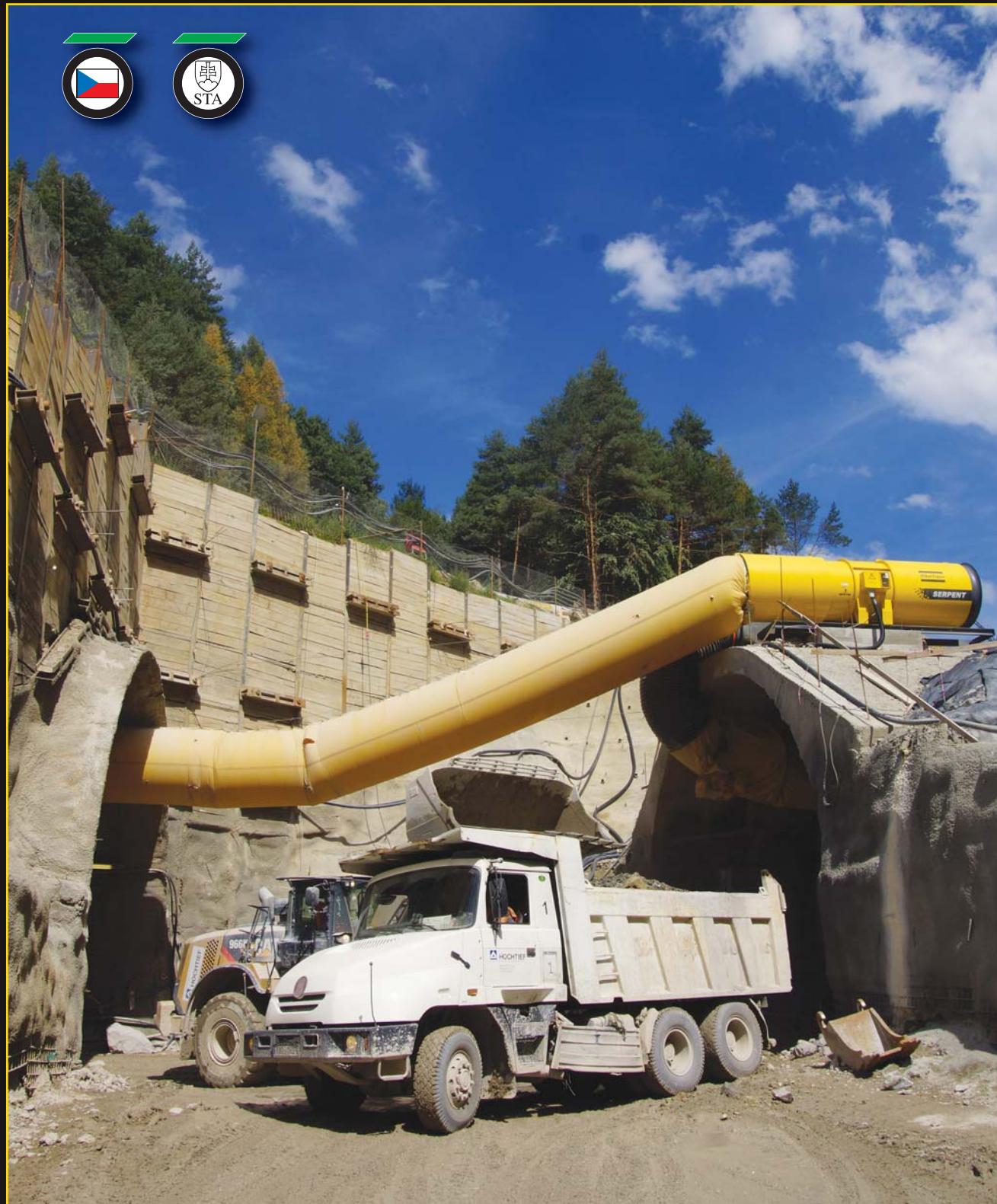
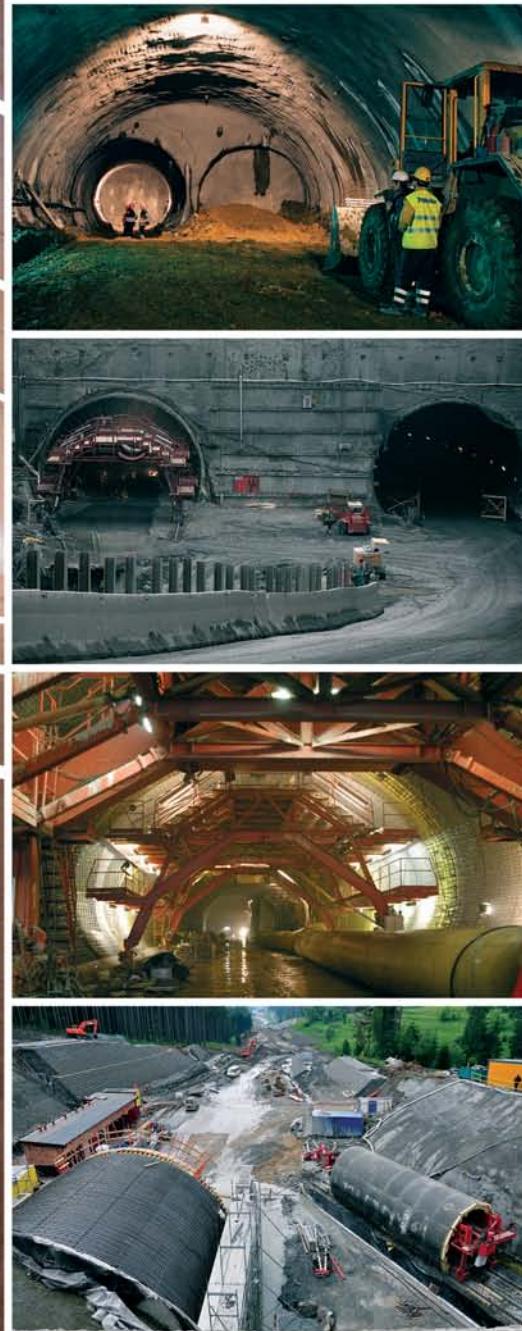
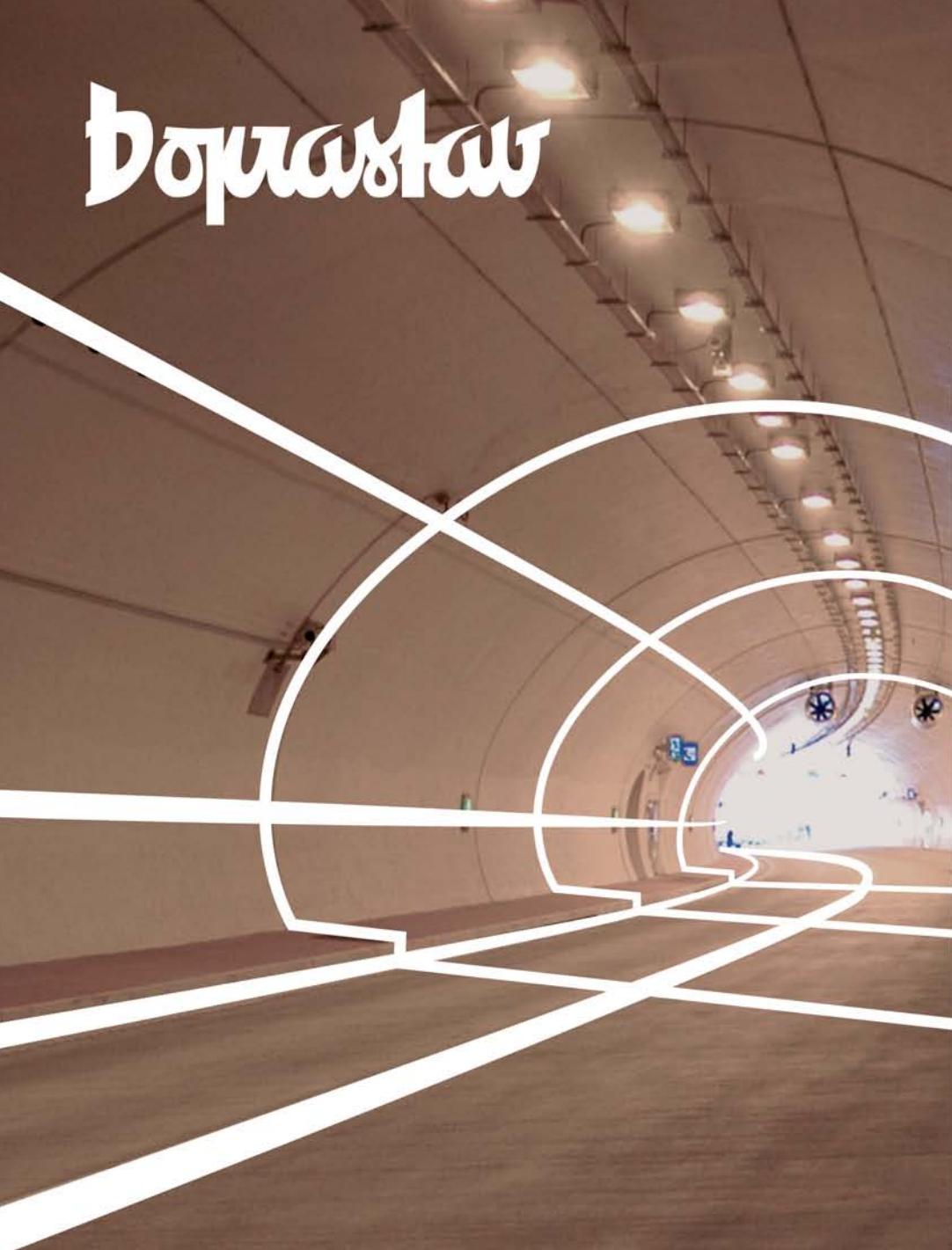


T u n e l

č. 3
2015

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





DIALNICE

ŽELEZNICE

VODOHOSPODÁRSKE A EKOLOGICKÉ STAVBY

PRIEMYSELNÉ STAVBY

CESTY

POZEMNÉ STAVBY

LETISKÁ

TUNELY

„Sme **spolahlivým, korektným a profesionálnym** partnerom,
ktorý splní i tie najsmelšie predstavy a plány investorov o modernej
a účelnej výstavbe doma i v zahraničí.“

OBSAH

Editorial:	
Ing. Ján Kušnír, člen redakční rady časopisu Tunel	1
Úvodníky:	
Ing. Jozef Hric, predseda predstavenstva a generálny riaditeľ TuCon, a. s.	2
Ing. Juraj Androvič, predseda predstavenstva a generálny riaditeľ Doprastav, a. s.	3
Podzemná prečerpávacia vodná elektráreň Nant de Drance – Švajčiarsko	
Ing. Martin Magdolen, Ing. Ivan Kvašay, TuCon, a. s.	4
Podmorský cestný tunel Solsbakk, Nórsko	
Ing. Juraj Antolík, Ing. Martin Magdolen, TuCon, a. s.	13
Výstavba podzemnej vodnej elektrárne Ilulissat – Grónsko	
Igor Harach, TuCon, a. s.	19
Skúsenosti s razením tunelov Poľana a Lalík v karpatskom flyši	
Bc. Miroslav Žáčik, Ing. Vladimír Ďurša, DOPRASTAV, a. s.	26
Tunel Ovčiarisko – súčasť dopravného uzla Žilina na diaľnici D1	
Ing. Jozef Bartoš, Ing. Martin Cvoliga, DOPRASTAV, a. s.	34
Tunel Žilina – projektovanie, výstavba a geotechnický monitoring	
Ing. Martin Valko, Michal Fučík, DOPRASTAV, a. s., závod Žilina, Ing. Andrej Korba, Metrostav a. s., Ing. Róbert Zwilling, Basler&Hofmann Slovakia s. r. o., Ing. Ota Janeček, ARCADIS CZ a. s.	40
Výstavba tunelov na Slovensku klasickými metódami	
prof. Ing. František Klepsatel, PhD., Ing. Jana Chabroňová, PhD., SVF STU Bratislava	48
Geologické sledovanie mechanizovaných TBM ražeb na úseku KAT2 tunelu Koralm	
RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D., 3G Consulting Engineers s. r. o.	61
Ohľadnúť na výstavbu metra V.A / Ing. Jan Krouza, HOCHTIEF CZ a. s.	73
Technológia, postup a špecifika razenia tunela Považský Chlmec	
Ing. Anton Petko, Ing. Vít Pastrnák, HOCHTIEF CZ a. s.	81
Tunel Považský Chlmec na dálnici D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) od projektu k realizaci / Ing. Libor Mařík, HOCHTIEF CZ a. s.	88
Fotoreportáz z exkurzie CzTA na slovenské tunely Považský Chlmec, Žilina a Ovčiarisko	
Ze sveta podzemních staveb	104
Zprávy z tunelářských konferencí	110
Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice	111
Výročí	112
Z historie podzemních staveb	115
Zpravodaj Česká a Slovenské tunelářské asociace	118
Zpravodaj Česká a Slovenské tunelářské asociace	124

REDAKČNÍ RADA/EDITORIAL BOARD**Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members**

prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Stavební fakulta ČVUT v Praze (predseda/Chairman)
Ing. Tomáš Ebermann, PhD. – GEOTest, a.s.
Ing. Miloslav Frankovský – TERRAPROJEKT, a.s.
doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D. – 3G Consulting Engineers, s.r.o.
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – VUT Brno, FAST
doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava
RNDr. Radovan Chmelář, Ph.D. – PUDIS a.s.
Ing. Viktoria Chomová – STA
Ing. Jan Korejčík – Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.
Ing. Ján Kušnír – REMING CONSULT a.s.
Ing. Miroslav Novák – METROPROJEKT Praha a.s.
Ing. Libor Mařík – HOCHTIEF CZ a.s.
doc. Dr. Ing. Jan Průška – Stavební fakulta ČVUT v Praze
prof. Ing. Pavel Přibyl, CSc. – ELTODO, a.s.
Ing. Pavel Růžička, Ph.D. – HOCHTIEF CZ a. s.
Ing. Boris Šebesta – METROSTAV a.s.
doc. Ing. Richard Šnupárek, CSc. – Ústav geoniky AVČR v.v.i.
Ing. Pavel Šourek – SATRA, spol. s r.o.

VYDAVATEL

Česká tunelářská asociace a Slovenská tunelárska asociácia ITA-AITES pro vlastní potřebu

DISTRIBUCE

členské státy ITA-AITES
členové EC ITA-AITES
členské organizace a členové CzTA a STA
externí odběratelé
povinné výtisky 35 knihovnám a dalším organizacím

REDAKCE

Dělnická 12, 170 00 Praha 7, tel.: +420 702 062 610
e-mail: pruskova@ita-aites.cz
web: http://www.ita-aites.cz
Vedoucí redaktor: Ing. Markéta Průšková, Ph.D.
Odborný redaktori: doc. Dr. Ing. Jan Průška, Ing. Pavel Šourek, RNDr. Radovan Chmelář, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský
Grafické zpracování: DTP Martin Pek, nám. T. G. Masaryka 737, 290 01 Poděbrady
Tisk: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl
Foto na obálce: Tunel Považský Chlmec, stísněné poměry ve střední stavební jámě (STT) / foto Ing. Libor Mařík

CONTENTS**Editorials:**

Ing. Ján Kušnír, Editorial Board Member	1
Ing. Jozef Hric, Chairman of Board of Directors and General Director, TuCon, a. s.	2
Ing. Juraj Androvič, Chairman of the Board of Directors and General Director of Doprastav, a. s.	3
Underground Pumped Storage Scheme Nant de Drance – Switzerland	
Ing. M. Magdolen, Ing. I. Kvašay, TuCon, a. s.	4
Solsbakk Undersea Tunnel, Norway / Ing. J. Antolík, Ing. M. Magdolen, TuCon, a. s.	13
Development of Ilulissat Hydropower Station – Greenland	
Igor Harach, TuCon, a. s.	19
Experience with the Excavation of Poľana and Lalík Tunnels in Carpathian Flysch / Bc. M. Žáčik, Ing. V. Ďurša, DOPRASTAV, a. s.	26
Ovčiarisko Tunnel – Part of the Žilina Traffic Junction on D1 Motorway	
Ing. Jozef Bartoš, Ing. Martin Cvoliga, DOPRASTAV, a. s.	34
Zilina Tunnel – Design, Construction and Geotechnical Monitoring	
Ing. M. Valko, M. Fučík, DOPRASTAV, a. s., závod Žilina, Ing. A. Korba, Metrostav a. s., Ing. R. Zwilling, Basler&Hofmann Slovakia s. r. o., Ing. O. Janeček, ARCADIS CZ a. s.	40
Development of Tunnels in Slovakia Using Classical Construction Methods	
prof. Ing. F. Klepsatel, PhD., Ing. J. Chabroňová, PhD., SVF STU Bratislava	48
Geological Monitoring of TBM Drives in Kat2 Section of the Koralm Tunnel	
RNDr. Tomáš Svoboda, Ph.D., 3G Consulting Engineers s. r. o.	61
Looking Back at the Metro V.A Line Construction	
Ing. Jan Krouza, HOCHTIEF CZ a. s.	73
Technology, Procedure and Specifics of the Považský Chlmec Tunnel Excavation	
Ing. Anton Petko, Ing. Vít Pastrnák, HOCHTIEF CZ a. s.	81
Považský Chlmec Tunnel on Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno)	
Section of the D3 Motorway – from Design to Realisation	
Ing. Libor Mařík, HOCHTIEF CZ a. s.	88
Picture Report from CzTA Excursion to Slovakian Tunnels Považský Chlmec, Žilina and Ovčiarisko	
Ing. Libor Mařík, HOCHTIEF CZ a. s.	104
The World of Underground Constructions	
News from Tunnelling Conferences	110
Current News from the Czech and Slovak Underground Construction	112
Anniversaries	115
From the History of Underground Constructions	118
Czech and Slovak Tunnelling Association ITA-AITES Report	124

Ing. Václav Veselý – ARCADIS CZ a.s.

Ing. Ondrej Vida – SKANSKA SK, a. s.

Ing. Jan Vintera – Subterra a.s.

Ing. Jaromír Zlámal – POHL CZ, a.s.

CzTA ITA-AITES: Ing. Markéta Průšková, Ph.D.

Zahraniční členové / International members

Prof. Georg Agagnostou – ETH Zürich, Switzerland
Dr. Nick Barton – NICK BARTON & ASSOCIATES, Norway
Prof. Adam Beuzijen – GHENT UNIVERSITY, Belgium
Prof. Tarcisio B. Celestino – UNIVERSITY OF SAO PAULO, Brazil
Dr. Wojtech Gall – GALL ZEIDLER CONSULTANTS, USA
Prof. John A. Hudson – IMPERIAL COLLEGE, UK
Prof. Dimitrios Kolymbas – UNIVERSITY OF INNSBRUCK, Austria
Prof. In-Mo Lee – KOREA UNIVERSITY, South Korea
Prof. Daniele Peila – POLITECNICO DI TORINO, Torino, Italy
Prof. Wulf Schubert – GRAZ UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Austria
Prof. Ove Stephansson – GFZ Potsdam, Germany
Prof. Walter Wittke – WBI GmbH, Germany

PUBLISHED FOR SERVICE USE

by the Czech Tunnelling Association and the Slovak Tunnelling Association ITA-AITES

DISTRIBUTION

ITA-AITES Member Nations

ITA-AITES EC members

CzTA and STA corporate and individual members

external subscribers and obligatory issues for 35 libraries and other subjects

OFFICE

Dělnická 12, 170 00 Praha 7, tel./fax: +420 266 793 479

e-mail: pruskova@ita-aites.cz

web: http://www.ita-aites.cz

Editor-in-chief: Ing. Markéta Průšková, Ph.D.

Technical editors: doc. Dr. Ing. Jan Průška, Ing. Pavel Šourek, RNDr. Radovan Chmelář, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský

Graphic designs: DTP Martin Pek, nám. T. G. Masaryka 737, 290 01 Poděbrady

Printed: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl

Cover photo: The Považský Chlmec tunnel, constrained conditions in the mid-point construction pit (NTT)

photo courtesy of Ing. Libor Mařík

ČLENSKÉ ORGANIZACE ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES

MEMBER ORGANISATIONS OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES

CzTA:

Čestní členové:

prof. Ing. Josef Aldorf, DrSc.
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.
Ing. Jindřich Hess, Ph.D.
Ing. Karel Matzner

Členské organizace:

3G Consulting Engineers s.r.o.
Na usedlosti 513/16
office: Zelený pruh 95/97
140 00 Praha 4

AMBERG Engineering Brno, a.s.
Ptačinského 10
602 00 Brno

Angermeier Engineers, s.r.o.
Pražská 810/16
102 21 Praha 10

AZ Consult, spol. s r.o.
Klíčská 12
400 01 Ústí nad Labem

ARCADIS CZ a.s.
Geologická 4/988
152 00 Praha 5

BASF Stavební hmoty
Česká republika s.r.o.
K Májovu 1244
537 01 Chrudim

Stavební fakulta ČVUT v Praze
Thákurova 7
166 29 Praha 6

EKOSTAV a.s.
Brigádníků 3353/351b
100 00 Praha 10

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

Energie - stavební a báňská a.s.
Vašickova 3081
272 04 Kladno

Fakulta stavební VŠB-TU Ostrava
L. Poděšík 1875/17
708 33 Ostrava-Poruba

FAKULTA STAVEBNÍ VUT v Brně
Veveří 331/95
602 00 Brno

GeoTec-GS, a.s.
Chmelová 2920/6
106 00 Praha 10-Záběhlice

GEOtest, a.s.
Šmahova 1244/112
627 00 Brno

HOCHTIEF CZ a. s.
Plzeňská 16/3217
150 00 Praha 5

IKP Engineers Group, s.r.o.
Classic 7 – budova C
Jankovcova 1037/49
170 00 Praha 7

ILF Consulting Engineers, s.r.o.
Jirsíkova 538/5
186 00 Praha 8

INSET s.r.o.
Lucemburská 1170/7
130 00 Praha 3-Vinohrady

Inženýring dopravních staveb a.s.
Na Moráni 3/360
128 00 Praha 2-Nové Město

KELLER - speciální zakládání, spol. s r. o.
Na Pankráci 1618/30
140 00 Praha 4

MAPEI, spol. s.r.o.
Smetanova 192/33
772 11 Olomouc

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

METROSTAV a.s.
Koželužská 2450/4
180 00 Praha 8

Minova Bohemia s.r.o.
Libovarská 1199/10
Radvanice
716 00 Ostrava

Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.

Národní 984/15
110 00 Praha 1

OHL ŽS, a.s.

Burešova 938/17
602 00 Brno-Veveří

POHL cz, a.s.

Nádražní 25

252 63 Roztoky u Prahy

Pöry Environment a.s.

Botanická 834/56

656 32 Brno

PRAGOPROJEKT, a.s.

K Ryšánce 1668/16

147 54 Praha 4

Promat s.r.o.

V. P. Čkalova 22/784

160 00 Praha 6

PROMINECON CZ a.s.

Revoluční 25/767

110 00 Praha 1

PUDIS a.s.

Nad vodovodem 2/3258

100 31 Praha 10

ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR

Cerčanská 12

140 00 Praha 4

SAMSON PRAHA, spol. s r. o.

Týnská 622/17

110 00 Praha 1

SATRA, spol. s r.o.

Sokolská 32

120 00 Praha 2

SIKA CZ, s.r.o.

Bystrcká 1132/36

624 00 Brno

SMP CZ, a.s.

Pobřežní 667/78

186 00 Praha 8

SPRÁVA ÚLOŽIŠTĚ

RADIOAKTIVNÍCH ODPADŮ

Dlážděná 1004/6

110 00 Praha 1-Nové Město

Subterra a.s.

Koželužská 2246/5

180 00 Praha 8 - Libeň

SUDOP PRAHA a.s.

Olsánská 2643/1a

130 80 Praha 3

SŽDC, s. o.

Dlážděná 1003/7

110 00 Praha 1

UNIVERZITA PARDUBICE

Dopravní fakulta Jana Pernera

Studentská 95

532 10 Pardubice

ÚSTAV GEOLOGICKÝCH VĚD

Přírodořecká fakulta

Masarykovy univerzity v Brně

Kotlářská 267/2

611 37 Brno

ÚSTAV GEONIKY AV ČR, v.v.i.

Studentská ul. 1768

708 00 Ostrava-Poruba

VIS, a.s.

Bezová 1658

147 01 Praha 4

Zakládání Group a.s.

Thámová 181/20

186 00 Praha 8

STA:

Čestní členovia:

doc. Ing. Koloman V. Ratkovský, CSc.
Ing. Jozef Frankovský
prof. Ing. František Klepsatel, CSc.
Ing. Juraj Keleš

Členské organizácie:

ALFA 04, a. s.
Jaškova ul. 6
821 03 Bratislava

AMBERG Engineering Slovakia, s. r. o.
Somolického 819/1
811 06 Bratislava

APOLLOPROJEKT, s. r. o.
Vlčie hrisko
P.O. BOX 56
820 03 Bratislava

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

BASF Slovensko, s. r. o.
Prievozská 2
821 09 Bratislava

BASLER & HOFMANN SLOVAKIA,
s. r. o.
Panenská 13
811 03 Bratislava

BEKAERT Hlohovec, a. s.
Mierová ul. 2317
929 28 Hlohovec

DOPRASTAV, a. s.
Drieňová ul. 27
826 56 Bratislava

GEOCONSULT, spol. s r. o.
Miletičova 21
P.O.BOX 34
820 05 Bratislava

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

GEOMONTA-HARMANEC, spol. s r. o.
Majerská cesta 36
974 01 Banská Bystrica

GEOstatik, a. s.
Kragujejská 11
010 01 Žilina

HYDROBETON, s. r. o.
Staviteľská 3
831 04 Bratislava

HYDROTUNEL, spol. s r. o.
Mojmírová ul. 14
P.O.BOX 16
927 01 Bojnice

IGBM, s. r. o.
Chrenovec 296
972 32 Chrenovec-Brusno

K-TEN Turzovka, s. r. o.
Vysoká nad Kysucou 1279
023 55 Vysoká nad Kysucou

MACCAFERRI CENTRAL EUROPE,
spol. s r. o.
Štvorník 662
906 13 Brezová pod Bradlom

MAPEI SK, s. r. o.
Nádražná 39
900 28 Ivanka pri Dunaji

MC – BAUCHEMIE, s. r. o.
Na Pántoch 10
831 06 Bratislava

NÁRODNÁ DIALNIČNÁ
SPOŁOČNOST, a. s.
Mlynské nivy 45
821 09 Bratislava

OBO Bettermann s.r.o.
Viničianská cesta 13
902 01 Pezinok

PERI, spol. s r. o.
Šamorinská 18/4227
903 01 Senec

PUDOS PLUS, spol. s r. o.
Račianske Mýto 1/A
839 21 Bratislava 32

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

REMING CONSULT, a. s.
Trnavská cesta 27
831 04 Bratislava

RENESCO, a. s.
Panenská 13
811 03 Bratislava

SIKA SLOVENSKO, spol. s r. o.
Rybničná 38/e
831 06 Bratislava

SKANSKA SK, a. s.
Závod Tunely
Košovská cesta 16
971 74 Prievidza

SLOVENSKÁ SPRÁVA CIEST
Miletičova ul. 19
826 19 Bratislava

SLOVENSKÉ TUNELY, a. s.
Lamačská cesta 99
841 03 Bratislava

SM 7, a. s.
Organizačná zložka
Mlynské nivy 41
821 09 Bratislava

SOLHYDRO, spol. s r. o.
Ponánska cesta 17
P.O.BOX 169
850 00 Bratislava

STI, spol. s r. o.
Hlavná 74
053 42 Krompachy

STU, Stavebná fakulta
Katedra geotechniky
Radlinského 11
813 68 Bratislava

TAROSI c.c., s.r.o.
Slávičie údolie 106
811 01 Bratislava

TECHNICKÁ UNIVERZITA
Fakulta BERG
Katedra dobyvania ložísk a geotechniky
Katedra geotech. a doprav. staviteľstva
Letná ul. 9
042 00 Košice

TERRAPROJEKT, a. s.
Podunajská 24
821 06 Bratislava

TUBAU, a. s.
Bytčická 89
010 09 Žilina

TUCON, a. s.
K cintorínu 63
010 04 Žilina - Bánová

TUNGARD, s.r.o.
Osloboditeľov 120
044 11 Trstené pri Hornáde

URANIPRES, spol. s r. o.
Fraňa Kráľa 2
052 80 Spišská Nová Ves

ÚSTAV GEOTECHNIKY SAV
Watsonova ul. 45
043 53 Košice

VÁHOSTAV-SK, a. s.
Hlinská 40
010 18 Žilina

VUIS-Zakladanie stavieb, spol. s r. o.
Kopčianska 82/c
851 01 Bratislava

ŽELEZNICE SR
Klemensova 8
813 61 Bratislava

ŽILINSKÁ UNIVERZITA
Stavebná fakulta, blok AE
Katedra geotechniky,
Katedra technológie a manažmentu stavieb
Univerzitnej 8215/1
010 26 Žilina

Milí čitatelia,

presne po roku sa k vám môžem prihovárať ako ďalší člen slovenského zastúpenia STA v redakčnej rade časopisu Tunel. Nie je náhodou, že som túto možnosť a dôveru od redakčnej rady dostal. Toto číslo, ktoré teraz držíte v rukách, je totiž špeciálne tvorené tak, aby ste ho mohli dostať ako „predjedlo“ pred prípravovanou konferenciou, alebo ako základ počas konferencie „Tunely a podzemné stavby 2015“ v Žiline. Skupinka nadšencov tunelových stavieb na Slovensku za podporu Slovenskej tunelárskej asociácie oprášila spomienky na konferenciu z roku 2004 „Význam tunelov v doprave“ vo Vysokých Tatrách. Začali sme si postupne plniť sen o započatí novej tradície „tunelárskych“ konferencií na Slovensku. Teší ma, že môžem poznáť českých kolegov, ktorí už takúto tradíciu doma vytvorili konferenciou „Podzemní stavby Praha“, a veľmi nás teší, že môžeme ako prípravný výbor v jej tradícii hľadať inšpirácie a získavať rady. A bolo by dobre, keby sa aj nám na Slovensku podarilo pripraviť takú konferenciu, aby sme sa kvalitou priblížili k tej pražskej. Tieto slová sú písané v čase, keď prebiehajú prípravy, vy ich čitateľ v čase konferencie. Pevne verím, že konferencia sa nám podarí.

Nie náhodou sa vám v tomto čísle časopisu predstavujú dve slovenské spoločnosti. Prvou je spoločnosť TuCon, a. s., zo Žiliny, ktorá sa môže na Slovensku pochváliť postavením diaľničného tunela Bôrik. Druhou je spoločnosť Doprastav, a. s., Bratislava, ktorá sa v súčasnosti podieľa na výstavbe viacerých diaľničných tunelov v okolí Žiliny.

V článkoch spoločnosti TuCon nás ich odbornici zoberú na prehliadku nádhernej vysokohorskej alpskej stavby – prečerpávacej priehradu Nant de Drance vo Švajčiarsku, kde okrem geológie ich trápilo aj zimné počasie. Zoznámia nás s výstavbou najdlhšieho podmorského cestného tunela Solbakk v Nórsku, ktorý motoristom skráti cestu zo 70 na necelých 15 kilometrov. Dvesto km od polárneho kraja, v arktickom pásme, na západe Grónska nás zblížia s výstavbou podzemnej vodnej elektrárne Ilulissat.

Odborníci z Doprastavu nás dostanú bližšie do našich končín a podelia sa s nami so skúsenosťami z razenia tunelov Laliki v Poľsku a Poľana na Kysuciach, oba v prostredí karpatského flyšu. V dvoch nasledujúcich článkoch nás informujú o aktuálnych stavbách tunelov Ovčiarisko a Žilina na diaľnici D1 v úseku Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka.

Profesor F. Klepsatel, CSc. prispel k mozaike slovenských článkov hodnotným príspevkom o výstavbe dopravných tunelov, ktoré boli postavené na Slovensku do roku 1970 a prostredníctvom dobových technických obrázkov nám umožnil nahliadnuť do zaujímavostí starého tunelárskeho remesla.

Najbližšie položeným diaľničným tunelom k Žiline bude Považský Chlmec, ktorý sa momentálne razí až zo šiestich čielieb, no viac nám prezradí dvojica autorov vo svojich dvoch rôznych článkoch.

No nesmieme zabudnúť ani na ďalšie odborné príspevky kolegov tunelárov. Z geologického hľadiska je zaujímavý článok z Korálmskej železnice kde sa na tuneli dlhom 32,9 km razenom pomocou TBM opisuje geologickej monitoring. Zaspomíname si aj na výstavbu predĺženia trasy A pražského metra, a na záver nechybajú zaujímavé informácie zo sveta podzemných stavieb.

Pred rokom kolegynia Viktória Chomová vo svojom úvodníku písala ako sa očakáva so začiatím výstavby siedmich tunelov v okolí Žiliny. Dnes s potešením môžeme konštatovať, že v týchto dňoch prebieha výstavba na tuneloch Ovčiarisko, Poľana, Svrčinovec, Čebrať, Žilina, Považský Chlmec a Višňové a finalizuje sa tunnel Šibenik. A dovolím si predpovedať, že takéto obdobie tunelárskeho rozkvetu už v nás nebude. Tak si ho spoločne priatelia tunelári zo Slovenska i Čech užívajme. Zdar Boh.

Ing. JÁN KUŠNÍR, člen redakčnej rady

Dear readers,

Exactly after a year, I can address you as another member of the Slovakian representation of the STA in the Editorial Board of TUNEL journal. It is not an accident that I was given this opportunity and confidence of the Editorial Board. The issue you are just holding in hand has been prepared in a special way, so that you could receive it as an “appetiser” before the conference being prepared, or as a dessert during the conference “Tunnels and Underground Construction 2015” to be held in Žilina. A group of enthusiasts for tunnel construction in Slovakia, with the support provided by the Slovak Tunnelling Association, dusted the memories of the conference in 2004 “Tunnels Importance in Transportation” held in the High Tatras. We have gradually started to see the dream about the beginning of a new tradition of “tunnelling” conferences in Slovakia coming true. I am pleased that we can get acquainted with Czech colleagues who have already developed such the domestic tradition by organising the conference “Underground Construction Prague“. We are very pleased that we, as the steering committee, can continue the tradition of seeking inspiration and gathering advice. It would be good if also we, in Slovakia, managed to prepare such a conference the quality of which would approximate the Prague one. These words are being written at the time when the preparation is underway and you are reading them at the time of the conference. I have complete confidence that our conference will be a success.

It is not by accident that two Slovakian companies introduce themselves in this journal issue. The first one, Žilina-based TuCon, a. s., can boast of building the Bôrik motorway tunnel. The other one is Doprastav, a. s., Bratislava, which currently participates in the construction of several motorway tunnels in the Žilina surroundings.

In the papers submitted by TuCon, its employees will take us to a visit a beautiful alpine structure – the Nant de Drance pumped storage scheme in Switzerland, where, apart from geology, they were troubled by winter weather. They will acquaint us with the construction of the longest undersea road tunnel Solbakk in Norway, which will cut the length of the way for motorists from 70 to less than 15 kilometres. Two hundred km from the Polar Circle, in the Arctic Zone, in the west of Greenland, they will familiarise us with the construction of the Ilulissat underground hydropower station.

Professionals from Doprastav, a. s., will get us closer to our parts and will share with us their experience from driving the Laliki tunnel in Poland and the Poľana tunnel in the region of Kysuca, both in the environment of the Carpathian flysch. In two successive papers they inform us about current tunnel construction projects, tunnels Ovčiarisko and Žilina on the D1 motorway, in the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section.

Professor F. Klepsatel, CSc. Has contributed to the mosaic of Slovakian papers by a valuable paper on the development of transport tunnels which were constructed in Slovakia until 1970 and allowed us to look through technical period pictures into interesting details of the old tunnelling craft.

The motorway tunnel located closest to Žilina will be the Považský Chlmec, which is at the moment being driven by up to six headings. More will be revealed to you by the pair of authors in the two various papers of theirs.

But we must not forget other technical papers prepared by colleague tunellers. The paper on the Koralm railway, where geological monitoring participates in the construction of the 32.9km long, TBM-driven tunnel, is interesting from the aspect of geology. We will also bring back to our minds the extension of the Prague metro Line A. Interesting information from the world of underground construction is not missing at the end.

A year ago, my colleague, Viktória Chomová, in her editorial wrote about the expectations regarding the commencement of the construction of seven tunnels in the surroundings of Žilina. I can with pleasure state today that currently the construction of the Ovčiarisko, Poľana, Svrčinovec, Čebrať, Žilina,

Považský Chlmec and Višňové tunnels is underway and the Šibenik tunnel is being finalised. And I will dare to predict that such a period of tunnel construction blooming will never ever exist again in our country. So, my friends, tunellers from Slovakia and Czechia, let us enjoy it. God speed you.

Ing. JÁN KUŠNÍR, Member of Editorial Board



VÁŽENÍ ČITATELIA ČASOPISU TUNEL,

s radostou využívam možnosť prihovoriť sa vám prostredníctvom nášho odborného časopisu Tunel práve v čase, keď sa hovorí o tuneloch na Slovensku oveľa častejšie, ako sme boli zvyknutí kedykoľvek v minulosti.

Konečne sme sa dočkali toho že máme v tomto stavebnom segmente dostatok práce. Zdá sa, že teraz sa musíme vyrovnať s opačným extrémom, a to s príliš veľkým počtom tunelov budovaných v tom istom čase. Náš malý slovenský trh nie je na takéto množstvo práce kapacitne postavený, hlavne čo sa týka odborného a skúseného personálu nielen na strane zhotoviteľa, ale aj na strane objednávateľa. S nedostatkom skúsených a kvalitných pracovníkov sa musíme všetci vyrovnati. Zhotoviteľ sa dostávajú do situácie, keď už je tăžko nájsť odborníkov, a preto sa musíme okamžite zameriť na výchovu mladých ľudí, ktorí majú o tento druh práce záujem. Naša spoločnosť sa tak intenzívne venuje výchove mladých ľudí, či už pre pozície technikov alebo robotníkov. Nájsť vhodných ľudí, ktorí majú záujem o túto prácu a vychovať z nich dobrých odborníkov, nie je ľahká úloha. Treba s tým však začať čo najskôr. V opačnom prípade sa budeme pozerať ako naše dlho očakávané stavby tunelov prídu stavať ľudia zo zahraničia. Samozrejme, ani to nie je nič nezvyčajné, ale po dlhých rokoch čakania sme si to asi všetci predstavovali trochu inak. Musím však skonštatovať, že aj napriek všetkým problémom z množstva práce je táto situácia oveľa lepšia ako pred rokmi, keď sme museli odchádzať za prácou do zahraničia.

Vážení čitatelia, dnes máme jedinečnú príležitosť ukázať, že naši robotníci a technici sú minimálne rovnako dobrí ako odborníci v iných krajinách, pre ktoré nie je nič nezvyčajné budovať desiatky kilometrov tunelov ročne. Mnohé slovenské spoločnosti roky podnikajú v zahraničí a teraz je ten správny čas použiť skúsenosti z cudziny aj na domácich stavbách. Musím však otvorené povedať, že nie je jednoduché opustiť trhy, ktoré nás tunelárov roky živili, keď sme na Slovensku nemali dostatok projektov.

Myslím, že zodpovední politici by sa mali vážne zamyslieť nad tým, čo sa deje dnes na stavebnom trhu a vážne sa pripravili na obdobie o tri štyri roky neskôr, keď bude väčšina tunelov na D1 a D3 dobudovaných, aby sme potom znova nemuseli hľať odchádzat do krajín, kde sa plánuje rozloženie projektov a práce pre stavebné spoločnosti dlhodobo a nie len na jedno dve volebné obdobia. Osobne som skutočne rád, že sme sa reálne dočkali výstavby tunelov, nakoniec je jedno, kto ich postaví, len nech ich máme a dúfam, že sa všetci dožijeme v dobrom zdraví aj dlho slúbovaného prepojenia diaľnicou D1 z Bratislavы do Košíc.

Na záver by som chcel vyslovit' prianie, aby ďalšie roky boli plné kvalitne pripravených projektov, z ktorých budú mať radosť nie len všetci stavbári, ale hlavne samotní užívateľia.

**DEAR TUNEL JOURNAL READERS,**

I am delighted to be given the opportunity to address you through our technical journal, TUNEL, at the time when tunnels in Slovakia are spoken about more frequently than we were used to anytime in the past.

Finally the time came when we have enough work in this segment of construction industry. It seems that now we have to cope with the opposite extreme, which is the too big number of tunnels built at the same time. The capacity of our small Slovakian market is not prepared for such an amount of work, first and foremost as far as professional and experienced personnel are concerned, not only on the side of contractors but also on the side of the project owner. We all have to cope with the lack of experienced and good quality workers. Contractors are getting to the situation where it is difficult to find professionals and it is therefore necessary to immediately focus on education of young people who are interested in this kind of work. Our company devotes itself to the education of young people, both for the positions of technicians and for workers. Finding proper people interested in this work and educate them to become good professionals is not a simple task. But it is necessary to start with it as soon as possible. Otherwise we will see how people from abroad will come to implement our long awaited tunnelling projects. Of course, it is nothing unusual, but after long years of waiting we all imagined things to be a little bit different. But I must state that even despite all problems following from the quantity of work, this situation is much better than several years ago, when we had to leave for working abroad.

Dear readers, today we have a unique opportunity to show that our workers and technicians are minimally equally good as professionals in foreign countries, for whom it is nothing unusual to construct annually tens of kilometres of tunnels. Many Slovakian companies have done business abroad for many years and now it is the correct time to use the experience from abroad even on our domestic construction sites. But I must frankly say that it is not simple to abandon markets which have fed us, tunnellers, for many years when we did not have enough projects in Slovakia.

I suppose that responsible politicians should seriously think about the current situation on the construction market and earnestly prepare themselves for the time after three or four years when the majority of tunnels on the D1 and D3 motorways are finished so that we do not have to leave in droves to the countries where the distribution of tunnels and jobs for construction companies is planned in the long term, not only for one or two terms. Personally, I am really happy that we have lived to see the development of tunnels in reality. Eventually, it does not matter who will build them. Let us have them and I believe that we all will live to see in good health even the long promised interconnection between Bratislava and Košice by the D1 motorway.

To conclude, I would like to express my wish for the years to come to be filled with projects prepared in good quality, which will give delight not only to all builders but, first of all, to the users themselves.

INC. JOZEF HRIC

*predseda predstavenstva a generálny riaditeľ TuCon, a. s.
Chairman of Board of Directors and General Director, TuCon, a. s.*

VAŽENÍ ČITATELIA!

Je pre mňa potešením, že sa k Vám, čitateľom časopisu Tunel, môžem v mene spoločnosti Doprastav opäťovne prihovoriť. V roku 2013 som mal rovnakú možnosť pri príležitosti konania 12. medzinárodnej konferencie Podzemné stavby Praha 2013. Vtedy sa môj príhovor niesol v znamení obáv a neistoty nad ďalším osudom rezortu stavebníctva, nakoľko panoval hlboký útlm stavebnej produkcie nielen na Slovensku, ale aj v Českej republike. Dnes Vás oslovojujem v úplne odlišnej atmosfére v porovnaní s tou, ktorá vládla v danom období. Dovoľte mi však aspoň pári myšlienkami sa k tomu obdobiu vrátiť.

Nepripomíname by sme si obdobie rokov 2011 až 2013 charakterizované absolútnym nedostatkom dopytu verejných investícii, ak by sme dôsledky tohto obdobia, ktoré môžeme nazvať obdobím nezmyselnnej cenovej vojny s uplatňovaním jediného kritéria – najnižej ceny – žiaľ, nepociťovali všetci dodnes. Mediálne prezentované finančné úspory z verejných súťaží úsekov diaľnic poslúžili len ako nástroj dokazovania „svojej“ pravdy a vzájomného obviňovania sa. Realitu zostane, že sa ohlasované úspory na stavbách nikdy nevytvorili. K tomu je potrebné pripočítať aj stratu dôvery bankových inštitúcií, časti odbornej, ale hlavne laickej verejnosti, ktorá hľadí na nás – domáce stavebné firmy – vyslovene negatívne. Podnikanie v stavebníctve sa v ostatných rokoch stalo veľmi rizikové, príčom bolo charakteristické aj značným úbytkom vysoko kvalifikovaných odborníkov, ktorí sa do odvetvia už nikdy nevrátili. A to aj napriek krásnym dielam, ktoré stavebné firmy, prevažne slovenské a české, na našom území v minulosti zhovobili.

