z hlediska požární ochrany na problematiku tunelů. Výše uvedenou sekci byl stanoven plán činnosti na nejbližší období, z kterého vyplývají úkoly ve vztahu ke stanovení metodiky jednotné provozní dokumentace tunelů, revize předpisu pro technologické vybavení apod. V rámci HZS ČR v roce 1999 došlo za účasti Ř HZS k zastřešení této problematiky v odborné úrovni a ke zpracování návrhu bezpečnostního zařízení pro jednotlivé tunely ze strany požární ochrany. Poprvé byl postup použit při návrhu tunelu Valík v roce 2000 (stupeň DSP) a dále u tunelu Prackovice a Radejčín.

## KONKRÉTNÍ DOPADY DO KONCEPCE PŘIPRAVOVANÝCH DÁLNIČNÍCH TUNELŮ V ČR

**Pasivní opatření** – týká se stavebního řešení

- tunely jsou navrhovány zásadně pro jednosměrný provoz s dvěma tunelovými troubami,
- bezpečnostní únikové propojky jsou po 200 m, jsou opatřeny požárními uzávěry,
- byla stanovena max. povolená rychlost na 80 km/hod., dosud nebyla stanovena minimální rychlost(!),
- konstrukce vozovek a chodníků je nehořlavá,
- gabarit tunelu je dostatečně velký, umožňující zásah požárních vozidel v případě havárie,
- k portálům tunelu jsou navrhovány samostatné příjezdy pro záchranné jednotky nezávislé na dálnici,
- střední a dlouhé tunely jsou vybavovány hydrantovým systémem s hydranty po cca 100 m,
- u tunelu je dostatečná zásoba požární vody v podzemních akumulčních jímkách,
- betonová obezdívka tunelu je navrhována s ohledem na zvýšené požární namáhání,
- únikové cesty, vstupy do spojovacích zařízení jsou řádně označeny označením viditelným i při výpadku elektrické energie,
- systém větrání je přednostně navrhován s ohledem na možný požár v tunelu.

**Aktivní opatření** – týká se technologického vybavení tunelů

- Jednoduché ovládání technologického vybavení tunelu přímo z PTO (provozní technického objektu) u portálu tunelu velitelem hasičů (např. tlačítko – bezpečný stav pro havárii úniku ropných látek, tlačítko – pro požár v tunelu, kdy systém technologického vybavení je uveden do stavu „POŽÁR“, např. zapne se plně osvětlení, vypne podélné větrání, zapne požární osvětlení apod.).
- Přesné nezávislé napojení systému EPS tunelu na místní integrovaný záchranný systém. Zásahová jednotka HZS vyjíždí automaticky ihned, nečeká na pokyn dispečera.
- Zlepšení informačního systému pro všechny uživatele tunelu (světelné značky a informační tabule).
- Nově je navrženo, na základě požárních zkoušek v Ostravě, nouzové osvětlení pro požární zásah.
- Kabely jsou vedeny pod chodníky v chráničkách (systém v jedné chráničce jeden kabel) a mají zvýšenou nehořlavost nebo jsou přímo nehořlavé se zaručenou funkční schopností při požáru (po určitou dobu), jsou bezhalogenové.
- Všechny tunely (i krátké) musí být vybaveny zařízením pro kontrolu kvality vzduchu i v případě, že není instalováno větrací zařízení.
- SOS skříně jsou instalovány v tunelu do cca 150 – 200 m. Jsou také instalovány vně tunelu u každého portálu.
- V případě mimořádných událostí je nutné okamžitě zabezpečit, aby do tunelu nevjezděla žádná vozidla. Zkušenosti ukazují, že světelné signály nejsou řidiči respektovány. Proto portály tunelů musí být vybavovány závorami.
- Detekce stojících vozidel – každé stojící vozidlo představuje potenciální riziko havárie, a proto musí být detektováno, nejlépe automaticky co nejdříve (řádově v desítkách vteřin).

## FUNDAMENTAL LESSONS FOR CZECH HIGHWAY TUNNELS

- It is essential to construct one-way tunnels, i.e. twin-tube tunnels principally;
- Installation of automatic system for detection of accidents proves indispensable, especially by long tunnels (vehicle stopping);
- Tunnels must be operated by one company (even cross-border);
- It is essential to immediately inform all those present in the tunnel;
- Electrotechnical equipment must be fire resistant, especially communication must be enabled even in the case of emergency;
- Emergency ways and exits must be properly marked and thus allow orientation and escape of persons when the fire area is full of smoke;
- Dispatcher must organize the first intervention from both portals within 5 min. since the alarm went off;
- Operational guidelines as well as emergency guidelines must be elaborated by a single institution;
- Accordant rescue units and inner safety plan must be set for important tunnels;
- It is essential to emphasize the field of prevention and driver education, so that they would not remain standing right behind vehicle on fire and rather leave their vehicles and escape into protected emergency exit areas.

## STANDARDIZATION AND LEGISLATIVE SUPPORT FOR PROVISION OF FIRE SAFETY IN TUNNELS

Czech standard CSN 737507 concerns the problems connected to safety during construction and operations of tunnels only partially. Other regulations TP 98 and TP 154 then solve respective parts of the safety concept in detail.

Involved institutions and organizations expressed their interest in cooperation with FBD (Fire brigade directorate). By the end of 1998, a permanent representative of the Ministry of Interior of CR – Fire brigade directorate was appointed to the “Road tunnels” department within the so-called “Road association”.

Since that time, an immediate cooperation of all professionals preparing tunnel structures in the CR takes place while professional insight into tunnel-related problems from the viewpoint of fire safety is elaborated. The aforementioned department set a plan of activity for the nearest term, from which derive tasks in relation to determination of methodic for unified operational documentation of tunnels, revisions of regulation for technological equipment etc. Within the frame of FB CR, these issues on the professional level were covered by the FBD in 1999 and thus proposal for safety equipment for individual tunnels concerning fire protection elaborated. This procedure was first used during design of the Valík tunnel in 2000 (DSP level) and further at tunnels Prackovice and Radejčín.

## ACTUAL IMPACTS ON THE CONCEPT OF DESIGNED HIGHWAY TUNNELS IN CR

**Passive measures** – concerning the solution of building

- Tunnels are designed principally as single-direction and double-tube;
- Safety exit corridors take place every 200 m and are equipped with fireproof seals;
- A maximum allowed speed was set for 80 km/h, minimal speed has not yet been set (!);
- Materials in roads and sidewalks are inflammable;
- Clearance of the tunnel is large enough, enabling deployment of fire brigade vehicles in the case of fire;
- Separate access ways for rescue units, independent on the highway, are being designed to the tunnel portals;
- Medium and long tunnels are equipped with hydrant system and hydrants app. every 100 m;
- The tunnel has a sufficient supply of firefighting water within underground accumulation basins;
- Concrete lining of the tunnel is designed with regards to increased fire loading;
- Emergency exit ways and access ways into connective units are properly marked, visibly even under a blackout;
- Ventilation system is designed primarily with regards to potential fire in tunnel.

**Active measures** – concerning the technological tunnel equipment

- Simple management of the technological tunnel equipment directly from the near-portal OTC (Operational technical center) by the fire brigade commander (for instance button – safe condition from accidental leak of oil substances, button – fire in the tunnel, when the system of technological equipment is brought into the “FIRE” status, illumination turns completely on, axial ventilation turns off, emergency illumination turns on etc.).
- Precise independent connection of the tunnel electrical fire alarm system on the local integrated rescue system. FB rescue units move out immediately, they do not wait for dispatcher's instruction.
- Improvement of the information system for all tunnel users (light signs and information panels).
- Emergency illumination for firefighting intervention is newly designed, based on fire tests in Ostrava.
- Cables are conducted below sidewalks within protective boxes (with one cable – one protective box policy) that have increased inflammability or are directly inflammable with guaranteed ability to function even during fire (for certain period of time), they are halogen-free.
- All tunnels (even short ones) must be equipped with devices for air-quality control even in the case that ventilation system is not installed.
- SOS boxes in the tunnel are installed app. every 150 – 200 m. They are also installed outside the tunnel near both portals.
- In case of extraordinary events it is essential to immediately prevent all cars from entering the tunnel. Experience shows that drivers neglect traffic lights. Therefore, tunnel portals must be equipped with crossbars.
- Detection of disabled vehicles – every immobile vehicle represents a potential risk of accident, and therefore must be detected, preferably automatically as soon as possible (generally within tens of seconds).



## JUBILEA

## JUBILEES

## 60 LET Ing. GEORGIJE ROMANCOVA, CSc.

Náš kolega z redakční rady časopisu Tunel, spolupracovník a dobrý přítel řady z nás - Ing. Georgij Romančov - si asi nepřeje, aby se příliš připomínalo a zdůrazňovalo, že se již dožil šedesátky. Ale čas utíká svou konstantní rychlostí a i když věk každého člověka je do jisté míry věc relativní, protože jsou staří mladíci a mladí starci, skutečnost je jednoznačná - šedesát let bylo dovršeno v říjnu roku 2002.

Sluší se hned dodat, že Ing. Romančov tuto metu dostihl skutečně v plné pracovní i osobní aktivitě, bez které by nemohl vykonávat náročnou funkci technického ředitele akciové společnosti Metroprojekt Praha.

Ing. Romančov se narodil v Praze 12. října 1942 v rodině ruského emigranta, který našel svůj dobrý druhý domov v Československé republice. Zde byl také základem perfektní znalosti ruského jazyka, kterou mohl později Jiří dobře uplatnit.

Po absolvování stavební fakulty ČVUT Praha, směr konstruktivně-dopravní, nastoupil v roce 1965 do prvního zaměstnání v pražském Projektovém ústavu dopravních a inženýrských staveb. Byl to vlastně jeho jediný nástup do zaměstnání, protože všechny další změny zaměstnavatelů probíhaly formou delimitací.

Hned od začátku profesní kariéry se zaměřuje na podzemní stavby dopravního charakteru. Nejprve je to projekt podpovrchové tramvaje pro hlavní město Prahu. Po rozhodnutí, že se místo podpovrchové tramvaje bude stavět metro, přechází se skupinou, ve které pracuje, do SUDOP a zahajuje svou dráhu projektanta ražených objektů pražského metra. V té pokračuje od roku 1971 v nově vzniklé projekční organizaci DP - Metroprojekt Praha.

Postupně projektuje ražené traťové tunely metra v Praze 4 - Pankráci na trase C, pak například stanici Můstek na trase A. Řídí skupinu projektantů - tunelářů a koncem osmdesátých let se stává hlavním specialistou této profese v Metroprojektu. Je aktivním propagátorem novinek v tunelovém stavitelství, jeho návrh jednodílné stanice je datován rokem 1976. Za jeho aktivní účasti se projektuje první traťový tunel metra ražený novou rakouskou tunelovací metodou na trase IVB. Výčet objektů a staveb, které projektoval nebo jejichž projektovou přípravu řídil, by mohl ještě dlouho pokračovat.

Významná je také aktivita Ing. Georgije Romančova v profesních organizacích, především v Českém tunelářském komitétu. Je členem jeho předsednictva a dlouholetým aktivním členem redakční rady časopisu Tunel. Je autorizovaným inženýrem pro geotechniku a členem zkušební komise pro tento obor.

Není možné se nezmínit, že ti, kdo Ing. Romančova znají, si jej váží nejen pro jeho profesní zdatnost, ale možná ještě více pro jeho osobní vlastnosti. Proto Ti, Jiří, přeji za sebe i všechny Tvé kolegy z tunelářské obce vše dobré i pevně zdraví. Zachovej si do dalších let také svůj humor a optimismus.



## 60 YEARS OF Ing. GEORGIJ ROMANCOV, CSc.

Our colleague from editorial board of the Tunel magazine, associate as well as good friend for many of us - Ing. Georgij Romančov, would probably not wish to remind and emphasize too much the fact, that he has already achieved sixty years of age. But time advances with its constant speed and although one's age is always until certain extent relative, because there are old youngsters as well as young oldsters, the reality is clear - sixty years of age were achieved in October 2002.

It is decent to add right away, that Ing. Romančov reached this point in full working and personal activity, without which he would not be able to wield such demanding job as technical director of the joint-stock company Metroprojekt Praha. Ing. Romančov was born in Prague on October 12 1942 into a family of Russian immigrant, who found his second home in Czechoslovakia. It was here that he acquired his perfect knowledge of Russian, which was of good use to Jiří later on.