Na tomto mieste možno pripomienúť, že na rozdiel od viacerých českých kolegov, ktorí v príhovoroch časopisu v uplynulých dvoch rokoch spomínali pretrvávajúce krízové obdobie s minimom prác, tento pocit patrí minulosťi. Čo sa týka rozsiahlych dopravných projektov, dnes je situácia úplne iná ako v predchádzajúcich rokoch. Na Slovensku je tohto času rozostavaný historicky najväčší počet úsekov diaľnic a rýchlostných ciest – celkovo viac ako 133 km. Samotný rozsah realizovaných úsekov ešte znásobuje fakt, že na týchto úsekokach sú razené tunely v celkovej dĺžke 16,7 km. Obdobie, v ktorom sme českým kolegom mohli „závidieť“ predĺženie trasy metra A či výstavbu tunela Blanka v Prahe, je aspoň na chvíľu odvratené.

Napriek uvedeným miernym obavám možno s potešením konštatovať, že po mnohých rokoch nedostatočného využitia tunelárskych kapacít a hľadania efektívnejšieho využitia odborného ľudského potenciálu, spoločnosť Doprastav sa mohla pustiť do realizácie zaujímavých a náročných tunelov. O to viac, že sú to tunely, ktoré budú súčasťou diaľničnej siete, ktorá zlepší dopravnú infraštruktúru práve v tých oblastiach na Slovensku, ktoré sú extrémne zaťažené dopravou. Zvládnutie realizácie týchto diel je pre našich ľudí výzvou, kde budú môcť uplatniť svoje doteraz nadobudnuté vedomosti či zručnosti a zároveň je školou, kde získajú nové poznatky pri riešení problémov tak rozsiahnej výstavby.

Toto číslo časopisu Tunel vychádza práve v čase konania medzinárodnej konferencie *Tunely a podzemné stavby Žilina 2015*. Ocenujem, že spoločnosť Doprastav dostáva možnosť prezentovať sa prostredníctvom viacerých odborných príspevkov v tomto časopise. Tie sú venované problémom, riešených pri realizácii objektov podzemných stavieb v rámci diaľničných úsekov D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka (tunel Ovčiarisko, tunel Žilina) a D3 Svrčinovec – Skalité (tunel Poľana). Verím, že tieto príspevky a hlavne poznatky z nich čerpané budú vhodným zdrojom cenných informácií pre ich ďalšie využitie v tunelárskej praxi a určite prispejú ku kvalitnej úrovni tohto časopisu.

Záverom chcem podotknúť, že každý tunel je jedinečným stavebným dieлом, realizovaným v konkrétnych hydrogeologických podmienkach a v prevárajúcom sa prírodnom prostredí. Z tohto dôvodu nás ich príprava a realizácia bude vždy fascinovať.

**DEAR READERS!**

It is a pleasure for me to be again allowed to address you, the readers of TUNEL journal, on behalf of Doprastav a.s. I had the same opportunity in 2013, on the occasion of the 12th international conference *Underground Construction Prague 2013*. At that time my speech was marked by fears and uncertainty about the future fate of the construction industry because there was a deep downturn in the construction production not only in Slovakia, but also in the Czech Republic. Today I am addressing you in an atmosphere which is completely different from the atmosphere reigning in the given period of time. Nevertheless, allow me to return to this period at least by several ideas.

We would not reminisce about the 2011 – 2013 period of time, which was characterised by the absolute lack of demand for public procurement, if, unfortunately, all of us did not feel till now the consequences of this period, which we can term a period of senseless price war with the lowest price applied as the only criterion. The financial savings from public tenders for motorway sections which were presented in media were used only as a tool for proving one's true and mutual blaming. It will remain a reality that the savings announced on construction sites were never created. In addition, it is necessary to take into account the loss of credibility of banking institutions, the loss of the confidence of a part of the professional and, first of all, the lay public, which looks at us – domestic construction companies – utterly negatively. Doing business in construction industry became highly risky during the following years. It was even characterised by a significant reduction of the number of highly qualified professionals, who will never again return to the industry, despite the beautiful projects implemented in Slovakia in the past mostly by Slovak and Czech construction firms.

At this point it is worth recalling that, in contrast with many Czech professionals who, speaking in this journal, recalled the enduring critical period with a minimum jobs believing that this feeling belonged to the past. As far as big traffic-related projects are concerned, the current situation completely differs from the situation in the past years. The historically largest number of motorway sections and express highways – over 133km in total – are currently under construction in Slovakia. The extent of the sections being realised is even multiplied by the fact that there are mined tunnels in these sections at the aggregated length of 16.7km. The period of time during which we could "envy" our Czech colleagues the metro line A extension or the development of the Blanka complex of tunnels in Prague has been averted, at least for a while.

Despite the above-mentioned moderate fears it is possible to state with pleasure that, after the years of insufficiently used tunnelling capacities and searching for more effective use of the professional human potential, Doprastav a. s. could get down to the implementation of interesting and demanding tunnel construction projects. Even more so because the tunnels will be parts of the motorway network which will improve the transportation infrastructure specifically in the areas in Slovakia which are extremely burdened with traffic. Coping with the realisation of these projects is a challenge for our people where they will be able to apply the experience or skills they have gathered till now. At the same time, it is a school where they will gain new knowledge regarding solving problems during such the extensive motorway development.

This TUNEL journal issue is being published just at the time of holding the international conference *Tunnels and Underground construction Žilina 2015*. I appreciate that Doprastav a. s. has got the opportunity to present itself in this journal through technical papers. They are dedicated to problems solved during the realisation of the underground structures within the framework of the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway (the Ovčiarisko tunnel, the Žilina tunnel) and the Svrčinovec – Skalité section of the D3 motorway (the Poľana tunnel). I believe that these papers and, first of all, the knowledge drawn from them, will become a suitable source of information precious for its further use in the tunnel construction practice and certainly will contribute to the good quality level of this journal.

To conclude, I want to note that each tunnel is a unique construction work realised under particular hydrogeological conditions and in a changing natural environment. For that reason their preparation and realisation will always fascinate us.



INC. JURAJ ANDROVIČ

*predseda predstavenstva a generálny riaditeľ Doprastav, a.s.
Chairman of the Board of Directors and General Director of Doprastav, a.s.*

PODZEMNÁ PREČERPÁVACIA VODNÁ ELEKTRÁREŇ NANT DE DRANCE – ŠVAJČIARSKO

UNDERGROUND PUMPED STORAGE SCHEME NANT DE DRANCE – SWITZERLAND

MARTIN MAGDOLEN, IVAN KVAŠŠAY

ABSTRAKT

Na hranici Francúzka a Švajčiarska, na území švajčiarskeho kantónu Wallis a nedaleko turisticky známeho francúzskeho strediska Chamonix, boli v roku 2008 začaté stavebné práce na výstavbe podzemnej prečerpávacej hydroelektrárne Nant de Drance. Elektráreň sa buduje v skalnom masíve a bude využívať hydroenergetický potenciál dvoch existujúcich priehrad Emosson a Vieux-Emosson. Práce sú realizované v nadmorskej výške od cca 1800 m n. m. do 2200 m n. m. Všetky podzemné objekty boli realizované pomocou vrtno-trhacích prác, okrem prístupového tunela z údolia, ktorý bol razený tunelovacím strojom (TBM). Kaverna podzemnej strojovne (dĺžka 195 m, šírka 32 m, výšky 52 m), realizovaná v deviatich výškových etapách, patrí v súčasnosti medzi najväčšie kaverny svojho druhu v Európe. Všetky raziace práce z pôvodného projektu sú ukončené a zrealizované. Na základe požiadavky investora a doplnenia projektu TuCon momentálne razí tzv. vstupný tunnel ZK12 do priehradného jazera Vieux-Emosson.

ABSTRACT

The construction work on the Nant de Drance underground pumped storage plant commenced on the border between France and Switzerland, in the territory of Swiss canton Wallis and near Chamonix, the French centre well known to tourists, in 2008. The power generation plant is built in a rock massif and will use the hydropower potential of two existing dams, Emosson and Vieux-Emosson. The works are realised at the altitude ranging from ca 1800m a.s.l. to 2200m a.s.l. All underground structures were carried out using the drill-and-blast technique, with the exception of the access tunnel, which was driven from the valley using a tunnel boring machine (TBM). The underground turbine hall cavern (195m long, 32m wide, 52m high), which was realised in nine stages of height, currently belongs among the largest caverns of its kind in Europe. All underground excavation operations have been finished. The so-called ZK12 entrance tunnel to the Vieux-Emosson dam reservoir is currently being driven on the basis of project owner's requirement and a supplement to the TuCon design.

ÚVOD

Prečerpávacia vodná elektráreň Nant de Drance je spoločným projektom „Združenia Nant de Drance AG“, ktoré založili švajčiarska energetická spoločnosť Alpiq AG, švajčiarska železničná spoločnosť SBB, spoločnosť IWB a energetická spoločnosť FMV z kantónu Wallis. Najväčšiu časť stavebných prác realizuje združenie GMI Marti-Implenia.

Elektráreň by mala dodávať elektrickú energiu do siete od roku 2017.

OPIS PROJEKTU

Z historie prípravy projektu

Začiatkom roku 2000 bola spoločnosť AF-Consult Switzerland AG požiadana o vypracovanie štúdie realizovateľnosti a v auguste 2008 bolo udelené stavebné povolenie pre výstavbu elektrárne s plánovaným výkonom 600 MW. V roku 2009 združenie prehodnotilo jestvujúci projekt a rozhodlo o zvýšení výkonu elektrárne na 900 MW. Po dlhých rokovaniah sa podarilo v roku 2010 dosiahnuť schválenie zvýšenia kapacity na 900 MW (zmenený projekt Nant de Drance+), čo si okrem ostatných súvisiacich problémov vyžiadalo navýšenie priehradného mŕtu hornej nádrže o 23 m. Celkové náklady sa odhadovali na 1,8 mld. CHF.

Okrajové podmienky

Hydroelektráreň bude využívať výškový rozdiel 350 m a krátku vzdialenosť medzi dvomi existujúcimi priehradami (obr. 1), nachádzajúcimi sa na juhozápade Švajčiarska v pohraničnej oblasti s Francúzskom, v horskom masíve Aiguilles Rouges medzi mestami Martigny (CH) a Chamonix (FR).

INTRODUCTION

The Nant de Drance pumped storage scheme is a joint project of the “Nant de Drance AG consortium”, which was founded by Alpiq AG, a Swiss electric energy provider, SBB Swiss Federal Railways , Industrielle Werke Basel (IWB) and FMW energy company based in the canton of Wallis. The largest part of the construction work is being realised by the GMI Marti-Implenia consortium.

The power plant should supply electrical energy to the network from 2017.



Obr. 1 Existujúce akumulačné nádrže Vieux-Emosson (vlavo dole) a Emosson (vpravo hore)

Fig. 1 Existing Vieux-Emosson accumulation reservoirs (left bottom) and Emosson (right top)

Vodná elektráreň Emosson SA

Výroba „zelenej“ energie v tomto regióne prebieha už od roku 1926. V rokoch 1952–1955 bola ukončená výstavba priehradného múru horného jazera Vieux-Emosson, ktorého hladina pri maximálnom naplnení dosahuje výšku 2205 m n. m. Po dohode medzi Francúzskom a Švajčiarskom v rokoch 1967–1975 bola vybudovaná priehrada Emosson, ktorej maximálna hladina dosahuje nadmorskú výšku 1930 m n. m. Vybudovaním novej priehrady Emosson došlo k zatopeniu starej priehrady Barberine a zvýšeniu retenčného objemu nádrže na 210 mil. m³. V súčasnosti je voda z nádrží Vieux-Emosson a Emosson využívaná dvakrát. Privádzačmi je vedená do elektrárne Vallorcine (FR) v nadmorskej výške 1125 m n. m. a následne je z tejto elektrárne ďalším potrubím odvádzaná do centrály La Bâtiaz v meste Martigny (CH) v nadmorskej výške 462 m n. m.

Geológia

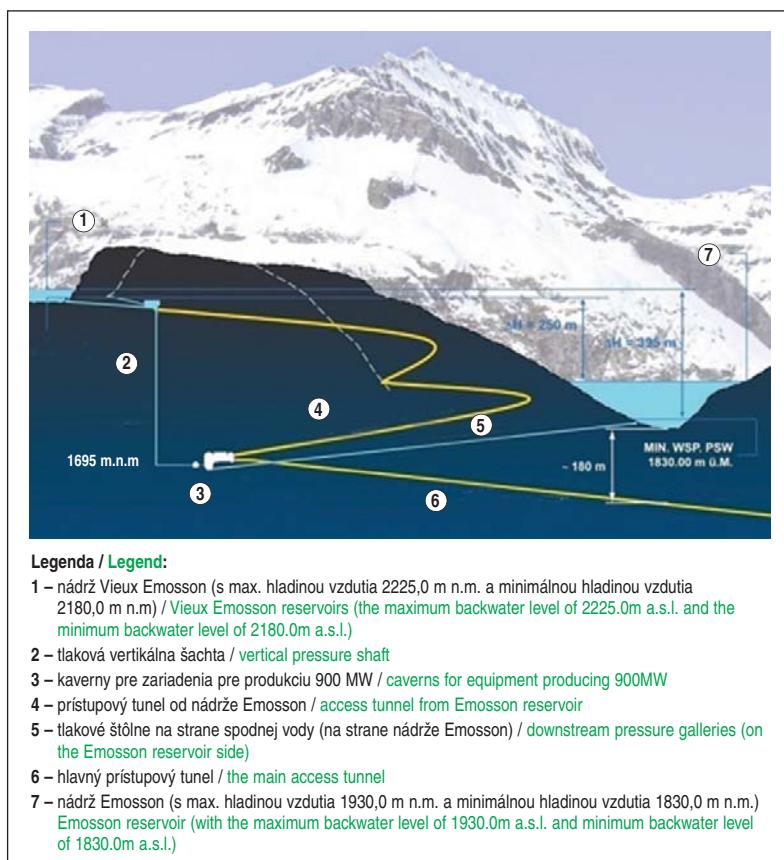
Najväčšia časť stavebných prác sa realizuje v horskom masíve Aiguilles Rouges tvorenom prevažne granitom, ortorulami a metamorfovaným kremencom. Celkovo je horský masív pre výkon vrtno-trhacích prác charakterizovaný dobrými až veľmi dobrými vlastnosťami.

PROJEKT NANT DE DRANCE + (900 MW)

Hlavnými objektmi podzemnej elektrárne Nant de Drance sú okrem kaverny aj strojovne a privádzače vody dimenzované na prietok 180 m³/s (obr. 2).

Elektráreň tvoria nasledovné objekty (obr. 3):

- horné existujúce akumulačné jazero Vieux-Emosson, s priehradným múrom navýšeným o 23 m:
 - gravitačná priehrada výšky 65 m (po navýšení);
 - kapacita hornej nádrže sa po navýšení priehradného múra zdvojnásobila z pôvodných 13,8 mil. m³ na objem 24,6 mil. m³;
- systém privádzačov vody na hornom toku elektrárne s prietokom 180 m³/s tvoria:
 - 2 vtokové resp. výtokové objekty prierezu 16x11 m;
 - 2 tlakové privádzače vody dĺžky 278 m, v pozdĺžnom spáde 9,5 %, priemer 7,7 m;
 - 2 vertikálne šachty výšky 442 m, priemer 7 m;
 - 2 sady pancierových rúr v oblasti päty vertikálnych šacht, dĺžka 55 m, priemer 5,5 m, pozdĺžny sklon 2 %;
 - 2 pancierové rozplety na tri turbíny, dĺžka 30 m, priemer 3,2 m;
- kaverna strojovne (dĺžka 195 m, šírka 32 m, výška 52 m):
 - kubatúra výlomu 238 000 m³;
 - 6 Francisových turbín – každá s výkonom 150 MW;
 - 12 guľových uzáverov nad a pod turbínami;
- privádzače vody na spodnom toku podzemnej elektrárne pozostávajú z nasledovných časťí:
 - 2 pancierové redukcie z troch turbín: dĺžka 45 m, priemer 3,7 m;
 - 2 pancierové rúry dĺžka 30 m, priemer 5,5 m;
 - 2 výtokové tlakové štôlne dĺžka 1170 m, priemer 7,7 m, v pozdĺžnom stúpaní 9,5 až 12,5 %;
 - 2 výtokové, resp. vtokové objekty, priečny prierez 25x11 m;
- spodná existujúca akumulačná nádrž Emosson:
 - klenbová priehrada výšky 180 m;
 - užitočný obsah nádrže 210 mil. m³.



Obr. 2 Schéma podzemného systému elektrárne Nant de Drance
Fig. 2 A scheme of the underground system of the Nant de Drance power plant

PROJECT DESCRIPTION

From the project preparation history

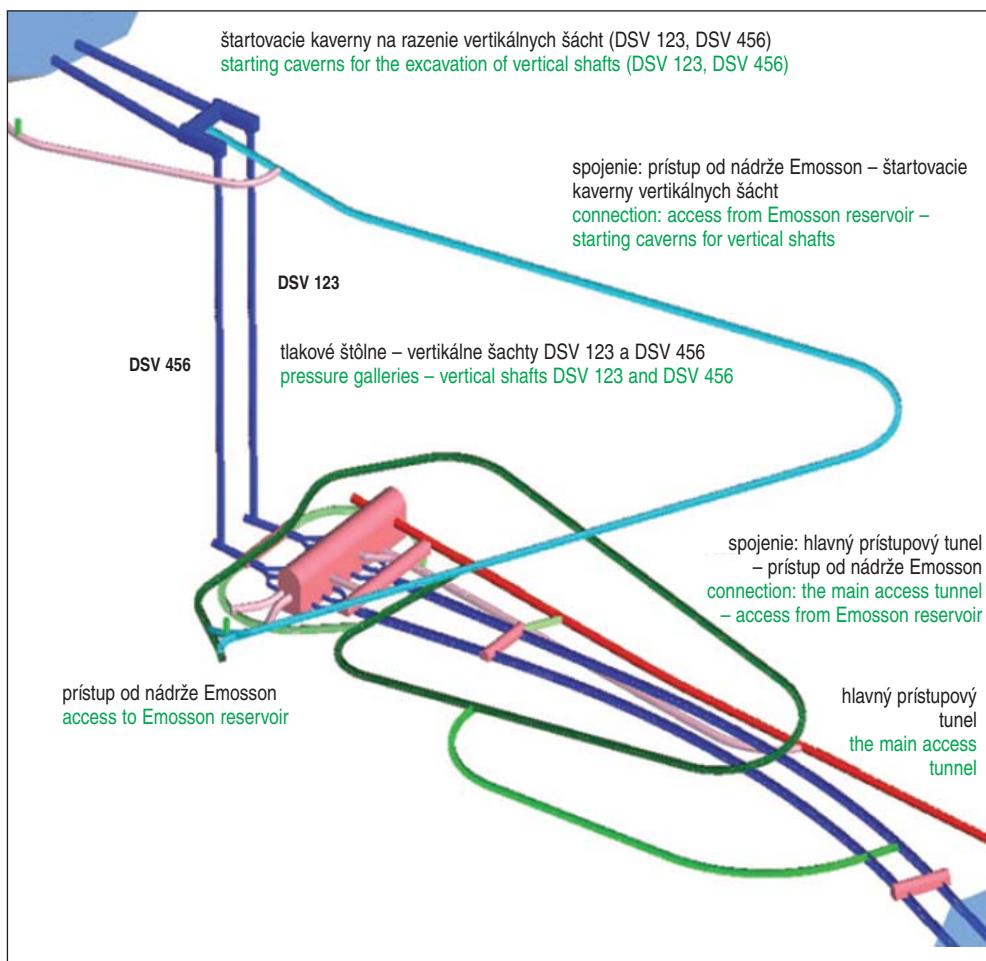
At the beginning of 2000, AF-Consult Switzerland AG was requested to develop the feasibility study and the building permit for the development of a power plant with the planned output of 600MW was issued in August 2008. In 2009, the consortium reassessed the existing project and decided on an increase in the power plant output to 900MW. After lengthy negotiations, the approval to increasing the capacity to 900MW (the modified Nant de Drance+ project) was successfully achieved, which fact, apart from other related problems, claimed an increase in the dam wall of the upper dam reservoir by 23m. The total costs were estimated to each CHF 1.8 billion.

Boundary conditions

The hydropower plant will take advantage of a height difference of 350m and the short distance between two existing dams located in the south-west of Switzerland (see Fig. 1), in an area bordering with France, in the Aiguilles Rouges mountain range, between the towns of Martigny (CH) and Chamonix (FR).

Emosson SA hydropower plant

The generation of “green” energy in this region has been underway since 1926. In 1952–1955, the construction of the dam wall of the Vieux-Emosson upper reservoir, the elevation of the surface of which reaches 2205m a.s.l. at maximum filling, was finished. The Emosson dam was built in 1967–1975, after the conclusion of an agreement between France and Switzerland. Its maximum surface elevation reaches 1930m a.s.l. As a result of the development of the new Emosson dam, the old Barberine dam got inundated and the retention volume of the reservoir grew to 210 million m³. Currently, water from the Vieux-Emosson and Emosson reservoirs is used twice. It flows through headrace tunnels to the Vallorcine power plant (FR) at the altitude of 1125m a.s.l. and, subsequently, is diverted



Obr. 3 Priestorová vizualizácia podzemného systému štôlní a kaverien elektrárne Nant de Drance
Fig. 3 Spatial visualisation of the underground system of galleries and caverns of the Nant de Drance power plant

K zhotoviu hlavných objektov podzemnej elektrárne z dôvodu logistiky a dodržania termínu výstavby bolo potrebné naprojektovať a zrealizovať tri prístupové štôlne:

- hlavný prístupový tunel (ZTH) ku kaverne strojovne z hlavného údolia z dedinky Châtelard celkovej dĺžky 5600 m, razený pomocou TBM v stúpaní cca 11 %, priemer 9,45 m;
- dva prístupové tunely (ZTE a ZTVE) zo západného prístupu (portálu) do systému štôlní a kaverien:
 - tunel ZTE dĺžky 2150 m, na svojom konci ústi do hlavného prístupového tunela ZTH;
 - tunel ZTVE celkovej dĺžky 1730 m, na ktorý sa napája tunel ZSVE dĺžky 388 m s ústím pod päťou hrádzou hornnej nádrže, slúži ako prístupový a logistický tunel k hornému jazero Vieux-Emosson.

Dalšími logistickými objektmi projektu sú:

- trafokaverna: dĺžka 146 m, šírka 18 m, výška 15 m;
- trvalá depónia vyrúbaného materiálu pri západnom portáli s objemom 1 600 000 m³;
- dočasná depónia vytáženého horninového materiálu, ktorý sa neskôr podrvil a použil na výrobu betónu potrebného hlavne na navýšenie hrádzovej horniny jazera Vieux Emosson v celkovom objeme 38 300 m³.

REALIZÁCIA PRÁC

Portál hlavného prístupového tunela v Le Châtelard

Portál v dedinke Le Châtelard bol vybudovaný na jar a v lete 2009. Jeho technické riešenie kládlo vysoké nároky na

from this power plant through another pipeline to La Bâtiaz centre at the town of Martigny (CH) at the elevation of 462m a.s.l.

Geology

The largest proportion of the construction work is carried out in the Aiguilles Rouges mountain range area, which is mostly formed by granite, ortogneiss and metamorphosed quartzite. In general, the mountain massif is characterised by properties good to very good for the application of the drill-and-blast method.

NANT DE DRANCE + (900MW) DESIGN

Apart from the cavern, the main structures of the Nant de Drance underground power plant are also the turbine rooms and headrace tunnels, which are designed for the flow rate of 180m³/s (see Fig. 2).

The power plant is formed by the following objects (see Fig. 3):

- the existing upper accumulation reservoir Vieux-Emosson with the dam wall height increased by 23m:
 - gravity dam 65m high (after increasing the height);
 - the upper reservoir capacity got doubled from original 13.8 million m³ to the volume of 24.6 million m³ after increasing the dam wall height;
- the system of headrace tunnels upstream of the power plant with the flow rate capacity of 180m³/s consists of:
 - 2 intake structures (respectively outlet structures) with the cross-sections of 16x11m;
 - 2 headrace tunnels, each 275m long, on the longitudinal gradient of 9.5%, 7.7m in diameter;
 - 2 vertical shafts, each 442m high, 7m in diameter;
 - 2 sets of armoured tubes in the area of the bottom of the vertical shafts, 55m long, 5.5m in diameter, on longitudinal gradient of 2%;
 - 2 armoured bifurcations leading to three turbines, 30m long, 3.2m in diameter;
- the turbine hall cavern (195m long, 32m wide, 52m high):
 - excavated volume of 238,000m³;
 - 6 Francis turbines – 150MW output each;
 - 12 ball valves above and under turbines;
- the headrace tunnels downstream of the underground power plant, consisting of the following parts:
 - 2 armoured adaptors from three turbines: 45m long, 3.7m in diameter;
 - 2 armoured tubes 30m long, 5.5m in diameter;
 - 2 outlet pressure galleries each 1170m long, 7.7m in diameter, on a rising longitudinal gradient ranging from 9.5 to 12.5%;
 - 2 intake structures (respectively outlet structures) with the cross-sections of 25x11m;
- the lower, existing, Emosson accumulation reservoir:
 - arch dam, 180m high;
 - live storage capacity of 210 million m³.

projektantov i realizátorov, keďže kalota tunela prechádzala v hĺbke len 3 m pod železničnou traťou Martigny – Chamonix, a bez výluky železničnej dopravy (obr. 4).

Geologické prostredie tvorí svahová sutina, ktorá od začiatku prác nebola dostatočne preskúmaná. Na základe zrealizovaného deštruktívneho vrtu bola mocnosť nespevneného horninového prostredia odhadnutá na 25–30 m.

Zaistenie portálu pozostávalo zo železobetónového trámu, ukotveného bezprostredne pod koľajmi trate troma radmi masívnych betónových platní a predpäťmi 25–35 m dlhými kotvami, medzi ktorými bola nespevnená hornina stabilizovaná ešte 9 m dlhými pasívnymi kotvami. Hlavný prvok zaistenia výrubu na portáli bol rúrový dáždnik dĺžky 18 m, opretý v prednej časti o oceľové oblúky HEB 200, ktoré boli kotvené do skalného masívu.

Následne bol v pieskovcoch a bridliciach konvenčným spôsobom vyrazený 110 m dlhý štartovací tunel pre nasadenie TBM stroja. Poloha železničných koľají nachádzajúcich sa v tesnej blízkosti portálu bola denne kontrolovaná geodetickými meraniami. Kontrolné body a vertikálne inklinometre s automatickým prenosom dát umožňovali nepretržitú železničnú prevádzku. Celkové namerané sadnutie koľají 35 mm si vyžiadalo úpravu iba ich jednorazovým podbitím.

Hlavný prístupový tunel

Jedným z variantov dodávateľa prác bolo nasadenie plnoprofilového raziaceho stroja (TBM). Hlavnými dôvodmi pri rozhodovaní o tomto variante výstavby boli: vyšší výkon pri raziení, možnosť prejsť cez poruchové zóny bez otriasov spôsobovaných konvenčnými metódami, nasadenie pásového dopravníka slúžiaceho aj v budúcnosti na vývoz rúbaniny z ďalších kaverien a štôlní budovaných konvenčne, a menej prašné prostredie, a teda lepšie pracovné podmienky pre pracovníkov.

Údaje a výbava otvoreného TBM do použitého pri raziení v tvrdých horninách sú:

- dodávateľ Herrenknecht (prevzatie a úprava Marti Technik);
- priemer štítu 9,45 m;
- vrtná hlava je vybavená 55 kusmi jednoduchých valivých dlát ø 430 mm, v rozpone 90 mm;
- posuvná sila 18 000 kN;
- pohon vrtnej hlavy: 10x350 kW s reguláciou otáčok;
- otáčky vrtnej hlavy: 0–6 RpM;
- transport rúbaniny pomocou pásového dopravníka;
- celková dĺžka TBM s prívesom je 142 m;
- celková hmotnosť stroja je 1450 t.



Obr. 4 Portál Le Châtelard a zariadenie staveniska, prístupový tunel ZTH razený popod železničnú trať'

Fig. 4 Le Châtelard portal and site arrangement, the ZTH tunnel driven under railway track

It was necessary for the reasons of logistics and meeting the deadline for the construction of the main structures of the underground power plant to design and carry out three access galleries:

- the 5600m long, 9.45m-diameter ZTH main access tunnel to the turbine hall cavern from the main valley from the small village of Châtelard, driven on a rising gradient of 11%, using a TBM;
- two access tunnels (ZTE and ZTVE) from the western entrance (portal) to the system of galleries and caverns:
 - the 2150m long ZTE tunnel, linking at its end to the ZTH main access tunnel;
 - the ZTVE tunnel with the total length of 1730m, to which the 388m long ZSVE tunnel with its mouth under the toe of the upper reservoir dam connects, serves as an access and logistic tunnel to the Vieux-Emosson upper reservoir.

There are the following other logistics structures of the project:

- the cavern for transformers: 146m long, 18m wide, 15m high;
- a permanent muck stockpile at the western portal for the volume of 1,600,000m³;
- a temporary stockpile for the muck which was later crushed to be used for the production of concrete required mainly for increasing the height of the dam of the upper Vieux Emosson reservoir with the total volume of 38,300m³.

WORKS REALISATION

The portal of the main access tunnel at Le Châtelard

The portal at the small village of Le Châtelard was built in the spring and summer of 2009. The technical solution placed heavy demands both on designers and constructors because of the fact that the tunnel top heading passed at the depth of a mere 3m under the Martigny – Chamonix railway track and closing of the line to traffic was not permitted (see Fig. 4).

The geological environment is formed by slope debris, which has not been sufficiently surveyed since the beginning of the work. The thickness of the non-stabilised ground environment was estimated at 25–30m on the basis of a completed destructive borehole.

The portal support consisted of a reinforced concrete beam anchored immediately under the track rails by means of three rows of massive concrete plates and 25–35m long pre-tensioned anchors; the non-stabilised ground between the anchors



Obr. 5 Náročná údržba a sprístupňovanie vonkajších komunikácií po zimných mesiacoch

Fig. 5 Demanding maintenance and opening of external roads to traffic after winter months



Obr. 6 Montáž technológie betonárky
Fig. 6 Installation of the batching plant technology

Montáž TBM stroja začala v auguste 2009 zostavením prívesu na koľajniciach. Samotná montáž TBM prebehla od polovice októbra do konca novembra. Pracovníci začali razeenie hlavného prístupového tunela v januári roku 2010 a ukončili ho 22. augusta 2012 v strojovej kaverne KMA.

Výkony razenia sa v rôznych geologických zónach menili. V granitoch bol dosiahnutý priemerný výkon 15 m/deň, v rule 20 m/deň, v metamorfovaných kvarcitoch až 25–35 m/deň a v týchto geologických podmienkach bol v októbri 2011 aj dosiahnutý špičkový mesačný výkon 727 m. Prieskumnými vrtmi boli pred hlavou TBM indikované silno zhoršené horninové pomery. Na základe týchto poznatkov bolo rozhodnuté spevňovať horninu pred hlavou TBM injektážou, ktorá bola vykonávaná cez zvýšený počet vrtov (spravidla bolo vŕtaných 60 vrtov pre každý dáždnik). Na injektáž sa používala mikrocementová injekčná zmes.

Táto vynútená zmena technológie však viedla k podstatnému spomaleniu razenia strojom TBM, čo následne zapríčnilo v roku 2011 zimné prerušenie prác na štôlňach a kavernách budovaných konvenčne zo západného portálu, ktoré boli prístupné len po vonkajších komunikáciach, ohrozených padajúcimi lavínami (obr. 5).

Pôvodný plán vyvážať vytážený materiál už hotovým hlavným prístupovým tunelom ZTH cez drvíč a pásový dopravník narušilo spomalenie prác v tuneli ZTH natol'ko, že to viedlo k nutnosti nájsť a vytvoriť alternatívnu depóniu výrubbového materiálu. Hlavný prístupový tunel ZTH bol ukončený 22. augusta 2012 a následná prerážka s konvenčne razeným systémom štôlní 6. septembra vytvorila predpoklady na kontinuálny priebeh stavebných prác, neobmedzovaný zimnými klimatickými vplyvmi. V trase ZTH tunela, cca 250 m od jeho konca, sa konvenčným spôsobom vyrážala kaverna KBA, ktorá bola využitá na demontáž raziaceho stroja TBM.

Následne bola v kaverne zriadená betonáreň – z toho plynie aj názov kaverny, skr. KBA (z nemeckého Kaverne–Betonanlage) (obr. 6). Produkcia betónových zmesí začala v októbri 2013.

Vtokovo-výtokové objekty

Podľa pôvodného predpokladu mala byť priehrada Emosson celú sezónu 2011 vypustená, čo by umožnilo vyráziť prvé metre tlakových štôlní a vybudovať železobetónové vtokovo-výtokové objekty. Úplné vypustenie priehrady na potrebné obdobie výstavby by však malo za následok výpadok produkcie elektrickej energie jestvujúcich elektrární. Funkčnosť

was in addition stabilised by 9m long passive anchors. The main element of the excavation support were 18m long canopy tubes, resting at the front end part on HEB 200 steel arches, which were anchored to the rock massif.

Subsequently, a 110m long tunnel for launching the TBM was conventionally driven through sandstone and shale. The position of the railway track located in the close vicinity of the portal was daily inspected by surveyors. Control points and vertical inclinometers with automatic data transmission further allowed for uninterrupted railway operation. The total settlement of the tracks of 35mm required only one-time packing.

The main access tunnel

One of the variants offered by the contractor was the application of a tunnel boring machine (TBM). There were the following main reasons when the decision on this variant was being made: the higher excavation advance rate, the possibility of passing through fault zones without vibration caused by conventional methods, the application of a belt conveyor to be used even in the future for the transport of muck from other caverns and galleries carried out using conventional methods and less dusty environment, thus better working conditions for workers.

The data on and the equipment of the open-mode TBM applied to the excavation through hard rock:

- supplier: Herrenknecht (take-over and modification: Marti Technik);
- shield diameter: 9.45m;
- cutterhead equipped with 55 simple disk cutters Ø 430mm, spaced at 90mm;
- thrust force: 18,000kN;
- cutterhead drive: 10x350kW with the regulation of the rate of revolutions;
- rate of cutterhead revolutions: 0–6RpM;
- transport of muck: on a belt conveyor;
- aggregated length of the TBM with trailing gear: 142m;
- total weight of the machine: 1450t.

The TBM assembly commenced in August 2009 by the installation of the trailing gear on the rails. The assembly of the TBM itself lasted from the half of October to the end of November. Workers started to drive the main access tunnel in January 2010 and finished it on the 22nd August 2012 in the KMA turbine hall cavern.

The excavation advance rates varied depending on the particular geological zones. The average daily advance rates achieved in granites and metamorphosed quartzite amounted to 15m/day and 20m/day, respectively. The peak monthly advance rate of 727m was achieved in these geological conditions in October 2011. Exploratory boreholes indicated seriously worsened ground conditions ahead of the cutterhead. The decision to reinforce the ground ahead of the cutterhead by injecting grout into it and increasing the number of drillholes (60 holes were usually drilled for each canopy) was made on the basis of this knowledge. Microfine cement mixture was used for the grouting.

This enforced change in the technology resulted in a substantial reduction of the TBM excavation advance rate and, subsequently, in the winter of 2011, caused the suspension of the conventional excavation of galleries and caverns carried out from the western portal, which were accessible only along external roads and were therefore threatened by falling avalanches (see Fig. 5).

The original plan to transport the muck out already through the finished ZTH main access tunnel via the crusher and the belt conveyor was upset so much that it led to the necessity for finding and developing an alternative area for dumping the muck. The ZTH main access tunnel was finished on the 22nd August 2012 and the subsequent breakthrough to the conventionally



Obr. 7 Výstavba vtokovo-výtokového objektu
Fig. 7 Construction of an inlet-outlet structure

systému je postavená na tom, že sa priehrada naplní od apríla do septembra vodou z topiaceho sa snehu a zrážkovou vodou. Keby k naplneniu priehrady v tomto období nedošlo, nebola by možná dôležitá produkcia elektrickej energie v zimných mesiacoch, s následkom výrazných finančných strát pre užívateľa. Preto zo strany investorov vyšla požiadavka na etapizáciu výstavby týchto objektov na viac rokov a obmedzenie prác na intervale od začiatku marca do konca mája. Vtedy by bolo možné priehradu od júna ešte dostatočne naplniť, aby nedošlo k výpadku produkcie elektrickej energie. Táto zmena mala závažný dosah na priebeh výstavby a celú organizáciu prác.

Na jar roku 2009 bol vykonaný prieskum podložia pre optimizáciu umiestnenia vtokovo-výtokových objektov. V roku 2010 bola vybudovaná prístupová cesta a stavebná plošina, potrebná pre výkon prác v priehrade Emosson, vrátane predzárezu pre vtokovo-výtokové objekty. Na jar roku 2011 bolo začaté razenie počiatocných 50 m oboch tlakových štôlní a betónáž základu vtokovo-výtokových objektov. V lete toho istého roku bol zhodený prvý železobetónový vtokovo-výtokový objekt na vyššie položenej plošine, ktorá sa nachádzala v nadmorskej výške 1917 m n. m., a bola preto zaplavovaná až pri dosiahnutí maximálnej hladiny v priehrade (obr. 7). Zostával tak dostatok času na debniace, armovacie a betonárske práce rámového objektu s pôdorysnými rozmermi 22x25 m a výškou 11 m, čo zodpovedá objemu 6000 m³. Koncom septembra 2011 dosiahla hladina priehrady potrebnú výšku, objekt bol zaplavený pomocou vzduchového vankúša a plávajúceho pontónu preplaveného po jazere na miesto uloženia, a následne potopeného na vybudovanú železobetónovú dosku. Na jar roku 2012 bolo vybetónované vnútorné ostenie klenby a dna tlakovej štôlne, prechodový úsek medzi ústím štôlne a rámovým vtokovo-výtokovým objektom. Podobným postupom bol v tom istom roku postavený a naplavený aj druhý objekt (obr. 8).

Prístupové tunely razené od portálu Emosson

Raziace práce na prístupových tuneloch boli začaté v polovici augusta v roku 2009. Kaverna rozvetvenia tunelov s nadložím len 15 m bola vybudovaná bez väčších ľahostí a razenie oboch štôlní ZTE a ZTVE pokračovalo do konca novembra 2009. V roku 2010 bolo možné vykonávať práce od začiatku apríla do konca novembra, pričom bolo vyrazených 1558 m stúpajúcej štôlne ZTVE a 1342 m klesajúcej ZTE. V roku 2011 boli obe prístupové štôlne dokončené. Z klesajúcej štôlne ZTE bol vyrazený v roku 2011 tunel



Obr. 8 Jar 2013,oba vtokovo-výtokové objekty naplavene a ulozene na pripravenych betonových prahoch, hladina vody v jazere Emosson je vypustená na minimum
Fig. 8 Spring of 2013, both inlet-outlet structures floated and placed on prepared concrete sills; Emosson reservoir surface level at the minimum

driven system of galleries on the 6th September created conditions for the continual course of construction operations unlimited by winter climatic effects. The KBA cavern was excavated conventionally on the ZTA tunnel route, approximately 250m from its end. It was used for dismantling the TBM.

A batching plant was subsequently established in the cavern, which is the explanation for the abbreviation of the tunnel name, KBA (from German Kaverne–Betonanlage) (see Fig. 6). The production of concrete mixtures commenced in October 2013.

Intake-Outlet structures

According to the original assumption, the Emosson dam reservoir was to be empty for the whole winter season, which would have allowed for excavating initial metres of the pressure galleries and building reinforced concrete intake-outlet structures. However, complete emptying of the dam reservoir for the required period would have resulted into a break in the production of electric energy by existing power plants. The functionality of the system is based on the fact that the dam reservoir is filled from April to September with water from thawing snow and stormwater. If the reservoir was not filled during this period, the important production of electric energy during winter months would not be possible, which would lead to significant financial losses for the user. For that reason, a requirement came from investors for staging the construction of these objects for more years and restraining the operations to the intervals from the beginning of March to the end of May. At that time it would still be possible to fill the reservoir from June sufficiently so that no stopping of the production of power was necessary. This change significantly affected the course of the construction works and the entire works organisation.

A survey for the purpose of the optimisation of the place for the intake-outlet structures was conducted in the spring of 2009. In 2010, an access road and a construction platform required for the execution of the work on the Emosson dam, including a pre-cut for the intake-outlet structures, were carried out. In the spring of 2011, the excavation of the initial 50m of both pressure galleries and the casting concrete for foundations of the intake-outlet structures commenced. In the summer of the same year, the first reinforced concrete intake-outlet structure was completed on the higher located platform, which lied at the altitude of 1917m a.s.l. and was therefore inundated only later, when the maximum level of water surface in the reservoir had been reached (see Fig. 7). In this way,



Obr. 9 Prerážka prístupovej štôlne ZSVE 5. júla 2011 k päte hornej hrádzkej Vieux-Emosson, pracovný kolektív firmy TuCon, a. s., Žilina

Fig.9 Breakthrough of the ZSVE access gallery to the Vieux-Emosson upper dam toe on the 5th July 2011; TuCon, a. s., Žilina working team

BDSO-2 a kaverna BKOW nedaleko ústia dvoch vertikálnych šácht, prístupové tunely k strojovej kaverne ZSK a BKMA a kalota strojovej kaverne KMA. V horných prieskoroch sa pokračovalo razením prístupovej štôlne k päte hornej hrádzkej Vieux-Emosson ZSVE, a jej prerážka dňa 5. júla 2011 bola prvým veľkým časovým miľníkom stavby (obr. 9). Táto štôlňa bola využívaná pre materiálovú logistiku betonárne, postavenej pre spomínané navýšenie priehradného mûru hornej nádrže.

- ZTE – prístupový tunel od nádrže Emosson k hlavnému prístupovému tunelu;
- ZTVE – prístupový tunel od nádrže Emosson k nádrži Vieux Emosson;
- BDSO-2 – stavebný prístup (štôlňa) k päťam vertikálnych šácht;
- BKOW – stavebná kaverna na strane „hornej vody“ (pred turbínami) pre montáž oceľových tlakových privádzačov na jednotlivé turbíny;
- BKMA – stavebný prístup (štôlňa) do kaverne KMA;
- KMA – kaverna hlavnej strojovne.

Kaverny KDSV a KSO

Výrub kaverien bol členený na kalotu a dve úrovne lavice, pričom primárne zaistenie výrubu bolo vykonané striekaním betónom a kotvami Swellex. Následne boli zabudovávané ďalšie vrstvy striekaného betónu vystužené oceľovými sietami a výrub sa definitívne zaistil 6 m a 8 m dlhými maltovanými kotvami priemeru 32 mm.

Kaverny KDSV 123 a KDSV 456 slúžili ako štartovacie kaverny pre razenie dvoch cca 440 m dlhých vertikálnych šácht.

V každej kaverne bola vybudovaná jedna vertikálna šachta (obr. 10). Systémom „raise drilling“ s priemerom korunky 381 mm sa najskôr vyvŕtal pilotný vrt na dno šachty. Späťne, smerom zdola nahor, sa vrt rozšíril korunkou s priemerom 2440 mm a následne, zhora nadol, sa vrtno-trhacími prácami vonkajší priemer rozšíril na 8,2 m. Maximálna dĺžka záberu pri rozširovaní dosiahla 2,5 m. Práce na vertikálnych šachtách boli začaté v júni 2012.

Strojová kaverna KMA

Razenie strojovej kaverne kládlo vzhľadom k jej vzdialnosti od portálov vysoké nároky na plánovanie, logistiku a bezpečnosť. Raziace práce prebiehali v deviatich etapách (tzn. v 9 výškových úrovniach) od kaloty smerom dolu. Celková dĺžka kaverne je 195 m, výška 52 m, šírka 32 m. Profil kaloty bol členený na tri časti (obr. 11), pričom stredná

sufficient time was left for the installation of formwork, then placement of concrete reinforcement and casting concrete for the framework structure with the ground plan dimensions of 22x25m and the height of 11m, corresponding to the volume of 6000m³. At the end of September 2011, the water surface in the dam reservoir reached the required level; the structure was transported by means of an air cushion and a floating pontoon across the reservoir to the placement location, where the pontoon was sunk and settled on the completed reinforced concrete slab. In the spring of 2012, concrete was cast for the inner lining of the vault and bottom of the pressure gallery and the transition section between the gallery mouth and the intake-outlet framework structure. A similar procedure was applied during the same year to the construction of the second structure and floating it to its place (see Fig. 8).