After graduation from the Faculty of civil engineering by CTU in Prague, the civil engineering and transport related structures field, he proceeded with his first employment within Prague Design Institute for Transport related and Civil Engineering Structures in 1965. It was actually his only job enrollment, because all later changes of employers occurred in the form of delimitations. Already since the very beginning of his professional career he was focused on underground transport-related structures. First, it was a project of sub-surface tram for the capital of Prague. Following decision that instead of the sub-surface tram there will be subway constructed, he moved along with his workgroup to SUDOP and thus commenced his career of designer of excavated objects within Prague subway. He continued in this in a 1971 founded designing organization DP - Metroprojekt Praha.

He consequently designed mined subway running tunnels in Prague 4 - Pankrác on the C line, then for instance station Můstek on the A line. He commanded a group of designers - tunnelers and by the end of the eighties he became senior specialist in this field in Metroprojekt. He is an active supporter of innovations in underground engineering, his single-bay station design is dated back into 1976. Under his own active participation, the first subway running tunnel, excavated already by the New Austrian Tunneling Method, was designed on the IV B subway section. The outline of structures and objects he either designed himself or whose design preparation he chaired could still continue.

Also Ing. Romančov's activity within professional organizations, such as the Czech Tunneling Committee, is significant. He is a member of its board of directors as well as long-term active member of editorial board of the Tunel magazine. He is a certified engineer of geotechnics and also member of an examining commission for this field.

It is not possible to neglect that those who know Ing. Romančov revere him not only for his professional capability, but perhaps even more for his character attributes. Therefore I wish you, Jiří, on behalf of all your colleagues from tunneling community as well as myself, all the best and good health. Also keep your optimism and sense of humor also in the following years.

Ing. Miloslav Novotný

Stanice Můstek v průběhu let  
Můstek station in the course of years

1976



1978



1985



2002



## ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB

## WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTION

## OKRUŽNÍ TRASA METRA V BARCELONĚ

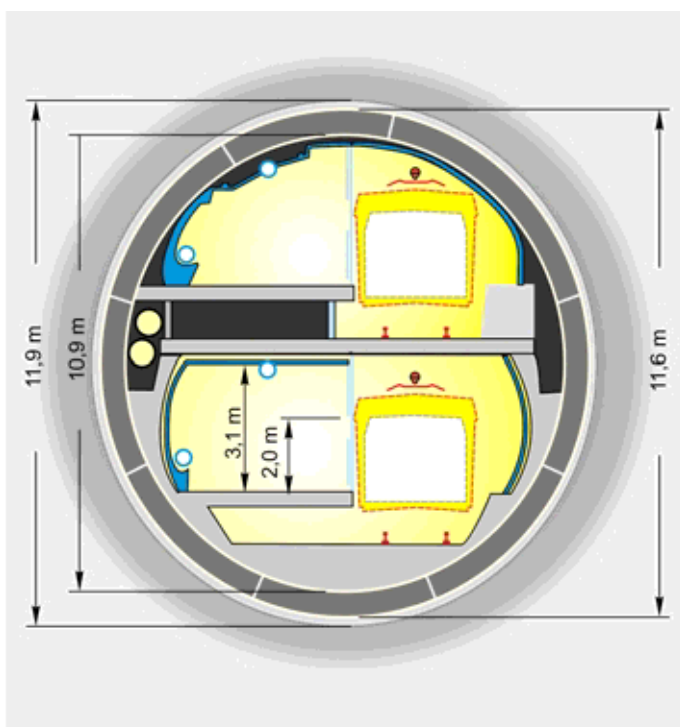
Řešení nové trasy metra v Barceloně přináší některé netradiční postupy. Proto neškodí o této velké stavbě přinést stručnou informaci.

Výstavba dlouho očekávané 9. trasy metra v Barceloně se připravovala na zahájení v květnu roku 2002. Město má 2,7 milionu obyvatel a nová trasa spojí všech 5 existujících tras metra, 6 železničních tratí a nově budovanou vysokorychlostní železnici směřující od francouzských hranic do hlavního města Španělska – Madridu. Kromě toho spojí nová trasa město s nově budovaným letištním terminálem.

Trasa se 43 stanicemi bude dlouhá 41 km, z toho 34 km bude v tunelu, který podejde hustě obydlené a dopravně silně zatížené části města. Aby se maximálně snížilo narušení povrchu nad novou trasou, ať z hlediska sedání, nebo záboru ploch při stavbě i v budoucím provozu, byla vypracována nová ambiciózní koncepce technického řešení trasy. Do raženého tunelu vnitřního průměru 10,9 m (tloušťka ostění bude 400 mm) se nad sebe na vestavěnou železobetonovou konstrukci namontují koleje metra. I stanice budou umístěny v tomto tunelu (obr. 1). Přístup do stanic se vyřeší v hloubených šachtách vnitřního profilu 24 m pomocí výtahů s vysokou kapacitou (obr. 2). Průměrná hloubka tunelů pod terémem se volí dva jejich profily, aby se – mimo jiné – zajistilo křížení s ostatními trasami metra, které se hloubily z povrchu terénu. Minimální poloměr trasy je 300 m a maximální sklon 4 %.

Z hlediska geologických poměrů lze trasu rozdělit zásadně na dvě části. První se bude razit v zeminách, především v říčních sedimentech (od jemných písků až k písčitému štěrku). Druhá část zastihne skalní horniny, především granodiority, vápence a břidlice. Každá z těchto částí byla zadána samostatně v září 2001. Dodavateli jsou společnosti se zahraniční účastí. Vedoucím sdružením pro první projekt za 265,4 mil. USD je firma Dragados Obras y Proyectos, u druhého projektu za 351,8 mil. USD je vedoucím sdružením FCC. Severní část má být v provozu v roce 2005 a jižní s napojením na nový terminál letiště se dokončí v roce 2007.

Razicí stroje jsou konstruovány a vyráběny pro konkrétní podmínky ražeb. Pro ražbu v zeminách byl vybrán zeminový štít (EPB) od firmy Herrenknecht. Byl navržen tak, aby bylo možno namontovat valivá díla a při otevřené čelbě projít porfyryty, které se vyskytnou v trase v délce asi 180 m. Parametry štítu jsou výjimečné – přítlak 110 MN, krouticí moment 38 MNm a celkovy instalovaný příkon činí 5,32 MW. Pro ražbu ve skalních horninách



Obr. 1 Příčný profil tunelu metra ve stanici  
Fig. 1 Cross section of the metro tunnel in the station

## THE ORBITAL METRO LINE IN BARCELONA

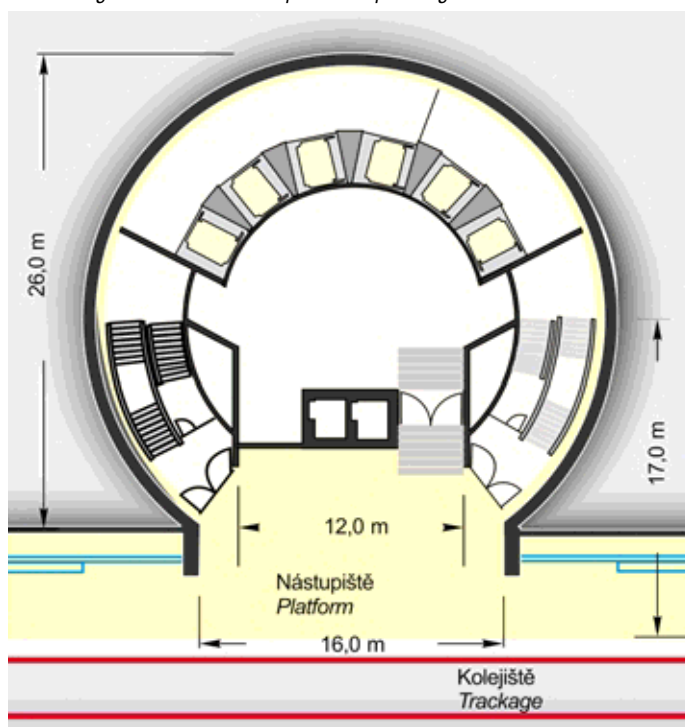
The solution of the Barcelona metro new line has brought some untraditional procedures. For that reason a brief information on this large project is worth publishing.

The commencement of the construction of the long time hoped-for 9th line of the metro in Barcelona was being prepared in May 2002. The city has a population of 2.7 million, and the new line will interconnect all of the 5 existing metro lines, 6 railway lines, and the newly built high-speed track leading from the French border to the Spanish capital, Madrid. In addition, the new line will link the city with the newly built airport terminal.

The line with 43 stations will be 41km long, of that 34km will be in a tunnel, which will pass under the densely populated and by traffic heavily burdened parts of the city. To maximally reduce the surface disturbance above the new line, both in terms of the surface settlement and the extent of the plan area of temporary and permanent works, a new ambitious conception of the technical solution of the line was developed. A 10.9m i.d. mined tunnel (400mm thick lining) will house a stacked reinforced concrete structure carrying the tracks. Even the stations will be constructed inside this tunnel (see Fig. 1). The access to the stations will be via 24m i.d. mined shafts with high-capacity lifts (see Fig. 2). To provide, among others, safe crossings with the other metro lines, which were built by the cut-and-cover method, an average depth of the tunnels under the surface twice the tunnel height has been selected. The minimum alignment radius is 300m, and the maximum gradient is 4%.

Viewed from the aspect of geological conditions, the route can be divided to two parts. The first part will be driven in grounds, mostly river sediments (from fine sands to sandy gravel). The other part will encounter rock; granodiorites, limestone and shales will prevail. Separate contracts were awarded for each of those parts in September 2001 to joint ventures with foreign participation. The leader of the joint venture for the first US\$265.4m project is Dragados Obras y Proyectos. FCC leads the joint venture for the other project worth US\$351.8m. The northern part operation is scheduled to 2005, and the southern part with the connection to the new airport terminal is scheduled for completion in 2007.

Tunnel boring machines have been designed and manufactured with respect to the particular conditions of the excavation. The EPB TBM produced by Herrenknecht was selected for the excavation in grounds. It was designed to allow the mounting of disc cutters and passing through the porphyrites, which will be encountered along the route within a length of about 180m, and working in open face mode. The TBM parameters are exceptional: thrust of 110MN, torque of 38MNm, and the total installed electrical power amounting to 5.32MW. By contrast, a Wirth shielded TBM will be used for the tunnel driving in rock. It will be capable of operating in closed face mode when



Obr. 2 Vodorovný řez vstupní šachtou se vstupem do stanice  
Fig. 2 Plan section through the entrance shaft with the entry to the station



bude použit razicí stroj firmy Wirth s pláštěm, který naopak bude v nestabilních horninách a poruchových zónách schopen pracovat s uzavřenou čelbou. Celkový instalovaný příkon tohoto stroje bude 7,15 MW. U obou štítů musela být konstrukce štítu i jeho závěsu přizpůsobena ražbě v min. polo- měru 300 m.

Prefabrikované ostění musí zajistit vodotěsnost při předpokládaném hydro- statickém tlaku 3 atm.

Vestavěná železobetonová konstrukce bude tvořit požární zábranu mezi pro- storem spodní a horní trati. Mezi těmito prostory povede přes požární dveře úniková cesta.

Technicky náročné bude napojení šachet a tunelů v zeminách. V předstihu před ražbou budou až na projektovanou úroveň provedeny obvodové kon- strukce šachet tvořené podzemními stěnami. V místě průniku s budoucím tunelem budou stěny provedeny z prostého betonu nebo z betonu s rozptý- lenou výztuží. Pak se do úrovně nad klenbu tunelu šachty vykopou. Štít při ražbě vytvoří eliptický průnik podzemními stěnami šachty. Po zainjektování ostění tunelu se šachta dohloubí, následně se demontují určené segmenty, a tím se vytvoří vstupní otvor do budoucí stanice velikosti 16 x 7 m.

Nástupišťe budou od kolejiště oddělena prosklenou stěnou s dveřmi, jejichž otevření bude synchronizováno s otvíráním dveří vlaku.

Zahájení ražeb bylo plánováno na první polovinu roku 2002. Předpokládá se nepřetržitá ražba ve třech směnech 7 dní v týdnu, aby se dosáhlo plánova- ných průměrných výkonů 230 m až 270 m za měsíc.

Podle zahraničních materiálů.

## PRODLOUŽENÍ METRA V RIO DE JANEIRO

Metro v Rio má dvě trasy a jeho celková délka je 35 km. V současnosti se prodlužuje do hustě osídlené oblasti Copacabana. Nejedná se o velký roz- sah – staví se jedna nová stanice a 430 m trasy v raženém tunelu.