Access tunnels driven from the Emosson portal

Tunnelling work on the access tunnels commenced in the middle of February 2009. The tunnel bifurcation cavern with the overburden only 15m high was carried out without more significant difficulties and the excavation of both galleries (ZTE and ZTVE) continued until the end of November 2009. In 2010, it was possible to carry out work operations from the beginning of April to the end of November; 1558m of the ZTVE gallery and 1342m of the ZTE gallery were driven on rising and down gradients, respectively. Both access galleries were finished in 2011. The excavation of the BDSO-2 tunnel and the BKOW cavern from the descending ZTE gallery near the mouths of two vertical shafts, the access tunnels to the ZSK turbine hall cavern, the BKMA and the top heading of the KMA turbine hall cavern was finished in 2011. In the upper spaces, the excavation of the access gallery to the toe of the upper dam Vieux-Emosson ZSVE continued; this gallery breakthrough on the 5th July 2011 was the first big milestone of the project (see Fig. 9). This gallery was used for the material logistics of the concrete batching plant, which was established for the purpose of the above-mentioned increasing the height of the dam wall of the upper reservoir.

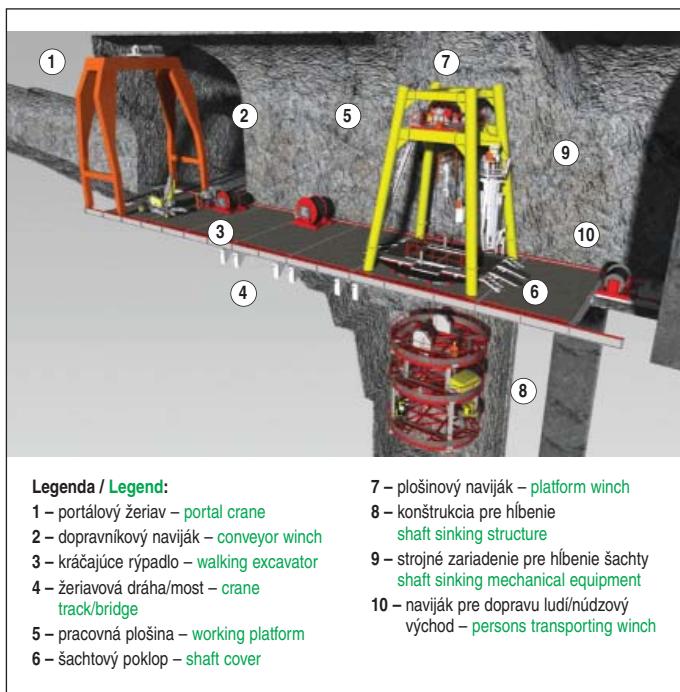
- ZTE – the access tunnel from the Emosson reservoir to the main access tunnel;
- ZTVE – the access tunnel from the Emosson reservoir to the Vieux Emosson reservoir;
- BDSO-2 – construction access (gallery) to the bottoms of vertical shafts;
- BKOW – construction cavern on the upstream side (before turbines) for the installation of steel penstock tubes leading to individual turbines;
- BKMA – construction access (gallery) to the KMA cavern;
- KMA – main turbine hall cavern.

KDSV and KSO caverns

The excavation of the caverns was divided into the top heading and two bench levels; the primary excavation support was carried out using shotcrete and Swellex rock bolts. Other layers of shotcrete reinforced with welded mesh were applied subsequently. The excavation was definitely stabilised by 6m and 8m long fully grouted rock bolts 32mm in diameter.

The KDSV 123 and KDSV 456 caverns were used as starting caverns for the excavation of two ca 440m long vertical shafts.

One vertical shaft was carried out in each cavern (see Fig. 10). The raise-boring system was used. First, a pilot hole was carried out with a 38mm-diameter bit down to the shaft bottom. The borehole diameter was reamed back with a 2440mm diameter head and, subsequently, the outer diameter was enlarged to 8.2m from the top by means of the drill-and-blast technique. The maximum length of one excavation round during the enlarging operations reached 2.5m. The work on the vertical shafts commenced in June 2012.



Obr. 10 Schéma pracovných plošín – razenie vertikálnych šachô

Fig. 10 Chart of working platforms – excavation of vertical shafts

časť, takzvaná pilotná štôlňa, mala plochu výrubu 83 m^2 a bočné rozšírenia s plochou výrubu 44 m^2 . Tie boli razené s rozostupom do max. 25 m medzi sebou.

Primárne zaistenie kaloty tvorila vrstva striekaného betónu hr. 20 cm, vystuženého jednou vrstvou oceľových sietí a maltovanými kotvami dĺžky 6 m a priemeru 32 mm v rastri $1.5 \times 1.5 \text{ m}$.

Sekundárne ostenie hornej klenby kaverne (obr. 12) pozostávalo zo železobetónových rebier, uložených na železobetónovoých úložných prahoch, slúžiacich zároveň ako opora stavebnej žeriavovej dráhy. Prahy boli kotvené 20 m dlhými predpätými kotvami v úrovni prvej lavice kaverne.

Raziace práce v strojovej kaverne KMA boli ukončené 7. 4. 2014 a od 1. 5. 2014 začala montáž technológie.

Logistika

Logistika zohrávala vzhľadom ku komplexnosti stavby klúčovú úlohu. Podzemná betonáreň s dvomi miešacími jednotkami, umiestnená v kaverne KBA, dodávala kontinuálne betón na zaistenie výrubu razených priestorov a pre betonáže konštrukcií ostení. Vzhľadom na potrebné veľké množstvo betónu bola rozhodujúcim technologickým zariadením pre plynulý postup stavebných prác. Aby sa minimalizoval počet nákladných áut v tuneli, bol na zásobovanie betónárne kamenivom využitý pásový dopravník, ktorý zostal namontovaný po vyrazení hlavného prístupového tunela. Kapacita dopravníka bola 3000 t denne a kamenivo bolo následne uskladnené v siláh pri betonárni.

Okrem kameniva boli z Le Châtelard cez hlavný prístupový tunel ZTH transportované k centrálnej podzemnej betonárni aj ostatné suroviny na výrobu betónu: cement, popolček, prísky, prímesí a oceľové vlákna pre striekané betóny.

Betón sa vyrábal v dvoch oddelených miešacích jednotkách a od betonárne bol dopravovaný na miesto zabudovania domiesavačmi; pre objekty v blízkosti betonárky bol transportovaný oceľovým betonárskym potrubím.

Popri zásobovaní betónárne musel byť rovnako zabezpečený odvoz výrubového materiálu, pásový dopravník sa preto využíval striedavo na obe činnosti.



Obr. II Raziace a zaistenovacie práce kaloty strojovej kaverny KMA

Fig. II Excavation and installation of support in the KMA turbine hall cavern top heading

KMA turbine hall cavern

The excavation of the turbine hall placed increased demands on planning, logistics and safety with respect to its distance from portals. The work was divided into nine stages (i.e. 9 benches), down from the top heading. The cavern is 195m long, 52m high and 32m wide. The top heading profile was divided into three parts (see Fig. 11), with the excavated cross-sectional area of the central part (the so-called pilot gallery) of 83 m^2 and the lateral widening cross-sectional areas of 44 m^2 . They were driven with the maximum distance of 25m between them.

The primary support of the top heading consisted of a 20cm thick layer of shotcrete reinforced with one layer of steel mesh and fully grouted rock bolts 32mm in diameter, spaced at $1.5 \times 1.5 \text{ m}$.

The secondary lining of the cavern upper vault (see Fig. 12) consisted of reinforced concrete ribs placed on reinforced concrete bearing sills serving at the same time as the support for the construction crane track. The sills were anchored by 20m long pre-tensioned anchors at the level of the first cavern excavation bench.

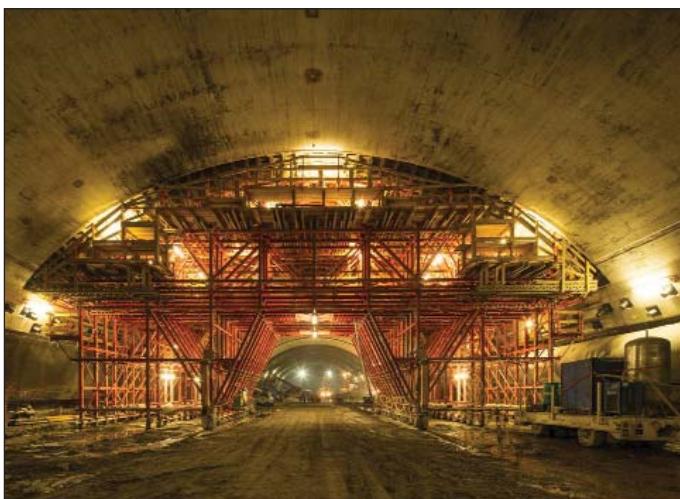
The excavation work in the KMA turbine hall was finished on the 07/04/2014 and the installation of equipment started from 01/05/2014.

Logistics

Logistics played the crucial role with respect to the project complexity. The underground concrete batching plant with two mixing units, which was located in the KBA cavern, continually supplied concrete for supporting the excavation of mined spaces and for casting the concrete of the lining structures. With respect to the large volume of concrete which was necessary, this technological equipment was critical for the fluent progress of construction work. A belt conveyor was used for supplying aggregates to the batching plant with the aim of minimising the number of trucks in the tunnel. It remained in place after the completion of the excavation of the main access tunnel. The capacity of the conveyor was 3000t per day and the aggregates were subsequently stored in silos at the batching plant.

Apart from aggregates, even other materials for the production of concrete (cement, fly ash, additives, admixtures and steel fibres) were transported from Le Châtelard to the batching plant through the ZTH main access tunnel.

Concrete was produced in two separate mixing units and was transported to the placement point by mixer trucks. Concrete for structures located in the vicinity of the batching plant was transported through steel concrete casting pipes.



Obr. 12 Debnenie sekundárneho ostenia kaloty kaverny KMA
Fig. 12 Formwork for the secondary lining of the KMA cavern top heading

Pre organizáciu logistiky bola zriadená centrála s pracovníkmi detailne oboznámenými s celou stavbou. Tí rozhodovali nielen o distribúcii betónu a stavebého materiálu na jednotlivé staveniská, ale aj o povoľovaní vstupu vozidiel do tunelového komplexu, a zodpovedali za ich bezpečný pohyb v podzemných priestoroch.

Navýšenie priehradného múru Vieux-Emosson o 23 m sa realizovalo v letných mesiacoch v rokoch 2013 a 2014, a bolo naň potrebných cca 62 000 m³ betónu. Vyžiadalo si vybudovanie osobitného zariadenia staveniska a samostatnej betonárne. Jej zásobovanie podliehalo tiež logistickej centrále, a bolo zabezpečované cez tri hlavné logistické štolne (ZTH, ZTE a ZTVE), nákladnými automobilmi (obr. 13).

ZÁVER

Projekt Nant de Drance je jedným z priekopníkov v začiatke epochy výstavby veľkých alpských vodných prečerpávacích elektrární, ktoré sú budúcnosťou v produkcií elektrickej energie. Spolu s rozvíjajúcimi sa technológiami, využívajúcimi ďalšie obnoviteľné zdroje energie, ukazuje smerovanie švajčiarskej energetickej politiky.

Vďaka práci tunelárov môžu byť tak gigantické stavebné projekty, slúžiace aj budúcim generáciám, vykonávané s minimálnym vplyvom na životné prostredie, a bez väčšieho vizuálneho zásahu do okolitej prírody.

Ing. MARTIN MAGDOLEN, martin.magdolen@tucon.sk,
Ing. IVAN KVAŠŠAY, ivan.kvassay@tucon.sk,
TuCon, a. s.

Recenzovali: Ing. Ján Kušnír, Ing. Ján Snopko

LITERATURA / REFERENCES

- [1] *Nant de Drance Pumped Storage Power Station, Switzerland* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <<http://www.power-technology.com/projects/nant-de-drance-pumped-storage-power-station/>>
- [2] *Nant de Drance* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <<http://www.alpiq.com/what-we-offer/our-assets/hydropower/hydropower-plant-projects/nant-de-drance.jsp>>
- [3] EIN PUMPSPEICHER-KRAFTWERK IN DEN WALLISER ALPEN [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <<http://www.nant-de-drance.ch/de/projekt/allgemeine-informationen/>>
- [4] Realizačná projektová dokumentácia stavby „Pumpspeichwerk Nant de Drance“, koordinačný plán – situácia, zhodnotenie uvedenej projektovej dokumentácie AF-Consult Switzerlant AG
- [5] JUNG, S. Nant de Drance problémy pri výstavbe prečerpávací vodnej elektrárny 900 MW v Alpách. *Tunel*, 2013, 22. ročník, 4/2013, 122 s.



Obr. 13 Zariadenie staveniska pod päto hrádze Vieux-Emosson, ktorej oporný mûr sa navýšuje o 23 m
Fig. 13 Site arrangement under the toe of the Vieux-Emosson dam, with the dam wall height being increased by 23m

In addition to supplying materials to the batching plant, it was necessary to secure the removal of muck. The belt conveyor was therefore used alternately for both activities.

A central office manned with workers acquainted in detail with the whole construction was established for the organisation of the logistics. They decided not only on the distribution of concrete and building materials to individual construction sites, but also on permitting the access of vehicles into the complex of tunnels. They were responsible for the safe movement of the vehicles in the underground spaces.

Increasing the Vieux-Emosson dam wall height by 23m was realised during summer months of 2013 and 2014. About 62,000m³ of concrete were required for it. It claimed the development of a special construction site and an independent batching plant. Supplying materials to it was also controlled by the logistics central office. It was provided through three main logistics galleries (ZTH, ZTE and ZTVE), by trucks (see Fig. 13).

CONCLUSION

The Nant de Drance project is one of the pioneers in the beginning epoch of the development of large Alpine pumped storage plants, which are the future in the generation of electric energy. Together with the developing technologies using other renewable sources of energy, it indicates the trend of the Swiss energy policy.

Such gigantic construction projects serving even the future generations, implemented with a minimum environmental impact and without any significant visual intervention in the surrounding landscape, can be realised owing to the work of tunellers.

Ing. MARTIN MAGDOLEN, martin.magdolen@tucon.sk,
Ing. IVAN KVAŠŠAY, ivan.kvassay@tucon.sk,
TuCon, a. s.

PODMORSKÝ CESTNÝ TUNEL SOLBAKK, NÓRSKO

SOLBAKK UNDERSEA TUNNEL, NORWAY

JURAJ ANTOLÍK, MARTIN MAGDOLEN

ABSTRAKT

V prvej polovici roku 2013 boli začaté práce na výstavbe doposiaľ najdlhšieho podmorského cestného tunela na svete. Tunel Solbakk je súčasťou ambiciozneho a náročného projektu Ryfast, ktorý pozostáva z dvoch podmorských cestných tunelov (tunel Solbakk, tunel Hundvåg). Predpokladané ukončenie prác je na prelome rokov 2018 a 2019 a náklady na celý projekt by mali dosiahnuť úroveň 6,199 mld. nórskych korún (cca 753 mil. eur), pričom 90 % nákladov pokryje mýto a 10 % vládne zdroje. Vďaka tomuto projektu bude zabezpečené dopravné spojenie medzi mestom Stavanger, ktoré je označované ako hlavné ropné mesto Nórsku, a malým mestečkom Tau. V súčasnosti sú prepojené trajektovou dopravou alebo cestou dlhou 70 km, ktorá obchádza záliv v Severnom mori. Tunel Solbakk bude dlhý 14,3 km. Výstavba je vzhľadom na geologické podmienky realizovaná vrtno-trhacími prácami, ktoré vykonávajú zamestnanci spoločnosti TuCon. Najhlbší bod tunela sa nachádza 290 m pod hladinou mora. Trasa povedie popod malým ostrovom Hidle, kde je naplánovaná výstavba ventilačnej šachty hlbokej viac ako 300 m. Očakávaná intenzita dopravy po vybudovaní je 4000 áut denne a 8000 áut za deň v roku 2035. Práve tieto parametre robia z tunela Solbakk najhlbší a zároveň najdlhší podmorský cestný tunel nielen v Nórsku, ale aj na celom svete.

ABSTRACT

The work on the till now world's longest undersea road tunnel commenced in the first half of 2013. The Solbakk tunnel is part of the Rykfast project, which is a project consisting of two undersea road tunnels (the Solbakk and the Hundvåg). The planned deadline for the works is the turn of 2018–2019; the cost of the entire project should amount to NOK 6.199 billion (approximately 753 million Euro), with 90% of the cost covered by the toll and 10% by governmental sources. Owing to this project, the transport connection will be provided between the towns of Stavanger, which is branded Norway's crude oil capital, and the small town of Tau. At the moment they are interconnected by a ferry transport system or by a 70km long road leading around a North Sea bay. The Solbakk tunnel will be 14.3km long. With respect to the geological conditions, the construction is being carried out by employees of TuCon, a.s., using the drill and blast method. The lowest point of the tunnel is found 290m under the sea level. The alignment will lead under a small island, Hilde, where a ventilation shaft over 300m deep will be constructed. The expected traffic flow rate after the completion and in 2035 amounts to 4000 and 8000 vehicles per day, respectively. These parameters mean that the Solbakk tunnel will be the deepest and at the same time the longest undersea road tunnel not only in Norway, but even in the whole world.

OPIS PROJEKTU

Nórske mesto Stavanger s 320 tisíc obyvateľmi je treťou najväčšou metropolitnou oblasťou v Nórsku. Vzhľadom na to, že mesto Stavanger má obmedzené možnosti v oblasti občianskej výstavby, pristúpil investor k vybudovaniu dopravného prepojenia s mestom Tau (obr. 1), ktoré disponuje dostatkom priestoru na nové byty a súvisiacu infraštruktúru. To si vyžaduje krátke a nepretržité dostupné spojenie pre nových obyvateľov mesta Tau, ktorí pracujú v Stavangeri (obr. 2).

Firma Norconsult ukončila projekčné práce na jar 2012 a na jeseň 2012 sa začal výber na zhотовiteľa stavby pre projekt Ryfast. Výberové konanie vyhralo združenie stavebných spoločností – nórskej AF Gruppen a švajčiarskej Marti Contractors, ktorá má na výstavbe zastúpenie firmami Marti Contractors Ltd, IAV hf, Marti Norge, a. s. a TuCon, a. s. zo Žiliny. Projekt Ryfast je tvorený dvomi cestnými tunelmi – Solbakk a Hundvåg. Obidva pozostávajú z dvoch tunelových rúr, ktoré majú dva jazdné pruhy. Každých 250 metrov sa striedavo v dvoch tunelových rúrach rozširuje profil kvôli bezpečnostným zálivom pre núdzové zastavenie vozidiel (obr. 3). V týchto miestach je úniková chodba, ktorá priečne prepája oba tunely, dlhá 9 metrov.

Solbakk je dlhý 14,3 km a po dokončení spojí trajektový prístav v meste Tau (obr. 4) s ostrovom Hundvåg. Očakávaná intenzita dopravy po vybudovaní je 4000 áut denne a 8000 áut za deň v roku 2035. Najhlbší bod tunela sa nachádza 290 m pod hladinou mora. Trasa povedie pod malým ostrovom Hidle, kde je naplánovaná výstavba ventilačnej šachty vysokej viac ako 300 m. Práve tieto parametre robia z tunela Solbakk najhlbší a zároveň najdlhší podmorský cestný tunel nielen v Nórsku, ale aj na celom svete.

PROJECT DESCRIPTION

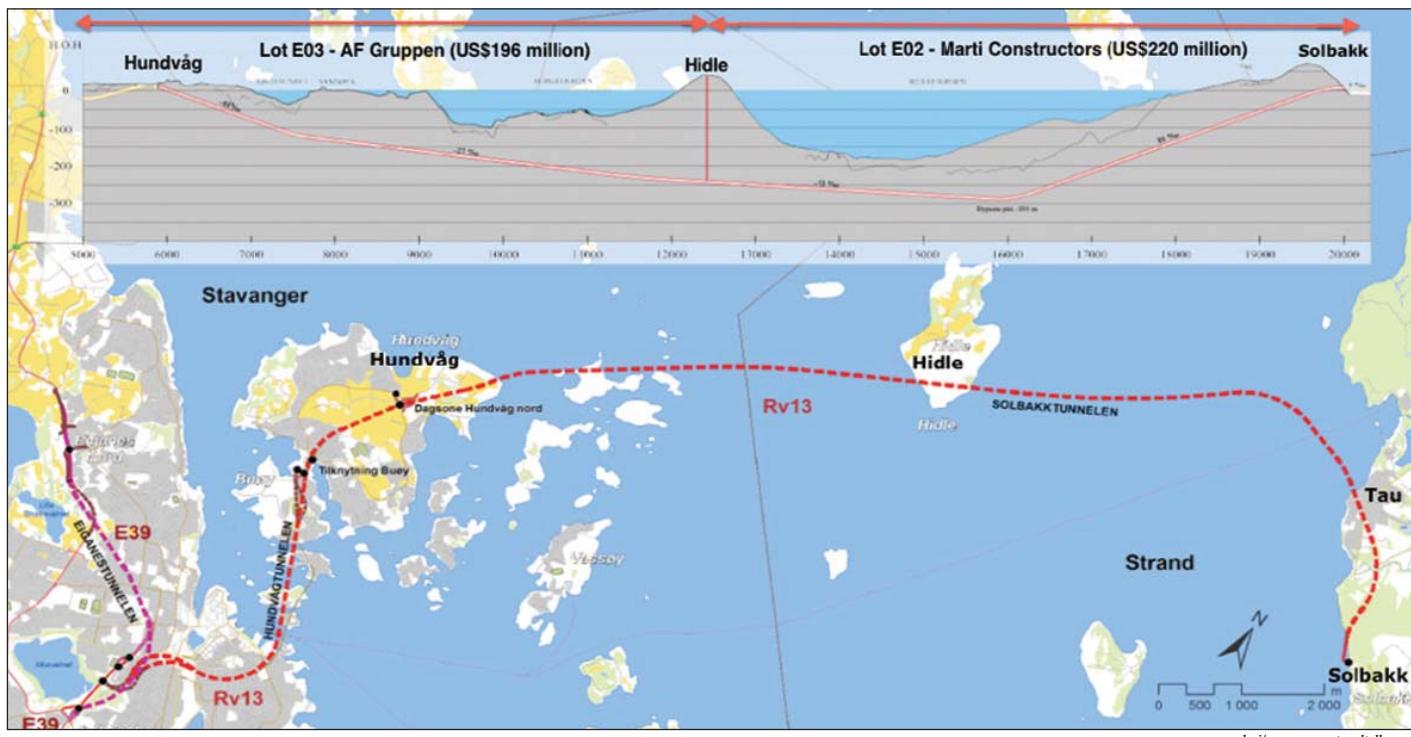
The Norwegian city of Stavanger with the resident population of 320 thousand is the third metropolitan area in Norway. With respect to the fact that the capacity of the city of



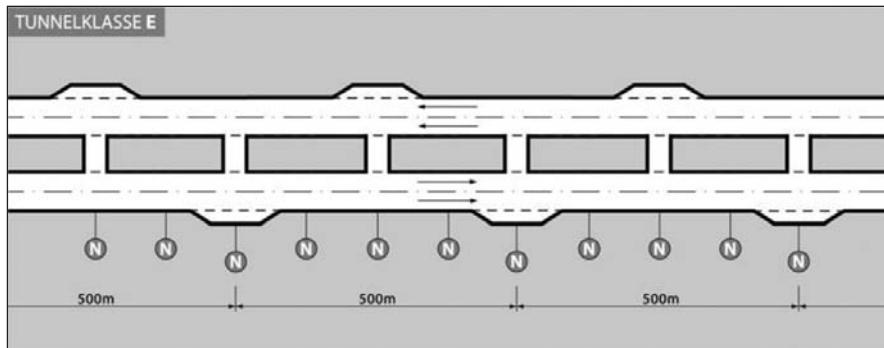
Foto/Photo TuCon

Obr. 1 Prvý záber pri začatí razienia tunela pri meste Tau

Fig. 1 Initial round of the excavation of the tunnel near the town of Tau



Obr. 2 Projekt Ryfast – pozdĺžny profil a mapa plánovaného podzemného prepojenia
Fig. 2 Ryfast Project – longitudinal section and map of the planned underground connection



Obr. 3 Núdzové zálivy s priečnym prepojením, N - SOS výklenek
Fig. 3 Emergency stopping bays with cross passages, N - SOS niche

Druhým, kratším tunelom s dĺžkou 5,5 km je Hundvåg, ktorý sa pripája k Solbakku na rovnomennom ostrove Hundvåg. Odtiaľ viedie jeho trasa do Stavangeru, kde sa napája na cestný tunel Eigane, ktorý je súčasťou diaľnice E39. Odhadovaná intenzita dopravy po dokončení celého projektu v roku 2019 je 10 000 áut denne a 25 000 áut za deň v roku 2035. Najhlbšie miesto tohto tunelu sa nachádza 95 m pod hladinou mora.

PROCES VÝSTAVBY

Výstavba je vzhľadom na geologické podmienky realizovaná vrtno-trhacími prácami, ktoré vykonávajú zamestnanci spoločnosti TuCon. Geológia tunela sa skladá z dvoch celkov; na východnej strane ju tvorí tvrdá rula a približne v polovici tunela smerom na západ sú obsiahnuté mäkkšie fylity. Na dodržanie kvality dohliada nórsky štátny orgán Statens vegvesen, ktorý určuje výrubové triedy a s tým súvisiace zaistenie tunelov (rozmiestnenie a dĺžka kotiev a hrúbka striekaného betónu). Celý tunel je rozdelený na štyri výrubové triedy (Tab. 1), kde v triede 1 až 3 je dĺžka záberu 5 m a vo výrubovej triede 4 je dĺžka záberu 3 m. V súčasnosti zamestnanci spoločnosti TuCon od mesta Solbakk vyrazili viac ako 3,5 km v tunelovej rúre B (vľavo) a viac ako 3,4 km v tunelovej rúre A (vpravo).

Jedným z krokov v cyklickom procese razenia je inštalácia skalných kotiev. Na stavbe majú slovenskí odborníci

Stavanger in the field of community amenities is limited, the investor decided to develop transport connection with the town of Tau (Fig. 1), which has got sufficient space for new dwellings and the infrastructure associated with them. This solution requires a short and uninterrupted connection for the new residents of the town of Tau who work in Stavanger (Fig. 2).

The company of Norconsult finished the work on the design in spring 2012 and the Ryfast project contractor procurement started in autumn 2012. The competition was won by a consortium of construction companies consisting of Norway-based AG Gruppen and Switzerland-

based Marti Contractors, which is represented by Marti Contractors Ltd, IAV hf, Marti Norge, a. s. and Žilina-based TuCon, a. s. The Ryfast project is formed by two road tunnels - the Solbakk a the Hundvåg. Each of them consists of two double-lane tunnel tubes. The tunnel cross-section is enlarged every 250 metres alternately in one and the other tunnel tube for the purpose of emergency stopping bays (Fig. 3). There are 9 metre long cross passages in these locations, allowing for the escape.

The Solbakk tunnel is 14.3km long and, after completion, it will connect the ferry harbour in the town of Tau (see Fig. 4) with the island of Hundvåg. The anticipated traffic flow rates after the completion and in 2035 are 4000 vehicles per day and 8000 vehicles per day, respectively. The deepest tunnel point is located 290m under the sea surface. The route will lead under Hilde, a small island, where the construction of an over 300m high ventilation shaft is planned. These parameters make the Solbakk tunnel the deepest and at the same time longest under-sea road tunnel not only in Norway but also in the world.

The other, shorter, tunnel is the 5.5km long Hundvåg, which is connected to the Solbakk tunnel on the island of the same name, Hundvåg. From this place, its route leads to Stavanger, where it connects to the Eigane road tunnel, which is part of the E39 motorway. The estimated traffic flow rates after the completion of the entire project in 2019 and in 2035 are 10,000 and 25,000 vehicles per day, respectively. The deepest point is located 95m under the sea surface.

Tab. 1 Rozdelenie výrubových tried
Table 1 Distribution of excavation support classes

výrubová trieda excavation support class	SK1 SK1	SK2 SK2	SK3 SK3	SK4 SK4
aktuálny percentuálny pomer vyrazených dĺžok výrubových tried tunela current percentage of the lengths completed in particular excavation support classes	1 % 1%	38 % 38%	56 % 56%	5 % 5%
dĺžka záberu excavation round length	5 m 5m	5 m 5m	5 m 5m	3 m 3m
hrúbka striekaného betónu shotcrete thickness	8 cm 8cm	8 cm 8cm	10 cm 10cm	15 cm 15cm
dĺžky kotievo lengths of rockbolts	3 m 3m	3 m 3m	3 m 3m	4 m 4m

k dispozícii najmodernejšie vŕtacie súpravy – dve väčšie trojfajetové – Sandvik DT1131i a dve menšie – dvojfajetové Sandvik DT921i. V oboch tunelových rúrach sa používajú dve súpravy – jedna veľká a jedna malá. Všetky štyri vŕtacie stroje sú vybavené systémom iSURE, pre monitorovanie vŕtacích prác (obr. 5). Systém poskytuje špecifické riadenie a vedenie jednotlivých vŕtacích a trhacích prác pre zabezpečenie optimálne nízkych nákladov a plynulého postupu razeenia. Systém sa skladá zo štyroch modulov. Zo základného (iSURE Tunnel), ktorý obsahuje dokumenty projektu. Typ konštrukcie teoretického profilu je možné vykonať manuálne, alebo sa vyberie zo štandardných profilov v pamäti, prípadne je možné načítať profily vo formáte DXF. Druhý modul (iSURE Report) poskytuje skutočné informácie všetkých fáz procesu práve prebiehajúceho vŕtania. Tretí modul (iSURE Analysis) vykonáva zber dát pri vŕtaní a následne analyzuje štruktúru a vlastnosti horniny. Modul dokáže z vyzbieraných dát vytvoriť vizualizáciu povrchu skaly v reálnom čase v 3D. Vŕtací modul (iSURE Bolting) umožňuje použitie jedného stroja na vŕtanie viacerých otvorov súčasne. Na základe získaných informácií na týchto štyroch moduloch je možné monitorovať zmeny v kvalite horniny, ktoré súvisia s rýchlosťou penetrácie, zručnosťou a výkonnosťou vŕtačov, alebo aktuálny stav vŕtnej súpravy (napr. spotreba vrtného náradia).

Vŕty pre skalné kotvy sú realizované dvomi väčšími vŕtacími súpravami. Uchytenie kotiev v skalnom masíve je zabezpečené v prvom momente mechanicky – rozperkou, ktorá sa po dotiahnutí matice na konci kotvy rozopne do horniny (kotvy sú okamžite únosné). Neskôr, až za vrtným strojom, kvôli urýchleniu prác na čelbe, sa kotvy injektujú maltou, tzn., že sa vyplní celá dĺžka vŕtu, v ktorom je kotva osadená. Potom je zaťaženie prenášané aj trením medzi vytvrdnutou maltou a stenou vývrtu (horninou). Tieto kotvy sa nazývajú



Obr. 4 Vizualizácia budúceho portálu pri meste Tau
Fig. 4 Visualisation of the future tunnel portal near the town of Tau

CONSTRUCTION PROCESS

With respect to the geological conditions, the construction is realised using the drill and blast technique, by TuCon employees. The tunnel geology consists of two blocks; on the eastern side it is formed by hard gneiss, whilst softer phyllite is approximately in the middle of the tunnel and further toward the west. The observance of quality requirements is supervised by the Norwegian state authority, the Statens vegvesen. It determines the excavation support classes and the support associated with them (the spacing and lengths of rock bolts and the thickness of shotcrete layers). The entire tunnel is divided into four excavation support classes (see Table 1), where the excavation round length of 5m is prescribed for classes 1 – 3, whilst the length of 3m is prescribed for class 4. Till now, TuCon employees completed the excavation of over 3.5km of tunnel tube B (on the left side) and 3.4km of tunnel tube A (on the right side).

One of the steps in the cyclical excavation process is the installation of rock bolts. Slovak professionals have state-of-the-art drilling rigs available at the site – a pair of bigger Sandvik DT113li triple-boom sets and two smaller Sandvik DT921li twin-boom sets. Two sets, one big and one small, are used in each tunnel tube. All of the four drilling sets are equipped with the iSURE system for the monitoring of the drilling and blasting operations (see Fig. 5). The system provides specific management and guidance for individual drilling and blasting operations for ensuring optimally low costs and fluent advancing of the excavation. The system consists of four modules. The basic module (iSURE Tunnel) contains the design documents. The type of the theoretical cross-section structure can be set manually or is selected from standard



Obr. 5 Pohľad z vrtného vozu pri automatickom vŕtaní čelby
Fig. 5 A view from the drill rig during automatic drilling into the excavation face

Foto/Photo TuCon

kombinované kotvy (CT bolts), pretože sa využíva kombinácia prenosu zatiaľenia najskôr rozperkou a potom kombináciou prenosu cez rozopnutú rozperku a trením na povrchu vývrtu a výplňovej malty. Inštalácia kotiev je vykonávaná z pohyblivej plošiny, ktorou sú opatrené vyššie spomínané vŕtacie súpravy. Potom sa pristupuje k vŕtaniu dier pre nálože a ich následné plnenie. Vrty sa realizujú taktiež trojlafetovými vŕtacími strojmi. V tomto kroku je potrebná prítomnosť skúseného operátora, ktorý po ukotvení stroja spustí automatické vŕtanie dier a dokáže vŕtať súčasne s troma lafetami, čím sa dosiahne urýchlenie procesu výstavby. Po dokončení sa do jednotlivých dier nainštalujú rozbušky podľa vrtného plánu a každý vrt je následne vyplnený výbušnou emulziou (plnivom) (obr. 6). Na trhacie práce sa používajú neelektrické rozbušky typu Nonel, ktoré sa spoja bleskovicou a tá je odpálená elektrickou rozbuškou z bezpečnej vzdialenosťi, čo je obyčajne najbližšia prerážka (úniková spojovacia chodba). Ked sa rozbušky pripojia na bleskovicu a dodržia sa bezpečnostné opatrenia súvisiace s kontrolou tunela, strelmajster odpáli čelbu, a za pár sekúnd sa uvoľní niekoľko sto m³ horniny. Po odpale začne vetranie v oboch tuneloch pracovať na 100 %. Je to spôsobené vibračným senzorom, ktorý dá po explózii signál ventilátoru o zmene výkonu. Oba ventilátory sú umiestnené pred portálmi tunelov. Vibračný senzor je osadený spolu s ďalšími dvomi senzormi, monitorujúcimi kvalitu vzduchu na transformátore, ktorý je najbližšie k čelbe, a je z neho napájaná vrtná súprava. Vždy, keď stúpne koncentrácia oxidu uhoľnatého a oxidu dusičitého nad neprípustnú hranicu, zvýši sa výkon ventilátorov, čím stúpne objem čerstvého vzduchu v tuneloch. Tento systém reguluje kvalitu vzduchu automaticky, bez akéhokoľvek zásahu. Informácie o stave ovzdušia v podzemí a aktuálnom stave cirkulácie vzduchu sú bezdrôtovo prenášané do počítača. Súčasťou systému je aj monitoring požiarnych alarmov a monitoring pohybu pracovníkov v podzemí, pretože každý zamestnanec pracujúci v podzemí má pridelený vlastný čip, cez ktorý je monitorovaný, aby sa v prípade mimoriadnej udalosti (požiar, zával) vedelo zistiť, či niekto zo zamestnancov po evakuácii ešte zostal v tuneli, alebo nie.

Po ustálení koncentrácie spomínaných plynov na normálnych hodnotách nasleduje odtažba uvoľnejnej horniny. Tá je realizovaná pomocou šiestich moderných kolesových nakladačov (5 x Volvo L250G + 1 x Volvo L350F), ktoré odvážajú rúbaninu na medziskládku, alebo sú na dopravu použité klbové dampre (3 x Volvo A35G + 2 x Volvo A30G). Pre plnenie drvíča materiálom z medziskládky je postačujúci jeden menší nakladač L250G. Čelustový drvíč s výkonom 350 t/h má samostatný pásový podvozok, aby mohol nasledovať razenie k poslednej prerazenej spojovacej chodbe, a tým obmedziť vzdialenosť od čelby maximálne na 250 m (obr. 7). Použitie pásového dopravníka na transport rúbaniny umožňuje odľahčenie dopravných ciest a umožňuje realizáciu paralelných činností v procese výstavby tunela. Rozdrvená hornina sa ďalej transportuje pásovým dopravníkom pred portál a sype sa priamo do mora (obr. 8). Týmto spôsobom sa umelo rozširuje breh násypu, na ktorom bude po dokončení stavby kruhový objazd a dve dvojpruhové cestné komunikácie. Pásový dopravník je schopný presunúť 500 t/h rýchlosťou 3 m/s. Maximálna plánovaná dĺžka pásového dopravníka z tunela je 7770 m, mimo tunela 470 m, a plávajúce otočné rameno pásového dopravníka na pontóne je dlhé 37 m.

Na mori, v okolí novoznámkujúceho brehu, je umiestnená zábrana zo sietí. Jej funkciou je ochrana pred šírením odpadu, ktorý je obsiahnutý vo vytáženej rúbanine. Ide predovšetkým o plastové zvyšky rozbušiek (detonačné trubičky). Ihneď po sprístupnení čelovej časti sa začína s obtrhávaním povrchu horniny kvôli odstráneniu nestabilných skalných blokov. Najskôr je realizované mechanické obtrhávanie pomocou pásového rýpadla s hydraulickým kladivom. Potom nasleduje ručné obtrhávanie vykonávané z pohyblivej plošiny pomocou



Foto/Photo TuCon

Obr. 6 Plnenie vývrtov emulznou trhavinou

Fig. 6 Filling blast holes with emulsion explosive

cross-sections loaded in the memory, or it is possible to retrieve the cross-sections in DXF format. The second module (iSURE Report) provides current information from all phases of the just running drilling process. The third module (iSURE Analysis) carries out the collection of data during the course of drilling and, subsequently, analyses the rock structure and properties. The module is capable of creating the 3D visualisation of the excavated opening surface on the basis of the collected data in real time. The drilling module (iSURE Bolting) allows for the application of one set to drilling of more holes simultaneously. The changes in rock quality associated with the penetration rate, the skill and performance of drilling crews or the current condition of the drilling rig (e.g. drilling tools) can be monitored on the basis of the information obtained from the above-mentioned four modules.

Holes for rock bolts are drilled using the two smaller drilling rigs. In the beginning, rock bolts are stabilised in the rock mass by means of a dowel, which expands against the rock after the nut at the bolt end is tightened (the load-bearing capacity of the bolts is immediately activated). Later, behind the drilling rig, the bolts are encapsulated by grout injected along the entire length of the hole in which the bolt is installed, with the aim of accelerating the work at the heading. After that, the load is carried even by friction between the hardened grout and the drill-hole wall (the rock). These rock bolts are denominated combined bolts (CT bolts) because they are based on the combination of transferring load first of all by the dowel and then on the combination of the transfer through the expanded dowel and the friction between the hole wall surface and the filling grout. The rock bolts are installed from movable platforms, which are mounted on the above-mentioned drilling rigs. Subsequently, blast holes are carried out to be charged. The holes are also carried out using the triple-boom drilling rigs. In this step, the presence of an experienced operator is necessary. After the anchoring of the drilling rig is finished, the operator must start the automatic process of drilling the holes simultaneously by three booms to accelerate the construction process. After the completion, detonators are installed in individual blastholes according to the drilling pattern and each hole is subsequently filled with emulsion explosive (the filling) (see Fig. 6). NONEL-type non-electric detonators are used for the blasting operations. They are interconnected by a detonating fuse, which is subsequently fired by a non-electric detonator from a safe distance, usually from the closest cross passage. When the detonators are connected to the detonating fuse and the safety measure relating to the tunnel inspection is adhered to, the shot firer fires the



Obr. 7 Pohľad na drvič s pásovým dopravníkom umiestnený v tunelovej rúre B
Fig. 7 A view of the crusher with the belt conveyor installed in tunnel tube B

obtrhávacích tyčí, na konci opatrených oceľovými dlátami. Po úplnom očistení sa profil kontroluje z dôvodu dodržania stanovených rozmerov. Technici overujú presnosť pomocou totálnej stanice Leica a skenera. Ďalším krokom je zaistenie primárneho ostenia tunela. To tvorí striekaný betón vystužený vláknami (nad hladinou mora oceľovými, pod hladinou mora plastovými), ktorý je aplikovaný mokrým spôsobom (obr. 9). Znamená to, že do striekačky sa pumpuje pripravený hotový betón, do ktorého sa pridáva urýchľovač tuhnutia, a pomocou stlačeného vzduchu sa aplikuje na ostenie. Vo všetkých častiach tunelov je pravidelne vykonávaná kontrola kvality striekaného betónu. Overuje sa hrúbka vrstvy, jeho pevnosť a spojenie s horninou. Kontrola je realizovaná pomocou jadrových vrtov a „boom testu“ (oklepávanie povrchu striekaného betónu kladivkom, alebo oceľovou tyčou, za účelom zistenia kvality prilnavosti striekaného betónu na povrch výlomu. Zistuje sa, či sú duté miesta medzi striekaným betónom a horninou).

V extrémne nevhodných geologických podmienkach sa pre stabilitu horninového masívu používajú aj oceľové oblúky, ktoré sú do horninového masívu pripojené pomocou samozávrtových skalných kotieb. Následne prichádza na rad príprava čelby na ďalšie vŕtanie, čo predstavuje očistenie dna od prípadnej uvoľnejnej horniny alebo striekaného betónu. Po očistení čelby po každých 15 metroch nasleduje vŕtanie štyroch prieskumných vrtov dĺžkých 25 m priemeru 54 mm. Potom sa monitoruje množstvo prítoku vody z týchto otvorov. Podľa jej množstva sa výhodnocuje ďalší postup. V prípade žiadneho alebo minimálneho prítoku pokračuje cyklický proces razenia tunela. Ak je

charges in the excavation face. They disintegrate several hundreds of m³ of rock in an instant. After the blast, the ventilation starts to work at 100% in both tunnel tubes. It is initiated by a vibration sensor, which gives signal to the fan to change the output. Both fans are located in front of the tunnel portals. The vibration sensor is installed, jointly with other two sensors monitoring the quality of air, on the transformer which is closest to the excavation face and which feeds the drilling set. The output of the fans is increased always when the content of carbon monoxide and nitrogen dioxide exceeds the permitted level, the output of fans increases, thus the volume of fresh air in the tunnels grows. This system regulates the quality of air automatically, without any intervention. The information about the condition of the tunnel atmosphere and the current state of the air circulation is transferred wireless to the computer. The monitoring of fire alarms and monitoring of the movement of workers in the underground is part of the system. Each employee working in the underground is assigned his or her own chip through which they are monitored so that it is possible to determine in the case of an emergency (a fire, a tunnel collapse) whether an employee working in the underground remained in the tunnel after the evacuation.

When the concentration of the above-mentioned gases stabilises at normal levels, the disintegrated rock is loaded. The loading is carried out using six modern wheeled loaders (5 x Volvo L250G + 1 x Volvo L350F), which move the muck to an intermediate stockpile, or articulated dumpers are used for the transport (3 x Volvo A35G + 2 x Volvo A30G). One smaller loader L250G is sufficient for feeding the material from the intermediate stockpile to a crusher. The jaw crusher with the output of 350t/h has an independent tracked undercarriage so that it can follow the excavation in the last completed cross passage, thus to maximally restrict the distance from the excavation face to 250m (see Fig. 7). The use of a belt conveyor for moving the muck allows for relieving the transport routes and allows parallel activities in the tunnel construction process to be carried out. The crushed rock is further transported on the belt conveyor to the portal, from which it is poured directly to the sea (see Fig. 8). In this way, the bank of the embankment on which a roundabout and two double-lane roads will be built after the works completion will be artificially widened. The belt conveyor is capable of moving muck at the rate of 500t/h at the velocity of 3m/s. The maximum planned length of the belt conveyor through the tunnel and beyond the tunnel amounts to 7700m and 470m, respectively; the rotary arm of the belt conveyor floating on a pontoon is 37m long.