Geologické poměry jsou nepříznivé. Na začátku trasy se razí ve zdravé rule, která přechází do navětralé až zcela rozložené horniny. Dál se střídají nesou- držné sedimenty – písky a jíly včetně sedimentů mořských. Trasa leží pod hladinou podzemní vody. Nadloží kolísá od 30 m do 6 m a přímo nad trasou jsou i vícepodlažní budovy, např. 12patrový dům s mělkými základy.

Původně se předpokládalo, že tunely budou raženy štítem s uzavřenou čel- bou (zeminový nebo bentonitový štít), ale po devalvací brazilské měny v roce 1999 byl tento záměr z ekonomických důvodů opuštěn. Důvod byl ale i technologický – štít by musel být konstruován na zvládnutí velmi promě- nlivých poměrů na čelbě (např. tvrdé a abrazivní horniny ve spodní části a zcela nesoudržné zvodnělé zeminu v horní části čelby).

Pro realizaci byla zvolena metoda s využitím stříkaného betonu a s úpravou zemin pomocí tryskové injektáže. Ta se prováděla pokud to bylo možné z povrchu, ale protože na povrchu je hustá zástavba, realizovala se trysková injektáž ve velkém rozsahu z čelby tunelu. Po obvodu raženého profilu se vytvářel prstenec zpevněné zeminu a ve vzdálenosti 7 až 10 m před čelbou se v celém profilu tryskovou injektáží zpevnila zóna šířky 2 m. Tím vznikla

in unstable rock and weakness zones. The total installed electrical power of this machine will be 7.15MW. The design of the both TBMs and their backups had to be accommodated to driving on a minimum radius of 300 m.

The precast concrete segmental lining has to remain watertight under the expected head of 3 atm.

The built-in reinforced concrete structure will form a fire barrier between the space of the upper and lower track. An escape route will lead between those spaces through fire-proof door.

The work on the connection of the shafts and tunnels in grounds will be tech- nically demanding. Perimeter structures of the shafts will be built up to the designed depth in advance of the excavation. They will be formed by diap- hragm walls. Plain concrete or fibre reinforced concrete will be used for cast- ing the diaphragm walls in the places of their intersection with the future tunnel. Subsequently, the shaft walls will be excavated up to the tunnel vault level. The TBM passing through the underground walls of the shaft will cre- ate an elliptic opening. When the tunnel lining grouting is finished, the shaft excavation will be completed, subsequently relevant segments will be re- moved. A 16 x 7 m entrance opening to the future station will be created by this method.

The platforms will be separated from the rails by a glazed wall with doors. Their opening will be synchronised with the train doors opening.

The excavation start was scheduled for the first half of 2002. To achieve the planned performance of 230 m to 270 m per month, a continuous excavation is expected, with three shifts worked for 7 days/week.

Elaborated according to foreign sources by Ing. Miloslav Novotný

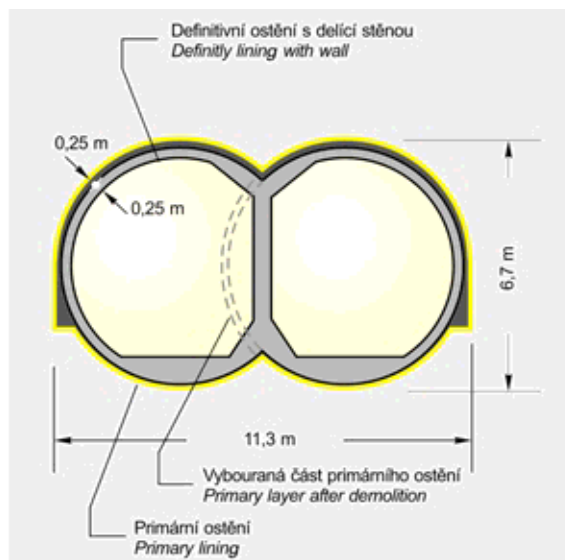
## THE EXTENSION OF THE METRO IN RIO DE JANEIRO

The metro in Rio has features lines, and its overall length achieves 35km. Currently it is being extended to the densely populated area of Copacabana. The extension is not so large, one new station and 430m of the track in mined tunnel are being developed.

Geological conditions are unfavourable. At the beginning of the route, the excavation is carried out in sound gneiss passing to slightly weathered to totally decomposed rock. An alteration of non-cohesive sediments, i.e. sands and clays, including marine deposits follows. The extension route lies under the groundwater table. The overburden varies from 30m to 6m, and there are multi storey buildings directly above the alignment, e.g. a 12-storeyed building with shallow foundations.

Originally the excavation by a positive face support TBM was expected, using either an EPB or slurry machine, but, for economic reasons, due to the devaluation of the Brazilian currency in 1999, this intention was abandoned. Although, the reasons also consisted in the technology. The TBM would have to be designed to cope with very variable conditions at the face (e.g. hard and abrasive rock at the bottom and totally non-cohesive, water bearing ground at the upper section of the face).

A method was applied for the work execution using sprayed concrete and the treatment of the ground by jet grouting. This was carried out from the surface where possible, but, because of the dense surface development, a major portion of the jet grouting was carried out from within the tunnel. A ring of consolidated soil was created around the excavated profile circumfer- ence, and a 20 wide zone covering the full cross section was consolidated by the jet grouting up to a distance of 7 to 10m ahead of the face. This pro-



Obr. 1 Sdružený profil ražených tunelů  
Fig. 1 Compound profile of the driven tunnels

další bariéra proti přítoku podzemní vody a zvýšila se stabilita čelby.

Příprave a optimalizaci tryskové injektáže musela být, vzhledem k složitým geotechnickým podmínkám, věnována velká pozornost (podrobněji viz článek v T+TI č. 03/02).

Zajímavý byl příčný profil tunelů a postup ražeb. Po ekonomické analýze a také ve snaze omezit sedání povrchu bylo rozhodnuto nerazit klasický dvoukolejný tunel. Zvolen byl sružený profil se střední dělicí stěnou (viz obr. 1), který se razil postupně – nejprve první traťový tunel včetně definitivního ostění s dělicí zdí a pak druhý tunel, jehož primární i definitivní ostění navazovalo na příslušná ostění prvního tunelu.