A barrier formed by nets is installed in the sea, in the vicinity of the newly originating bank. Its function is to prevent the spreading of the spoil which is contained in the muck being deposited, first and foremost the plastic remains of detonators (detonation tubes). The rock surface scaling operation commences immediately after the heading is accessible with the aim of removing unstable blocks of rock. Subsequently, mechanical scaling is carried out using a tracked excavator with a hydraulic hammer. Then manual scaling carried out from a movable platform follows, using scaling rods with steel chisels fixed to their ends. When the scaling operation is completely finished, the profile is checked so that the prescribed dimensions are adhered to. Technicians verify the accuracy by means of a Leica total station theodolite and a scanner. The installation of the tunnel primary lining follows. It is formed by fibre reinforced shotcrete (steel fibres above the sea surface and plastic wires underneath). The wet spraying process is applied (see Fig. 9). It means that pre-prepared wet concrete is pumped to the



Obr. 8 Pohľad na výsypnú plávajúcu časť pásového dopravníka
Fig. 8 A view of the discharging floating part of the belt conveyor



Foto/Photo TuCon

Obr. 9 Oplachnutie výruba vodou a následné striekanie vláknobetónu
Fig. 9 Sprinkling the excavation with water and subsequent application of fibre-reinforced shotcrete

prítok z jedného vrtu väčší ako 2 l za min., alebo súčet prítokov všetkých štyroch vrtov je viac ako 5 l za min., je nutné pristúpiť k injektáži horninového prostredia. Najskôr sa vyvŕtajú injektážne vrty dĺhé 25 m priemeru 54 mm pomocou dvojlfafetovej vrtnej súpravy. Do nich sa osadia tyče s obturátormi a cez ne je tlačená do okolitého horninového prostredia injektážna zmes na báze cementu pod tlakom 80 barov. Injektážny tlak stanovuje investor. Injektáž spôsobí vytlačenie vody z horniny a vyplnenie voľných priestorov a puklín. Všetky vŕtacie parametre sú automaticky zaznamenané. Injektovanie je vykonávané automatickou injektážnou súpravou so štvormi čerpacími linkami pre súbežnú injektáž. Systém ukladá a vyhodnocuje všetky potrebné informácie (napr. množstvo použitej zmesi pre jednotlivé vrty). Týmto spôsobom vznikne po zatuhnutí nad budúcim dielom nepriepustný dáždnik.

ZÁVER

Realizácia tohto technicky náročného diela v horninách pod hladinou mora kladie vysoké nároky na dobrú organizáciu prác a na výber i nasadenie skúsených a kvalifikovaných pracovníkov.

Spoločnosť TuCon pôsobí v Nórsku od roku 2011, od kedy sa spolupodieľa na výstavbe železničného tunela Snekkestad. Po Grónsku a Islande je tak Nórsko ďalšou severskou krajinou, kde sa spoločnosť TuCon presadzuje.

Ing. JURAJ ANTOLÍK, juraj.antolik@tucon.sk,
Ing. MARTIN MAGDOLEN,
martin.magdolen@tucon.sk, TuCon, a. s.

Recenzovali: Ing. Miloslav Frankovský,
Ing. Martin Tomeček

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Eiganes tunnel / Ryfast Worlds longest sub-sea road-tunnel, a city tunnel, and a sub-sea city-tunnel [online]. 2014 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <http://www.vegvesen.no/_attachment/352798/binary/612252?fast_title=Ryfast+presentation+in+english.pdf>
- [2] The first conveyor belt system in Norwegian tunneling [online]. 2014 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <http://www.martitechnik.com/en/..%5CPDF%5Cf%C3%B6rdertechnik%5Csolbakk%5CSolbakk_en.pdf>
- [3] Sandvik iSURE – A Revolution in Precision, Tunneling project management software [online]. 2014 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <http://www.understandingunderground.sandvik.com/wp-content/uploads/2012/05/iSURE_brochure_2013.pdf>
- [4] Projektová dokumentácia: Tunel Solbakk, STATENS VEGVESEN

spraying machine, where setting accelerator is added to it and the mixture is pneumatically applied to the exposed rock surface. The shotcrete quality is regularly checked in all parts of the tunnels. The checking covers the thickness of the shotcrete layer, the strength and the bond to substrate. The checks are carried out by rotary coring and by a “boom test” (tapping on the shotcrete surface with a hammer or a steel rod to determine the bond of the shotcrete to the excavated opening surface). The objective is to determine whether there are voids between the shotcrete and the rock surface).

In extremely unsuitable geological conditions, steel arches are used to ensure the rock mass stability. They are fixed to the rock by self-drilling rock bolts. Subsequently there is the turn of the preparation of the heading for the new drilling operation, which means clearing contingent rock debris or shotcrete away from the bottom. After the heading is clear, 25m long and 54mm-diameter probe holes are drilled every 15 metres. Then the rate of water inflow from these holes is monitored. The next process is assessed taking into consideration this rate. If the inflow rate is zero or minimal, the cyclical tunnel excavation continues. If the rate of the inflow from one borehole exceeds 2 litres per minute, or the summary of inflows from all four boreholes exceeds 5 litres per minute, it is necessary to proceed to the ground mass grouting. In the first step, 25m long and 54mm-diameter grouting holes are carried out using the twin-boom drill rig. Rods with packers are inserted into them and the cement-based mixture is pressed through them into the surrounding ground mass under the pressure of 80bar. The grouting pressure is determined by the client. The grout expels water from the ground and fills voids and fissures. All drilling parameters are automatically recorded. The grouting is carried out using an automatic grouting set with four pumping lines allowing for simultaneous grouting. The system stores and assesses all the information necessary (e.g. the amount of the mixture applied to individual grouting holes). In this way, an impermeable canopy originates over the future structure after the grout sets.

CONCLUSION

The realisation of this technically complicated structure in rocks under the sea surface puts high demands on good organisation of work and the selection of experienced and qualified workers.

The company of TuCon has operated in Norway since 2011, from the time when it started to participate in the construction of the Snekkestad railway tunnel. Norway is the next Nordic country after Greenland and Iceland where TuCon gains ground.

Ing. JURAJ ANTOLÍK, juraj.antolik@tucon.sk,
Ing. MARTIN MAGDOLEN,
martin.magdolen@tucon.sk, TuCon, a. s.

VÝSTAVBA PODZEMNEJ VODNEJ ELEKTRÁRNE ILULISSAT – GRÓNSKO

DEVELOPMENT OF ILULISSAT HYDROPOWER STATION – GREENLAND

IGOR HARACH

ABSTRAKT

Výstavba podzemnej vodnej elektrárne Ilulissat v Grónsku bola začatá v roku 2009 a ukončená v roku 2014. Nachádza sa na západe Grónska v arktickom pásme, 200 km severne od polárneho kruhu. Výkon elektrárne je 22,5 MW a od 31. 10. 2012 zásobuje elektrickou energiou mesto Ilulissat, ktoré doposiaľ využívalo na výrobu elektrickej energie fosílné palivá. Elektráreň využíva vodu z dvoch jazier (Paakitsup a Akuliarusersua), ktoré vznikli z topiacich sa ľadovcov. Od mesta Ilulissat je vzdialenosť 60 kilometrov. Prenos elektrickej energie zabezpečuje nadzemné aj podzemné vedenie vysokého napäcia. Podzemná elektráreň, privádzacie a odtokové tunely sú umiestnené v trvalo zamrznutej hornine. Geologicky dominuje v danej oblasti predkambrická rula. Razenie sa vykonávalo vrtno-trhacími prácami, pomocou Nórskej tunelovacej metódy. Technicky najnáročnejšou časťou prác bolo razenie komory strojovne, ktorá je vysoká 23,4 m, dlhá 34,8 m a široká 13,6 m. Jedným z faktorov, ktoré ovplyvňovali priebeh výstavby podzemnej vodnej elektrárne, boli náročné klimatické podmienky a zároveň aj tăžko dostupná geografická poloha stavby.

ABSTRACT

The development of the Ilulissat hydropower station in Greenland commenced and was completed in 2009 and 2014, respectively. It is located in the west of Greenland, in the Arctic zone, 200km north of the Arctic Circle. The power plant output amounts to 22.5MW. It supplies the town of Ilulissat, which till the facility commissioning used fossil fuels for power generation, with electric power since 31st October 2012. The power plant uses water from two lakes (Paakitsup and Akuliarusersua), which originated from melting glaciers. Its distance from Ilulissat is 60 kilometres. The transition of electric energy is secured both by overhead and underground high-voltage lines. The underground power plant, headrace and tailrace tunnels are found in permanently frozen ground. Regarding geology, Pre-Cambrian gneiss dominated in the particular region. The Norwegian Tunnelling Method is applied, using the drill-and-blast technique. The technically most complicated part of the works was the excavation of the powerhouse, which is 23.4m high, 34.8m long and 136m wide. Among the factors which influenced the course of the construction of the underground hydropower station there were demanding climatic conditions and the difficult-to-assess location.

ÚVOD

Grónsko (obr. 1) je najväčší ostrov na svete s rozlohou 2 175 600 km². Len 15 percent územia, približne o veľkosti Britských ostrovov, je trvale bez ľadu. Zvyšok územia pokrýva ľad dosahujúci miestami hrúbku až 3000 m. Tento ľadovec, pokrývajúci približne 1,8 mil. km², je po Antarkticom ľadovci druhý najväčší na svete. Na ostrove žije len 56 000 ľudí, z toho 48 000 Inuitov. Úradným jazykom je grónčina.

Pre pokrytie vlastnej spotreby elektrickej energie, čo predstavuje cca 232 mil. kWh, využíva Grónsko fosílné palivá a vodné zdroje, a to v pomere 59 % nafta a 41 % vodné zdroje.

Prvá vodná elektráreň bola postavená v Grónsku v roku 1993 nedaleko fjordu Bukse, južne od hlavného mesta Nuuk. Menovitý výkon elektrárne je 30 MW, pričom energia je dodávaná vysokonapäťovým vedením cez dva fjordy. Cez fjord Ameralik má toto líniové vedenie najväčšie rozpätie medzi dvoma stožarmi (až 5376 m).

Po vodnej elektrárni v Qorlortosuaqu, ktorá má výkon 7,5 MW (v prevádzke je od roku 2006) a v Sisimiute s výkonom 15 MW (v prevádzke je od roku 2009), je vodná elektráreň Ilulissat treťím projektom grónskej energetickej spoločnosti Verkís.

CHARAKTERISTIKA A ZÁKLADNÉ ÚDAJE STAVBY

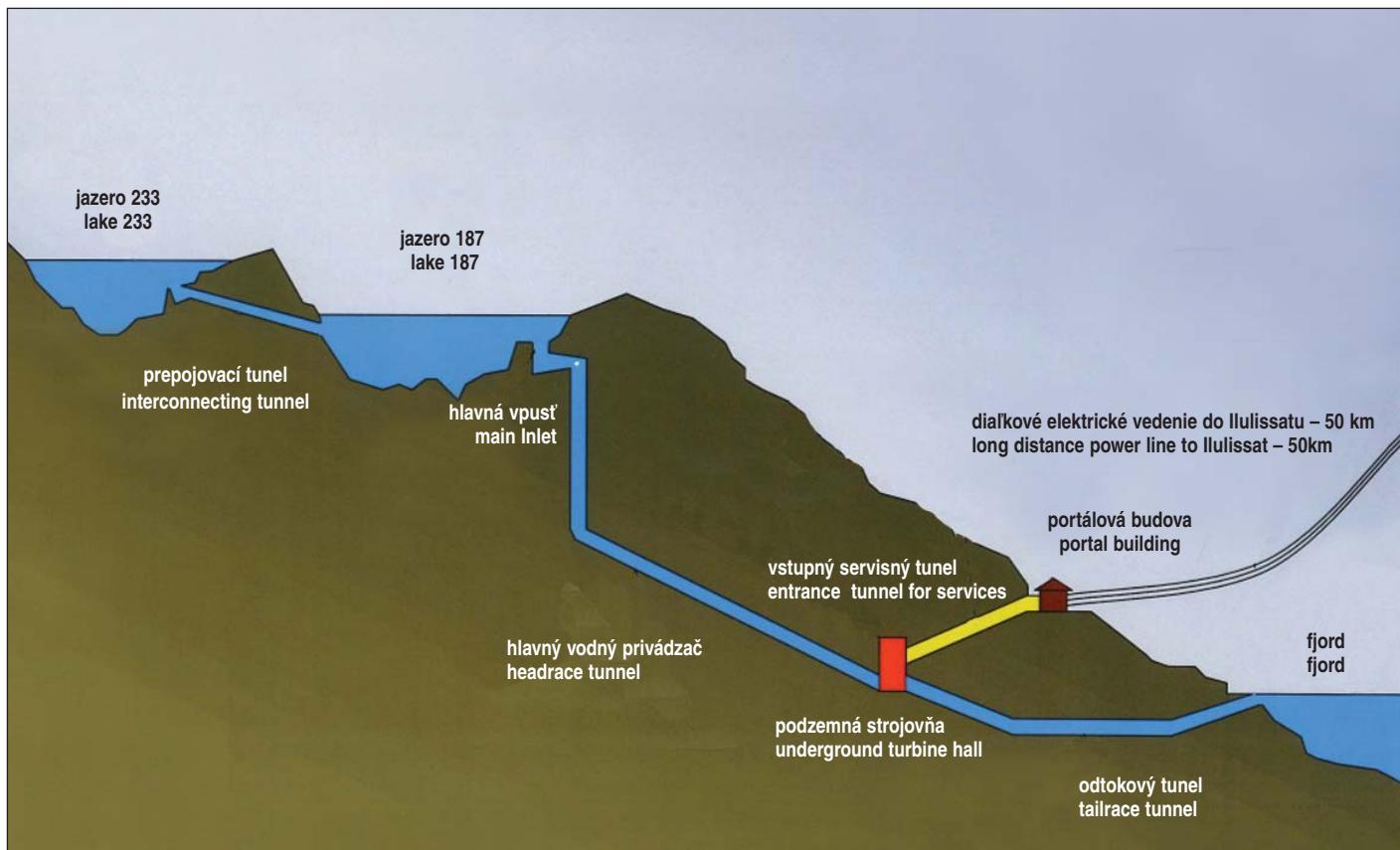
Vodná elektráreň Ilulissat leží na západe Grónska v arktickom pásme, 200 km na sever od polárneho kruhu, na 69. stupni severnej šírky (obr. 2).

INTRODUCTION

Greenland with its area of 2,175,600km² is the largest island in the world (see Fig. 1). Only 15% of the area, roughly equal to the size of British Islands, are permanently unglaciated. The remaining part is covered with ice. Its thickness locally reaches up to 3000m. This glacier, covering roughly 1.8 million km², is the second largest in the world after the Antarctic glacier. The island is inhabited by a mere 56,000 people; out of this number, there are 48,000 Inuits there. Greenlangic is the official language there.



Obr. 1 Mapa Grónska
Fig. 1 Greenland map



Obr. 2 Schematický rez vodnej elektrárňou v Paakitsoq
Fig. 2 Schematic section through the hydropower station in Paakitsoq

Elektráreň má inštalovaný výkon 22,5 MW. Elektrickou energiou, ktorú vyrobí pomocou troch 7,5 MW Franciskových turbín, zásobuje mesto Ilulissat (obr. 3), kde žije 4500 obyvateľov. Zariadenie nahradilo doterajšie naftové generátory, takže mesto už nezávisí od dodávok pohonných hmôt na výrobu elektriny.

Vodná elektráreň je vzdialená 60 kilometrov severovýchodne od Ilulissatu v lokalite Disko Bay – Paakitsoq (obr. 4). Využíva vodu dvoch jazier Paakitsup a Akuliarusersua pochádzajúcemu z topliacich sa ľadovcov. Podzemná elektráreň, privádzacie a odtokové tunely sú umiestnené v trvalo zamrzutej hornine. Elektrickú energiu do mesta Ilulissat prenáša 50kilometrové nadzemné aj podzemné vedenie vysokého napäcia.

Podzemné objekty tvoria (obr. 2):

- odtokový tunel – 1873 m;
- vstupný servisný tunel – 646 m;
- podzemná strojovňa – 6846 m³;
- hlavný vodný privádzac – 1470 m;
- hlavná vpusť – 593 m;
- prepojovací tunel medzi jazerami 233 a 187 – 1510 m;
- celková dĺžka tunelov – 6093 m.

GEOLOGICKÁ STAVBA

Geologicky dominuje v danej oblasti predkambrická rula. Hornina je relatívne hrubozrnná, extrémne tvrdá a masívna. Kremeň je vrásavite usadený do max. hrúbky 0,5 m a biotit tvaruje malé zlomové plochy v rule. Zvýšený horninový tlak v niektorých častiach horninoveho masívu spôsoboval problémy pri razení tunela. Problémové zóny sa vyskytovali sporadickej v oblasti, ktorá obsahovala zlomy.

Greenland uses fossil fuels to cover its own power consumption, amounting to ca 232 million kWh (54% oil and 41% water resources).

The first hydropower scheme was developed in Greenland in 1993, near Bukse fjord, south of the capital, Nuuk. The nominal output of the power plant is 30MW and the power is supplied through high-tension lines across two fjords. The largest span between two electricity pylons of up to 5376m is across Ameralik fjord.

The Ilulissat hydropower plant is the third project realised by Greenland-based power generation company Verkís, after the 7.5MW Qorlortosuaqu hydropower scheme (operating since 2006) and the 15MW Sisimiut plant (operating since 2009).

CONSTRUCTION CHARACTERISTICS AND BASIC DATA

The Ilulissat hydropower scheme is located in the west of Greenland, 200km north of the Arctic Circle; it is situated on the 69th degree of north latitude (see Fig. 2).

The installed capacity of the power plant is 22.5MW. It supplies the town of Iluissat (see Fig. 3), the population of which reaches 4500, with electric power generated by means of three 7.5MW Francis turbines. The facility has replaced the until then used oil generators, which means that the town no more depends on supplies of fuels required for the power generation.

The hydroelectric generating station is located at the distance of 60 kilometres north-east from Ilulissat, in the Disko Bay – Paakitsoq location (see Fig. 4). It uses water from two lakes, Paakitsup and Akuliarusersua, originating



Obr. 3 Mesto Ilulissat
Fig. 3 The town of Ilulissat

TECHNOLÓGIA, TECHNICKÉ PODMIENKY A VÝKONY NA STAVBE

Razenie sa vykonávalo vrtno-trhacími prácmi, pomocou Nórskej tunelovacej metódy (NTM). S NRTM – Novou rakúskou tunelovacou metódou – má mnoho spoločného, avšak v skutočnosti sa od nej principiálne líši. Rozdiel spočíva v hodnotení geológie (Q-systém), v spôsobe vystužovania vyrazeného diela a v spôsobe izolácie diela proti priesakom vody.

Vybavenie pre zaistenie výlomu:

- striekaná betónová zmes s oceľovými alebo plastickými vláknami;
- skalné kotvy CT, SN dl. 2–4 m.

Vo všetkých častiach tunelov sa používali tepelne izolované, vyhrievané, plastové vodovodné rúry s priemerom 63 mm, 75 mm a 110 mm.

Samotné razenie pozostávalo z navŕtania vývrtov s priemerom vrtnnej korunky 48–51 mm v dĺžke do 4 m. Vŕtanie pomocou poloautomatického systému TML umožňovalo presné vŕtanie profilov podľa vopred pripravenej vrtnnej schémy pre všetky razené objekty stavby. Tým sa minimalizovali nežiaduce nadvýlomy a systém umožňoval aj spätnú kontrolu obsluhy vrtného stroja. Na rozpojovanie horniny sa používala sypká trhavina DAP, ktorá sa miešala v pomere 3,5 l nafty ku 50 kg dusičnanu amonného a pomocou nabíjacieho voza sa následne zafúkavaла do vývrtov. V úsekoch s prítokmi vody sa používala plastická trhavina typu Eurodyn Magnasplit s rozbuškami Nonel, iniciovanými pomocou zápalnice na mieste odpalu. V obrysových vývrtoch sa používala 80g bleskovica. Prevažná časť tunelových objektov bola razená v triede výlomu I. a II., kde sa zaistenie výlomu vykonávalo sporadicky v súlade s projektovou dokumentáciou

from melting glaciers. The underground power plant and the headrace and tailrace tunnels are found in permanently frozen ground. Electric power is transmitted to Ilulissat through 50km long underground and overhead high-tension lines.

There are the following underground structures there (see Fig. 2):

- the tailrace tunnel – 1873m;
- the access tunnel – 646m;
- the underground powerhouse – 6846m³;
- the headrace tunnel – 1470m;
- the intake 187 tunnel – 593m;
- the tunnel interconnecting the lakes 233 and 187–1510m;
- the aggregated length of the tunnels – 6093m.

GEOLOGICAL STRUCTURE

Regarding geology, Pre-Cambrian gneiss dominates in the particular region. The rock is relatively coarse-grained, extremely hard and massive. Quartz accumulates in bands up to 0.5m thick and biotite forms small fault surfaces in gneiss. The increased ground pressure caused problems during the tunnel excavation in some parts of the ground massif. Problematic zones were sporadically encountered in the area containing faults.

TECHNOLOGY, TECHNICAL CONDITIONS AND CONSTRUCTION PERFORMANCE

The excavation was carried out using the Norwegian Tunnelling Method (NTM) with the application of the drill-and-blast technique. It has a lot of things common with the NATM – the New Austrian Tunnelling Method, but in reality principally differs from it. The difference lies in the assessment of geology (Q-system), in the method of supporting the excavated opening and in the technique of protecting the works against water seepage.

Equipment for the excavation support:

- shotcrete reinforced with steel or plastic fibres;
- CT rockbolts, SN 2-4m long.



Obr. 4 Umiestnenie stavby v Paakitsoq
Fig. 4 Location of the construction site at Paakitsoq



Obr. 5 Razenie odtokového tunela
Fig. 5 Driving the Tailrace Tunnel

stavby, podľa ktorej sa v triede výlomu III. a IV. zaistenie realizovalo systémovo. Počas razenia sa venovala skutočne mimoriadna pozornosť kvalitnému mechanickému a ručnému začisteniu čelby po trhacích prácach. Sústavným zahrievaním trvale zamrznutej horniny počas výrobného procesu dochádzalo k jej zvetrávaniu. Z hľadiska bezpečnosti bolo nevyhnutné opakované spätné ručné začistenie kritických úsekov podľa potreby. Každých 200 m tunela bol vybudovaly otáčiaci výklenok veľkosti 400 m^3 pre potrebu odťažby a dopravy v tuneli.

Odtokový tunel

Začal sa raziť s trojčlennou pracovnou skupinou ako prvý, a zároveň najdlhší tunel stavby, celkovej dĺžky 1873 m v profile $17,2 \text{ m}^2$ (obr. 5). Razenie prebiehalo od októbra 2011 do augusta 2012. Patria sem aj odtokové chodby z podzemnej strojovne elektrárne, v premenlivom profile od $17,2 \text{ m}^2$ do $7,9 \text{ m}^2$, dlhé 38,5 m. Odtokový tunel bol razený v smere proti prúdu vytiekajúcej vody z turbín elektrárne, z toho 300 m úpadne so sklonom 10 % a 500 m dovrchne so sklonom 0,2 %. Zostávajúca časť tunela bola razená úpadne v smere po prúde, z toho 250 m so sklonom 10 % a 680 m so sklonom 0,2 %. Dno tunela pri jeho ústí do mora je umiestnené cca 4 m pod jeho hladinou. V tejto časti sa nachádza aj prístupový tunel s profilom $17,2 \text{ m}^2$, dlhý 60 m. Bol použitý tzv. „Water mist“ systém, ktorý nainštalovala firma Atlas Copco na vrtný voz. Je to vŕtanie s 10% spotrebou tlakovnej vody oproti bežne používanému množstvu.

Vstupný servisný tunel

Bol razený úpadne so sklonom 10 % od septembra 2010 ako druhý objekt stavby (obr. 6). Jeho hlavnú časť tvorí tunel dĺžky 419,9 m v profile 30 m^2 . Tento tunel je prepojený dvoma tunelovými rúrami do odtokového tunela dĺžky 68,19 m a do hlavného vodného privádzaca dĺžky 91,5 m, oba v profile $19,8 \text{ m}^2$. Ďalším objektom tejto časti je transformátorová stanica v profile $82,5 \text{ m}^2$ a kálový a spojovací tunel v profile $18,5 \text{ m}^2$, spolu v dĺžke 46,5 m. Súčasťou vstupného servisného tunela sú dva obslužné výklenky v profile $49,7 \text{ m}^2$ a 15 m^2 celkovej dĺžky 20 m. Všetky uvedené časti boli ukončené v júni 2011.

Podzemná strojovňa

Komora strojovne je vysoká 23,5 m, dlhá 34,8 m a široká 13,6 m. Razenie komory začalo v novembri 2010 a bolo technicky dosť náročnou časťou prác (obr. 7). Dôvody boli viaceré:

Thermally insulated, heated, plastic water pipelines 63mm, 75mm and 110mm in diameter were used in all parts of the tunnels.

The excavation itself consisted of the drilling of up to 4m long holes using 48–51mm bits. The drilling using the semi-automatic TML system allowed for precise drilling into the excavation face according to drilling patterns pre-prepared for all mined structures of the project. In this way, undesired overbreaks were minimised. The system even allowed for backchecking on the drilling rig operator. The DAP explosive powder was used for the rock disintegration. It was mixed in the proportion of 3.5 litres of fuel oil to 50kg of ammonium nitrate and subsequently was blown into the blast holes by means of a charging truck. Eurodyn Magnasplit plastic explosive was used in sections with water inflows. NONEL detonators were initiated by means of a detonating fuse at the firing point. The 80g blasting fuse was applied to contour holes. The majority of the tunnel structures were driven through rock excavation classes I and II, where excavation support was carried out only sporadically, in accordance with the design documents, according to which the support was installed systematically only in excavation classes III and IV. Really extraordinary attention was devoted during the course of the excavation to the high quality mechanical and manual scaling of the heading after blasting. As a result of the systematic heating of the permanently frozen rock during the production process, the rock suffered from weathering. Because of safety reasons it was unavoidable to manually clear the critical sections repeatedly, as required. Turning bays (400 m^3) were carried out every 200m of the tunnel length for the needs of the loading and transport of muck in the tunnel.

Tailrace tunnel

It was the first and at the same time the longest tunnel to start to excavate. Its total length and excavated cross-sectional area amounted to 1873m and 17.2 m^2 , respectively (see Fig. 5). The excavation was carried out from October 2011 to August 2012. Draft tubes from the underground power plant, 35.5m long each, with the cross-sectional areas varying from 17.2 m^2 to 7.9 m^2 , belonged among the workings. The tailrace tunnel was driven in the direction against the flow of water discharging from the power plant; 300m of its length were driven uphill at the gradient of 0.2%. The remaining part was driven downstream on down gradients of 10% and 0.2% along the lengths of 250m and 680m, respectively. The tunnel bottom at its discharge to the sea is located ca 4m under the sea surface. The 60m long access tunnel with the profile of 17.2 m^2 is also located in this part. The so-called „Water mist“ system was installed by Atlas Copco on the drill rig. Owing to this system, the consumption of pressurised water for drilling is reduced to 10% in comparison with the common consumption.

Access tunnel

It was driven down a 10% grade from September 2010 as the second structure of the project (see Fig. 6). The main part of it is formed by a 419.9m long tunnel with the cross-sectional area of 30 m^2 . This tunnel is interconnected by two tunnel tubes with the 68.19m long tailrace tunnel and the 91.5m long headrace tunnel; the cross-sectional area of both tunnels is 19.8 m^2 . Another structure of this part is the transformer station with the cross-sectional area of 82.5 m^2 and the



Obr. 6 Vŕtanie vývrtov vo vstupnom servisnom tuneli
Fig. 6 Drilling in the access tunnel

povolená minimálna tolerancia odchýlenia sa od predpísaného výlomu, členitosť dna s jeho premenlivou výškou a lokálne geologické poruchy s nevýhodným smerovaním uloženia horninovej masy. Práce boli rozdelené na dve etapy. V prvej etape sa razila vrchná časť komory v oblúkovom tvaru, ukončená v spodnej časti oboch strán nosnou hranou žeriavovej dráhy. V tejto časti bola použitá „Metóda hladkého výlomu“, navŕtaním obrysových dier s max. odstupom 15–20 cm s použitím 80g bleskovice. Zaistenie vrchnej časti komory bolo realizované striekanou betónovou zmesou s plastickými vláknami a zabudovaním systematických 4 m dlhých skalných CT kotiev. Na previazanie žeriavovej dráhy boli zabudované v uvedenom mieste 6 m dlhé skalné SN kotvy pod presným uhlom. Druhá etapa pozostávala z razenia spodnej časti komory metódou „Prespliting“. Po obvode strojne sa navŕtali vývrti s odstupom 20 cm a počas odpalu bola táto časť horniny rozpojená v časovom predstihu oproti zvyšku rozpojovaných hornín. Celkovo bolo potrebných 77 dní do ukončenia vrtno-trhacích prác v tejto časti projektu. Na pracovisku boli striedavo, podľa typu práve prebiehajúcich prác, nasadzovaní 2 až 4 pracovníci.

Hlavný vodný privádzac

Dĺžka tunela je 1470 m s profilom $17,2 \text{ m}^2$. Raziace práce prebiehali v období od marca 2011 do mája 2012. Tunel bol raziensý dovrchne, v smere proti prúdu vtekajúcej vody do turbín elektrárne, z toho 570 m so sklonom 1,3 %, 500 m so sklonom 7 % a 400 m so sklonom 16 %. Aj v tomto tuneli sú v danom prípade situované prítokové chodby do podzemnej

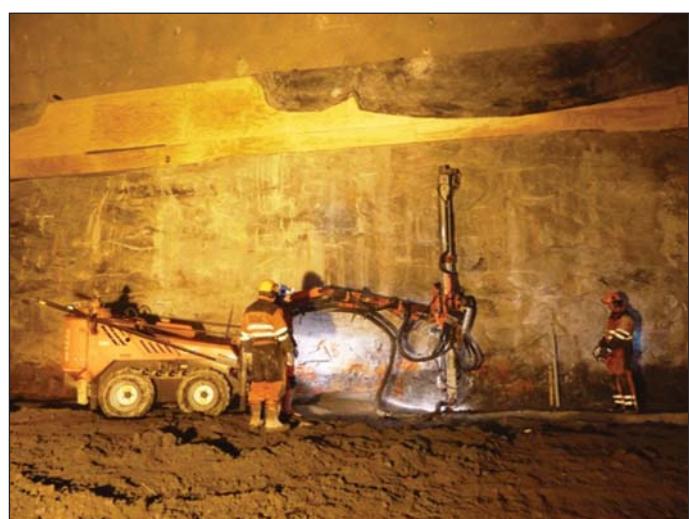
18.5m^2 profile cable tunnel and a connecting tunnel, at the aggregated length of 46.5m. Two service recesses with the profile of 49.7m^2 and 15.7m^2 , respectively, and at the aggregated length of 20m are parts of the access tunnel. All of the above-mentioned parts were finished in June 2011.

Powerhouse

The powerhouse chamber is 23.5m high, 34.8m long and 13.6m wide. The excavation of the chamber commenced in November 2010 and was a technically quite demanding part of the works (see Fig. 7). There were the following reasons: the minimum tolerance permitted for the deviation from the prescribed excavation contour, the dissected bottom with its variable height and local geological faults with unfavourable trends of the rock bedding. The work was divided into two stages. The curved-shape upper part of the chamber, which was terminated in the lower part of both sides by a load-bearing edge of a crane track, was driven during the first stage. In this part, the *Smooth Blasting Method* was applied, with contour holes drilled at the maximum spacing of 15–20cm, using an 80g detonating fuse. The support of the upper part of the chamber was provided by shotcrete reinforced with plastic fibres and systematic 4m long CT rock bolts. The crane track was tied with 6m long SN rock bolts installed at a precise angle. The second stage consisted of the excavation of the lower part of the chamber, using the “*Pre-splitting technique*“. Holes were drilled at 20cm spacing around the powerhouse cavern contour and the rock was disintegrated in advance of the remaining proportion of the rock to be disintegrated. The completion of the drill-and-blast operations required for this part of the project claimed the total of 77 days. Two to four workers, depending on the type of the work just underway, were alternately deployed at the workplace.

Headrace tunnel

The cross-sectional area of the 1470m-long tunnel amounts to 17.2m^2 . The headrace tunnel was driven in the direction against the flow of water flowing to the powerhouse turbines; 570m of its length were driven uphill at the gradient of 1.3%, 500m on the gradient of 7% and 400m on the gradient of 16%. Even in the case of this tunnel, the gradient of the 50m-long, 17.2m^2 to 6.7m^2 cross-sectional area penstocks leading to the underground powerhouse varies. Up to 14m of these



Obr. 7 Druhá etapa razenia podzemnej strojne
Fig. 7 The second stage of the underground powerhouse excavation



Obr. 8 Ručné vŕtanie výrtov hlavného vodného privádzača
Fig. 8 Manual drilling of holes in the headrace tunnel

strojovne elektrárne, s premenlivým profilom od $17,2\text{ m}^2$ do $6,7\text{ m}^2$, dlhé 50 m. Až 14 m týchto tunelových rúr bolo vyrazených ručným vŕtaním výrtov pomocou hydro-pneumatického vrtného stroja (obr. 8). Po trase sú umiestnené tri záchytné šachty, budované vždy po celej šírke tunela. Približne polovica tunela bola razená spolu s nezávislou protičelbou v časti podzemnej strojovne, alebo odtokového tunela s nasadením štvorčennej, neskôr len trojčennej osádky. Posledných 200 m razenia boli vykonávané predvrtý, a v prípade potreby aj injektáž, ako u nasledujúceho tunela.

HLAVNÁ VPUST

Išlo o technicky najnáročnejšiu časť diela (obr. 9), kde sa použila tzv. Nórská metóda prerážky jazera. Prístupovým tunelom s profílom $17,2\text{ m}^2$, dĺžkym 497 m sa priblížilo pod hladinu jazera s označením 187 m n. m., kde výškový rozdiel od dna tunela po okraj hladiny jazera bol 55 m. Od začiatku razenia pod hladinou vody sa vŕtali štyri 24 m prieskumné vrty, následne osemnásť 16 m dĺžkých injektážnych vrtov, ktoré boli pod predpísaným tlakom zaplnené cementovou zmesou. Otváralo sa troma skrátenými 2,5 m zábermi a tento proces sa cyklicky opakoval. Potom bola smerom k stredu jazera vyrazená kaverna pre hlavný uzáver vody dĺžky 14,8 m v objeme 880 m^3 rozpojenej horniny.



Obr. 9 Zaistovanie portálu hlavnej vpusťe
Fig. 9 Stabilisation of the intake 187 tunnel portal

tunnel tubes were driven using a hydro-pneumatic hand-held drill (see Fig. 8). Three rocktraps, which were always carried out across the whole tunnel width, are distributed along the route. Approximately a half of the tunnel was driven concurrently with the independent counter-heading in the area of the powerhouse or the tailrace tunnel, using crews of four and later only three. The last 200m long section was carried out by means of pre-drilled holes and, if necessary, grouting, as in the case of the following tunnel.

Intake 187 tunnel

It was the technically most complicated part of the project (see Fig. 9), where the so-called Norwegian Method of breaking through to the lake was applied. The excavation got to the vicinity of the lake surface through the access tunnel with the cross-sectional area of 17.2 m^2 and the length of 497m, marked as the 187m a.s.l., where the difference in altitudes of the tunnel bottom and the lake surface edge was 55m. At the beginning of driving the tunnel under the water surface, four 24m-long probe holes were bored. Subsequently, eighteen 16m long probe holes were carried out and filled with cement mixture at the prescribed pressure. The tunnel was opened by three excavation rounds with the length reduced to 2.5m each. This process was cyclically repeated. The following steps toward the lake centre followed:

The cavern for the main water valve with the length of 14.8m and the disintegrated rock volume of 880 m^3 was excavated.

Two interconnecting tunnels were driven at the end of the cavern, perpendicularly to its axis (see Fig. 10). The cross-sectional area of each of them amounts to 17.2 m^2 . The right-hand one is 11.7m long, whilst the length of the left-hand one is 8.6m.

A 16.2m deep shaft with the dimensions of 3x3m was excavated at the end of the right-hand interconnecting tunnel. It connected the main water supply – the headrace tunnel – with the intake tunnel.

The last part, the intake cavern with the volume of 6700 m 3 , was driven from the left-hand interconnecting tunnel. It is 19.2m high, 45.2m long and 14m wide in the lower half of the profile. The roof is arched. It is supported with shotcrete and sporadic 3m long CT rock bolts. The sidewalls are supported in the lower half systematically with similar rock bolts. Holes for the final blasting were drilled around a 6.6m diameter circular contour at the highest point of the cavern. The length of the drillholes made to the hard rock ranged from 1.5m to 7.5m.

Power supplies to the town of Ilulissat commenced on the 31st October 2012, after Norwegian specialists successfully broke through the lake bottom covered with an up to 12m thick layer of sediments on the 30th September.

CLIMATIC CONDITIONS

As a neighbour of the North Pole, Greenland has the Arctic climate, despite the fact that there are significant differences from the north to the south and from the coast to the inland. It is in general possible to say that the climate is very dry and, as a result, the felt air temperatures are completely different from the majority of other places in the world. Temperatures ranging from $10\text{--}15^\circ\text{C}$ appear to be very hot, whilst -10°C is an equivalent to a pleasant temperature. The lowest temperature during the construction period reached -38°C . The sun

Na konci kaverny sa kolmo na jej os vyrazili dva prepojovacie tunely (obr. 10) v profile $17,2 \text{ m}^2$. Pravý má dĺžku 11,7 m a ľavý 8,6 m.

Na konci pravého prepojovacieho tunela bola vyrazená šachta do hĺbky 16,2 m s rozmermi $3 \times 3 \text{ m}$, ktorá spojila hlavný vodný privádzac s vpusťou.

Z ľavého prepojovacieho tunela bola razená posledná časť, kaverna vypuste s objemom 6700 m^3 . Je vysoká 19,2 m, dlhá 45,2 m a široká 14 m v spodnej polovici kaverny. Strop je oblúkovitý, zaistený striekanou betónovou zmesou a sporadickými 3 m skalnými CT kotvami. Bočné ostenie je zaiostené v spodnej polovici systematicky podobnými skalnými kotvami. V najvyššom mieste kaverny boli navŕtané vývrty s obrysom v tvare kruhu priemeru 6,6 m pre finálny odpal. Dĺžka vývrtov v pevnej hornine bola od 1,5 m do 7,5 m.

Dňa 30. 9. 2012 po vydarenom prvom odpale na svete s prerazením tunela cez dno jazera s hrúbkou sedimentov do 12 m, realizovanom špecialistami z Nórsku, bola dňa 31. 10. 2012 spustená dodávka elektrickej energie do mesta Ilulissat.

KLIMATICKÉ PODMIENKY

Ako sused severného pólu má Grónsko arktické podnebie, aj keď sú tu veľké rozdiely od severu k juhu, a od pobrežia do vnútrozemia. Všeobecne možno povedať, že klíma je veľmi suchá a v dôsledku toho sa tu teploty pocitujú úplne odlišne, ako vo väčšine iných miest na svete. Teploty $10\text{--}15^\circ\text{C}$ sa javia ako veľmi teplé, zatiaľ čo -10°C je ekvivalent na príjemnú teplotu. Najnižšia teplota v priebehu výstavby bola do -38°C . V Ilulissate slnko nikdy nezapadá od 25. mája do 25. júla a absolútne tma počas polárnej noci trvá 4 týždne, kedy slnko vôbec nevychádza nad obzor. Polárna žiara sa objavuje po celý rok.

ZÁVER

Jedným z faktorov ovplyvňujúcich priebeh výstavby bolo počasie a poloha stavby. Tie boli rozhodujúcimi pre logistiku osôb, materiálov a strojních vybavení. Jediná možná doprava bola lodná a letecká. Nepriaznivé počasie významne menilo časový harmonogram stavby. Tieto faktory mali samozrejme aj vplyv na celkovú psychiku pracovníkov, preto bolo potrebné zabezpečiť pre nich nadstandardnú stastrostlivosť, či už išlo o kvalitnú stravu formou bufetu, alebo poskytnutie širokej škály možností vyžitia sa v osobnom voľne – internet, sauna, vonkajší teply mini bazén, malá posilňovňa, súťažné spoločenské hry, biliard a TV miestnosti s domácim kinom.

IGOR HARACH, *igor.harach@tucon.sk*,
TuCon, a. s.

Recenzovali: Ing. Jozef Frankovský,
Ing. Branislav Neuschl

LITERATURA / REFERENCES

- [1] *ILULISSAT HYDROPOWER* [online]. 2015 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <<http://www.verkis.com/projects/energy-production/hydropower/nr/950>>
- [2] *POWER FOR ILULISSAT* [online]. 2012 [cit. 2015-03-24]. Dostupné na internete <<http://greenlandtoday.com/gb/category/power-for-ilulissat-680/>>



Obr. 10 Nabíjanie vývrtov v čelbe prepojovacieho tunela
Fig. 10 Charging the blast holes in the interconnecting tunnel face

never sets from the 25th May to the 25th July, whilst the absolute darkness during the polar night lasts for 4 weeks, when the sun never at all rises over the horizon. The northern lights appear throughout the year.

CONCLUSION

Among the factors affecting the course of the construction were the weather and the location of the site. They were crucial for the logistics of people, materials and mechanical equipment. The only possible transport was by shipping and air traffic. The unfavourable weather significantly changed the works schedule. Of course, these factors even influenced the overall psyche of workers. It was therefore necessary to provide them with extraordinary care not only as far as the high quality meals served in the buffet were concerned, but also with respect to the wide range of options for enjoyment during the personal leisure time – the Internet, a sauna, an outer warm-water mini pool, a small bodybuilding gym, competitive social games, billiard and TV rooms with a home cinema.

IGOR HARACH, *igor.harach@tucon.sk*,
TuCon, a. s.

SKÚSENOSTI S RAZENÍM TUNELOV POŁANA A LALIKI V KARPATSKOM FLYŠI

EXPERIENCE WITH THE EXCAVATION OF POŁANA AND LALIKI TUNNELS IN CARPATHIAN FLYSCH

MIROSLAV ŽÁČIK, VLADIMÍR ĎURŠA ML.

ABSTRAKT

V priestore trojmedzia, kde sa stretávajú hranice troch štátov – Slovensko, Česká republika a Poľsko – sa dlhodobo pracuje na prepojení cestnej siete, ktorá bude splňať parametre diaľnic, prípadne rýchlostných ciest. Na Slovensku ide o diaľnicu D3 od Žiliny po štátну hranicu s Poľskom a následné napojenia na rýchlosťnu komunikáciu S-69 Bielsko-Biała – Żywiec – Zwardoń, a smerom na Českú republiku na plánovanú rýchlosťnu cestu R5. Dotknuté územie je tvorené flyšovým pohorím, ktoré je typické striedením ílovcov a pieskovcov. Budovanie cestnej siete v tomto geologickom prostredí je náročné na prípravu a projekciu, ale určite vo veľkej miere ovplyvňuje aj samotnú realizáciu. Obzvlášť pri razení tunelov v takýchto komplikovaných geologických podmienkach sa preverí skúsenosť zhotoviteľa v tom, ako sa vie vyrovnáť s problémami, ktoré sa počas výstavby môžu, či už očakávané alebo neočakávané, prihodiť. Článok priblíží a hodnotí vplyv flyšového pásma na priebeh realizácie tunelov Laliki (Poľsko, uvedený do prevádzky začiatkom marca 2010) a Połana (Slovensko, v realizácii), ďalej aké vznikli problémy a aké sa prijali opatrenia, aby sa čo najviac eliminovali presteje a dodržali termíny výstavby.

ABSTRACT

In the region of Trojmezí, a triangle where borders of three states, Slovakia, the Czech Republic and Poland meet, the work on linking the road network is underway already for a long time. The objective is to develop a network which will meet the parameters of motorways or express highways. In Slovakia, it concerns the D3 motorway from Žilina to the state border with Poland and the subsequent connection to the Bielsko-Biała – Żywiec – Zwardoń S-69 express highway and, in the direction of the Czech Republic, to the planned R5 express highway. The affected area is formed by a flysch mountain range, which is typical by the alternation of claystone and sandstone. The development of a road network in this geological environment is demanding as far as the planning and designing processes are concerned, but it certainly to a significant degree affects the realisation itself. It is especially during the excavation of tunnels in such complicated geological conditions that contractor's experience in coping with problems which can be expectedly or unexpectedly encountered during the works is tested. The paper gives readers an idea and assessment of the influence of the flysch zone on the course of the realisation of the Laliki tunnel (Poland, opened to traffic at the beginning of March 2010) and the Połana tunnel (Slovakia, under construction), as well as the problems which originated and solutions adopted to eliminate the downtimes as much as possible and meet the construction deadlines.

Základné technické údaje stavieb

	tunel Laliki (Poľsko)	tunel Połana (Slovensko)
typ tunela	jednorúrový, obojmerný	jednorúrový, obojmerný
metóda razenia	NRTM	NRTM
dĺžka cestného tunela	678 m	887,78 m
<i>z toho razená časť</i>	630 m	860,60 m
<i>z toho hĺbená časť</i>	48 m	37,5 m
dĺžka únikovej štôlne	678,49 m	900,25 m
<i>z toho razená časť</i>	630,49 m	866,12 m
<i>z toho hĺbená časť</i>	48 m	34,12 m
šírka jazdných pruhov	2 x 3,5 m	2 x 4 m
výška priechodného prierezu	4,7 m	4,8 m
počet prepojovacích chodieb	4	3
max. výška nadložia	31 m	73,2 m

Basic technical data on the projects

	Laliki tunnel (Poland)	Połana tunnel (Slovakia)
tunnel type	single-tube, bidirectional	single-tube, bidirectional
tunnelling method	NATM	NATM
road tunnel length	678m	887.78m
<i>of this the mined part</i>	630m	860.60m
<i>of this the cut-and-cover part</i>	48m	37.5m
escape gallery length	678.49m	900.25m
<i>of this the mined part</i>	630.49m	866.12m
<i>of this the cut-and-cover part</i>	48m	34.12m
width of traffic lanes	2 x 3.5m	2 x 4m
clearance profile height	4.7m	4.8m
number of cross passages	4	3
max. overburden height	31m	73.2m

CHARAKTERISTIKA GEOLOGICKÉHO PROSTREDIA

Územie, v ktorom sú budované oba tunely, patria do vonkajších Západných Karpát (obr. 1). Vonkajšie flyšové pásma tvoria prevažne príkrovky, tvorené turbiditnými morskými

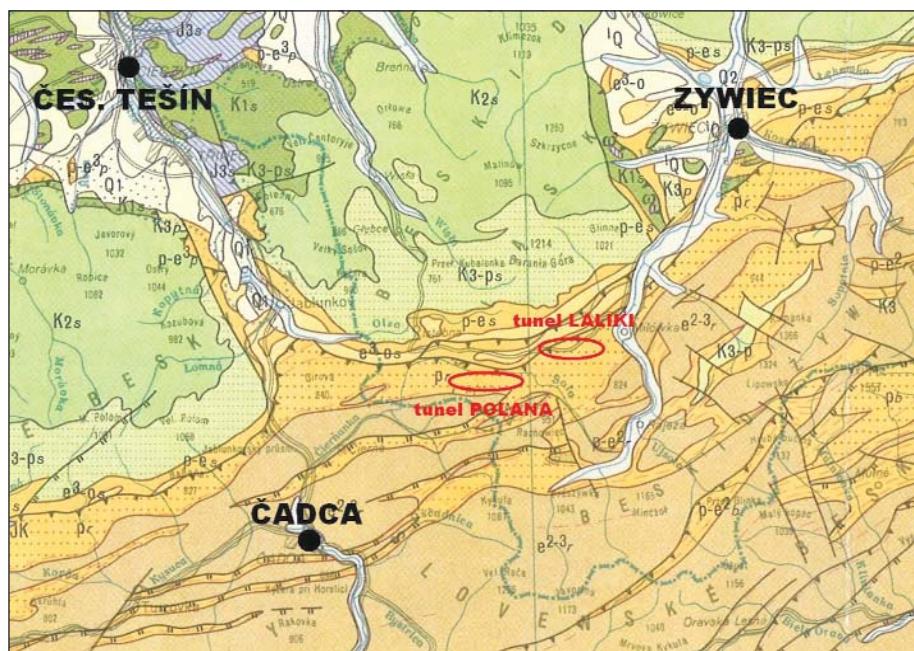
GEOLOGICAL ENVIRONMENT CHARACTERISTICS

The region in which the two tunnels are built belongs to the External West Carpathians (see Fig. 1). The external flysch zone is mostly formed by napes consisting of turbid marine sediments in

sedimentami, v ktorých sa striedajú prevažne pieskovce a ílovce, v menšej miere aj zlepence, tzv. flyš. Ide o komplikovanú tektonicky výrazne porušenú oblasť. Pásma pôvodne tvorilo súbor viacerých sedimentačných paniev, ktoré boli v neustálom tektonickom pohybe. Z hľadiska tektonickej stavby možno celé územie charakterizovať ako výrazne tektonicky porušené, čo súvisí najmä s blízkostou násunovej línie medzi magurskou a predmagurskou jednotkou. Tektonické porušenie sa prejavuje predovšetkým výrazným zbridličnením, budinážou, prítomnosťou plávajúcich blokov pieskovca a prevrásnením ílovcov a v neposlednom rade tiež zvýšenými prítokmi podzemnej vody.

V tuneli Laliki majú prevahu tenkodiskovité až doskovité súvrstvia, vápnitné ílovice sivej až tmavosivej farby s lavicami jemno až strednozrnných sivých až svetlosivých pieskovcov s glaukonitom. Miestami sú v nich prítomné polohy tenkodiskovitých až laminovaných ílovcov tma-vohnedej až sivojhnedej farby s čriepkovitým rozpadom. V severozápadnej časti územia vystupujú niekoľko metrov mocné polohy pestrých laminovaných ílovcov červenej a sivo zelenkastej farby s ojedinelými lavicami, resp. blokmi jemno až strednozrnných svetlosivých pieskovcov. Uvedené pestré ílovice sú veľmi náchylné na zvetrávanie pri ktorom prechádzajú do červených ílov. Výsledný pozdĺžny inžinierskogeologický rez v osi tunela Laliki spolu s opisom jednotlivých geologických vrstiev je uvedený na obr. 2.

Pre tunel Poľana bol spracovaný geologický prieskum, ktorý predpokladal, že územie diaľnice je tvorené vsetínskymi vrstvami. Tieto vrstvy sa vyznačujú prevahou hrubých vrstiev lastúrnatoodlučných ílovcov s lavicami jemno až strednozrnných pieskovcov s glaukonitom. Pieskovce majú zväčša sklovitý lom, pri báze sú mnohé lavice hrubožrnné. Zastúpenie jednotlivých fácií v profile vrstiev na rôznych miestach a v rôznych štruktúrach je variabilné. Severne od Čadce a Turzovky prevládajú v súvrství hnedoželené, tenko laminované až tenko doskovité, zriedkavo hrubo doskovité vápnité ílovice mocnosti 0,5–12 m. V súvrství sú zastúpené aj svetlosivé a zelenohnedé, silno vápnité tvrdé ílovice s lastúrnatým rozpadom vo vrstvách hrúbky 0,4–2,5 m. Vo vrstvách ílovcov sa vyskytujú vrstvičky jemnozrnných až siltovitých, laminovaných pieskovcov s muskovitom na plochách laminácie. Často prechádzajú do siltovitých ílovcov. Pieskovce sú dvoch typov:



Obr. 1 Lokalizácia tunelov v geologickej mape ČSSR, rok vydania 1967, miera 1:500 000

Fig. 1 Locations of the tunnels in the geological map of the CSSR, published in 1967, scale 1:500 000

which sandstone alternates with claystone, to a smaller extent also conglomerates, the so-called flysch. It is a complicated, tectonically significantly disturbed area. The zone was originally formed by several sedimentation basins, which were in a permanent tectonic movement. The whole region can be characterised from the aspect of the tectonic structure as significantly faulted, which fact is mainly associated with the vicinity of an overthrust between the Magura and Pre-Magura unit. The tectonic disturbance manifests itself first of all by substantial schistosity, badinage, presence of floating blocks of sandstone and folding of claystone and, at last but not least, increased rates of groundwater inflows.

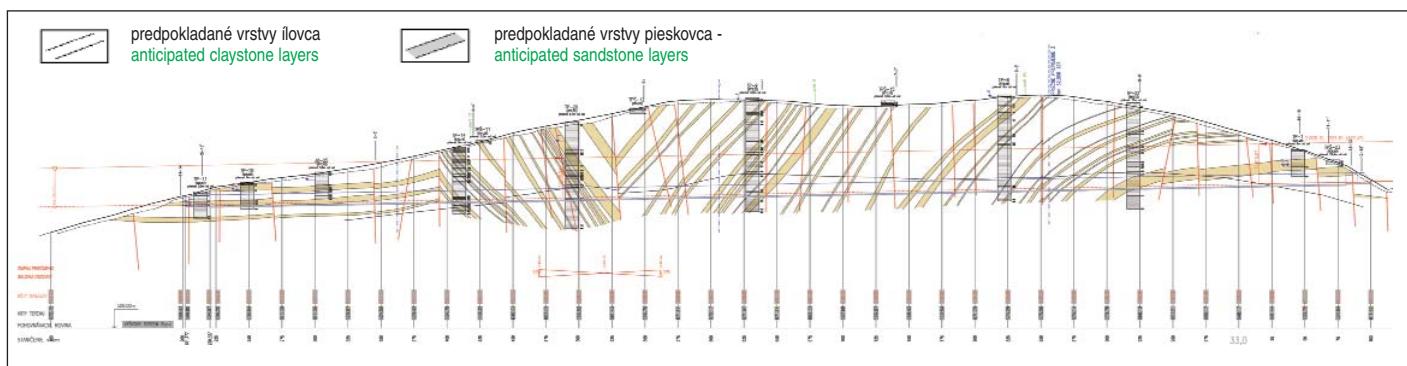
Thinly platy to platy strata of grey to dark grey calcareous claystone with plates of fine- to medium-grained grey to lightly grey sandstone with glauconite prevail in the Laliki tunnel. Locally also layers of dark brown to grey-brown thinly plated to laminated quarrying claystone are present in them. Several metre thick interbeds of red and grey-greenish mottled laminated claystone with isolated beds or blocks of fine-grained sandstone extend in the north-western part of the area. The above-mentioned mottled claystone is very prone to weathering, during which it passes into red clay. The resultant longitudinal engineering geological section on the Laliki tunnel centre line and the description of individual geological layers are presented in Fig. 2.



Obr. 2 Pozdĺžny inžinierskogeologický rez v osi tunela Laliki

Fig. 2 Longitudinal engineering geological section on the Laliki tunnel centre line

zdroj/source Dr. Tomáš Molčan, GEOFOS, s. r. o.



Obr. 3 Pozdĺžny inžinierskogeologický rez tunela Poľana

Fig. 3 Longitudinal engineering geological section through the Poľana tunnel

zdroj/source Mgr. M. Kubiš, Ph.D., GEOFOS, s. r. o.

Prevládajú modrosivé, menej zelenosivé, drobno až strednozrnné pieskovce s vápnitým a kremitým tmelom s glaukonitickými zrnitečkami. Tvoria doskovité polohy hrúbky 0,35–0,9 m, lokálne až 6 m. jemnozrnné variety sú kremennovo-vápnité. Vrstvy sú pozitívne gradačne zvrstvené.

Kremенно-drobové, modrosivé, stredne až jemnozrnné pieskovce. V súvrství je celkový pomer pieskovcov a ílovcov menší ako 1 (0,2–0,6).

Vyššie spomínané predkvartérne litologické typy na povrch územia vystupujú ojedinele, prevažne sú prekryté kvartérnymi sedimentmi, ktoré majú na území diaľnice pomerne nevýraznú genézu a typologickú pestrost. Predpokladaný inžinierskogeologický rez tunela Poľana je znázornený na obr. 3.

GEOTECHNICKÝ MONITORING

Ako už býva štandardom, aj na týchto stavbách prebiehal geotechnický monitoring podľa vopred pripraveného projektu, a jeho výsledky boli k dispozícii všetkým zainteresovaným stranám. Na základe týchto výsledkov mohli zúčastnení operatívne reagovať a v mnohých prípadoch nastaviť postup razenia podľa momentálnej geologickej situácie. Tá sa v tomto prostredí mení pomaly každým záberom, preto interpretácia a aplikácia výsledkov si vyžiadali dennodenné konzultácie medzi geológmi, zhotoviteľom a stavebným dozorom. To následne prispelo k prijatiu opatrení na zvýšenie bezpečnosti a optimalizáciu pracovných postupov.

Cinnosti monitorovania, ktoré boli vykonávané počas razenia tunela:

- meranie deformácií na povrchu, vývoj poklesovej kotliny v priečnom smere a sledovanie deformácií portálových stien pomocou stabilizovaných nivelačných bodov na povrchu terénu;



Obr. 4 Čelba kaloty cestného tunela Laliki

Fig. 4 Excavation face of the Laliki road tunnel

foto/photo courtesy Miroslav Žáčik

The geological survey which was carried out for the Poľana tunnel assumed that the motorway area is formed by the Vsetín series of layers. These layers are characterised by the prevalence of thick layers of shelly-jointing claystone with beds of fine- to medium-grained sandstone with glauconite. The sandstone mostly exhibit glassy fracture; numerous beds are coarse-grained at the base. The representation of individual facies in the profile of the layers in various locations and various structures is variable. North of Čadec and Turzovka , brown-green, thinly laminated to thinly platy, rarely thickly platy calcareous claystone layers 0.5–12m thick prevail. Light-grey and green-brown, heavily calcareous hard claystone with shelly jointing in 0.4–2.5m thick layers are also present in the series of layers. Thin layers of fine-grained to silty claystone, laminated sandstone with muscovite exist on lamination surfaces. They often pass into silty claystone. There are the following sandstone types there:

Blue-grey sandstone prevails, the presence of green-grey, fine- to medium-grained sandstone with calcareous and quartzose cement containing small glauconitic grains is smaller. It forms tabular interbeds 0.35–0.9m thick. Fine-grained variants are quartiferous-calcareous. The layers are positively grady-bedded.

Quartziferous-greywacke, blue-grey, medium- to fine-grained sandstone. The proportion of sandstone and claystone in the series of layers is smaller than 1 (0.2–0.6).

The above-mentioned pre-Quaternary lithological types rise to the surface only rarely. They are mostly overlain by Quaternary sediments, the genesis and typological variety of which is relatively dull in the motorway area. The assumed engineering geological section through the Poľana tunnel is presented in Fig. 3.

GEOTECHNICAL MONITORING

As it is usually a standard, geotechnical monitoring was carried out according to a pre-prepared design even on these structures. Its results were available to all interested parties. On the basis of these results, the involved persons could respond operatively and, in many cases, set the excavation procedure according to the momentary geological situation. This situation changes nearly every excavation round in this environment. For that reason the interpretation and application of results required daily consulting among geologists, the contractor and client's supervision. This system subsequently contributed to the adoption of measures designed for increasing the safety and optimising the work processes.

The following monitoring activities were performed during the course of the tunnel excavation:

- measurements of surface deformations, the development of the settlement trough in the lateral direction and monitoring of deformations of portal walls using levelling points stabilised on the terrain surface;
- measurements of excavation deformations;
- measurements of deformations in the zone affected by the excavation and monitoring of the slope stability – inclinometer measurements in boreholes;

Tab. 1 Označenie a dĺžky jednotlivých kvázihomogénnych blokov – tunel Laliki
Table 1 Marking and lengths of individual quasi-homogeneous blocks – Laliki tunnel

číslo bloku / block number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
dĺžka úseku (m)	63,0	68,0	29,0	38,6	12,2	20,4	10,0	11,2	4,2	18,1	2,3
section length (m)	63.0	68.0	29.0	38.6	12.2	20.4	10.0	11.2	4.2	18.1	2.3
číslo bloku / block number	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
dĺžka úseku (m)	68,4	149,0	8,3	37,2	61,3	2,9	6,9	3,0	8,8	2,6	
section length (m)	68.4	149.0	8.3	37.2	61.3	2.9	6.9	3.0	8.8	2.6	

- meranie deformácií výrubu;
- meranie deformácií v zóne vplyvu výrubu a sledovanie stability svahu – inklinometrické merania vo vrtoch;
- meranie stupňa rozvolnenia horniny v okolí výrubu – extenzometrické merania z povrchu;
- meranie napäť na kontakte horniny a primárneho ostenia s použitím tlakomerných krabíc;
- meranie napäť v betóne primárneho ostenia;
- inžinierskogeologicke sledovanie razenia, vrátane hydromonitoringu;
- systematická kontrola a dozor v priebehu razenia;
- sledovanie skutočného výrubu a nadvýlomov.

- measurements of the degree of loosening the ground in the excavation surroundings – extensometer measurements from the surface;
- measurements of stress on the ground – primary lining contact using pressure cells;
- measurements of stresses in the primary lining concrete;
- engineering geological monitoring of the tunnel excavation, including hydromonitoring;
- systematic inspection and supervision during the excavation;
- monitoring of the actually excavated opening and overbreaks.

LALIKI TUNNEL

Laliki tunnel portals

The southern and northern tunnel portals are built up by a complex of Palaeogene ground types belonging to the flysch zone, which are represented by claystone and sandstone series of layers. These series are overlain by Quaternary sediments with the character of deluvial loamy-stony debris and loams [1]. It was necessary to distribute the material to be excavated into excavation classes.

From the hydrogeological point of view, the portals can be assessed as wet, locally with significant waterlogging or concentrated inflows bound to the sandstone-claystone contact or tectonically more disturbed zones.

The portal wall cracked during the realisation of the northern portal at the beginning of the excavation and a relatively big deformation of the completed part of the top heading excavation developed. The entire part of the portal required additional support. The tunnel excavation continued after the slope got stabilised. Despite these problems the contractor met the contractual term of the works completion.

The material was categorised according to Polish standards into three classes:

- cohesive soils;
- incohesive soils;
- coherent rock.

Laliki road tunnel

The tunnel excavation started in 3/2008. Uphill (from south to north) on the longitudinal gradient of 4%, with 528m of the tunnel excavated in the chainage counter- direction, and downhill (from north to south), with 48m driven in the chainage direction. The ground massif in the entire tunnel tube section is formed by a complex of Palaeogene rock belonging to the flysch zone, which is characterised by the alternation of claystone and sandstone series of layers with the bedding ranging from laminated (claystone) to massive (sandstone) and the varying degree of weathering. On the surface, this rock is overlain by Quaternary sediments, mainly deluvial clay and stony-clayey debris, which tend to sliding [1].

The tunnel tube area was divided on the basis of continual documentation of completed excavation rounds into several sections – quasi-homogeneous blocks. When we determined them, we built on the factors which influenced the excavation procedure and method and the massif stability most of all. The total of 21 blocks were



foto/photo courtesy Matúš Mikolaj

Obr. 5 Vznik geologického nadvýlomu v tuneli Polôna

Fig. 5 Development of a geological overbreak in Polôna tunnel

- súdržné zeminy;
- nesúdržné zeminy;
- skalné horniny.

Cestný tunel Lalíki

Začiatok razenia hlavnej tunelovej rúry bol 3/2008. Razilo sa dovrchne (z juhu na sever) s pozdĺžnym sklonom 4 %, kde v protismere staničenia sa vyrazilo 582 m a úpadne (zo severu na juh), kde v smere staničenia sa vyrazilo 48 m. Horninový masív v celom úseku tunelovej rúry je tvorený komplexom paleogenných hornín patriacich do flyšového pásma, pre ktoré je charakteristické striedanie súvrství flövcov a pieskovcov s vrstevnatostou od laminevanej (flövce) až po masívnu (pieskovce) a rôzny stupeň zvetrania. Na povrchu sú tieto horniny prekryté kvartérnymi sedimentami, a to prevažne deluviaľnymi ľlmi a kamenitoľlovitými sutámi, ktoré majú tendenciu zosúvať sa [1].

Na základe priebežnej dokumentácie vyrazených záberov bola oblast' tunelovej rúry rozčlenená na niekoľko úsekov – kvázihomogenných blokov. Pri ich určovaní sa vychádzalo z faktorov, ktoré mali najväčší vplyv na postup a spôsob razenia a stabilitu masívu. Celkovo bolo vyčlenených 21 blokov. Jednotlivé kvázihomogénne bloky sa počas razenia tunela menili (označenie a dĺžky jednotlivých kvázihomogenných blokov sú uvedené v tab. 1). Niektoré neboli výrazne tektonicky porušené (tektonické zóny boli pomerne úzke a ojedinelé), ale niektoré zas boli v značne tektonicky porušenej oblasti, čo sa prejavovalo vysokou hustotou diskontinuit, zbridličnením flövcov a prítokmi podzemnej vody. Všetky tieto prejavy porušenia spôsobovali nestabilitu výrubu, zvýšenie objemu nadvýlomov a spomalenie razenia. Z celkového počtu 21 kvázihomogénnych blokov bol v 10 blokoch použitý mikropilótový dáždnik. Pohľad na celbu tunela Lalíki je na obr. 4.

Pri realizácii stavby bolo na razenie tunela navrhnutých 5 typov vystrojovacích tried a doplnená ďalšia vystrojovacia trieda 4s, ktorá bola použitá pri razení pod ochranou mikropilótových dáždnikov, ako doplnkový prvok na zabezpečenie výrubu, kvôli zvýšeniu stability masívu. Ostatné vystrojovacie triedy boli upravené oproti predchádzajúcemu projektu z hľadiska technologických možností, a boli modifikované počas razenia, s ohľadom na skutočne zastihnutú geologickej situáciu na trase tunela.

Úniková štôlňa

Úniková štôlňa bola rozčlenená na 14 kvázihomogenných blokov. Tak ako v hlavnom (cestnom) tuneli aj v únikovej štôlni sa kvázihomogénne bloky počas razenia menili. Niektoré neboli výrazne tektonicky porušené, ale niektoré boli v značne tektonicky porušenej

specified. Individual quasi-homogeneous blocks changed during the course of the tunnel excavation (the marking and lengths of individual quasi-homogeneous blocks are presented in Table 1). Some blocks were not significantly faulted (the tectonic zones were relatively narrow and sporadic), on the other hand, some of them were in a significantly tectonically disturbed area, which fact manifested itself by the narrow spacing of discontinuities, the schistosity of claystone and groundwater inflows. All of these faulting manifestations caused the instability of the excavation, the increased volume of overbreaks and reduced excavation advance rates. Canopy tube pre-support was applied to 10 blocks of the total number of 21 quasi-homogeneous blocks. A view of the Lalíki tunnel excavation face is presented in Fig. 4.

During the course of the construction realisation, 5 types of tunnel excavation support classes were proposed and the 4s class was added to be used during the excavation under the protection provided by the canopy tube pre-support, carried out as a supplementary element for securing the excavation designed to increase the stability of the ground massif. The other support classes were changed in comparison with the previous design in terms of technological possibilities and were modified during the course of the excavation taking into consideration the actually encountered geological situation on the tunnel route.

Escape gallery

The escape gallery was divided into 14 quasi-homogeneous blocks. Together with the main (road) tunnel, the quasi-homogeneous blocks were changed during the course of the gallery excavation. Some of them were not significantly tectonically disturbed, but some of them were in a significantly tectonically disturbed area. 4 excavation support classes were proposed for the realisation of the primary lining, but even an additional class was proposed in which the protection by means of canopy tube pre-support consisting of three tiers of self-drilling rock bolts was required. This excavation support class was not eventually applied during the course of the escape gallery excavation.

POŁANA TUNNEL

Mined tunnel

The commencement of driving the tunnel itself was preceded by the designing stage because this motorway section was managed in compliance with the FIDIC "Yellow Book". In this stage, the contractor tried to use the experience they gathered, among other projects, during the excavation of the Lalíki tunnel, but first of all the excavation of the exploratory gallery carried out from the western

Tab. 2 Rozdelenie vystrojovacích tried podľa hodnotenia RMR bodov – tunel Połana

Table 2 Distribution of excavation support classes according to the RMR indexes – Połana tunnel

označenie VT – bežný profil ESC marking – common profile	4/2,56 4/2.56	5/3,57 5/3.57	5/4,52 5/4.52	6/7,29 6/7.29	6/8,39 6/8.39	6/8,83* 6/8.83*	7/11,84 7/11.84	7/14,24 7/14.24
označenie VT – núdzový záliv ESC marking – emergency stopping bay (ESB) profile		5/2,98 5/2.98	5/4,30 5/4.30	6/6,36 6/6.36	6/7,28 6/7.28		7/10,56 7/10.56	
hodnotenie RMR RMR rating	min.45 min.45	min.40 min.40	35–40 35–40	31–34 31–34	28–30 28–30	24–27 24–27	20–24 20–24	< 20 < 20
predpoklad rozdelenia VT (m) assumption of the ESC distribution (m)	30 m 30m	150,5 m (+11,6 m NZ) 150.5m (+11.6m ESB)	218,4 m (+10,0 m NZ) 218.4m (+10.0m ESB)	97,5 m (+31,6 m NZ) 97.5 m (+31.6m ESB)	134,0 m (+30,0 m NZ) 134.0m (+30.0m ESB)	*doplnená VT *added ESC	45,0 m (+20,0 m NZ) 45.0m (+20.0m ESB)	52 m (+30,0 m portály) 52m (+30.0m portals)

oblasti. Pre realizáciu primárneho ostenia boli navrhnuté 4 vystrojovacie triedy, ale bola pridaná aj ďalšia vystrojovacia trieda, v ktorej sa počítalo s ochranou pod mikropilótovým dáždnikom vytvorením troch radov samozávrtých svorníkov. Táto vystrojovacia trieda sa nakoniec počas razenia únikovej štôlnej nepoužila.

TUNEL POŁANA

Razený tunel

Začiatku razenia samotného tunela predchádzala projektová príprava, kdeže tento diaľničný úsek sa riadil podľa zmluvných podmieneok „žltej knihy“ FIDIC. V tejto fáze sa zhoviteľ snažil využiť skúsenosti, ktoré získal aj pri razení tunela Laliki, ale hlavne prieskumnej štôlnej, ktorá bola vyrazená od západného portálu v dĺžke 300 m. Spracovaním podkladov sa pripravil projekt, ktorý pre účely razenia obsahoval viaceru alternatív, aby sa čo najefektívnejšie využilo horninové prostredie. Naprojektovalo sa 7 vystrojovacích tried pre štandardný profil a ďalších 5 vystrojovacích tried pre núdzový záliv. Označenie zodpovedá TP 06-1/2006 a korešponduje s rozhraním bodov RMR od 45 až < 20, ktoré sa predpokladali na základe IG prieskumu.

Po začatí razenia zo západného portálu sa zistilo, že geotechnické podmienky skutočne zastihnuté v tuneli sú odlišné od predpokladaných (celkový rozdiel oproti predpokladu bude spracovaný po vyrazení tunela). To malo za následok, že razenie prebiehalo vo

portal at the length of 300m. A design was prepared by processing the source documents, which contained several alternatives aimed to achieving the as effective as possible use of the ground environment.

7 excavation support classes were designed for the standard profile and other 5 support classes for the emergency stopping bay. The designation complies with the TP 06-1/2006 specification and corresponds to the interface of RMR indexes ranging from 45 up to < 20, which were anticipated on the basis of the EG survey.

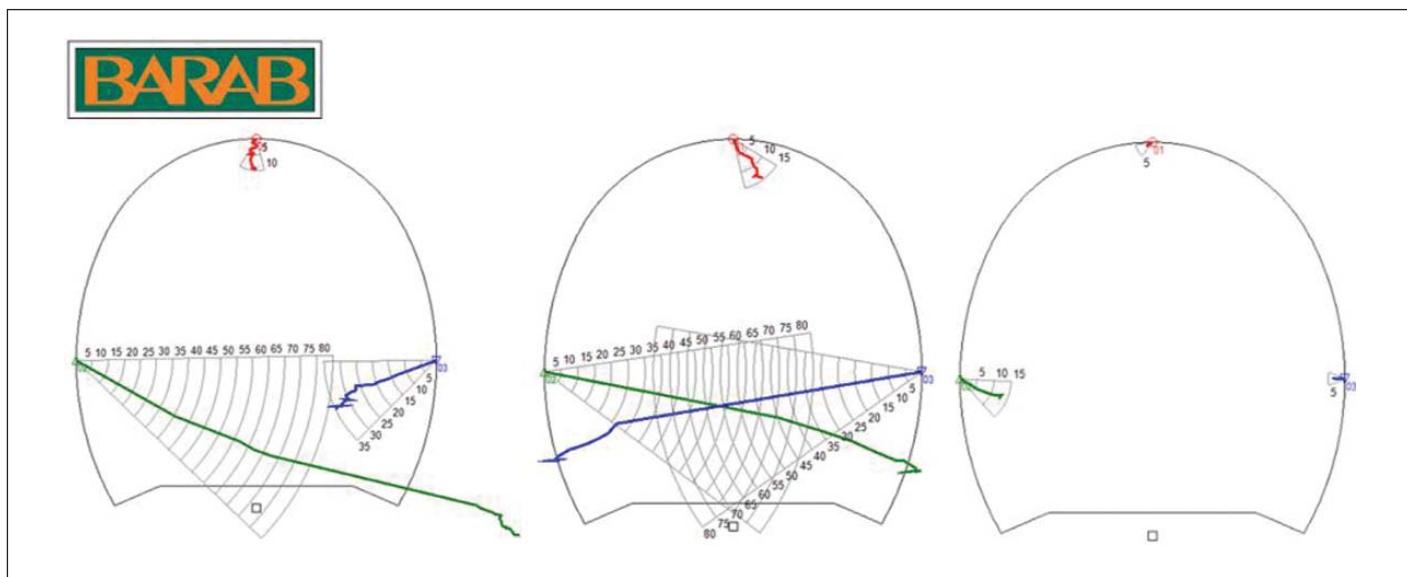
It was found out after the beginning of the tunnelling from the western portal that the geotechnical conditions actually encountered in the tunnel differed from the anticipated conditions (the overall deviation from the assumption will be analysed after the completion of the tunnel excavation). As a result, the excavation was carried out in excavation support classes which were on the one side effective for securing the stability of the ground environment but, on the other hand, were highly time intensive. After the completion of the top heading excavation, the bench and bottom were closed at a short distance behind. Five 9m long self-drilling spiles were installed for the vault support in each excavation round. The values of RMR indexes did not exceed 20 and the monthly excavation advance was ca 20m in the case of the full profile excavation with invert.

Nor the stability of the excavation face, which had to be immediately regularly stabilised during the process of its opening by applying shotcrete to it, was ideal in this environment. Geological overbreaks developed regularly. The volume of the largest of them

Tab. 3 Úprava vystrojenia únikovej štôlnej – tunel Połana

Table 3 Changes in the escape gallery excavation support – Połana tunnel

	VT 4 ESC 4	VT 5 ESC 5	VT 6 ESC 6	VT 7 ESC 7	VT 4-V ESC 4-V	VT 5-V ESC 5-V	VT 6-V ESC 6-V
pôvodné / original	SN kotvy 2 m – 5 ks	SN kotvy 2 m – 6 ks	SN kotvy 2,5 m – 7 ks	IBO kotvy 3 m – 5 ks	SN kotvy 2 m – 6 ks	SN kotvy 2,5 m – 8 ks	IBO kotvy 3 m – 8 ks
	Ihly 3 m – 10 ks	Ihly 3 m – 12 ks	Ihly 3 m – 12 ks	Ihly 9 m – 12 ks	Ihly 3 m – 12 ks	Ihly 3 m – 18 ks	Ihly 3 m – 18 ks
	1xKARI	1xKARI	2xKARI	2xKARI	1xKARI	2xKARI	2xKARI
	siete 6x150	siete 6x150	siete 6x150	siete 8x150	siete 6x150	siete 6x150	siete 8x150
	SB hr. 120 mm BTX	SB hr. 140 mm BTX	SB hr. 160 mm BTX	SB hr. 180 mm BTX	SB hr. S140 mm BTX	SB hr. 160 mm BTX	SB hr. 180 mm BTX
	SN anchors 2m – 5pcs	SN anchors 2m – 6pcs	SN anchors 2.5m – 7pcs	IBO anchors 3m – 5pcs	SN anchors 2m – 6pcs	SN anchors 2.5m – 8pcs	IBO anchors 3m – 8pcs
	Spiles 3m – 10 pcs	Spiles 3m – 12 pcs	Spiles 3m – 12 pcs	Spiles 9m – 12 pcs	Spiles 3m – 12 pcs	Spiles 3m – 18 pcs	Spiles 3m – 18 pcs
	1xKARI	1xKARI	2xKARI	2xKARI	1xKARI	2xKARI	2xKARI
	mesh 6x150	mesh 6x150	mesh 6x150	mesh 8x150	mesh 6x150	mesh 6x150	mesh 8x150
	SC th. 120mm BTX	SC th. 140mm BTX	SC th. 160mm BTX	SC th. 180mm BTX	SC th. 140mm BTX	SC th. 160mm BTX	SC th. 180mm BTX
nové / new	Ihly 4 m – 10 ks	Ihly 3 m – 12 ks	Ihly 3 m – 12 ks	Ihly 9 m – 12 ks			
	1xKARI	1xKARI	2xKARI	2xKARI			
	siete 6x150	siete 6x150	siete 8x150	siete 8x150			
	SB hr. 140 mm BTX	SB hr. 160 mm BTX	SB hr. 180 mm BTX	SB hr. 200 mm BTX			
	spiles 4m – 10 pcs	spiles 3m – 12 pcs	spiles 3m – 12 pcs	spiles 9m – 12 pcs			
	1xKARI	1xKARI	2xKARI	2xKARI			
	mesh 6x150	mesh 6x150	mesh 8x150	mesh 8x150			
	SC th. 140mm BTX	SC th. 160mm BTX	SC th. 180mm BTX	SC th. 200mm BTX			



zdroj/source: www.barab.eu

Obr. 6 Vektor deformačí štôlne JMP 81, 83 a 84 – tunel Polana

Fig. 6 Vector of the gallery deformations, measurement profiles 81, 83 and 84 – Polana tunnel

vystrojovacích triedach, ktoré boli účinné na zabezpečenie stability horninového prostredia, ale zároveň boli časovo náročné. Po výrazení kaloty sa s malým odstupom ihned prechádzalo k uzatváaniu stupňa a dna, a pre zabezpečenie klenby sa používali 9 m dlhé samozavŕtavacie ihly R51 v každom piatom zábere. Hodnota RMR bodov nepresiahla hodnotu 20 a mesačný razičkový postup bol cca 20 m v plnom profile s protiklenbou.

V tomto prostredí nebola ideálna ani stabilita čelby, ktorá sa musela pravidelne počas otvárania okamžite stabilizovať ochranným nástrekom zo striekaného betónu. Pravidelne vznikali aj geologické nadvýlomy z nich najväčší mal 50 m³ (obr. 5). Aj ten sa podarilo stabilizovať ochranným nástrekom po tenkých vrstvach a postupnom vytvorení plomby z KARI sietí a striekaného betónu. Na záver sa problematické miesto prikotvilo samozávrttnými svorníkmi.

Komplikovaný začiatok razenia prinútil zhotoviteľa upraviť projekčné riešenie, ktoré sa opieralo o sledovanie konvergenčných meraní. Ako vhodné riešenie sa ukázalo doplniť ďalšiu vystrojovaciu triedu 6/8,83 (projekčné označenie 6/3), ktoré vzniklo kombináciou VT 6/2 a VT 7/2. Ponechala sa hrúbka ostenia a dáždnik zo samozavŕtavacích ihiel R51 (každý 4. záber) v prípade potreby, ale zároveň sa predĺžila dĺžka záberu na 1,3 m a odstup kaloty od stupňa mohol narásť na počiatočných 50 m, a ďalším vývojom pri stabilizovanom ostiení na 120 m. Tieto úpravy pomohli zrýchliť postup razeňia, najlepší výkon sa priblížil k 100 m kaloty za mesiac, a zároveň umožnili pracovať na razení stupňa.

Úniková štôlňa

Razenie štôlne začalo po úprave portálu, pričom sa vybúralo z pôvodnej prieskumnej štôlnej 11 m a zhotovili sa nové kotevné prahy. Napriek tomu, že sa pokračovalo v pôvodnej trase, a profil štôlne ostal zachovaný, muselo sa taktiež pripraviť nové projekčné riešenie už ako dočasnej únikovej štôlnej pre pravú tunelovú ríru, vrátane 2 rozšírení, ktoré počas raziacich prác slúžia ako výhybňa. Medzi tunelom a štôlňou sa vyradia 3 priečne prepojenia s rovnakým profilom ako štôlňa.

Tak ako v hlavnom tuneli, aj v štôlnej musel zhotoviteľ po čase upraviť projekčné riešenie. Zmena bola potrebná z dôvodu technológie vŕtania radiálnych kotieb, keď sa v malom profile zvolenou vŕtnou súpravou, pri zmenách vrstevnatosti, nie vždy podarilo správne navrátať kotvy dostatočne kolmo na sklon vrstiev, a tým sa stávali menej účinné. Z pôvodného návrhu 4 vystrojovacích tried pre bežný profil a 3 vystrojovacie triedy pre výhybňu sa vypustili radiálne kotvy a boli nahradené hrubším ostiením a zmenou KARI sietí.

amounted to 50m³ (see Fig. 5). Even this overbreak was successfully stabilised by spraying series of thin protective layers and gradually filling the cavity with shotcrete reinforced with KARI welded mesh. At the end, the problematic place was anchored to the rock with self-drilling rock bolts.

The complicated beginning of the tunnel excavation forced the contractor to modify the design on the basis of the monitoring of convergence measurements. Adding another excavation support class 6/8.83 (design marking 6/3), which originated by combining the VT 6/2 and VT 7.2, turned out to be suitable. The lining thickness and the canopy pre-support from self-drilling spiles R51 (in every fourth excavation round) remained, but the advance round length was increased to 1.3m and the distance of the top heading from the bench face could grow to initial 50m and, during the subsequent development with the lining stabilised, it could grow up to 120m. These modifications helped to accelerate the top heading monthly excavation advance rate to 100m and, at the same time, allowed for excavating the bench.

Escape gallery

The excavation of the gallery commenced after the completion of the work on the portal, during which 11m of the original exploration gallery was broken out and new anchoring walers were carried out. In spite of the fact that the original alignment design was further followed and the gallery profile remained unchanged, it was also necessary to prepare a new design solution for the gallery acting as a temporary escape gallery for the right-hand tunnel tube, including 2 sections with enlarged width designed for the passing bays during the course of the gallery excavation. The tunnel and the gallery will be interconnected by 3 cross passages with the cross-sections identical with the cross-section of the gallery.

As in the main tunnel, it was also necessary for the contractor after some time to modify the gallery design solution. The modification was required with respect to the equipment for drilling holes for radial anchors, because, in the small gallery profile, the selected drilling set was not able to drill holes for anchors sufficiently perpendicular to the trends of the layers in the cases of changes in the bedding trend. The anchors therefore became less effective. The radial anchors were left out of the original design comprising 4 excavation support classes for a common profile and 3 classes for the passing bays and were replaced with a thicker lining and a change in the KARI mesh.

The gallery construction proceeded taking into consideration the assumed sudden changes in geology and substantial water inflows.

Výstavba štôlne pokračovala podľa predpokladaných náhlych zmien geológie a taktiež s výraznými prítokmi vody. Vážnejšie problémy nastali až pri priblížení k východnému portálu cca 150 m, keď pri razení vo vystrojovacej triede 5 doposiaľ bežné konvergenčné hodnoty merané začali vykazovať veľké horizontálne odchýlky (obr. 6). Išlo o nesymetrické deformácie, ktoré sa prejavili iba na ľavej strane v smere staničenia. Namerané hodnoty na 694 m štôlne – JMP 81 v priebehu 3 dní dosiahli hranicu 61 mm. Pristúpilo sa k sanácii problémového miesta, pričom sa po oboch bokoch štôlne navítali desiatky trojmetrových IBO kotiev v horizontálnom smere. Ďalšie meranie bezprostredne po injektáži preukázalo nárast o ďalších cca 60 mm a dosiahlo hodnotu 125 mm. Týmto opatrením, keď kotvy boli už zaktivované, sa profil podarilo stabilizovať, a ďalšie meranie dosiahlo maximálne 6 mm za 3 dni a ustálilo sa na hodnote 140 mm.

Bol predpoklad, že vzniknutá situácia bola iba lokálna a tak sa pokračovalo štandardným spôsobom ďalej. Keďže aj ďalšie profily dosiahli neželané hodnoty a mali podobnú tendenciu vykazovať priecne deformácie, ako napríklad na 750 m – JMP 83, pristúpilo sa k ďalším opatreniam, ktoré tento problém eliminovali. Do vystrojovacej triedy 5 sa pridala druhá vrstva sietí, a v prípade dosiahnutia varovného stavu sa uzavtvoril profil protiklenbou. Zaistieť stabilizovanie deformácií sa podarilo už pri ďalšom konvergenčnom profile JMP 84 (staničenie 796 m), kde sa namerali výsledné hodnoty 12 mm.

ZÁVER - SKÚSENOSTI ZO STAVBY

Nepriaznivé geologické podmienky a blížiace sa termíny výstavby si vynutili aj na týchto stavbách akceleračné opatrenia, ako napríklad úpravy projektu a začatie protiražby, ktoré sa v prípravnej fáze nepredpokladali. V tomto smere majú oba tunely čosi spoločné, ale určite sa nájdú aj nejaké rozdiely. Aby sa na tuneli Laliki eliminovali konvergencie, v zistených geologických podmienkach sa tunnel razil na plný profil, to znamená s minimálnymi odstupmi medzi kalotou, lavicou a dnom. Na tuneli Poľana sa naopak naskytla možnosť odstúpiť kalotou na väčšiu vzdialenosť bez dosiahnutia kritických hodnôt konvergencii. Aj to môže byť jedno zo špecifík razenia tunelov v takomto geologicky premennom prostredí.

Razenie cestného tunela Laliki sa začalo 10. 3. 2008 a prerazený bol 3. 5. 2009 (spolu 420 dní). Výstavba tunela Poľana momentálne prebieha a za necelý rok sa podarilo vyraziť tri štvrtiny z 860metrového tunela. Vzhľadom na skutočnosť, že výstavba tunelov prebieha aj v karpatskom flyšovom pásme, geologické podmienky zaručene preveria skúsenosti zhotoviteľa a ako sa s neočakávanými problémami dokáže vysporiadáť.

**Bc. MIROSLAV ŽÁČIK, miroslav.zacik@doprastav.sk,
Ing. VLADIMÍR ĎURŠA, dursa@doprastav.sk,
DOPRASTAV, a. s.**

*Recenzovali: RNDr. Antonín Matejček,
doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] MATEJČEK, A. Záverečná geologická správa Laliki. GEOFOS, s. r. o., 2009
- [2] ZWILLING, R. Technická správa – SO 203-07 Razený tunel – PTR, časť 01. Primárne ostienie. Basler&Hofmann, Slovakia s. r. o., 4/ 2014, 5 s.
- [3] VESELÝ, V., JANDEJKO, J. Tunely v prostredí flyše – geotechnické rizika, praktické skúsenosti. Tunel, 2010, roč. 19, č. 4, s. 24–30.
- [4] Online program BARAB na sledovanie geomonitoringu na tuneli Poľana. ARCADIS, GEOFOS, 2015
- [5] PAPCÚN, J. Tunel Poľana – ražba a primárne ostiení. Tunel, 2014, roč. 24, č. 1, s. 47–57/

More serious problems appeared later, when the excavation got closer to the eastern portal, to the distance of ca 150m, where the till that time common measured convergence values when driving through the excavation support class rock5 started to exhibit great horizontal deviations (see Fig. 6). The deformations were asymmetric and they appeared only on the left side in the direction of chainage. The values measured at gallery chainage m 646 – measurement profile 81 reached the limit of 61mm during 3 days. The stabilisation of the problematic locations started by drilling tens of horizontal holes along both sides of the gallery for 3m long IBO anchors. Other measurements conducted immediately after grouting proved another increase by ca 60mm and the deformation value reached 125mm. Owing to this measure we managed to stabilise the profile and subsequently measured values reached the maximum of 6mm per 3 days and settled at the value of 140mm.

There was an assumption that the originated situation was only local. For that reason the excavation continued using the standard procedure. When even other profiles reached undesired values and exhibited a similar tendency toward exhibiting lateral deformations, such as for example those at the 750m chainage – measurement profile 83, other measures were implemented, which eliminated this problem. Second layer of welded mesh was added to the excavation support class 5 and, in the case of reaching a warning state, the profile was to be closed by invert. The stabilisation of deformations was achieved already at the next convergence measurement profile 84 (chainage m 796), where resultant values of 12mm were measured.