Primární ostění má tloušťku 25 cm a je tvořeno příhradovými oblouky, sítěmi a stříkaným betonem. Definitivní ostění má také tloušťku 25 cm a je z monolitického a částečně ze stříkaného betonu.

Ražba a budování ostění postupovaly v následujících krocích:

1. Ražba kaloty prvního tunelu s primárním ostěním, záběry délky 80 cm.
2. Ražba dna prvního tunelu s primárním ostěním, záběry délky 240 cm. Uzavření dna v maximální vzdálenosti 5,6 m od čelby.
3. Provedení definitivního ostění včetně střední dělicí stěny.
4. Ražba kaloty druhého tunelu s primárním ostěním napojeným na primární ostění prvního tunelu, záběry délky 80 cm.
5. Ražba dna druhého tunelu včetně primárního ostění, záběry délky 240 cm. Uzavření dna v maximální vzdálenosti 5,6 m od čelby.
6. Vybourání části primárního ostění prvního tunelu zasahující do druhého tunelu.
7. Provedení definitivního ostění druhého tunelu napojeného na definitivní ostění prvního tunelu. Část definitivního ostění provedeného ze stříkaného betonu je vyznačena červeně.

Podle zahraničních pramenů.

cedure gave rise to another barrier against the inflow of ground water, and enhanced the face stability.

The planning and optimisation of the jet grouting operations had to be paid great attention because of the complicated geological conditions (for more detail see the article in the T&TI no. 03/02).

The cross section and the excavation procedure were also interesting. The economic analyses and the considerations regarding the surface settlement resulted in the decision to abandon the plan to excavate a conventional double-track tunnel. A combined cross section was adopted, with a central dividing wall (see Fig. 1), which was excavated stepwise, i.e. starting with the first running tunnel tube including the final liner and the dividing wall, and then continuing with the other tube, whose primary and secondary liners connect to the relevant liners of the first tunnel tube.

The primary liner is 25cm thick, and it consists of lattice girders, mesh and shotcrete. The cast-in-situ concrete and partially shotcrete final liner is also 25cm thick.

The excavation and erection of the liners were carried out in the following steps:

1. The first tunnel tube top heading excavation, with primary lining; the round length of 80 cm.
2. The first tunnel tube invert excavation, with primary lining; the round length of 240cm. The invert closed at a maximum distance of 5.6m from the face.
3. Erection of the final liner including the central dividing wall.
4. The other tunnel tube excavation, with the primary liner connecting to the primary liner of the first tunnel tube; the round length of 80cm.
5. The other tunnel tube invert excavation, with primary lining; the round length of 240cm. The invert closed at a maximum distance of 5.6m from the face.
6. Demolition of the part of the first tunnel's primary lining reaching into the other tunnel.
7. Erection of the final liner of the other tunnel tube connecting to the first tunnel's final liner. The part of the final liner carried out in shotcrete is indicated by red colour.

Elaborated according to foreign sources by Ing. Miloslav Novotný

## ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ

### NEWS FROM TUNNELING CONFERENCES

Ve dnech 21.až 23. října se konalo ve francouzském Toulouse pracovní setkání francouzské asociace podzemních staveb AFTES. Všechna setkání AFTES, konající se vždy po 3 letech, jsou pořádána ve znamení určitého tématu. Jedná se o období naší konference Podzemní stavby. Moto toho letošního setkání znělo „Podzemí: stavby které žijí“. Konference byla poprvé pořádána ve spolupráci s druhou zemí, se španělskou asociací podzemních staveb AETOS.

Během tří dnů byly představeny příspěvky seřazené do třech tématických okruhů:

A – Návrat ke zkušenostem z fungování a chování podzemních staveb a materiálů a jejich aplikace při financování a provádění staveb

B – Přeměna stávajících podzemních v díla plnící nový účel

C – Tvorba postupů realizace staveb (aspekt finanční, smluvní a technický) potřebných k provedení podzemní stavby

Kromě těchto tématických okruhů byly předneseny samostatné přednášky na témata:

- podzemní stavby ve Španělsku
- debata kolem kulatého stolu o uvažovaných pyrenejských tunelech
- technické předpisy v podzemním stavitelství

Poslední den byl pořádán v souběhu s 3. mezinárodní konferencí Geotechnické aspekty podzemních staveb v měkkých horninách a byly předneseny přednášky seřazené do těchto tématických okruhů:

- návrh tunelů; stabilita, sedání a definitivní ostění
- metody provádění tunelů
- odezva horninového prostředí na ražbu podzemního díla: měření a zpětné analýzy

V kongresovém centru, kde se akce konala, byla instalována výstava několika desítek společností podnikajících v oboru podzemních staveb. Pro mne osobně byla výstava tou nejlepší částí celé konference, protože příspěvky jsou k nalezení ve sborníku.

Součástí konference byly i technické exkurze na staveniště prodloužení linky B místního metra, kde jsou ražby větší z části 12 km úseku prováděny zemními a bentonitovými štíty.

Konferenci doprovázely standardní společenské akce, kterými byly návštěva radnice a společenský večer.

Z České republiky se konference zúčastnili ještě Ing. Jindřich Hess, člen EC ITA/AITES a předseda ČTuK, a Doc. Ing. Alexandr Rozsypal, Csc., za společnost SG Geotechnika.

The working meeting of the AFTES, the French underground construction association, took place from 21 to 23 October. All AFTES meetings, organised every 3 years, have their specific topics. The meeting is an analogy to our Underground Construction conference. This year the meeting's motto was "The underground: living constructions."

It has been the first time that the conference was organised in collaboration with another state, with AETOS, the Spanish underground construction association.

The papers presented in the course of the three days were distributed into three topic groups:

A - Returning to the experience of the operation and behaviour of underground structures and materials, and their application in the funding and execution of projects

B - Transformation of existing underground structures into facilities serving new purposes

C - Development of construction implementation procedures (financial, contractual and technological aspects) needed for the execution of an underground project

In addition to these topic groups, independent papers were presented on the following topics:

- underground projects in Spain
- a round table discussion on the tunnels in the Pyrenees being under consideration
- technical codes of practice within the underground construction industry

The last day was organised in parallel with the 3rd international conference "Geotechnical Aspects of Underground Structures in Soft Grounds". Papers included into the following topic groups were read:

- tunnel design: stability, settlement and final lining
- tunnelling methods
- response of rock mass to an underground excavation: measurements and back analyses

The congress centre where the conference took place provided a room for an exhibition of several tens of companies engaged in the field of underground construction. For me personally, the exhibition was the best part of the conference events as the papers had been available in the conference proceedings.

Technical visits to the construction site of the extension of the Tolous metro line B were also part of the conference. A majority of the 12km long route has been excavated by EPB or slurry TBMs.

The conference was accompanied by traditional social gatherings, namely a visit to the town hall and a gala dinner.

From the Czech republic, there were Ing. Jindřich Hess, the EC ITA/AITES member and ČTuK chairman, and Doc. Ing. Alexandr Rozsypal, SG Geotechnika, a.s., present in the conference.



## ZPRAVODAJ ČESKÉHO TUNELÁŘSKÉHO KOMITÉTU

## CZECH TUNNELLING COMMITTEE REPORTS

## REDAKČNÍ RADA ZASEDALA VE SLOVINSKU

Výjezdní zasedání redakční rady bylo spojeno s exkurzí na tunelových stavbách ve Slovinsku.

Banské stavby Prievidza umožnily účastníkům zájezdu návštěvu staveniště dálničních tunelů Trojane mezi Ljublaní a Mariborem, na jejichž výstavbě se podílí. V příštím čísle našeho časopisu přineseme dva články o této stavbě, jednak z hlediska provádění (Ing. Petko, Ing. Cagaň), jednak z oblasti měřičských prací (Ing. Smaho).

Protože cesta autobusu vedla pod masivem Taur, Karavanek a dalších pohorí rakousko-slovinského pohraničí, byla pro účastníky zájezdu učebnicovou ukázkou tunelového stavitelství. O zasvěcený odborný výklad po celou cestu se staral Prof. Barták.

Redakční rada kromě běžné přípravy dalších čísel časopisu se podrobně zabývala problematikou inzerce, neboť její rozsah zakotvený v rozpočtu na běžný rok je nezbytně nutný splnit a zajistit tak financování časopisu. Rozpočet vycházel z usnesení valné hromady z roku 2001 i 2002, v němž přijaly členské organizace závazek získat během roku dva inzeráty. Protože tento úkol není uspokojivě plněn, obrací se RR na členy ČTuK s níže uvedenou výzvou.

## VÝZVA VŠEM ČLENSKÝM ORGANIZACIÍM

Redakční rada časopisu TUNEL se obrací na všechny členské organizace s žádostí, aby každá zajistila v běžném roce ve smyslu usnesení valných shromáždění dva inzeráty do našeho časopisu, tak jak je obsaženo ve schváleném rozpočtu. Doporučujeme, abyste inzerci požadovali od svých subdávatelů a kooperantů, s nimiž sjednáváte práce a dodávky. Zdůrazňujeme, že inzerce tvoří podstatnou položku rozpočtu a její průběžné plnění přímo podmiňuje financování našeho časopisu.

## UPOZORNĚNÍ AUTORŮM PŘÍSPĚVKŮ DO NAŠEHO ČASOPISU

RR žádá všechny autory příspěvků do časopisu, aby respektovali pokyny, které jsme již dvakrát uveřejnili a z nichž je nejpodstatnější:

- textovou část včetně podtitulků (bez obrázků a grafických příloh) poslat do redakce e-mailem
- digitální grafické přílohy (bez detailů, které jsou nečitelné při zmenšení pod 1A5) s popisky česko/anglickými (v krajním případě s přihlédnutím, že pod český text se ještě musí vejít anglický překlad) a digitální fotografie na nosiči včetně barevného otisku předat/poslat do redakce do termínu uzávěrky
- uzávěrka každého čísla je do konce prostředního měsíce v kvartálu (pro č. 1 do konce listopadu předešlého roku, pro č. 2 do konce února atd.)

## ZMĚNA VE SLOŽENÍ REDAKČNÍ RADY

Není to dlouho, kdy jsme v rubrice životních jubilejí gratulovali zakládajícímu členovi RR k významnému životnímu mezníku. A přišel čas, kdy náš přítel Ing. Miroslav Uhlík ukončil nejen své zaměstnání u akciové společnosti SUBTERRA, ale i působení v redakční radě našeho časopisu. Redakční rada vždy velice oceňovala uvážlivou práci Ing. Uhlíka, kterou pro náš časopis po mnoho let vykonával. Jeho návrhy a stanoviska patřily vždy k těm nejrespektovanějším.

SUBTERRA, a. s., jmenovala svého nového zástupce. Je jím Ing. Pavel Stoullil, vedoucí útvaru marketingu a public relations společnosti. Přejeme mu, aby byl důstojným nástupcem svého předchůdce.



Ze zasedání redakční rady ve Slovinsku (tunel Trojane)  
From the Editorial Board meeting in Slovenia (Trojane tunnel)

## EDITORIAL BOARD MEETING IN SLOVENIA.

The away meeting of the editorial board was combined with a technical tour of tunnel construction sites in Slovenia. Banské Stavby Prievidza, a.s., arranged for the board members a visit to the works, which they are participating in, namely the construction of the Trojane highway tunnels between Ljubljana and Maribor. We are going to publish two articles dealing with this project in the next issue of our magazine. One of them will describe the tunnel excavation (Ing. Petko, Ing. Cagaň), the other one will be focused on the geodetic survey (Ing. Smaho).

The journey, whose route led under the Tauern massif, the Karawanken and other mountain ranges of the Austrian – Slovenian borderland, became a textbook example of the tunnelling industry for the journey participants. Prof. Barták provided well-informed, professional comment during the whole journey.

Apart from the common preparation of future issues of the magazine, the editorial board went into the matter of advertising. Its scope reflected in the annual budget has to be fulfilled so that the magazine financing is secured. The budget was based on the General Meeting resolutions from the years 2001 and 2002, where the member organisations committed themselves each to obtain two advertisements in a year. Since this commitment has not been fulfilled satisfactorily, the EB is addressing the CtuC members with the following appeal.

## APPEAL TO ALL MEMBER ORGANISATIONS

The editorial board of the TUNEL magazine appeals to all member organisations, asking each of them, within the meaning of the resolutions of general meetings, each to ensure two advertisements for our magazine in the calendar year, as counted on in the approved budget. We recommend that you should ask your subcontractors and cooperating organisations that you negotiate contracts with. We are stressing the fact that advertising is a substantial item of the budget, and meeting its planned scope continuously is a condition of our magazine financing.