CONCLUSION - EXPERIENCE FROM THE CONSTRUCTION

The unfavourable geological conditions and approaching construction deadlines required even at these construction sites acceleration measures, such as for example modifications of the design and opening of a counter-heading, which were not expected during the planning phase. In this sense, the two tunnels have something in common, but some differences will certainly also be found. With the aim of eliminating convergences on the Laliki tunnel in the identified geological conditions, the tunnel was driven full-face, which means with minimum distances between the top heading, bench and bottom headings. In contrast, on the Poľana tunnel, the opportunity for increasing the distance of the top heading without reaching critical values of convergences arose. Even this fact may be one of the specific features of driving tunnels through such a geologically variable environment.

The excavation of the Laliki road tunnel commenced on 10/03/2008 and the work was finished on 03/05/2009 (420 days in total). The construction work on the Poľana tunnel is currently underway and 75% of the 860m long tunnel were excavated during less than a year. Taking into consideration the fact that the construction of the tunnels is carried out even through the Carpathian flysch zone, the geological conditions will certainly put contractor's experience and how they will be able to cope with unexpected problems to a test.

**Bc. MIROSLAV ŽÁČIK, miroslav.zacik@doprastav.sk,
Ing. VLADIMÍR ĎURŠA, dursa@doprastav.sk,
DOPRASTAV, a. s.**

TUNEL OVČIARSKO – SÚČASŤ DOPRAVNÉHO UZLA ŽILINA NA DIAĽNICI D1

OVČIARSKO TUNNEL – PART OF THE ŽILINA TRAFFIC JUNCTION ON D1 MOTORWAY

JOZEF BARTOŠ, MARTIN CVOLIGA

ABSTRAKT

Súčasťou výstavby diaľnice D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka vedenej južne od mesta Žilina je aj tunel Ovčiarisko s dvomi tunelovými rúrami. V predošom období bolo realizovaných niekoľko etáp inžinierskeho prieskumu, v rámci ktorého bola vyrazená prieskumná štôlňa Ovčiarisko v predpokladanej osi severnej tunelovej rúry. Počas prípravných prác projektu verejno-súkromného partnerstva (PPP) v období 2009–2010 boli vybudované niektoré objekty, napr. prístupové cesty, preložka potoka, boli zaistené stavebné jamy obidvoch portálov z východu i západu. V súčasnosti sa realizujú práce na stavebnej časti tunela. Uvedenie tunela do prevádzky sa predpokladá v roku 2018.

ABSTRACT

The Ovčiarisko twin-tube tunnel is part of the development of the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway, running south of the town of Žilina. Several stages of the engineering geological survey were realised during the preceding period. The Ovčiarisko exploratory gallery was driven on the assumed axis of the northern tunnel tube within the framework of this survey. Some structures, e.g. access roads, a diversion of a stream, the excavation and support of construction pits for both portals (eastern and western), were carried out during the course of the preparatory work on the public-private project (PPP) during the 2009–2010 period. Currently, the work on the civil engineering part of the tunnel is underway. Opening the tunnel to traffic is expected in 2018.

1 ZÁKLADNÉ ÚDAJE

Názov stavby:	D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka
Objednávateľ:	Národná diaľničná spoločnosť, a. s., Mlynské Nivy 45, 821 09 Bratislava
Hlavný projektant:	Dopravoprojekt, a. s., Kominárska 24, Bratislava 832 03
Projektant tunela:	Basler & Hofmann Slovakia, s. r. o., Panenská 13, 811 03 Bratislava
Zhotoviteľ:	„Združenie Ovčiarisko“
Členovia združenia:	Doprastav, a. s. Bratislava – vedúci člen VÁHOSTAV – SK, a. s. Žilina STRABAG s. r. o. Bratislava Metrostav a. s. Praha
Zhotoviteľ tunela:	Doprastav, a. s. Bratislava, Drieňová 27, 826 56 Bratislava
Podzhotoviteľ:	Uranpres, s. r. o., Prešov, Čapajevova 29, 080 01 Prešov
Začiatok výstavby:	1/2014
Ukončenie stavby:	1/2018

Celková dĺžka južnej tunelovej rúry je v osi 2367 m, dĺžka razenej časti 2320 m. Trasa je vedená v dvoch protismerných oblúkoch s minimálnym polomerom 739 m. Od západného portálu trasa stúpa v sklone 1,70 %. Celková dĺžka severnej tunelovej rúry je v osi 2360 m, dĺžka razenej časti 2300 m. Trasa je opäť vedená v dvoch protismerných oblúkoch s minimálnym polomerom 777,5 m a stúpa v sklone 1,68 %.

Navrhovaný tunel je kategórie 2T – 8,0 s jednosmernou premávkou. Návrhová rýchlosť je 100 km/h, respektívne 90 km/h za zhoršených poveternostných podmienok.

Súčasťou tunela sú tri prejazdné priečne prepojenia prierezu 3,5x3,6 m a päť priechodných priečnych prepojení prierezu 2,0x2,4 m, slúžiace ako chránené únikové cesty. Nad tunelom ani v blízkosti portálov sa nenachádza žiadna zástavba.

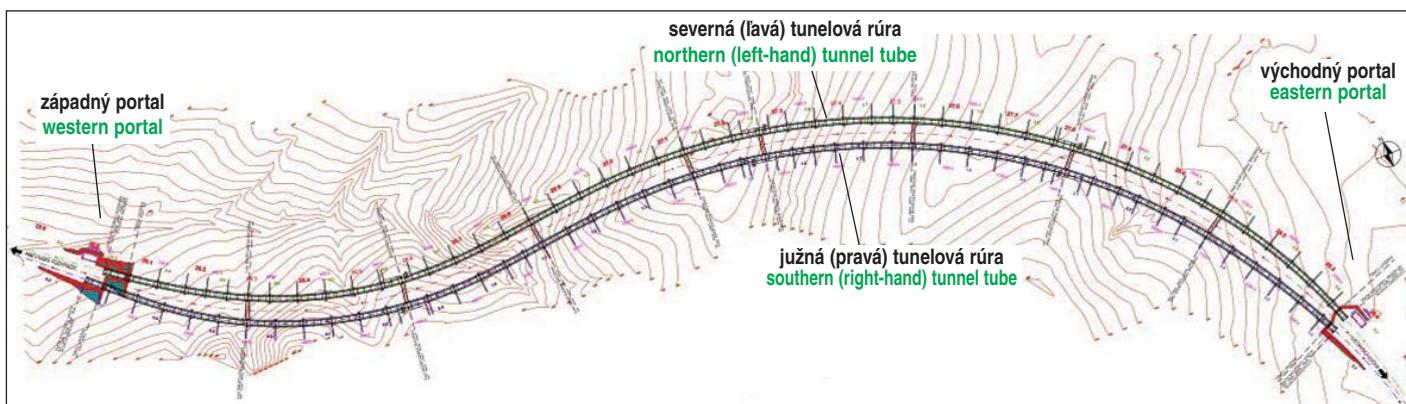
1 BASIC DATA

Project name:	D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka
Project owner:	Národná diaľničná spoločnosť, a. s., Mlynské Nivy 45, 821 09 Bratislava
Main designer:	Dopravoprojekt, a. s., Kominárska 24, Bratislava 832 03
Tunnel designer:	Basler & Hofmann Slovakia, s. r. o., Panenská 13, 811 03 Bratislava
Contractor:	„Združenie Ovčiarisko“ consortium
Consortium members:	Doprastav, a. s. Bratislava – leading member VÁHOSTAV – SK, a. s. Žilina STRABAG s. r. o. Bratislava Metrostav a. s. Praha
Contractor for tunnel construction:	Doprastav, a. s. Bratislava, Drieňová 27, 826 56 Bratislava
Sub-contractor:	Uranpres, s. r. o., Prešov, Čapajevova 29, 080 01 Prešov
Construction commencement:	1/2014
Construction completion:	1/2018

The total length of the southern tunnel tube on the axis is 2367m, the mined part is 2320m long. The route is on two reverse curves with the minimum radius of 739m. The alignment rises from the western portal on a 1.70% gradient. The total length of the northern tunnel tube on the axis is 2360m, the mined part is 2300m long. The alignment is again on two reverse curves, with the minimum radius of 777.5m and rises on a 1.68% gradient.

The tunnel being proposed is of the 2T – 8.0 category with unidirectional traffic. The design speed is 100km/h, respectively 90km/h under worsened weather conditions.

Parts of the tunnel are three cross passages passable for vehicles with the 3.5x3.6m cross-sections and five cross passages passable for pedestrians with the 2.0x2.4m cross-sections, serving as protected escape routes. No buildings are above the tunnel or in the vicinity of the portals.



Obr. 1 Smerové vedenie trasy tunela
Fig. 1 Horizontal alignment of the tunnel

2 INŽINIERSKOGEOLOGICKÉ POMERY

2.1 Geologická skladba masívu, tektonické pomery a svahové poruchy

Tunelom Ovčiarisko prekonáva dialhica D1 masív bradlového pásma a západný okraj paleogénnej výplne Žilinskej kotliny v masíve Vieška. Orientácia trasy tunela podľa svetových strán je v osi západ – východ, podľa ktorej sa rozlišujú označenia portálov tunela a tunelových rúr.

Horninový masív tunela Ovčiarisko je tvorený a zastúpený dvomi základnými tektonickými jednotkami:

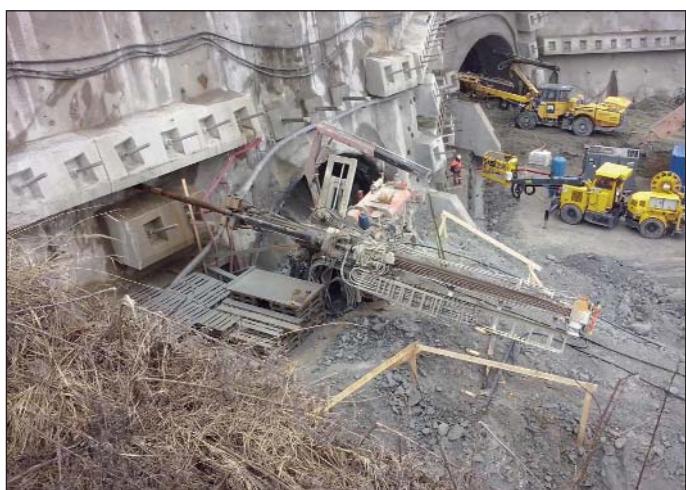
Manínskou jednotkou – zastúpenou flyšovým súvrstvím obalu bradlového pásmá, ktorý je tvorený súvrstvím slienív, slienitých bridlíc, vápničitých ilovcov, pieskovcov, piesčitých vápencov. Horniny sú tektonicky porušené.

Vnútrokarpatským paleogénom, ktorý je zastúpený flyšovým súvrstvím paleogénneho komplexu.

2.2 Hydrogeologické pomery

Z hydrogeologického hľadiska v tuneli, razenom zo západného portálu, nie sú výrazné prítoky podzemnej vody. Voda prenikajúca do tunela závisí len od množstva zrážok na povrchu.

Nepriaznivé hydrogeologické pomery sú v oblasti východného portálu. V zosuvných sedimentoch je kumulovaná podzemná voda s napäťou hladinou, ktorá negatívne ovplyvňuje inžinierskogeoologické vlastnosti hornín. Situáciu čiastočne zlepšuje už vyrazená prieskumná štôlňa, ktorá je situovaná v mieste severnej tunelovej rúry a plní tak drenážnu funkciu, gravitačne odvádzia vodu smerom na ZP, kde sa priebežne odčerpáva. Pri začatí razenia južnej tunelovej rúry z východného portálu nastala porucha portálovej steny už realizovanej



Obr. 2 Realizácia odvodňovacích vrtov – východný portál tunela Ovčiarisko
Fig. 2 Realisation of drainage boreholes – the eastern portal of the Ovčiarisko tunnel

2 ENGINEERING GEOLOGICAL CONDITIONS

2.1 The geological structure of the massif, tectonic conditions and slope failures

The D1 motorway overcomes the detached mass of an overthrust sheet and the western edge of the Palaeogene fill of the Žilina Basin in the Vieška mountain range through the Ovčiarisko tunnel. The tunnel orientation to the cardinals is on the west-east axis; the marking of tunnel portals and tunnel tubes is distinguished according to it.

The mountain range of the Ovčiarisko tunnel is formed and represented by two basic fault units:

The Manín unit – represented by flysch series of layers of the detached mass of the overthrust sheet envelope formed by series of layers of calcareous clay, marl slate, calcareous claystone, sandstone and sandy limestone. The ground is tectonically faulted.

The Inner Carpathian Palaeogene, which is represented by flysch series of layers of the Palaeogene complex.

2.2 Hydrogeological conditions

From the hydrogeological point of view, there are no significant groundwater flows into the tunnel driven from the western portal. Water penetrating to the tunnel solely depends on the amount of precipitation on the surface.

Adverse hydrogeological conditions exist in the area of the eastern portal. Confined groundwater is accumulated in landslide sediments. It negatively influences the engineering geological properties of ground. The situation is partially improved by the already completed exploratory gallery, which is situated in the location of the northern tunnel tube, thus fulfilling the function of drainage and evacuating water in a gravity way toward the WTP, where it is continually pumped out. The portal wall of the already completed construction pit failed at the beginning of the



Obr. 3 Vrtno-trhacie práce
Fig. 3 Drill-and-blast operations



Obr. 4 Mechanické profilovanie tunelbagrom
Fig. 4 Mechanical contour profiling using a tunnel excavator

stavebnej jamy. Projektant navrhol doplniť vybudovaný odvodňovací systém ďalšími horizontálnymi, odvodňovacími vrtmi do masívu južne od južnej tunelovej rúry v zavodnených zónach (6 ks šikmých odvodňovacích vrtov).

3 PROJEKTOVÉ RIEŠENIE TUNELA

Tunel je razený metódou NRTM so zabezpečením dvoma vrstvami ostenie – primárne ostenie zo striekaného betónu a sekundárne ostenie zo železobetónu. Medzi primárnym a sekundárnym ostením je vytvorená medziľahlá hydroizolačná vrstva tvorená geotextiliou a hydroizolačnou fóliou.

Razenie tunela sa vykonáva z oboch portálov, zo západného dovrchným spôsobom a z východného portálu úpadne. Razenie tunela je navrhnuté s horizontálnym členením výrubu na kalotu, stupeň a dno, resp. protiklenbu. Výlomové práce sa realizujú podľa typu horninového prostredia mechanickým rozpojovaním horniny pomocou tunelbagra alebo vrtno-trhacími prácami.

Objekt tunela je zložený z dvoch tunelových rúr, ktoré sú prepojené ôsmimi priečnymi prepojeniami. Z toho sú tri prejazdné a päť priechodných chodieb.

3.1 Primárne ostenie tunela

V prvej fáze je budované primárne ostenie tunela a priečnych prepojení. V projektovej dokumentácii pre zhoviteľa stavby je na razenie cestného tunela navrhnutých 16 typov vystrojovacích tried a na úvod razenia z portálu vystrojovacia trieda VT 7MP. Oproti tendrovej dokumentácii bola doplnená vystrojovacia trieda VT4/1, VT4/2 na razenie v najlepších geotechnických podmienkach: v zlepencoch, pieskovcoch a vápencoch. Pre portálovú oblasť východného portálu, na začiatky razenia a do poruchových zón boli navrhnuté vystrojovacie triedy VT8/1, VT8/2 a VT8 MP. Na razenie prepojovacích chodieb je navrhnutých päť vystrojovacích tried.

Na opäťovné vytvorenie stability horninového masívu, ktorý je porušený razením sú používané tieto prvky:

- striekaný betón – trieda C 25/30, s nárastom pevnosti v oblasti J2;
- KARI výstužné siete oceľové zvárané 6x6 /150x150, 8x8 /150x150 a 8x8 /100x100 mm, trieda ocele výstužných sietí je B 500 B;
- priečadové oceľové oblúky sú navrhnuté pre primárne ostenie kaloty a stupňa;
- horninové kotvy, svorníky, ihly a mikropiloty:
 - hydraulický upínač svorník HUS 3 m, 4 m – 150 kN;
 - SN kotevná tyč – Ø28 mm dĺžka 3, 4, 6 m – 250 kN, B500B;
 - samozávrtne IBO kotvy R32 a dĺžka 4, 6, 8 m – 280 kN;
 - samozávrtne ihly 4 m – R32, 9 m – R51;

excavation of the southern tunnel tube. The designer proposed that the existing drainage system be supplemented by additional horizontal drainage holes bored to the massif south of the southern tunnel tube in the water-bearing zones (6 inclined drainage boreholes).

3 TUNNEL DESIGN SOLUTION

The tunnel is being driven using the NATM, with the excavation support consisting of two lining layers – the primary lining from shotcrete and the secondary lining from reinforced concrete. The intermediate waterproofing layer between the two liners is formed by geotextile and a plastic waterproofing membrane.

The tunnel is driven from both portals; uphill from the western portal and downhill from the eastern portal. The so-called “horizontal” excavation sequence design consists of the top heading, bench and bottom, respectively invert. The excavation operations are organised depending on the type of the ground environment, either by mechanical disintegration by means of a tunnel excavator or using the drill-and-blast technique.

The tunnel consists of two tunnel tubes interconnected by eight cross passages. Three of them are passable for vehicles and five are passable for pedestrians.

3.1 Primary tunnel lining

At the first stage, the primary lining of the tunnel and cross passages are carried out. In the final design, 16 excavation support classes are proposed for the excavation of the road tunnel whilst the VT 7MP class is designed for the beginning of the excavation from the portal. In comparison to the tender documents, excavation support classes VT4/1 and VT4/2 were added for the excavation in the best geotechnical conditions, i.e. through conglomerates, sandstone and limestone. Excavation support classes VT8/1, VT8/2 and VT8MP were proposed for the portal area of the eastern portal, the excavation beginnings and the fault zones. Five excavation support classes are designed for the excavation of cross passages.

The following elements are used for restoring the ground mass stability disturbed by the excavation:

- shotcrete – C 25/30 grade, with the strength gain on the J2 curve;
- KARI reinforcing welded mesh 6x6 /150x150, 8x8 /150x150 and 8x8 /100x100 mm, steel grade B 500 B;
- steel reinforcement arches are designed for the top heading and bench primary lining;



Obr. 5 Razenie severnej tunelovej rúry s prieskumnou štôlňou v profile tunela
Fig. 5 Excavation of the northern tunnel tube containing the exploratory gallery within the tunnel profile

Tab. 1 Tabuľka vystrojovacích tried pre jednotlivé časti profilu podľa TP 06-1/2005
Tale 1 Excavation support classes for individual parts of the cross-section according to TP 06-1/2005 specifications

vystrojovacia trieda excavation support class	kalota top heading	stupeň bench	dno bottom
VT 5/1	5 / 1,40	5 / 1,51	1 / 1
VT 5/2	5 / 2,89	5 / 2,20	2 / 4
VT 6/1	6 / 4,85	6 / 3,59	5 / 4
VT 6/2	6 / 6,62	6 / 4,54	5 / 4
VT 6/3	6 / 8,54	6 / 4,80	5 / 4
VT 6/4	6 / 10,41	6 / 5,46	5 / 4
VT 6/5	6 / 11,70	6 / 5,46	5 / 4
VT 7/1	7 / 12,46	7 / 6,77	6 / 4
VT 7/2	7 / 14,83	7 / 12,35	6 / 4
VT 7/3	7 / 11,88	7 / 6,27	6 / 4
VT 5/1 – NZ	5 / 2,63	5 / 1,36	4 / 4
VT 6/1 – NZ	6 / 3,95	6 / 2,94	5 / 4
VT 6/2 – NZ	6 / 5,29	6 / 3,16	5 / 4
VT 6/3 – NZ	6 / 7,04	6 / 3,37	5 / 4
VT 6/4 – NZ	6 / 8,66	6 / 4,32	5 / 4
VT 7 – NZ	7 / 14,40	7 / 6,03	6 / 4

- sklolaminátové kotvy Ø28 mm dĺžky 8 m, FL24/10 – 150 kN;
- ihly – oceľové Ø28 mm, dĺžka 4 m;
- ihly samozávrtne dĺžky 4 a 9 m;
- ochranný dáždnik z injektovaných oceľových rúr; Ø114/6,3, dĺžka 18 m;
- cementová zálievka pevnosť 25 MPa, cement R32,5 alebo AM 25.

Profil tunela je horizontálne delený na kalotu, stupeň a dno, resp. spodnú klenbu. Jednotlivé triedy výrubu pre kalotu, stupeň a dno, resp. spodnú klenbu sú navrhnuté na základe interpretácie výsledkov prieskumu, kde boli vyčlenené geotechnické úseky G1 až G3, pre portálovú oblasť G0. V prípade potreby sa môžu postupy razenia prispôsobiť meniacim sa podmienkam, čo záleží na skutočných inžinierskogeologických a geotechnických pomerov priamo na čelbe.

3.2 Geotechnický monitoring počas razenia tunela

Počas razenia tunela prebieha geotechnický monitoring. Činnosti monitorovania, ktoré sú vykonávané počas razenia tunela, sú tieto:

- **Západný portál a východný portál:**

- meranie deformácií portálových svahov – 3D meranie deformácií;
- meranie napäcia v kotvách;
- automatický geodetický monitoring čela východného portálu;
- kontrola varovných stavov (hodnota A, východný portál);
- inklinometrické merania – sledovanie podpovrchových posunov;
- inklinodeformetrické merania – sledovanie podpovrchových posunov, vrt je súčasne meraný pomocou inklinometrickej sondy a posuvného deformetra;
- geodetické merania inklinometrov a inklinodeformetrov – pre sledovanie polohových zmien.

- **Severná a južná tunelová rúra:**

- konvergenčné merania;
- extenzometrické meranie;
- meranie napäcia na kontakte hornina – primárne ostenie;
- meranie napäcia v primárnom ostení;
- meranie odtoku zo štôlne – meranie výdatnosti výtokov vôd z prieskumnej štôlnej;
- odber vzoriek vôd zo štôlnej, recipientu a fyzikálno-chemické rozboru;

- ground anchors, rock bolts, spiles and micropiles:
 - hydraulically expanded rock bolts 3m and 4m long – 150kN;
 - fully grouted SN anchors – Ø28mm, the length of 3, 4 and 6m – 250kN, B500B;
 - self-drilling IBO anchors R32; 4, 6 and 8m long – 280kN;
 - self-drilling spiles 4m long – R32, 9m long – R51
 - glassfibre reinforced plastic anchors Ø28mm, 8m long, FL24/10 – 150kN;
 - steel spiles - Ø28mm, 4m long;
 - self-drilling spiles 4m and 9m long;
 - canopy tube pre-support from grouted steel tubes Ø 114/6,3, 18m long;
 - cement grout – strength of 25MPa, cement R32,5 or AM25.

The tunnel cross-section is divided horizontally into top heading, bench and bottom, respectively invert. Individual excavation support classes for the top heading, bench and bottom, respectively invert, are designed on the basis of the interpretation of the survey, where geotechnical sections G1 through to G3 were determined; class G0 was determined for the portal area. If necessary, the excavation procedures can be adapted to the changing conditions, which fact depends on actual engineering geological and geotechnical conditions directly at the excavation face.

3.2 Geotechnical monitoring during tunnel excavation

Geotechnical monitoring proceeds during the course of the tunnel excavation. The following monitoring activities are performed during the tunnel excavation:

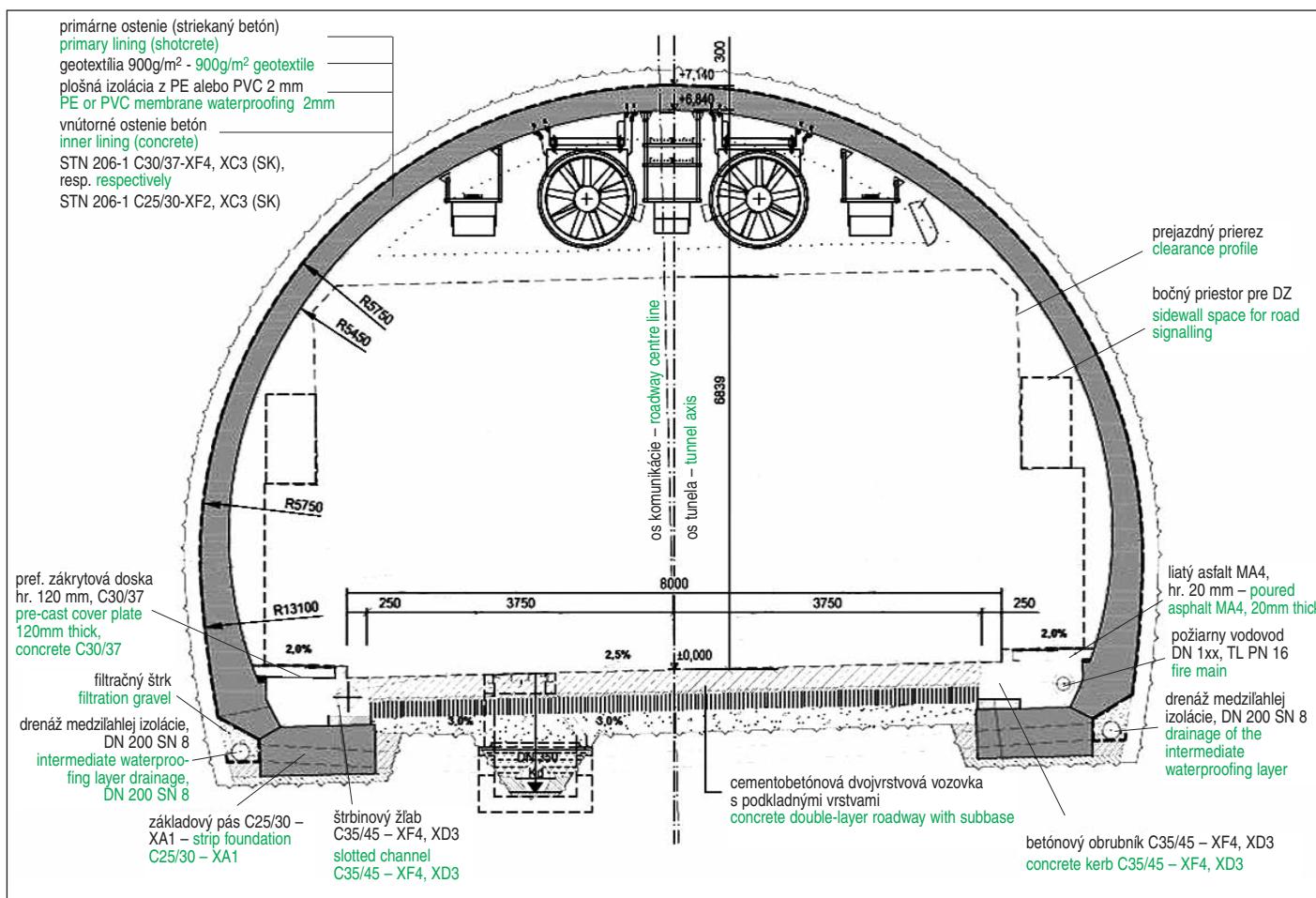
- **Western portal and eastern portal:**

- measurement of deformations of portal slopes – 3D measurement of deformations;
- measurement of stress in anchors;
- automatic surveying system on the eastern portal face;
- supervision of warning states (value A, the eastern portal);
- inclinometer measurements – observation of sub-surface displacements;
- inclinometer deformation measurements – observation of sub-surface displacements; the borehole is concurrently measured by means of an inclinometer probe and a sliding



Obr. 6 Vŕtanie mikropilotového dáždnika v severnej tunelovej rúre (východný portál)

Fig. 6 Drilling for the micropile umbrella (canopy tube pre-support) in the northern tunnel tube (the eastern portal)



Obr. 7 Vzorový priečny rez razeného tunela
Fig. 7 Typical cross section through the mined tunnel

- inžinierskogeologické sledovanie razenia, vrátane hydromonitoringu, systematickej kontroly a dozoru v priebehu razenia.

Rozmiestnenie a počet meracích profilov a bodov je navrhnutý podľa predpokladaných inžinierskogeologických pomerov.

Na základe výsledkov geotechnického monitoringu (GTM) sa primárne ostienie optimalizuje, prehodnocuje sa použitie jednotlivých vystrojovacích tried a v prípade potreby sa vykonávajú opatrenia na zvýšenie bezpečnosti počas razenia tunela. K distribúcii dát je využívaný systém BARAB s on-line prístupom, kde sa zhromažďujú dátá tak z ručných meraní, ako aj automaticky nameraných. Automatické meranie sa využíva hlavne pri sledovaní pohybov na portálových jamách. Vyhodnotené výsledky GTM sa prezentujú na pravidelných geotechnických poradách. O dôležitých opatreniach a zmenách v razení rozhoduje Rada monitoringu (RAMO).

3.3 Sekundárne ostienie tunela

Sekundárne ostienie tunela je navrhnuté železobetónové z betónu C30/37-XF4, XC3 (do vzdialenosť 150 m od portálov) a C25/30-XF2, XC3 (vnútorný úsek tunela) s hrúbkou ostenia 0,3 m betónovaného do posuvného debnenia. Dĺžka blokov je navrhnutá 12,5 m pre bežný profil tunela a aj pre profil jednostranného zálivu.

Ostienie je vystužené oceľovými sietami, prútovou výstužou a pomocnými priehradovými nosníkmi na realizáciu výstuže jednotlivých blokov sekundárneho ostienia. Použitá ocel je triedy B 500 B na všetku výstuž sekundárneho ostienia. Minimálne krytie výstuže zo strany vnútra tunela je 50 mm.

Sekundárne ostienie tunela je možné realizovať až po ustálení konvergencii primárneho ostienia v zmysle TKP 26 Tunely.

3.4 Hydroizolácia tunela

Systém ostienia tunelovej rúry je navrhnutý ako sendvičová konštrukcia pozostávajúca z primárneho a sekundárneho ostienia. Medzi

deformation meter;

- survey measurements by inclinometers and inclinodeformeters – for the observation of positional changes.

• Northern and southern tunnel tubes:

- convergence measurement;
- extensometer measurement;
- measurement of stress on the ground - primary lining contact;
- measurement of stress in primary lining;
- measurement of water discharge from the gallery – measurement of the yield of water outflow from the exploratory gallery;
- collection of water samples from the gallery and the recipient and physical-chemical analyses;
- engineering geological monitoring of the excavation, inclusive of hydromonitoring, systematic checking and supervision during the excavation.

The locations and the number of measurement stations and points is designed according to the anticipated engineering geological conditions.

The results of the geotechnical monitoring (GTM) are used as a basis for optimising the primary support, reassessing the application of individual excavation support classes and, if necessary, implementing the measures designed to improve the safety during the tunnel excavation. The BARAB system, in which data is gathered both from hand and automatic measurements is used on-line for the data distribution. Automatic measurements are used first and foremost for the monitoring of movements at portal pits. The assessed GTM results are presented in regular geotechnical meetings. Decisions on important measures and changes in the excavation are made by the Monitoring Board.



Obr. 8 Zaistovanie čelby IBO kotvami

Fig. 8 Supporting the excavation face with IBO anchors

tieto dve ostenia je vložená drenážna a izolačná vrstva pozostávajúca z geotextílie min. gramáže 900 g/m^2 a plošnej hydroizolácie hrúbky min. 2 mm.

Tunel je navrhnutý s dáždnikovou izoláciou. Spodná klenba nie je zaizolovaná. Hydroizolácia, resp. jej drenážna vrstva, odvádzá horninovú vodu do postrannej drenáže DN 200 mm. Z čistiacich výklenkov je drenážna voda zvedená do kanalizačného zberača nachádzajúceho sa v ľavom jazdnom pruhu.

3.5 Chodníky, kábelovody a zvodidlá v tuneli

Na vedenie napájajúcich a ovládajúcich káblor k technologickému vybaveniu tunela je vytvorený kálový žlab pod chodníkom. Samotný chodník sa vytvorí položením prefabrikovaných železobetónových dosiek dĺžky 1 m v pozdĺžnom smere. Dosky budú uložené jednak na prefabrikovaných obrubníkoch, resp. štrbinových žľaboch a ozube v sekundárnom ostení tunela. Navrchu sa tieto dosky zalejú liatym asfaltom v hrúbke 2 cm.

4 ZÁVER

V projekte pre dodávateľa stavby bola tendrová projektová dokumentácia doplnená a rozpracovaná. Pri spracúvaní dokumentácie sa prihliadalo aj na technologické možnosti dodávateľa stavby. V niektorých prípadoch bolo potrebné prepracovať technológiu výstavby a zmeniť technické špecifikácie stavby stanovené v tendrovom projekte. Realizáciou v predpokladanom termíne uvedenia tunela do prevádzky v prvom štvrtroku roku 2018 sa stane tunel Ovčiarisko súčasťou dopravného uzla na diaľnici D1 a podstatne prispeje k zlepšeniu dopravnej situácie nielen Žiliny, ale hlavne tranzitnej doprave v tejto oblasti.

*Ing. JOZEF BARTOŠ, jozef.bartos@doprastav.sk,
Ing. MARTIN CVOLIGA, martin.cvoliga@doprastav.sk,
Doprastav, a. s.*

Recenzovali: Ing. Jan Korejčík, Ing. Robert Zwilling

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka, SO 407-00, 408-00, v stupni DSP, FTP, DZSD, DRS, 06.2014, zodpovedný projektant ing. Róbert Zwilling
- [2] Podrobny IGHP formou prieskumnej štôlne pre tunel Ovčiarisko. Žilina: GEOFOS, s. r. o., 5/1998
- [3] Diaľnica D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka, Tunel Ovčiarisko – prieskumná štôlňa, doplnkový prieskum. Žilina: GEOFOS, s. r. o., 12/2008
- [4] STN 73 7507: 2008 Projektovanie cestných tunelov, SÚTN, 2008
- [5] TP 06-1/2005 Podzemné stavby. Časť 1: Cyklické razenie, vystrojovacie triedy, MDPT SR, 2006
- [6] TKP Časť 26 Tunely, MDVRR SR, 2015
- [7] TKP Časť 28 Geotechnický monitoring pre tunely a prieskumné štôlne, NDS, a.s., 2010
- [8] VL5/2011 Vzorové listy 5 Tunely, MDVRR SR, 2011

3.3 Secondary tunnel lining

The secondary tunnel lining is designed as a 0.3m thick reinforced concrete structure from C30/37-XF4, XC3 concrete (up to the distance of 150m from portals) and C25/30-XF2, XC3 concrete (in the internal tunnel section). Concrete is to be cast behind a movable formwork. The length of the expansion blocks of 12.5m is designed for both the common tunnel profile and the profile of the one-sided lay-by.

The lining is reinforced with steel mesh, bar reinforcement and auxiliary lattice girders used for the realisation of the reinforcement of individual blocks of the secondary lining. B500B-grade steel is used for all reinforcement of the secondary lining. The installation of the secondary lining is possible only after the primary lining convergences stabilise in the meaning of the TKP 26 Tunnels technical specifications.

3.4 Tunnel waterproofing

The tunnel tube lining system is designed as a sandwich structure consisting of a primary lining and secondary lining. A drainage and waterproofing layer consisting of min. 900 g/m^2 geotextile min. and min. 2mm thick waterproofing membrane is inserted between the two liners.

The umbrella-type waterproofing system is designed for the tunnel. The invert is not provided with waterproofing. The waterproofing or, better put, its drainage layer, evacuates groundwater to the DN 200mm side drainage system. Drainage water is directed from cleaning niches to a collector sewer located under the left-hand traffic lane.

3.5 Walkways, cableways and crash barriers inside the tunnel

A cable trough is created under the walkway for leading power supply cables and control cables to the tunnel equipment. The walkway itself will be created by placing 1m long pre-cast reinforced concrete slabs longitudinally. The slabs will be placed on pre-cast kerbs, respectively slotted drainage troughs, and a dent in the tunnel secondary lining. A 2cm thick layer of asphalt will be poured on these slabs.

4 CONCLUSION

The tender documents were supplemented and elaborated in the final design for the contractor. When the documentation was being carried out, even the technical capacities of the contractor were taken into consideration. It was necessary in some cases to rework the construction technology and change technical specifications defined in the design for tendering. After the completion of the works in the assumed term in the first quarter of 2018, the Ovčiarisko tunnel will become part of the traffic junction on the D1 motorway and will significantly contribute to the improvement of the traffic situation not only of Žilina but, first of all, the transit transport in this area.

*Ing. JOZEF BARTOŠ, jozef.bartos@doprastav.sk,
Ing. MARTIN CVOLIGA, martin.cvoliga@doprastav.sk,
Doprastav, a. s.*

TUNEL ŽILINA – PROJEKTOVANIE, VÝSTAVBA A GEOTECHNICKÝ MONITORING

ŽILINA TUNNEL – DESIGN, CONSTRUCTION AND GEOTECHNICAL MONITORING

MARTIN VALKO, MICHAL FUČÍK, ANDREJ KORBA, RÓBERT ZWILLING,
OTA JANDEJSEK

ABSTRAKT

Príspevok opisuje stavbu tunela Žilina, ktorý je súčasťou výstavby diaľnice D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. Tunel Žilina je navrhnutý v kategórii 2T 8,0/100 v celkovej dĺžke tunelových rúr 1371 m (severná rúra 684 m, južná rúra 687 m). Súčasťou tunela sú dve priechodné priečne prepojenia, slúžiace ako chránené únikové cesty. V tunelových rúrach sa uvažuje s jednosmernou premávkou. V prípade uzavorenia jednej tunelovej rúry bude náhradná doprava vedená po existujúcej obchádzkovej komunikácii v pôvodnej trase cesty I/18. Tunel Žilina je tunnelom I. kategórie podľa TP 11/2011 Protipožiarnej bezpečnosti cestných tunelov s povolením prepravy nebezpečných vecí. V jednotlivých častiach príspevku sú opísané základné všeobecné informácie o tuneli Žilina, jeho projekčné riešenie, geotechnický monitoring, technológia a postup výstavby vzhľadom na náročné geologické podmienky. Práve zastihnuté geologické podmienky si vyžadujú operatívny prístup zhotoviteľa, projektanta, geológa a geotechnika k optimálnemu riešeniu primárneho ostenia a zníženia rozvolňovania horninového masívu.

ABSTRACT

The paper describes the construction of the Žilina tunnel, which is part of the development of the D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka motorway project. The 2T 8,0/100 category is designed for the Žilina tunnel with the aggregated length of 1371m (northern tube 684m, southern tube 687m. Two cross passages serving as protected escape routes are parts of the tunnel. Unidirectional traffic is planned for the tunnel tubes. In the case of closing one of the tunnel tubes, the transport replacement will be led along the existing diversion route along the original I/18 road. The Žilina tunnel is rated as category I according to TP 11/2011 Fire Safety in Road Tunnels specification, where transport of dangerous load is permitted. Basic general information on the Žilina tunnel, its design solution, geotechnical monitoring, construction technology and procedures with respect to complicated geological conditions is contained in individual parts of the paper. The geological conditions require the operative approach of the project owner, contractor, designer, geologist and geotechnician to the optimum solution for the primary lining and the reduction of the ground mass loosening.

ÚVOD

Diaľnica D1 v úseku Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka je súčasťou diaľnice D1 hranica ČR/SR a hranica SR/UR. Táto je súčasťou medzinárodného tahu E-50 (Paríž – Norimberg – Praha – Brno – Trenčín – Žilina – Košice – Užhorod). Z hľadiska vnútroštátneho významu je súčasťou vnútroštátnej diaľničnej siete, ktorá spolu s vymedzenými tåmi z vybranej siete bude tvoriť základnú kostru na území SR.

Predmetný úsek diaľnice sa nachádza na území veľkého územného celku Žilinského samosprávneho kraja, v okrese Žilina. V súčasnosti sa celý dopravný objem cestnej premávky v predmetnom dopravnom úseku realizuje po ceste I/18 a I/64 pričom cesta I/18 v tomto úseku už teraz patrí k najzatáženejším dopravným tepnám Slovenska vedená intravilánom obce Dolný Hričov a mestom Žilina.

Účelom stavby je prepojiť úsek Vrtižer – Hričovské Podhradie a diaľnicu D3 s východnými okresmi Žilinského kraja a východným Slovenskom. Vybudovaním tohto úseku, ako i celého diaľničného tahu D1 sa skvalitnia podmienky pre medzinárodnú a vnútroštátnu dopravu, vytvorí sa kvalitnejšie dopravné spojenie do všetkých kútov Slovenska a prispeje k vytvoreniu lepších životných podmienok pre Dolný Hričov a hlavne Žilinu. Dôležitou a náročnou časťou tohto úseku je aj tunel Žilina.

ZÁKLADNÉ ÚDAJE

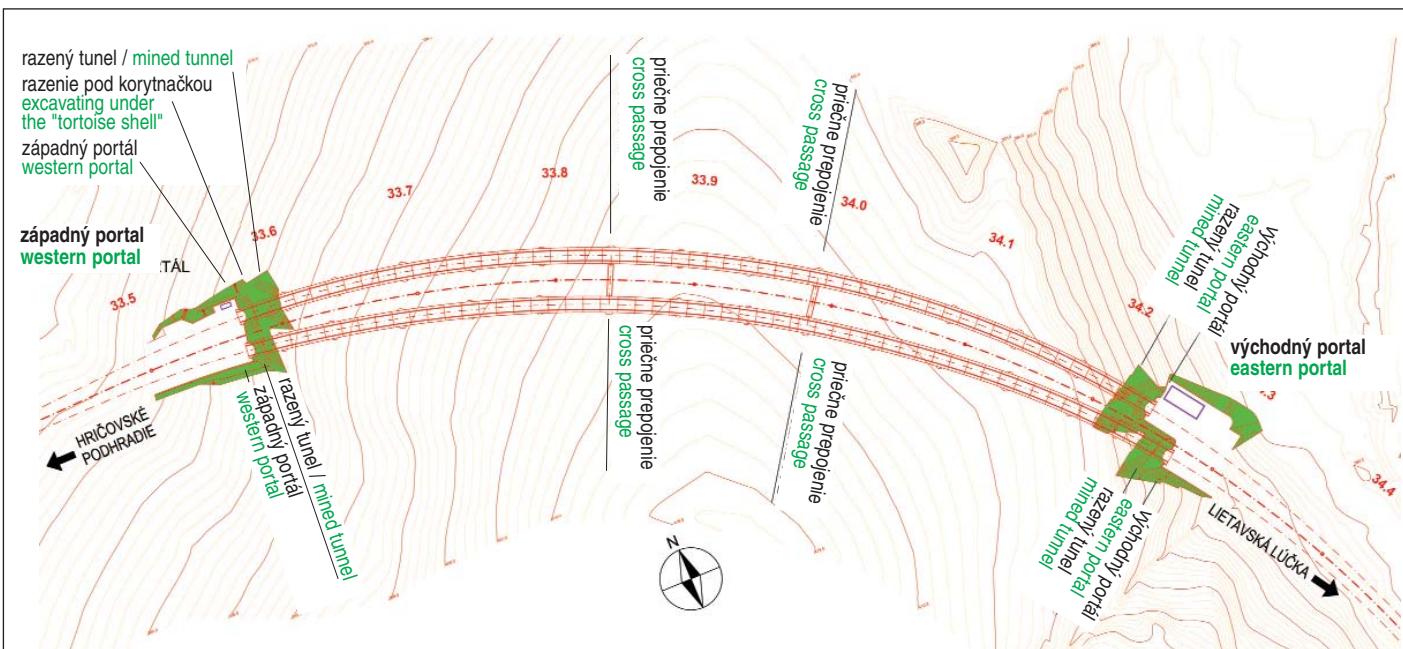
Navrhovaný tunel Žilina (obr. 1) je kategórie 2T – 8 podľa STN 73 7507 s jednosmernou premávkou. Dĺžkovo je kategorizovaný

INTRODUCTION

The D1 motorway in the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section is part of the D1 motorway between the Slovak border with the Czech Republic and the border between the Slovak Republic and the Ukrainian Republic. It is part of the international route E-50 (Paris – Nuremberg – Prague – Brno – Trenčín – Žilina – Košice – Užhorod). From the domestic importance point of view, it is part of the domestic motorway network, which, together with specified routes from the selected network, will form the basic skeleton in the Slovak Republic.

The motorway section in question is located in the area of the large territorial unit of the autonomous region of Žilina, in the district of Žilina. Currently the whole volume of road traffic in the particular transport section is realised along the I/18 and I/64 roads, with the I/18 road until now belonging among the most trafficked transport thoroughways in Slovakia, running through the urban area of the municipality of Dolný Hričov and the town of Žilina.

The purpose of the project is to interconnect the Vrtižer – Hričovské Podhradie section and the D3 motorway with eastern districts of the region of Žilina and eastern Slovakia. By developing this section as well as the entire D1 motorway route, the conditions for international and domestic transport will be improved, higher quality transport connection will be created to all corners of Slovakia and better living conditions for Dolný Hričov and, in the first place, the town of Žilina will be contributed to. The Žilina tunnel is an important and difficult part of this section.