## NOTICE TO THE AUTHORS OF CONTRIBUTIONS FOR OUR MAGAZINE

The EB is asking all authors sending their contributions to our magazine to respect the instructions we have published already twice, with the most important ones:

- the text part inclusive of the sub-titles (without pictures and graphic enclosures) are to be sent to the editor's office by e-mail
- digital graphic enclosures (without details illegible at a reduction under 1A5) with Czech/English captions (in the extreme allowing for the need to place English translations under the Czech captions) and digital photos on a carrier, including a colour print, are to be delivered/posted to the editor's office before the copy deadline.
- the copy deadline for each issue is the end of the middle month of the respective quarter (the end of November for No. 1, the end of February for No.2 etc.)

## A CHANGE IN THE EDITORIAL BOARD COMPOSITION

It is not long ago that we congratulated, in our Life Jubilees column, the EB founding member to a significant life milestone. The time has come, our friend Ing. Miroslav Uhlík has ended not only his employment with SUBTERRA joint stock company, but also his work in the editorial board of our magazine. The editorial board have always highly appreciated the prudent work performed for our magazine for many years by Ing. Uhlík. His suggestions and opinions have always belonged to those most respected.

SUBTERRA, a.s. has appointed its new representative, Ing. Pavel Stoullil, head of its marketing and public relations department. We are wishing him to become a worthy successor of his predecessor.

Ing. Karel Matzner



### Vysokotlaký vodní paprsek High pressure water jet

Moderní ekologická metoda čištění bez dalšího narušení a oslabení konstrukcí s možností plynulého zvyšování tlaku od 50 do 1500 barů, s výkonem 33 litrů/min.

Modern ecological method of cleaning without following disruption and weakening of structures with possibility of smooth pressure increase from 50 to 1500 bars, and output of 33 liters per min.

- sanace železobetonových konstrukcí
- odstranění starých nátěrů a rzi
- čištění rezného zdiva a obkladů
- čištění vodojemů, potrubí atd.
  - redevelopment of reinforced concrete structures
  - removal of old coatings, rust from sheet metals
  - cleaning of raw brickwork
  - cleaning of water tanks, piping, etc.

*Nabízíme také speciální technologie pro stavebnictví, pronájem možný včetně odborné obsluhy*  
*We also offer special technologies for civil engineering, lease is possible including professional operation*



### Bezrezonanční vibrátor RF 18 - beranidlo Resonance-less vibrator RF 18 pile driver

Omezení špičkových vibrací půdy i vibrací v okolních budovách, výhodou je nastavení excentrického momentu za běhu od 0 - 100%

Construction of top vibrations of soil and vibrations inside the neighboring buildings.

The set up of the excentric moment in run from 0 100%.

Technické parametry:

- excentrický moment 0-17,5 kgm
- odstředivá síla 0-850 kN
- frekvence 2100 ot./min.
- max.dovolený tah 240 kN
- max.výkon 226 kW

Technical parameters:

- excentric moment 0 17,5 kgm
- centrifugal force 0 8. 50 kN
- frequency 2100 turns/min.
- max. allowed tension 240 kN
- max. output 226 kW



### Jsme držiteli certifikátu EMS podle ČSN EN ISO 14001

#### We are the holders of the Certificate EMS according to ČSN (Czech standards) EN ISO 14001

Vedení VOKD, a. s., vyhlásilo environmentální politiku jako jednu z priorit řízení společnosti s následujícími principy

Management of VOKD, a. s., announced the environmental policy as one of company management priorities with the principles as follows:

- co nejefektivněji využívat přírodní zdroje a suroviny a trvale minimalizovat vznik odpadů a míru negativních vlivů na pracovní a životní prostředí
- provozovat veškerá technická a technologická zařízení s ohledem na ochranu životního prostředí a účinné využívání příslušných druhů energií
- v rámci prováděných činností předcházet vzniku negativních environmentálních dopadů a vzniku nebezpečných havarijních stavů

- the most efficient exploitation of natural sources and raw materials and permanent minimization of waste formation and extent of adverse influences on working and living environment
- operation of any technical and technological equipment with respect of environment protection and efficient exploitation of relevant types of energy
- prevention of negative environmental impacts and prevention of the occurrence of dangerous emergency situations within the scope of activities performed





## O SPOLOČNOSTI

Spoločnosť Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania a. s., vznikla 14.8.2001 odčlenením aktivít stavebného závodu Tunely a špeciálne zakladanie od spoločnosti s vyše 40-ročnou tradíciou, Váhostav a.s. Žilina.

Pod novú spoločnosť prešli kvalifikovaní pracovníci od riadiacich až po robotnícke profesie.

S kompletným strojným a technologickým vybavením, odbornosťou a skúsenosťami zabezpečujeme úplný sortiment špeciálneho zakladania stavieb a realizáciu projektov v podzemnom staviteľstve.

## PROFIL SPOLOČNOSTI

Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania pre riešenie problémov zakladania a výstavby pozemných, dopravných, vodohospodárskych a podzemných stavieb ponúka progresívne technológie :

### Razenie a betonáž

- podzemných komunikačných objektov (cestné a železničné tunely, privádzače)
- priestorov podzemných objektov (garáže, zásobníky)
- podzemných objektov vodohospodárskych stavieb

### Realizácia podzemných stien

- podzemné konštrukčné steny prefabrikované/monolitické
- podzemné pilótové steny konštrukčné/tesniace
- podzemné tesniace steny
- injektované podzemné steny

### Vrtné a injekčné práce

- horninové kotvy – lanové/tyčové
- injektované mikropilóty
- injektované klnice – paženie striekaným betónom
- injekčné vrty – tesniace clony, spevňovanie podlažia
- odvodňovacie horizontálne vrty

### Pilótové základy

- malopriemerové pilóty
- veľkopriemerové pilóty

### Váhostav – Tunely a špeciálne zakladania, a.s.

Borská 6, 841 04 Bratislava, Slovenská republika

Generálne riaditeľstvo

Hlínská 40, 012 16 Žilina, Slovenská republika

tel.: +421 41 517 18 51

fax: +421 41 732 59 00

e-mail: [tunely@vahostav-tsz.sk](mailto:tunely@vahostav-tsz.sk)