Obr. 1 Pôdorys tunela Žilina

Fig. 1 Žilina tunnel layout

tunel podľa normy STN 73 7507 stredne dlhý. Návrhová rýchlosť bola oproti zadávacej dokumentácii upravená podľa požiadaviek objednávateľa na 99,6 km/h. Smerové vedenie v tunelových rúrach bolo upravené prispôsobením a vložením nových polomerov a úpravou priečneho sklonu z hodnoty 4 % na hodnotu 4,96 %. Pri návrhu bolo prihliadané na zábery a na nadávzností na iné časti stavieb.

Súčasťou tunela sú dve priechodné priečne prepojenia, slúžiace ako chránené únikové cesty. Geometria priečnych prepojení je daná priechodným prierezom v zmysle [STN 73 7507].

Územie pred portálmi, ako aj v trase tunela má charakter polnohospodárskej pôdy, lesov a lúk. Nad tunelom ani v blízkosti portálov sa nenachádza žiadna povrchová zástavba.

Stavebníkom a zároveň budúcim správcom tunela je Národná dialničná spoločnosť, a. s. Bratislava (NDS a. s.).

Zhotoviteľom stavby D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka je „Združenie Ovčiarsko“ s vedúcim členom Doprastav, a. s. a členmi Váhostav – SK, a. s., Strabag s. r. o. a Metrostav a. s.

Priamym zhotoviteľom tunela Žilina je spoločnosť Doprastav, a. s. Bratislava a Metrostav a. s. Praha.

Stavebný dozor je vykonávaný pracovníkmi NDS a. s.

GEOLOGICKÉ A GEOTECHNICKÉ POMERY

Geologická skladba masívu, tektonické pomery a svahové pohyby

Horninový masív je budovaný paleogénnym súvrstvím florcov a pieskovcov, s prevahou florcov v celom hodnotenom úseku. Od východného portálu (VP) je prekrytý formáciou kvartérnych pokryvných útvarov reprezentovaných terasovým a deluviálnym komplexom. Kvartérny terasový komplex je zastúpený terasovými flimi a štrkmi s polohami piesku.

Medzi najvýznamnejšie geodynamické procesy, ktoré sú vyvinuté v koridore tunela Žilina patria svahové pohyby, zvetrávanie, erozia a objemové zmeny. Zastúpenie zosuvného delúvia je vyvinuté v okolí západného portálu, ktoré však nezasahuje bezprostredne do portálovej časti tunela, ale v jeho východnej okrajovej časti bude realizovaný zárez. Zvetrávanie veľmi výrazne degradovalo poloskalné horniny paleogénneho komplexu na zeminy. Zóna zvetrania zasahuje do hĺbky až viac ako 10 m od povrchu paleogénneho podložia. Výraznejšie vplyvy zvetrávanie sú najmä v masívoch porušených tektonikou, resp. so zastúpením florcov s výrazným obsahom nestabilných florcových minerálov.

BASIC DATA

The Žilina tunnel being proposed (see Fig. 1) is of the 2T–8 category according to the STN 73 7507 standard, with unidirectional traffic. As far as the length is concerned, the tunnel is categorised according to STN 73 7507 standard as medium long. The design speed was changed in comparison with the tender documents in compliance with project owner's requirements to 99.6km/h. The horizontal alignment in the tunnel tubes was changed by incorporating new radii and modifying the lateral gradient from the value of 4% to the value of 4.96%. The use of land for construction and relations to other parts of structures were taken into consideration when the design was being prepared.

Two cross passages passable for pedestrians, serving as protected rescue routes, are parts of the tunnel. The geometry of the cross passages is defined by the clearance profile in the meaning of [STN 73 7507] standard.

The area in front of the portals and along the tunnel route has the character of farmland, forests and meadows. Existing buildings are located neither above the tunnel nor in the vicinity of the portals.

The builder and at the same time the future tunnel administrator is Národná dialničná spoločnosť, a. s. Bratislava (NDS a. s.).

The contractor for the D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka project is the „Združenie Ovčiarsko“ consortium with Doprastav, a.s. as the leader and Váhostav – SK, a. s., Strabag s. r. o. and Metrostav a. s. as members.

The direct contractor for the Žilina tunnel construction is Doprastav, a. s. Bratislava together with Metrostav a. s. Praha.

Client's supervision is carried out by employees of NDS a. s.

GEOLOGICAL AND GEOTECHNICAL CONDITIONS

Geological structure of the massif, tectonic conditions and slope movements

The ground massif is formed by series of Palaeogene claystone and sandstone strata with the prevalence of claystone throughout the length of the section being assessed. From the eastern portal (EP) it is overlain by a formation of Quaternary cover represented by a terrace and deluvial complex. The Quaternary terrace complex is represented by terrace clay and gravel with sandy interbeds.

Among the most important geodynamical processes developed in the Žilina tunnel corridor, there are slope movements, weathering, erosion and volumetric changes. A representation of the sliding-prone deluvium is developed in the surroundings of the western portal, but

Hydrogeologické pomery

Hladina podzemnej vody je v celej trase tunela nad projektovanou niveletou a má mierny vztlakový charakter. Hladina podzemnej vody v území bola zistená v hĺbke 2,4 m až 19,2 m a ustálila sa v hĺbke 0,73 m až 18 m. Terasy v oblasti západného portálu sú skrytým prestupom podzemných vôd do svahových sedimentov a spôsobujú podmáčanie a aktivizáciu zosuvu v km 33,580–33,668. Toto podmáčanie je evidentné na úpätí svahu a výrazné v zosuvnom území, kde okrem zamokrenia je možné pozorovať pramene vo svahu pod projektovaným portálom.

Geotechnické hodnotenie a rozdelenie masívu do geotechnických typov

Oblast' západného portálu je poznačená blízkostou potenciálneho prúdového zosuvu, ktorý je v súčasnosti stabilizovaný, ale intenzívne podmáčaný. Zosuvný materiál predstavuje ľ so strednou až vysokou plasticitou, s totálnou nasýtenosťou a prevažne tuhou až tuho-mäkkou konzistenciou (F6/CI, F8/CH). Vysoké vztlaky a lokálny výskyt organických látok si vyžiadajú sanáciu predmetného úseku (predpokladaný násyp) formou realizácie systému subhorizontálnych odvodňovacích vrtov s nevyhnutnou výmenou a definitívnu úpravou podložia (štrkopieskové rebrá, resp. úprava kamennou rovninanou). Podložie tvoria silne zvetrané až rozložené florce charakteru zemín, prevažne extrémne nízkej pevnosti R-6. V zóne zvetrania je zmenený flovec na ľ vysokej plasticity (F8/CH), tuhej až pevnej konzistencie. Na rozhraní kvartéru a podložných hornín paleogénu – zvetraných florcov je potrebné očakávať zvýšené prítoky podzemnej vody.

Oblast' východného portálu má v profile razenia obdobné geotechnické vlastnosti ako na západnom portáli, avšak výskyt nesúdržných terasových štrkov a pieskov v nadklenbovej časti ihneď od začiatku razenia vytvára podmienky nestability stropu. Nepriaznivý puklinový systém po svahu na kontakte s paleogénym podložím hrozí výdatnými prítokmi vody.

Horninový masív v celej dĺžke bol rozdelený na základné kvazi-homogénne úseky s charakteristickými geotechnickými parametrami – „Geotechnické typy“: G1, G2 a G3.

Tektonicky porušené florce sú výrazne mylonitizované a majú úlomky zväčša 1–2 cm, ojedinele do 8 cm. Intenzívne porušené florce sú prevrásnené, s vyhladenými plochami a málo výraznou tenkodoskovitou vrstevnatostou.

TECHNICKÉ RIEŠENIE A REALIZÁCIA

Technické riešenie tunela je navrhnuté tak, aby zodpovedalo požiadavke na životnosť min. 100 rokov (sekundárne ostenie tunela). Taktiež je navrhnuté tak, aby tunelové rúry a únikové cesty z hľadiska bezpečnosti a riadenia prevádzky zodpovedali požiadavkám platných predpisov. Celý tunel je projektovaný na diaľničnú dopravu, s dvomi priechodnými prepojeniami.

Pri návrhu ražby tunela Žilina sa uvažovalo nasadenie dovrchného razenia zo západného portálu (obr. 2), ktoré prebieha v súčasnej dobe. Predpokladané zložité geologické podmienky opísané v predchádzajúcej časti sa potvrdili už pri realizácii samotného portálu. V mieste realizácie už pred začatím prác boli viditeľné trhliny v teréne spôsobené zosuvným pásmom a intenzívne pramene a výtoky vody. Projektant zvýraznil nutnosť zrealizovania odvodňovacích vrtov dĺžky 100 m už v rámci prípravných prác. Postupná realizácia prác poukazuje, že v tejto geológii je voda sústredená v početných poruchových zónach a tieto vrtu pôsobia len lokálne. Aj keď z jedného vrtu tečie voda neustále od jeho navŕtania, susedný vrt situovaný cca o 2 m vedľa je suchý. Uvedená skutočnosť sa prejavila aj pri vŕtaní velkopriemerových pilót, keď hneď pri vŕtaní prvej pilóty bola narazená vztlaková voda v hĺbke 8 m a v priebehu 15 minút jej hladina stúpla o 4 m. Susedná pilota vzdialenosť 2,5 m bola takmer bez vody. Realizácia portálovej časti začala zaistením terénu zrealizovaním stien z vŕtaných velkopriemerových pilót dĺžky 10–16 m vo vrchnej časti zmonolitnených spriahajúcim vencom. Náročnosť geológie sa opäť prejavila pri zemných prácach keď už pri odkopaní 2 m terénu sa prejavili pohyby pilotových stien, čo sa prejavilo na dilatáciach

it does not immediately extend to the tunnel portal part; nevertheless, an open trench will be realised in its western periphery. The Palaeogene semi-rock complex was very significantly degraded to soils by weathering. The weathering zone reaches the depth even over 10m under the surface of the Palaeogene bed. More significant impacts of weathering are mainly in tectonically disturbed massifs or in massifs where claystone with a significant content of instable clayey materials is present.

Hydrogeological conditions

The water table is above the designed vertical alignment throughout the tunnel route and has a moderately uplifting character. The water table in the area was identified at the depth ranging from 2.4m to 19.2m and settled at the depth ranging from 0.73m to 18m. Terraces in the area of the western portal act as the hidden transmission of groundwater to slope sediments and cause wetting and activation of a landslide at km 33.580–33.668. This wetting is evident at the slope foot and is pronounced in the landslide area, where it is possible to observe not only wetting but even springs in the slope above the designed portal.

Geotechnical assessment and division of the massif into geotechnical types

The area of the western portal is affected by the vicinity of a potential flow landslide, which is currently stabilised, even if intensely wetted. The landslide material comprises clay with medium to high plasticity, total saturation and mostly stiff to stiff-soft consistency (F6/CI, F8/CH). High buoyancy forces and the local occurrence of organic matters call for the stabilisation of the section in question (a planned embankment) by a system of subhorizontal boreholes and the unavoidable exchange and final improvement of the sub-grade (gravel-sand ribs or hand-placed rubble). The sub-base is formed by heavily weathered to decomposed claystone with the character of soil and mostly extremely low strength R-6. In the weathering zone, the claystone is altered to high-plasticity clay (F8/CH) with stiff to hard consistency. At the interface between the Quaternary and the decomposed underlying Palaeogene rock – weathered claystone, it is necessary to expect increased rates of groundwater inflows.

The geotechnical properties of the area of the eastern portal are similar to those at the western portal, but the incoherent terrace gravels and sands occurring just from the beginning of the excavation create conditions for the roof instability. The unfavourable down-the-slope fissure system on the contact with the Palaeogene sub-bed threatens with abundant water inflows.

The ground massif is divided throughout its length into basic quasi-homogeneous sections with characteristic geotechnical parameters – „Geotechnical types“: G1, G2 and G3.

The tectonically disturbed claystone is markedly mylonitised and contains shards, mostly 1–2cm, sporadically up to 8cm. The intensely disturbed claystone is re-folded, slickensided and little distinct, thinly tabular bedding.

TECHNICAL SOLUTION AND REALISATION

The technical solution to the tunnel is designed to correspond to the requirement for the minimum life length of 100 years (the secondary tunnel lining). In addition, the design for the tunnel tubes and escape routes ensures that they will comply with requirements of applicable regulations regarding the safety and traffic control. The whole tunnel is designed for motorway traffic and contains two cross passages.

When the Žilina tunnel was being designed, it was assumed that the tunnel would be driven uphill from the western portal (see Fig. 2), which is currently underway. The anticipated complicated geological conditions described in the previous part were confirmed as early as during the realisation of the portal itself. Cracks in the terrain surface, which are caused by the landslide zone and intense



Obr. 2 Pohľad na západný portál
Fig. 2 A view of the western portal

spriahajúcich vencov. Osvedčila sa úzka spolupráca zhотовiteľa, projektanta a stavebného dozora, keď v krátkej dobe bolo nutné navrhnuť, odsúhlasiť a zrealizovať dodatočné zmonolitnenie spriahajúcich vencov. Postupným znižovaním terénu a kotvením pilótových stien pomocou lanových kotieva a kotevných prahov, za neustáleho merania a pozorovania pohybov stien aj okolitého terénu bol zrealizovaný západný portál až do úrovne razenia, v ktorej vzhľadom na geologiu bola zrealizovaná spevnená plocha z vrstvy hutnej štrkodravy a betónovej plochy spevnej KARI sieťou. Pred samotným začatím razenia sa vykonali potrebné opatrenia – ochranný mikropilótový dáždnik 114/6,3 dĺžky 20 m s razením v dĺžke 15 m na južnej tunelovej rúre a korytnačka v dĺžke 12,5 m na severnej tunelovej rúre ako súčasť objektu 441-00 – západný portál. Po prejdení tohto úseku razenie pokračovalo pod ochranou jedného radu samozávrtínych ihiel dĺžky 9 m. Ďalej razenie pokračovala vo vystrojovacej triede VT 7.2 a v súčasnosti vo VT 7.5. Na východnom portáli bude potrebné pred zarazením vybudovať ochranný dáždnik 114/6,3 dĺžky 20 m s razením v dĺžke 15 m. Postupy a členenie razenia sú znázornené v schémach razenia. Budovanie tunela sa realizuje cyklickým spôsobom razenia s horizontálnym členením výrubu na kalotu, stupeň a dno, resp. spodnú klenbu. Pričom s ohľadom na predpokladané inžinierskogeologicke pomery sa uvažuje primárne s rozpojovaním hornín a s razením pomocou tunelbagra.

Pri razení v oboch portálových oblastiach je potrebné čo najskôr uzavriť ostenu (dokončiť spodnú klenbu), aby sa predišlo veľkým deformáciám nadložia.

Postup razenia tunela

Razenie prebieha dovrchným spôsobom od západného portálu. Minimálna vzdialenosť čielieb severnej a južnej tunelovej rúry je stanovená projektantom na trojnásobok profilu tunela, tj. 40 m.

Profil tunela je horizontálne delený na kalotu, stupeň a dno, resp. spodnú klenbu. Každá z týchto častí sa vyrazí samostatne. Hned po vyrazení každej jednotlivej časti sa musí osadiť výstroj primárneho ostenia podľa navrhnutej triedy výrubu. Čelba po výrube sa nesmie nechať nevystrojená. Dodatočne s dostatočným odstupom od čelby sa budú raziť budúce čistiace výklenky, združené výklenky a zárodky priečnych prepojení. Minimálna vzdialenosť na ich razenie je od uzavretého ostenia tunela 25 m. Deformácie ostenia musia byť ustálené. Medzi jednotlivými cyklami, ktoré musia byť vždy kompletne ukončené, sa môžu vykonať doplňujúce činnosti, ako predĺženie elektrickej energie, tlakové vody a vzduchu, ventilácie, odvodňovacích rigolov, rampy pre transport rúbaniny a i. Dno sa vybuduje podľa výkresovej dokumentácie pre príslušnú triedu razenia. Spodná klenba zo striekaného betónu a ocelových výstužných sietí musí byť chránená pred poškodením dostatočnou vrstvou vhodného zásypového materiálu. Ako dočasný zásypový materiál môže byť použitý aj vhodný výrubový materiál. V súčasnosti vzhľadom na zastihnutú geologiu prebieha razenie tunela vo VT

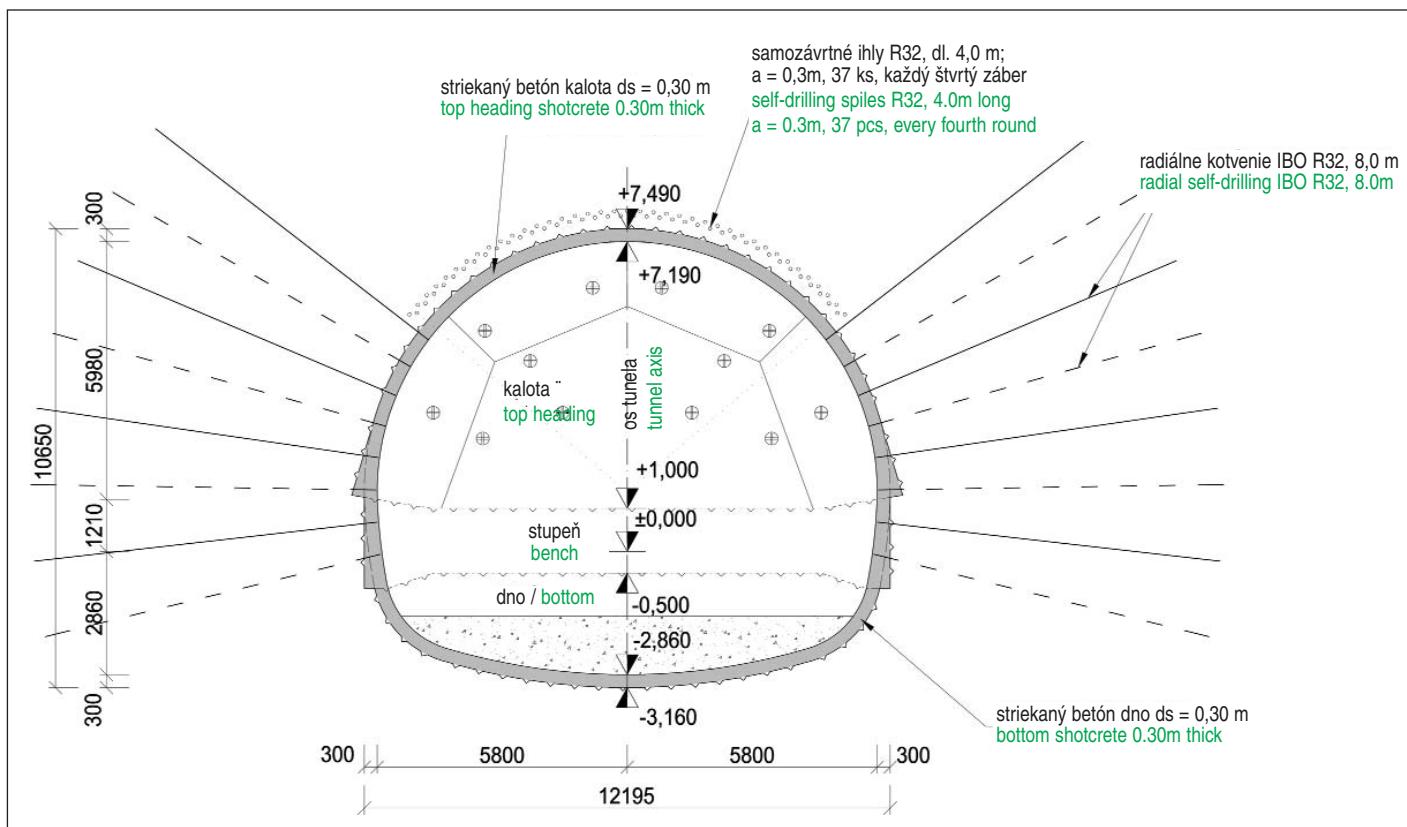
water outflows, were visible in the location of the realisation even before the commencement of the works. The designer put stress on the necessity of realising 100m long drainage boreholes already in the phase of enabling works. The gradual realisation of the works proves that water in this geology is concentrated in numerous fault zones and these boreholes are effective only locally. It is possible that even if water flows from one borehole continuously from the borehole completion, a neighbouring borehole ca 2m apart is dry. This reality manifested itself even when holes for large-diameter piles were being bored, where water buoyancy was encountered at the depth of 8m and the water table rose by 15m during 15 minutes. The neighbouring pile at the distance of 2.5m was virtually without water. The work on the portal part commenced by stabilising the terrain by large-profile bored piles 10–16m long, which were tied together at the top by a capping piece. The demanding character of the geology again manifested itself during earthmoving operations when movements of the pile walls appeared already when the terrain had been excavated to the depth of 2m. It became visible on expansion joints in the capping pieces. Close cooperation among the contractor, designer and client's supervision acquitted itself when it was necessary in a short time to design, have approved and realised supplementary making the capping beams tying the pies together fully continuous. The western portal was carried out up to the level of the tunnel excavation by gradual lowering of the terrain and anchoring the pile walls by cable anchors and walers, under continual measurements and observation of movements of the walls and the terrain in the vicinity. With respect to the geology, a hard surfaced area was realised at this level consisting of a layer of compacted crushed gravel and a concrete layer reinforced with KARI welded mesh. The following necessary measures were implemented prior to the commencement of the tunnel excavation: protective 20m long canopy pre-support consisting of 114/6.3mm tubes for the excavation section length of 15m, applied to the southern tunnel tube, and the "tortoise shell" along the length of 12.5m applied to the northern tunnel tube as parts of the construction object 441-00 – Western Portal. After the completion of this section excavation, the work continued under the protection of one tier of 9m long self-drilling spiles. Then the excavation continued through ESC 7.2 excavation support class ground and it currently proceeds through ESC 7.5 class ground. It will be necessary at the eastern portal to build canopy tube pre-support formed by 20m long, 114/6.3mm tubes for a 15m long excavation section prior to the opening of the tunnel excavation. The excavation procedures and the excavation sequence are presented in the excavation charts. The tunnel excavation is realised using a cyclical system, with the excavation sequence consisting of top heading, bench and bottom, respectively invert (the so-called "horizontal excavation sequence"). With respect to the anticipated engineering geological conditions, a tunnel excavator is planned for the primary disintegration of ground and excavation of the tunnel.

It is necessary during the course of tunnelling in both portal areas to close the lining block (to complete the invert) as quickly as possible so that large deformations of the overhead are prevented.

Tunnel excavation procedure

The tunnel is being driven uphill from the western portal. The minimum distance between the headings in both the northern and southern tunnel tube is determined by the designer as three times the tunnel profile, i.e. 40m.

The tunnel profile is horizontally divided into top heading, bench and bottom, respectively invert. Each of these parts is excavated separately. The primary support corresponding to the excavation support class specified by the design has to be installed immediately after the completion of the excavation of each particular part of the cross-section. The heading must not be left



Obr. 3 Vzorový priečny rez primárneho ostenia

Fig. 3 Typical cross section through the primary lining

7,5, ktorá bola dodatočne navrhnutá projektantom a zahŕňa kombináciu vystrojovacích prvkov opísaných v ďalšej časti. Ide o razenie v postupných krokoch, pričom dĺžka jedného záberu je stanovená na 0,8–1 m. Vždy pred začatím razenia ďalšieho cyklu je potrebné zabezpečiť nadložie tunela, čo prebieha pomocou injektovaných samozávrtných IBO kotiev \varnothing 51 dĺžky 9 m, umiestnených v každom druhom zábere tj. cca každé 2 m. Potom je možné odtažiť horninu na prvý záber dĺžky 1 m. Samotné odtažovanie je vzhľadom na nesúdržnosť horniny a výrazné prítoky vody potrebne realizovať čiastočným výrubom čelby s okamžitým stabilizovaním striekaným betónom. Po odtažení a zastabilizovaní celej čelby kaloty prebieha osadenie výstuže a výstužných oblúkových oceľových nosníkov a ich zastabilizovanie striekaným betónom, zrealizovanie radiálnych samozávrtných kotiev \varnothing 32 mm. Následne je možné zrealizovať ďalší 1m postup, z ktorého je opäťovne vŕtaný dáždnik zo samozávrtných IBO kotiev. Zaistenie stability čelby v súčasnosti prebieha pomocou 60 ks kotiev dĺžky 16 m prekotovaných každých 8 m. Vŕtanie čelbových kotiev je realizované pomocou špirálového vŕtaka so súčasnou stabilizáciou stien vrtu proti zavaľovaniu cementovým výplachom. Do vyvŕtaného otvoru vyplneného injektážou cementovou zmesou je osadená sklolaminiátová kotva dĺžky 16 m. Následne je otvor zaslepený a doinjektovaný. Uvedený spôsob zaistovania čelby je náročný na realizáciu vzhľadom na použitú technológiu a nutnosť ďalšieho strojného vybavenia, a aj časovú náročnosť na jej zrealizovanie, ale zatiaľ sa v uvedenej geológii prejavuje ako účinný.

Triedy razenia a vystrojenie primárneho ostenia

Pri cyklickom razení sa horninový masív zatriedil podľa TP 06-1/2006 do vystrojovacích tried. Tento technický predpis zadáva spôsob určenia ako aj zatriedenia a tried razenia do prehľadnej matice. Pre samotné určenie čísla triedy výrubu platia dve samostatné kritéria, ktoré sú charakteristické prvým a druhým určujúcim číslom. Prvé určujúce číslo zohľadňuje dĺžku záberu (výrubu) a horizontálne delenie razeného profilu. Druhé určujúce číslo je priamo závislé na množstve a druhu výstroja primárneho ostenia. Profil tunela je horizontálne delený na kalotu, stupeň a dno, resp. spodnú klenbu. Jednotlivé triedy výrubu pre kalotu, stupeň a dno,

unsupported when the excavation round is finished. Drainage cleaning recesses, combined recesses and germs of cross passages will be excavated subsequently. The minimum distance for their excavation is 25m behind the last closed lining block (ring). Lining deformations have to be stabilised. Supplementary activities, such as extending power lines, pressure water and air lines and ventilation ducts, ventilation, drainage ditches, the ramp for transport of muck etc., can be performed between individual excavation cycles, which have always to be completed. The bottom will be carried out in accordance with the design documentation for the respective excavation support class. The invert from shotcrete and welded mesh has to be protected against damage by a sufficiently thick layer of suitable backfill material. Suitable muck can also be used for temporary backfilling. At the moment, with respect to the encountered geology, ECC 7.5 is applied to the tunnel excavation. This class was additionally proposed by the designer; it comprises a combination of support elements described in the next chapter. It is a sequence of steps with the excavation round length set at 0.8–1m. Stabilising the tunnel overburden with 9.0m long, 51mm-diameter self-drilling IBO anchors is necessary prior to starting the next excavation cycle. The anchors are installed in every other round, i.e. every 2m. Only then is it possible to excavate ground in the first 1m long excavation round. With respect to the rock incoherence and significant water inflows, the excavation face must be divided into two parts and the excavated opening must be immediately stabilised with shotcrete. After the muck from the whole top heading is removed and the face is stabilised, shotcrete reinforcement and reinforcing lattice girders are installed and stabilised with shotcrete and radial self-drilling IBO anchors \varnothing 32mm. Currently, the excavation face is supported with 60 GRP anchors 16m long installed every 8m. Holes for the anchors are drilled into the excavation face by means spiral borers with concurrent stabilisation of borehole walls against collapsing by cement flush. Glassfibre reinforced plastic anchor 16m long are inserted into boreholes filled with cement injection grout. The hole is

resp. spodnú klenbu. V prípade potreby sa môžu prispôsobiť meniacim sa podmienkam. Ľubovoľná kombinácia tried razenia je možná, záleží na skutočných inžinierskogeologických a geotechnických pomeroch priamo na čelobu. Pred každým záberom sa priamo na stavbe po dohode medzi stavebným dozorom investora a stavbyvedúcim z dodávateľskej firmy určí trieda výrubu.

Tabuľka 1 Prehľad vystrojovacích tried podľa TP 06-1/2006

vystrojovacia trieda	kalota	stupeň	dno
VT 5	5 / 4,42	5 / 3,44	4 / 4
VT 6/1	6 / 7,37	6 / 10,14	5 / 4
VT 6/2	6 / 7,94	6 / 10,14	5 / 4
VT 7/1	7 / 15,30	7 / 13,25	6 / 4
VT 7/2	7 / 17,61	7 / 13,25	6 / 4
VT 7/3	7 / 16,84	7 / 13,63	6 / 4
VT 7/4	7 / 16,84	7 / 13,64	6 / 4
VT 7 MP	7 / 14,36	7 / 13,25	6 / 4

Prvky vystrojenia primárneho ostenia

Zaistenie výrubu a jeho vystrojenie (obr. 3) sú prostriedky na zabezpečenie stability výrubu a na vytvorenie odporu zaťaženiu horninovým tlakom priamo na hrane výrubu.

Striekaný betón na primárne ostene je štandardne navrhnutý triedy C25/30-X0-CI1,0-Dmax8 J2. Z dôvodu častých nepriaznivých geologickej podmienok a prítokov vody je potrebné v takýchto úseku používať betón z hladiska nárustu pevnosti v triede J3. Z dôvodu hrúbky primárneho ostenia (podľa konkrétnej vystrojovacej triedy) 25–35 cm je potrebné betón nanášať v dvoch vrstvách. Oceľová výstuž striekaného betónu je navrhnutá zo zváraných oceľových sietí 8x8/150x150 mm ocele triedy B500B. Siete sú uložené v jednej alebo dvoch vrstvách vždy podľa príslušnej vystrojovacej triedy. K prútom sietí sa v radiálnom smere pripievňuje prídavná prútová výstuž Ø 10 mm z betonárskej ocele B500B, podľa príslušnej vystrojovacej triedy. Pre primárne ostenie kaloty, stupňa a dna sú navrhnuté oblúkové oceľové nosníky z ocele triedy B500B podľa príslušnej vystrojovacej triedy. Nosníky v dne nemajú statickú funkciu, ale sú používané z dôvodu dodržania tvaru protiklenby. V kalote sú nosníky osadené v každom zábere, v stupni v každom druhom zábere kaloty a v dne v každom štvrtom zábere kaloty. Na bežný profil tunela je pre vystrojovacie triedy navrhnuté systematické kotvenie horninovými kotvami podľa príslušných geologickej podmienok a vystrojovacích tried. V miestach s mierne tektonicky narušenou skalou horninou sú navrhnuté maltované kotvy dĺžky 4 m. Vzhľadom na v súčasnej

subsequently blinded and grouting is completed. It is true that the above-mentioned method of stabilising the excavation face is demanding as far as the realisation is concerned, with respect to the technology used and the necessity of additional mechanical equipment, but also the time intensity of its realisation, but for the time being it seems to be effective in the particular geology.

Excavation classes and primary support

The ground mass was categorised during the cyclical excavation into excavation support classes according to TP 06-1/2006 specifications. This technological regulation presents the method of the determination and categorisation into classes in a synoptic matrix. Two independent criteria apply to the determination of the excavation support class number itself. They are characterised by the first and second determining number. The first determining number takes the excavation round length and the horizontal division of the profile into consideration. The second determining number is directly dependent on the amount and type of the primary lining support. The tunnel profile is divided horizontally into top heading, bench and bottom, respectively invert. Individual excavation classes for the top heading, bench and bottom, respectively invert. If necessary, they can be adapted to changing conditions. Any combination of the excavation classes is possible. It depends on actual geological and geotechnical conditions existing directly at the excavation face. The excavation support class is determined before each excavation round directly on site, after the client's supervision and contractor's site agent come to agreement.

Tab. 1 Overview of ESCs according to TP 06-1/2006

excavation support class	top heading	bench	bottom
ESC 5	5 / 4.42	5 / 3.44	4 / 4
ESC 6/1	6 / 7.37	6 / 10.14	5 / 4
ESC 6/2	6 / 7.94	6 / 10.14	5 / 4
ESC 7/1	7 / 15.30	7 / 13.25	6 / 4
ESC 7/2	7 / 17.61	7 / 13.25	6 / 4
ESC 7/3	7 / 16.84	7 / 13.63	6 / 4
ESC 7/4	7 / 16.84	7 / 13.64	6 / 4
ESC 7 EC	7 / 14.36	7 / 13.25	6 / 4

* EC – extraordinary conditions

Primary support elements

The excavation stabilisation and support (see Fig. 3) are means of the stabilisation of the excavation and creation of resistance against the ground pressure immediately at the excavation edge.

Primary lining shotcrete grade C25/30-X0-CI1,0-Dmax8 J2 is designed as a standard. In the frequently unfavourable geological and water inflow conditions, concrete has to be designed with the early strength gain on J3 curve. Because of the primary lining thickness of 25 – 30cm (depending on the excavation support class), shotcrete has to be applied in two layers. Steel reinforcement of shotcrete is designed to consist of 8x8 /150x150 mm welded mesh, steel grade B500B. Mesh is placed in one or two layers, always depending on the excavation support class. Supplementary reinforcing rods Ø 10mm from steel grade B500B are fixed to the mesh in the radial direction (depending on the excavation support class). Lattice girders from steel grade B500B are designed (depending on the excavation support class) for the top heading, bench and bottom primary lining. The girders at the bottom have no structural function; they are used because of maintaining the invert geometry. In the top heading, the girders are



Obr. 4 Realizácia IBO dáždnika

Fig. 4 Realisation of the IBO anchor canopy pre-support



Obr. 5 Pohľad na masívne zakotvenie čelby
Fig. 5 A view of the massive anchoring of the excavation face

dobe zastihnutú geológiu sú používané samozávrtné kotvy Ø 32 mm dĺžky 4 až 8 m. Na zabezpečenie čelby je využívaná predhánaná výstuž osadená v korune kaloty pred samotným výrubom ďalšieho záberu. Pre cyklické razenie tunela je navrhnutá predhánaná výstroj tvorená oceľovými ihlami alebo samozávrtnými ihlami Ø 32 mm dĺžky 4 m alebo Ø 51 mm dĺžky 9 m. V terajších geologických podmienkach sú využívané samozávrtné ihly Ø 51 mm dĺžky 9 m (obr. 4), ktoré sú vŕtané v každom druhom zábere kaloty. V prípade nestabilných geologických podmienok je navrhnuté kotvenie čela výrubu pomocou zväzku prútov z betónarskej ocele B500B 3x Ø 16 mm alebo 2x Ø 20 mm. Nakolko v súčasne zastihutej geológií nie je možné uvedený návrh využiť, je realizované zabezpečenie pomocou samozávrtných kotiev Ø 32 mm a maltovaných sklolaminátových kotiev dĺžky podľa zastihutej geológie 8 až 16 m (obr. 5). Na zainjektovanie kotiev a zlepšenie horninového prostredia sú používané injektážne malty z cementu alebo špeciálne injektážne malty.

Po zrealizovaní primárneho ostenia a dosiahnutí maximálnych rýchlosť nárastu deformácie je možné pokračovať v profilácii primárneho ostenia tunela, budovania hydroizolačného systému a realizácie sekundárneho ostenia tunela.

MONITORING

Vzhľadom na náročnosť predpovede geotechnického správania je pri výstavbe stavebných jám ako aj tunelových rúr použitá pozorovacia metóda výstavby. Na jej použitie je nevyhnutné vykonávanie geotechnického monitoringu (GTM). Geotechnický monitoring je nepostrádajúcou súčasťou NRTM, ktorá je observačnou metódou výstavby tunelov. Metóda spočíva v priebežnom sledovaní priebehu výstavby, keď spôsob razenia a zabezpečenia výrubu, resp. hlbenie portálových jám sa upravujú na základe skutočného správania sa interakcie horninových masívov – primárne ostenie, resp. konštrukcie zaistenia svahov.

Geotechnický monitoring zahŕňa inštaláciu meracích miest, vykonávanie meraní a sledovaní, zber nameraných dát a poznatkov, ich vyhodnotenie a následný rozhodovací proces vychádzajúci z definície varovných stavov a opatrení v rovine technickej, technologickej a bezpečnostnej. Na účely zberu nameraných hodnôt, ich centrálnu evidenciu, archiváciu a na prípravu podkladov na vyhodnocovanie a tvorbu výstupných dát, bola zriadená kancelária geomonitoringu. Všetky namerané dáta sú ukladané do informačného databázového systému BARAB, ku ktorému majú prístup zástupcovia jednotlivých účastníkov výstavby.

Analýza geotechnických rizík je základom návrhu programu monitoringu. Riziká v etape výstavby tunelových rúr a portálových objektov môžu byť predpokladané na základe prognózy geologicko-tektonickej stavby masívu, hydrogeologických pomerov, mineralogicko-litológického zloženia hornín a prognózy geotechnických pomerov z vykonaných geologických prieskumov. Masív je na

installed in each excavation round, while in the bench they are in every other excavation round and in the bottom in every fourth round, joining the respective girders from the top heading. Systematic anchoring using rock bolts is designed with the quantity per running meter depending on the respective geological conditions and excavation support classes. Grouted anchors 4m long are designed for locations with the rock mass moderately tectonically disturbed. Self-drilling anchors Ø 32mm, 4 to 8m long are used. Pre-support installed in the top heading crown prior to the excavation of the next round is used for stabilising the excavation face. Pre-support formed by steel piles or self-drilling piles Ø 32mm, 4m long or Ø 51mm, 9m long are used for the cyclical excavation. Self-drilling piles Ø 51mm, 9m long are used in the current geological conditions (see Fig. 4). They are installed in every other round of the top heading excavation with respect to the current geological conditions. In the case of instable geological conditions, bundles of B500B steel reinforcement bars 3x Ø 16mm or 2x Ø 20mm are designed for anchoring the excavation face instable geological conditions. Since this design cannot be applied in the geology, the support is carried out using self-drilling anchors Ø 32mm and grouted glassfibre reinforced plastic anchors with the lengths ranging from 8m to 16m, depending on the geology encountered (see Fig. 5). Cementitious injection grouts or special injection grouts are used for grouting the anchors and improving the ground environment.

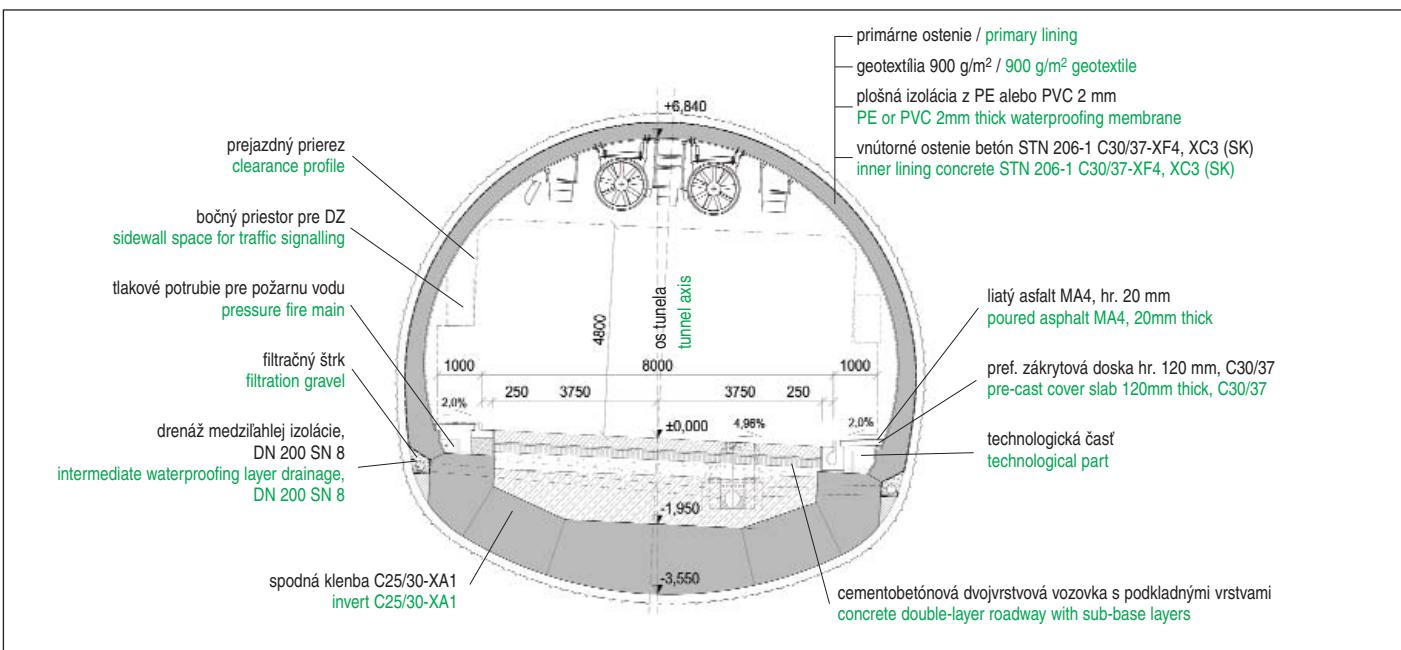
When the primary lining is completed and the maximum deformation growth rate is reached, it is possible to continue in profiling the tunnel primary lining, installing the waterproofing system and realising the secondary tunnel lining.

MONITORING

With respect to the demanding character of forecasting geological behaviour, an observational method of construction is applied to the execution of construction pits and tunnel tubes. Geotechnical monitoring (GTM) is necessary for the application. Geotechnical monitoring is an indispensable part of the NATM, which is a tunnel construction observational method. This method lies in the continual monitoring of the construction process, with modifying the excavation procedure and excavation support of the tunnel, respectively excavation of portal pits, on the basis of the actual behaviour of the ground mass–primary lining, respectively the slope stabilisation structure, interaction.

Geotechnical monitoring comprises the installation of measurement points, execution of measurements and monitoring, collection of measured data and findings, their assessment and the subsequent decision-making process based on the definition of warning states and measures in the fields of technique, technology and safety. A geomonitoring office was established for the purposes of the collection of measured values, central recording and filing and the preparation of source documents for assessing and developing output data. All measured data is stored in the BARAB information database system, which is accessible for representatives of individual parties to the construction.

The analysis of geotechnical risks is the basis for the monitoring programme design. Risks in the stage of constructing tunnel tubes and portal structures can be assumed on the basis of a prognosis of the geological-tectonic structure of the massif, hydrogeological conditions, mineralogical-lithological composition of rock mass and a prognosis of geotechnical conditions based on completed geological surveys. The massif is divided on the basis of the criteria into quasi-homogeneous blocks with specified geotechnical sections.



Obr. 6 Vzorový priečny rez sekundárneho ostenia

Fig. 6 Typical cross section through the secondary lining

základe kritérií rozčlenený na kvázi homogénne úseky s vyčlenenými geotechnickými úsekmi.

Program geotechnického monitoringu je navrhnutý z týchto dôvodov:

- kontrola stability svahov stavebných jám;
- kontrola stability portálových objektov;
- kontrola stability výruba;
- kontrola namáhania prvkov ostenia;
- zaistenie bezpečnosti pracovníkov a mechanizmov;
- rozpoznanie ekonomických rezerv (hospodárnosť výstavby);
- stanovenie geometrických tolerancií na základe sledovania deformácií výruba.

Program geotechnického monitoringu pozostáva z:

- geotechnickej dokumentácie;
- meracieho programu;
- interpretácie meraní a rozhodovania vyplývajúceho z posúdenia varovných stavov.

ZÁVER

Priebeh prác zrealizovaných v čase písania článku potvrdzuje a dokonca aj zvyšuje obavy z predpokladaných nepriaznivých geologickej podmienok, ktoré sa už pri navrhovaní tunela javili ako náročné.

Doterajší postup prác v zastihnejtej geológii a na základe geotechnických meraní si vyžaduje operatívny prístup zhotoviteľa, projektanta, geológa a geotechnika k úspešnému a bezpečnému postupu prác.

Ing. MARTIN VALKO, martin.valko@doprastav.sk,
MICHAL FUČÍK, michal.fucik@doprastav.sk,

Doprastav, a. s., závod Žilina,

Ing. ANDREJ KORBA, andrej.korba@metrostav.cz,

Metrostav a. s.,

Ing. RÓBERT ZWILLING,

robert.zwilling@baslerhofmann.sk,

Basler&Hofmann Slovakia s. r. o., **Ing. OTA JANDEJSEK**,
ota.jandejsek@arcadis.cz, ARCADIS CZ a. s.

Recenzovali: **Ing. Jiří Růžička**, **Ing. Jaroslav Lacina**

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Projektová dokumentácia tunela Žilina, (Basler & Hofmann Slovakia s. r. o.) DRS, 9/2014
- [2] Inžinierskogeologický prieskum tunela Žilina (Súťažné podklady – NDS)

The geotechnical monitoring programme is proposed for the following reasons:

- checking on the stability of slopes of construction pits;
- checking on the stability of portal structures;
- checking on the stability of excavated openings;
- checking on stresses in the tunnel excavation support elements;
- ensuring safety of workers and mechanical equipment;
- identifying economic reserves (construction economy);
- setting geometrical tolerances on the basis of monitoring the excavation deformations.

The geotechnical monitoring program consists of:

- geotechnical documentation;
- programme of measurement;
- the interpretation of measurements and making decisions following from the assessment of warning states.

CONCLUSION

The course of the work completed until the moment of writing this paper confirms and even increases the fears of anticipated unfavourable geological conditions, which appeared to be complicated already when the tunnel design was being worked on.

The current progress of the works in the geology encountered and the results of geotechnical measurements require the operative approach of the contractor, designer, geologist and geotechnician, if the works are to be successful and safe.

Ing. MARTIN VALKO, martin.valko@doprastav.sk,
MICHAL FUČÍK, michal.fucik@doprastav.sk,

Doprastav, a. s., závod Žilina,

Ing. ANDREJ KORBA, andrej.korba@metrostav.cz,

Metrostav a. s.,

Ing. RÓBERT ZWILLING,

robert.zwilling@baslerhofmann.sk,

Basler&Hofmann Slovakia s. r. o.,

Ing. OTA JANDEJSEK, ota.jandejsek@arcadis.cz,

ARCADIS CZ a. s.

VÝSTAVBA TUNELOV NA SLOVENSKU KLASICKÝMI METÓDAMI

DEVELOPMENT OF TUNNELS IN SLOVAKIA USING CLASSICAL CONSTRUCTION METHODS

FRANTIŠEK KLEPSATEL, JANA CHABROŇOVÁ

ABSTRAKT

Tento príspevok sa zamerá na výstavbu dopravných tunelov, ktoré boli postavené do roku 1966, resp. 1970, keď sa skončila jedna etapa výstavby klasických tunelov na Slovensku. Táto etapa výstavby tunelov je rozdelená do troch období, ktoré vyplynuli z historického hľadiska: obdobie Rakúsko-Uhorska, obdobie prvej Československej republiky a obdobie druhej svetovej vojny a po jej skončení až do roku 1960, resp. 1970. Väčšinou sa stavali železničné tunely, pretože vývoj automobilizmu začal neskôr. Cestné tunely boli v tomto období na Slovensku vybudované len dva a ďalšie dva zostávajú len ako technická pamiatka.

ABSTRACT

This paper focuses on the development of the transport tunnels that were built before 1966, or 1970, when one stage of the construction of classical tunnels in Slovakia ended. This stage is divided into three periods following from the historical perspective: the Austro-Hungarian period, the First Czechoslovak Republic period and the period of World War II and after its end, until 1960, or 1970 respectively. Railway tunnels were built most frequently because of the fact that the development of motoring commenced later. There were only two road tunnels built in Slovakia during this period and other two remain as technical monuments.

1. ÚVOD

Už v staroveku v Európe vznikali obchodné cesty severo-južného smeru, spájajúce Stredozemné a Baltické more. V smere na sever ich využívali najmä na dopravu pazúrika, zbraní, jemných látok a neskôr na dopravu bronzových výrobkov, opačne zas na kožušiny, vlnu a jantár. Jantárová cesta smerovala cez územie Slovenska. Tieto cesty mali charakter presekaného ušliapaného chodníka. Na týchto obchodných trasách postupne vyrastali mestá, ktoré z obchodu bohatli. Skutočné cesty so spevneným povrchom budovali na svojom území len Rimania, a to hlavne zo strategických dôvodov, na presun svojich légií. Za vlády cisára Augusta v 1. storočí pred našim letopočtom bolo vybudovaných 16 cestných tunelov, z ktorých najdlhší bol Grotta di Posillipo s dĺžkou 770 m. Všetky tunely boli razené v mäkkých vulkanických horninách.

Rozpadom Rímskej ríše výstavba tunelov zanikla. Začali sa postupne budovať po viac ako 1000 rokoch až začiatkom novoveku. V tomto období sa na prepravu nákladu využívala hlavne lodná doprava. Na Slovensku sa najviac využívali rieky Dunaj a Váh, v menšom rozsahu aj Kysuca, Orava, Hron, Slaná, Ipeľ, Hornád, Nitra, Tisa a iné.

Nástupom priemyselnej revolúcii tento stav sa stal neudržateľný. Bohaté štáty najmä Francúzsko, Nemecko, Belgicko a Veľká Británia začali svoje „vodné cesty“ vylepšovať prepojovaním splavných riek plavebnými kanálmi. Na ich trasách sa už od poslednej tretej 17. storočia začali budovať plavebné tunely, z ktorých najvýznamnejšie mali dĺžku až niekoľko kilometrov. Prvý významný prieplavný tunel bol tunel Du Malpas s dĺžkou 157 m a šírkou 6,7–8,2 m, ktorý bol súčasťou prieplavu Canal du Midi. Prieplav Canal du Midi bol vybudovaný vo Francúzsku v rokoch 1666–1681 Pierrem Riquetom spájajúcim Atlantik a Stredozemné more. Výstavbou tohto tunela začala éra klasických tunelov.

Na Slovensku v tom čase neboli záujem o výraznejšie zlepšovanie vodných ciest. Už začiatkom 19. storočia existovalo na Slovensku cca 1000 km poštových, obchodných a tzv. obyčajných ciest, z ktorých necelá tretina mala upravený povrch. Najdlhšia trasa viedla z Viedne cez Bratislavu, Sered',

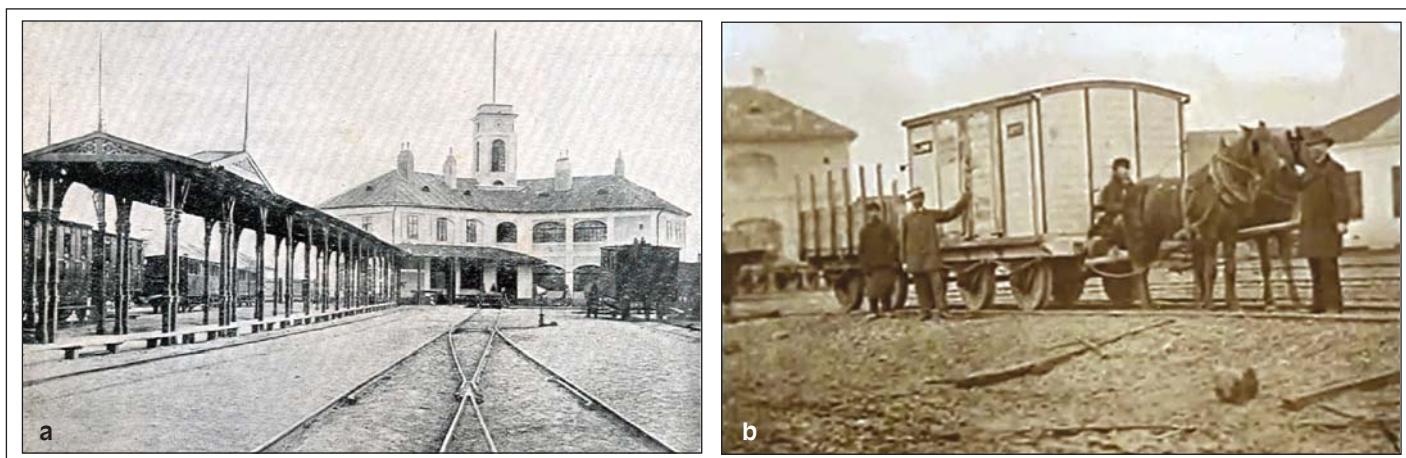
1. INTRODUCTION

The process of developing north-south heading trade routes connecting the Mediterranean Sea with the Baltic Sea existed already in the Antiquity. In the direction towards the north they were used mostly for the transport of flint, arms, fine fabrics and, later, for the transport of bronze wares, whilst furs, wool and amber were transported in the opposite direction. The so-called Amber Transport Route led across the Slovakian territory. These routes had the character of trampled walkways. Towns enlarging their wealth from the trade gradually grew on these routes. Real hard-surfaced roads were built only by Romans in their territories, mainly for strategic reasons, to allow for the movement of their legions. Sixteen road tunnels were built during the reign of the Emperor Augustus in the 1st century BC, with the 770m long Grotta di Possilipo tunnel being the longest of them. All of the tunnels were driven through soft volcanic rock.

The process of building tunnels ceased as a result of the disintegration of the Roman Empire. Building tunnels gradually started after over 1000 years, at the beginning of the modern era. In this period, loads were transported mainly by ships. In Slovakia, the Danube and the Váh were the most frequently used rivers; the Kysuca, Orava, Hron, Slaná, Ipeľ, Hornád, Nitra, Tisa and other rivers were used to a smaller extent.

This state became unsustainable with the onset of the industrial revolution. Rich states, such as France, Germany, Belgium and Great Britain, started to improve their waterways by interconnecting navigable rivers by shipping canals. As early as the last third of the 17th century, they started to develop navigational tunnels on their routes, the most important of which were up to several kilometres long. The first important tunnel passable for ships was the 157m long and 6.7–8.2m wide Du Malpas tunnel, which was part of the Canal du Midi. The Canal du Midi was developed in France during the period between 1666–1681 by Pierre Riquet to connect the Atlantic Ocean with the Mediterranean Sea. The era of classical tunnels commenced by the development of this tunnel.

At that time, no interest was devoted to more significant



Obr. 1 a) Stanica konskej železnice v Bratislave b) vozeň konskej železnice
Fig. 1 a) Horse railway station in Bratislava, b) horse railway carriage

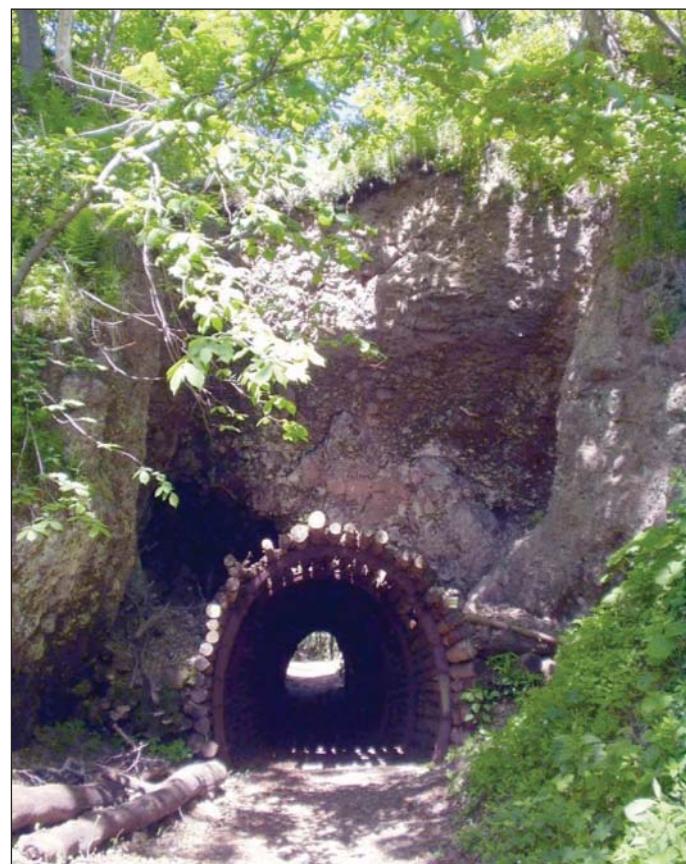
Budapešť, Debrecín do Sibiu vtedajšieho Sedmohradská. Lokálne sa začína vo viacerých európskych krajinách používať „konská“ železnica, kde najprv na drevených, neskôr na liatinových kolajniciach dopravovali cestujúcich v uzavretých voznoch. Napriek inováciám v poštovej doprave výstavbu ciest v Uhorsku napokon predstihla výstavba železníc. Od roku 1846 na Slovensku takúto železnicu prevádzkovala Bratislavsko – Trnavská železničná spoločnosť na trati z Bratislavы cez Jur, Pezinok a Trnavu do Serede (obr. 1). Koniec konskej železnice nastal v 60. rokoch 19. storočia.

Najstarší doposiaľ používaný cestný tunel v Európe dlhý 131 m je pod hradným vrchom Mönchberg v Salzburgu. Bol razený v rokoch 1765 až 1774 v tvrdých jemnozrnných pieskovcoch.

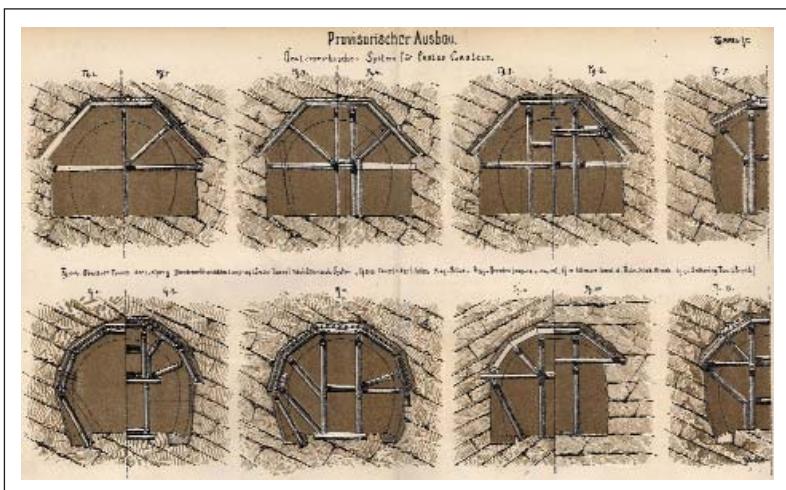
Len málo nezainteresovaných ľudí vie, že na Slovensku v Kremnických vrchoch je pravdepodobne najstarší tunel strednej Európy – Görgelyho (Görgeiho) tunel, ktorý však nevyhovuje požiadavkám na moderné cestné tunely. Je situovaný v hrebeňovej časti Kremnických vrchov v nadmorskej výške asi 1150 m, nedaleko turisticko-lyžiarskeho strediska Skalka, na starej baníckej ceste. Táto cesta sa používala hlavne na prepravu farebných kovov (med'a striebro) zo Španej doliny do Kremnice. Tunel slúžil aj na prechod pútnikov z Turca a horného Ponitria do pútnickej lokality Staré hory. Tunel podchádza v dĺžke cca 20 m skalnatý hrebeň v terénnej depresii pozdĺž poruchovej zóny v zvetraných andezitoch. Bol vyrazený v 16. storočí v čase najväčšieho rozvoja tăžby v období pôsobnosti Thurzovsko – Fuggerovských tăžiarov (obr. 2). Výrub bol zabezpečený len výdvrevou, ktorá časom doslúžila, a tak došlo k závalu pri západnom portáli v dĺžke 7 m. Na tunnel sa zabudlo. Rozmery svetlého prierezu vyhovovali len na dopravu nákladných povozov.

Veľa historických osobností prešlo týmto tunelom, napr. cisársky generál Schlick z Banskej Bystrice do Bojníc 20. novembra 1703, budúci rakúsko-uhorskí cisári Jozef II. s bratom Leopoldom pri ich návštive v roku 1764. V januári 1849 ustupovala cez tunnel z Kremnice do Banskej Bystrice armáda plukovníka Aulicha pod vedením generála Artúra Görgeiho, po ktorom získal aj svoj názov. Počas Slovenského národného povstania v roku 1944 prevážali cez tunnel zlatý poklad zo Štátnej mincovne v Kremnici do Národnej banky v Banskej Bystrici. Od roku 1955 bol tunnel zasypaný. Z iniciatívy banskobystrických turistov bol tunnel po roku 1996 vyčistený a zabezpečený oceľovými korýtkovými oblúkmami. Výška prierezu je premenlivá v rozmedzí 2 až 4 m. V súčasnosti slúži už len ako atrakcia a je technickou pamiatkou.

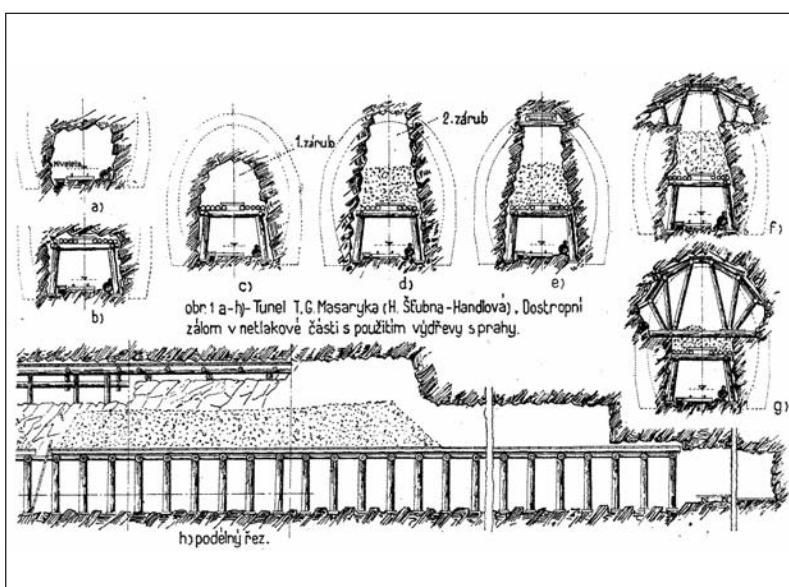
improving waterways in Slovakia. Roughly 1000km of mail, trade and so-called common roads existed in Slovakia as early as the beginning of the 19th century; nearly one third of them had a hard surface. The longest route led from Vienna via Bratislava, Sered, Budapest and Debrecen to Sibiu in the historical region of Transylvania. Horse railways, where passengers were transported in enclosed carriages, in the beginning running on wooden rails and later on cast-iron rails, started to be locally used in several European countries. Despite innovations in mail transport, the development of roads in Hungary was eventually overtaken by the development of railways. Such a railway was operated in Slovakia from 1848 by the Bratislava – Trnava railway company on the track leading from Bratislava via Jur, Pezinok and Trnava to Sered (see Fig. 1). The end of the horse railways took place in the 1860s.



Obr. 2 Görgelyho tunel
Fig. 2 Görgely tunnel



Obr. 3 Schéma rakúskej metódy
Fig. 3 Chart of the Austrian method



Obr. 4 Schéma dostropného záľomu Bralského tunela
Fig. 4 Chart of the heading to top of arch in the Bralo tunnel

2. KLASICKÉ ŽELEZNIČNÉ TUNELY NA SLOVENSKU

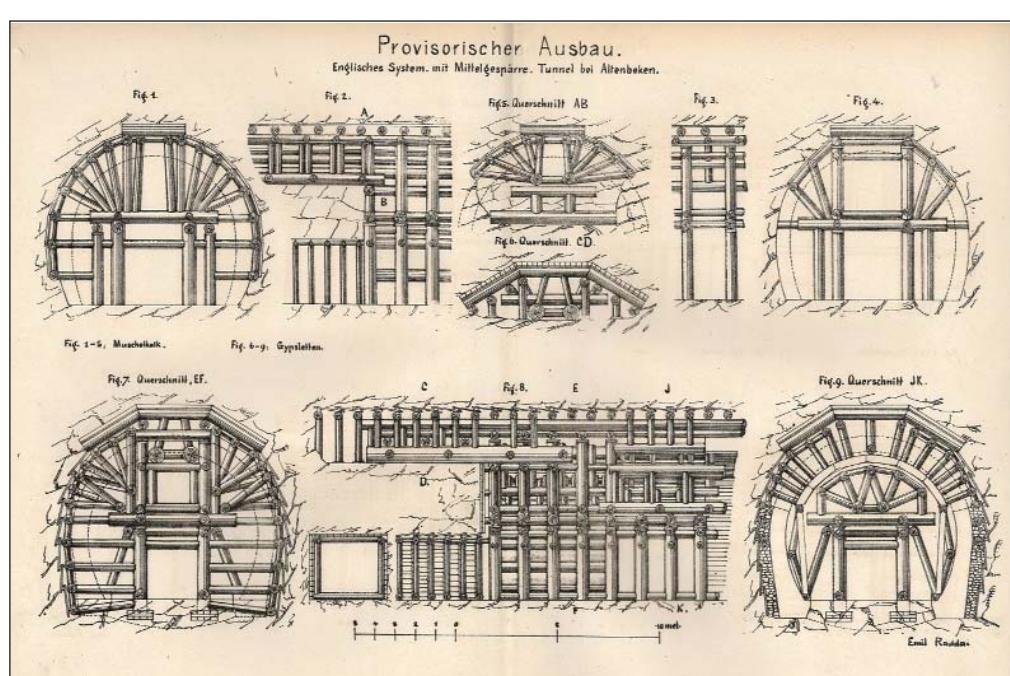
Prvý železničný tunel pre parnú trakciu v Európe bol postavený v rokoch 1826 až 1832 pri meste Leicester (Veľká Británia) prakticky súbežne s výrobou prvej parnej lokomotívy Rockett vynálezcu G. Stephensonu. V ďalšom desaťročí 19. storočia sa v technicky vyspelých štátach začala intenzívna výstavba železníc a tým aj železničných tunelov.

Všeobecne sa za klasické, historické označujú tunely, pri výstavbe ktorých sa na dočasné zabezpečenie výruba používala výdrevá. Na Slovensku mala monopolné postavenie z klasických tunelovacích metód tzv. Moderná (modifikovaná) rakúska tunelovacia metóda (obr. 3) s jej modifikáciami, napr. dostropným záľomom, ktorý bol

The oldest road tunnel still used in Europe is the 131m long tunnel under the Mönchberg castle hill in Salzburg. It was driven through hard fine-grained sandstone during the 1765–1774 period.

Only few uninformed people know that the probably oldest tunnel in Central Europe, the Görgely tunnel, exists in Slovakia, in the Kremnica Mountains; unfortunately, the tunnel does not meet requirements for modern road tunnels. It is located in the crest part of the Kremnica Mountains, at the altitude of about 1150m, near the Skalka tourist and skiing centre, on an old mining road. This road was used mainly for the transport of non-ferrous metals (copper and silver) from Špania Dolina to Kremnica. The tunnel was in addition used by pilgrims for passing from Turiec and the upper part of the region of Nitra to the pilgrimage locality of Stará Hora. The tunnel passes at the length of ca 20m under a hard rock crest in a terrain depression, along a fault zone, through weathered andesite. It was driven in the 16th century, in the period of the greatest development of mining, in the period of Thurso – Fugger miners (see Fig. 2). The excavation was supported only with timbering, which served its time and, eventually, a 7m long section collapsed at the western portal. The tunnel was forgotten. The net profile dimensions were sufficient only for freight carts.

Many historical figures passed through this tunnel, for example imperial general Schlick passed from Banská Bystrica to Bojnice on the 20th November 1703 or the future Austro-Hungarian emperors Joseph II with his brother Leopold passed it during their visit in 1764. In January 1849, the army of colonel Aulich led by general Arthur Görgey, after which the tunnel obtained its name, retreated through the tunnel from Kremnica to Banská Bystrica. During the Slovak National Uprising in 1944, the golden treasure was transported from the State Mint in Kremnica to the National Bank in Banská Kremnica. In 1955, the



Obr. 5 Schéma anglickej metódy
Fig. 5 Chart of the English Method

pokusne použitý na Bralskom tuneli v úsekoch s netlačivou horninou (obr. 4). Z ďalších metód, nasadených na výstavbu tunelov, bola anglická metóda použitá len na prvej rúre Bratislavského tunela (obr. 5). Na Bujanovskom tuneli sa tiež vyskúšala podchycovacia (belgická) tunelovacia metóda (obr. 6). Pri rakúskej metóde sa výrub prierezu tunela začína spodnou, tzv. smerovou štôlňou, z ktorej sa výrub rozširuje na plný prierez po pracovných pásoch, obvykle dĺžky 8 m. Touto štôlňou sa vykonal podrobny geotechnický prieskum; ďalej sa využívala na dopravu, kontrolu smerového vedenia a otvorenie viacerých čielieb (obr. 8 až 10). Nakladanie a odvoz rozpojenej horniny obvykle prebiehal úzkorozchodnou koľajovou dopravou. K realizácii definitívneho zabezpečenia výrubu (masívneho murovaného ostenia) sa pristupovalo až po dokončení výrubu v jednom alebo viacerých pásoch. Pri podchycovacej metóde sa vykonávali výrubové práce a následne murovanie klenby, ktorá sa potom striedavo podchytávala s murovaním masívnych opôr.

Používanie klasických metód bolo u nás ukončené rokom 1960, aj keď dokončovacie práce dvoch tunelov – Ružbašského a Miľavského – sa pretiahli až za tento termín. Do roku 1960 sa na Slovensku postavilo 80 tunelov (z toho 7 dvojkoľajných) celkovej dĺžky cca 47 km, z ktorých je už niekoľko vyradených z prevádzky. Obdobie, v ktorom boli tieto tunely vybudované, je možné rozdeliť do troch časových úsekov:

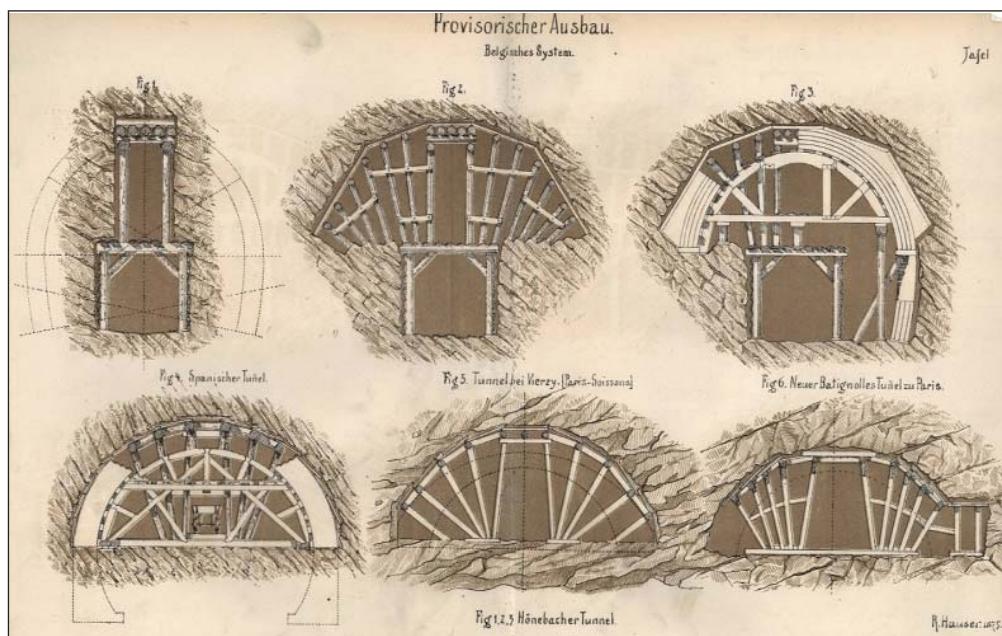
1. Rakúsko-uhorská monarchia – roky 1848 až 1912 (vybudovaných 21 tunelov, tab. 1),
2. prvá Československá republika, roky 1925 až 1938 (vybudovaných 29 tunelov, tab. 2),
3. roky 1939 až 1966, roky 2. svetovej vojny (Slovenský štát) a povojnové obdobie (postavených 30 tunelov, tab. 3).

Od roku 1966 do 2010, keď sa začala výstavba tunela Turecký vrch, na Slovensku neboli vybudovaný žiadny železničný tunel.

Tab. 1 Tunely, budované za Rakúsko-uhorskej monarchie

Table 1 Tunnels built under the Austro-Hungarian monarchy

tunel tunnel	definičný úsek definition section	dĺžka v m length in m	rok ukončenia year of completion
Marchegg – Bratislava: Uhorská centrálna železnica – 2804 Devínska Nová Ves – Štúrovo št. hr			
Marchegg – Bratislava: Hungarian central railway – 2804 Devínska Nová Ves – Štúrovo state border			
Bratislavský 1 (Lamačký I)	žst. Lamač – žst. Bratislava hlavná	592,85	1848
Bratislava 1 (Lamač I)	Lamač st. – Bratislava Main st.	592,85	1848
Bratislavský 2 (Lamačký II)	žst. Lamač – žst. Bratislava hlavná	595,8	1902
Bratislava 2 (Lamač II)	Lamač st. – Bratislava Main st.	595,8	1902
Košicko – Bohumínska železnica – Košice – Žilina / Košice – Bohumín railway – Košice – Žilina			
Strečniansky III	žst. Vŕtky – žst. Varín	546	1871
Strečno III	Vŕtky st. – Varín st.	546	1871
Uhorská severná železnica – 2902 Fiľakovo – Vŕtky / Hungarian Northern Railway – 2902 Fiľakovo – Vŕtky			
Píliansky	výh. Píla – výh. Bzová	124,7	1871
Píla	Píla sh. – Bzová sh.	124,7	1871



Obr. 6 Schéma belgickej podchycovacej sústavy

Fig. 6 Chart of the Flying-arch (Belgian) system

tunnel was backfilled. It was cleared and stabilised with yielding TH arches after 1996, from the initiative of Banská Bystrica tourists. The cross-section height is variable, ranging from 2 to 4m. Currently it serves only as a draw and is listed among technical monuments.

2. CLASSICAL RAILWAY TUNNELS IN SLOVAKIA

The first railway tunnel for steam traction in Europe was built during the 1826 to 1832 period near the town of Leicester (Great Britain), virtually concurrently with the manufacture of the first steam locomotive. In the following decade of the 19th century, the intense development of railways, thus also railway tunnels, started in technically advanced states.

In general, classical historic tunnels are understood to be the tunnels during the construction of which timbering was used for the temporary support. The monopoly position among classical tunnelling methods in Slovakia was held by the so-called Modified Austrian Tunnelling Method (see Fig. 3) with its modifications, e.g. a system using the shaft-from-bottom system, which was applied experimentally for the first time to the

tunel tunnel	definičný úsek definition section	dĺžka v m length in m	rok ukončenia year of completion
Pitelová Pitelová	žst. Hronská Dúbrava – výh. Stará Kremnička Hronská Dúbrava st. – Stará Kremnička sh.	374,50 374.50	1872 1872
Veľká Skalka Veľká Skalka	žst. Hronská Dúbrava – výh. Stará Kremnička Hronská Dúbrava st. – Stará Kremnička sh.	213,20 213.20	1872 1872
Malá Skalka Malá Skalka	žst. Hronská Dúbrava – výh. Stará Kremnička Hronská Dúbrava st. – Stará Kremnička sh.	79,50 79.50	1872 1872
Skalický Skalica	žst. Hronská Dúbrava – výh. Stará Kremnička Hronská Dúbrava st. – Stará Kremnička sh.	67,30 67.30	1872 1872
Kečka Kečka	výh. Stará Kremnička – žst. Bartošova Lehôtku Stará Kremnička sh. – Bartošova Lehôtku st.	338 338	1872 1872
Bartoška (Lehôtka) Bartoška (Lehôtka)	žst. Bartošova Lehôtka – žst. Kremnica Bartošova Lehôtka st. – Kremnica st.	105,80 105.80	1872 1872
Hrenca I Hrenca I	žst. Bartošova Lehôtka – žst. Kremnica Bartošova Lehôtka st. – Kremnica st.	481,67 481.67	1872 1872
Hrenca II Hrenca II	žst. Bartošova Lehôtka – žst. Kremnica Bartošova Lehôtka st. – Kremnica st.	128,93 128.93	1872 1872
Söhler (Söhlengrund) Söhler (Söhlengrund)	žst. Kremnica – žst. Kremnické bane Kremnica st. – Kremnica Mines st.	706,80 706.80	1872 1872
Kremnický Kremnica	žst. Kremnica – žst. Kremnické bane Kremnica st. – Kremnica Mines st.	120,70 120.70	1872 1872
Blaufuss Blaufuss	žst. Kremnica – žst. Kremnické bane Kremnica st. – Kremnica Mines st.	530,70 530.70	1872 1872
Turček Turček	žst. Kremnické bane – žst. Horná Štubňa Kremnica Mines st. – Horná Štubňa st.	37,7 37.7	1872 1872
prvá Uhorsko – Haličská železnica – 3211 Michaľany – št. hranica / the first Hungary – Halič railway – 3211 Michaľany – state border			
Lupkovský* Lupkov*	výh. Vydráň Pobieda št. hr. Vydráň Pobieda sh. – state border	234 234	1876 1876
miestna železnica v údolí Oravy – 2611 Kraľovany – Trstená / local railway in the Orava River valley – 2611 Kraľovany – Trstená			
Thurzovský (Oravský) Thurzo (Orava)	žst. Kraľovany – žst. Párnica Kraľovany st. – Párnica st.	98 98	1898 1898
Uhorská severozápadná miestna železnica – 2711 Trnava – Kúty / Hungarian North-Western local railway – 2711 Trnava – Kúty			
Jablonický Jablonica	výh. Buková – výh. Dúbrava Buková sh. – Dúbrava sh.	899,7 899.7	1906 1906
Lučenecká miestna železnica – 2931 Lučenec – Utekáč / Lučenec local railway – 2931 Lučenec – Utekáč			
Zlatno Zlatno	výh. Zlatno – žst. Kokava nad Rimavicom Zlatno sh. – Kokava nad Rimavicom st.	500 500	1908 1908
miestna železnica – 3131 Rimavská Sobota – Poltár / local railway – 3131 Rimavská Sobota – Poltár			
Oždanský Oždány	zast. Husina – zast. Oždany Husina interm. st. – Oždany interm.st.	160 160	1912 1912
miestna železnica – 2912 Prievidza – Handlová / local railway – 2912 Prievidza – Handlová			
Handlovský Handlová	výh. Ráztočno – žst. Handlová Ráztočno sh. – Handlová st.	133 133	1913 1913
Celkový počet: 22 v celkovej dĺžke 7068,15 m / Total number: 22, at the total length of 7068.15m			

Vysvetlivky: žst. – železničná stanica, výh. – výhybňa, zast. - zastávka
 Commentary: st. – railway station, sh. – shunt, interm. st. – intermediate station

Tab. 2 Tunely budované za prvej Československej republiky po roku 1924
 Table 2 Tunnels built during the First Czechoslovak Republic after 1924

tunel tunnel	definičný úsek definition section	dĺžka v m length in m	rok ukončenia year of completion
3073 Zvolen os. st. – Krupina / 3073 Zvolen pass. st. – Krupina			
Neresnický Neresnica	žst. Zvolen os. st. – výh. Breziny Zvolen st., pass. st. – Breziny sh.	229,80 229.80	1924 1924
Pod Vlčkom Pod Vlčkom	žst. Babiná – žst. Krupina Babiná st.– Krupina st.	129 129	1924 1924

tunel tunnel	definičný úsek definition section	dĺžka v m length in m	rok ukončenia year of completion
2791 Nové Mesto n. V. – Veselí nad Moravou / 2791 Nové Mesto nad Váhom – Veselí nad Moravou			
Čachtický Čachtice	žst. Čachtice – žst. Vadovce Čachtice st. – Vadovce st.	248,96 248.96	1927 1927
Pod Poľanou (Tunel Generála M. R. Štefánika, Myjavský) Pod Poľanou (General M. R. Štefánik, Myjava)	žst. Myjava – hranica VD/SD Myjava st. – border between ET/NT	2422,93 2422.93	1927 1927
Poriadsky Poriadie	žst. Paprad' – žst. Poriadie Paprad' st. – Poriadie st.	486,41 486.41	1928 1928
3101 Margecany – Červená Skala / 3101 Margecany – Červená Skala			
Besnický Besnica	žst. Vernár – žst. Švermovo – Telgárt Vernár st. – Švermovo st. – Telgárt	848,5 848.5	1935 1935
Gelnický Gelnica	žst. Gelnica – žst. Prakovce Gelnica st. – Prakovce st.	220 220	1935 1935
Hamrický Hámor	žst. Mlynky – žst. Dobšínská ľadová jaskyňa Mlynky st. – Dobšínská Ice Cave st.	300 300	1935 1935
Hronský Hron	žst. Vernár – žst. Švermovo – Telgárt Vernár st. – Švermovo st. – Telgárt	250 250	1935 1935
Jarabský I – Krivánsky Jarabá I – Kriván	žst. Mlynky – žst. Dobšínská ľadová jaskyňa Mlynky st. – Dobšínská Ice Cave st.	372 372	1935 1935
Jarabský II Jarabá II	žst. Mlynky – žst. Dobšínská ľadová jaskyňa Mlynky st. – Dobšínská Ice Cave st.	326 326	1935 1935
Mlynecký Mlynky	žst. Hnilec – žst. Mlynky Hnilec st. – Mlynky st.	140 140	1935 1935
Strateniský Stratená	žst. Mlynky – žst. Dobšínská ľadová jaskyňa Mlynky st. – Dobšínská Ice Cave st.	105 105	1935 1935
Telgártsky (Tunel K. Stodolu, Švermovský) Telgárt (K. Stodola tunnel, Švermovo tunnel)	žst. Vernár – žst. Švermovo – Telgárt Vernár st. – Švermovo st. – Telgárt	1 239 1239	1935 1935
2911 Horná Štubňa – Handlová / 2911 Horná Štubňa – Handlová			
Hájnický Hájnice	žst. Sklené pri Handlovej – výh. Pstruhárky Sklené pri Handlovej st. – Pstruhárky sh.	102 102	1930 1930
Pekelský Peklisko	žst. Sklené pri Handlovej. – výh. Pstruhárky Sklené pri Handlovej st. – Pstruhárky sh.	304 304	1931 1931
Pstruhársky Pstruhárky	žst. Sklené pri Handlovej – výh. Pstruhárky Sklené pri Handlovej st. – Pstruhárky sh.	380 380	1931 1931
Bralský (Tunel T. G. Masaryka, Veľký) Bralský (T. G. Masaryk tunnel, Veľký)	žst. Sklené pri Handlovej – výh. Pstruhárky Sklené pri Handlovej st. – Pstruhárky sh.	3011 3011	1931 1931
Štubnianský Štubňa	žst. Horná Štubňa – žst. Sklené Horná Štubňa st. – Sklené st.	646,12 646.12	1930 1930
3151 Banská Bystrica – odbočka Dolná Štubňa / 3151 Banská Bystrica – Dolná Štubňa branch			
Banskobystrický (Kačický) č.1 Banská Bystrica (Kačica) No.1	žst. Banská Bystrica – žst. Kostivierska Banská Bystrica st. – Kostivierska st.	349,8 349.8	1938 1938
Čabradiský I č. 5 Čabrad I No. 5	žst. Ulánka – žst. Dolný Harmanec Ulánka st. – Dolný Harmanec st.	280 280	1938 1938
Čabradiský II č.5a Čabrad II No.5a	žst. Ulánka – žst. Dolný Harmanec Ulánka st. – Dolný Harmanec st.	144 144	1939 1939
Grehelský II č.10 Grehelský II No.10	žst. Dolný Harmanec – žst. Harm. jask. Dolný Harmanec st.– Harm. Cave st.	280 280	1938 1938
Harmanecký I č.6 Harmanec I No.6	žst. Ulánka – žst. Dolný Harmanec Ulánka st. – Dolný Harmanec st.	200 200	1938 1938
Harmanecký II č.7 Harmanec II No.7	žst. Dolný Harmanec – žst. Harmanecká jaskyňa Dolný Harmanec st.– Harmanec Cave st.	294 294	1938 1938
Kosiensky č.11 Kosiensky No.11	žst. Harmanecká jaskyňa – žst. Čremošné Harmanec Cave st. – Čremošné st.	70 70	1938 1938

tunel tunnel	definičný úsek definition section	dĺžka v m length in m	rok ukončenia year of completion
Robkynský č. 12 Robkynský No. 12	žst. Harmanecká jaskyňa – žst. Čremošné Harmanec Cave st. – Čremošné st.	197 197	1938 1938
2601 Košice – Žilina zdvojkoloženie trate Vŕútky Žilina / 2601 Košice – Žilina – double tracking the railway between Vŕútky and Žilina			
Strečiansky I* Strečno I*	žst. Vŕútky – žst. Varín Vŕútky st. – Varín st.	318 318	1939 1939
Strečiansky II Strečno II	žst. Vŕútky – žst. Varín Vŕútky st. – Varín st.	593 593	1939 1939

Celkový počet: 29, v celkovej dĺžke 13 274,52 m / Total number: 29, at the total length of 13,274.52 m

*dvojkoložný / *double-track

Tab. 3 Tunely budované počas 2. svetovej vojny a po nej 1939/1960

Table 3 Tunnels built during World War II and after from 1939 through to 1960

tunel tunnel	definičný úsek definition section	dĺžka v m length in m	rok ukončenia year of completion
3151 Banská Bystrica – odb. Dol. Štubňa / 3151 Banská Bystrica – Dolná Štubňa branch			
Čremošníanský č. 14 (Tunel Dr. E. Beneša, A. Hlinku) Čremošné No.14 (Dr. E. Beneš tunnel, A. Hlinka tunnel)	žst. Harmanecká jaskyňa – žst. Čremošné Harmanec Cave st. – Čremošné st.	4 697 4 697	1939 1939
Dolinský I č. 2 Dolina I No. 2	žst. Kostiviarska – žst. Uľanka Kostiviarská st. – Uľanka st.	120 120	1939 1939
Dolinský II č. 2a Dolina II No. 2a	žst. Kostiviarska – žst. Uľanka Kostiviarská st. – Uľanka st.	575 575	1939 1939
Grehelský I č. 9 (Tunel Dr. R. Bechyně) Grehelský I No. 9 (Dr. R. Bechyně tunnel)	žst. Dolný Harmanec – žst. Harmanecká jaskyňa Dolný Harmanec st. – Harmanec Cave st.	1 300 1 300	1938 1938
Japenský I č. 8a (Tunel Dr. M. Hodžu) Japeň I No. 8a (Dr. M. Hodža tunnel)	žst. Dolný Harmanec – žst. Harmanecká jaskyňa Dolný Harmanec st.– Harmanec Cave st.	1 133 1 133	1939 1939
Japenský II č. 8b (Tunel Dr. M. Hodžu) Japeň II No. 8b (Dr. M. Hodža tunnel)	žst. Dolný Harmanec – žst. Harmanecká jaskyňa Dolný Harmanec st.– Harmanec Cave st.	757 757	1939 1939
Polkanovský I č. 3 Polkanová I No. 3	žst. Uľanka – žst. Dolný Harmanec Uľanka st. – Dolný Harmanec st.	899 899	1938 1938
Polkanovský II č. 3a Polkanová II No. 3a	žst. Uľanka – žst. Dolný Harmanec Uľanka st. – Dolný Harmanec st.	116 116	1939 1939
Tufenský č. 13 Túfna No. 13	žst. Harmanecká jaskyňa – žst. Čremošné Harmanec Cave st. – Čremošné st.	49 49	1939 1939
Ulmanský I č. 4 Ulmanovský I No. 4	žst. Uľanka – žst. Dolný Harmanec Uľanka st. – Dolný Harmanec st.	525 525	1939 1939
Ulmanský II č. 4a Ulmanovský II No. 4a	žst. Uľanka – žst. Dolný Harmanec Uľanka st. – Dolný Harmanec st.	41 41	1940 1940
Ulmanský III č. 4b Ulmanovský III No. 4b	žst. Uľanka – žst. Dolný Harmanec Uľanka st. – Dolný Harmanec st.	68 68	1940 1940
Ulmanský IV č. 4c Ulmanovský IV No. 4c	žst. Uľanka – žst. Dolný Harmanec Uľanka st. – Dolný Harmanec st.	50 50	1940 1940
Ulmanský V č. 4d Ulmanovský V No. 4d	žst. Uľanka – žst. Dolný Harmanec Uľanka st. – Dolný Harmanec st.	64 64	1940 1940
Kapušany – 3231 Strázske – Prešov / Kapušany – 3231 Strázske – Prešov			
Strázske	žst. Strázske – žst. Nižný Hrabovec Strázske st. – Nižný Hrabovec st.	314,5 314,5	1943 1943
Nemcovský (Pod Petičom) Nemcovce (Pod Petičom)	Pavlovce – žst. Nemcovce Pavlovce – Nemcovce st.	450,2 450,2	1943 1943
Vŕútky – Spišská Nová Ves / Vŕútky – Spišská Nová Ves			
Štiavnický* Štiavnica*	žst. Vydrník – žst. Poprad Tatry Vydrník st. – Poprad Tatry st.	158 158	1943 1943

tunel tunnel	definičný úsek definition section	dĺžka v m length in m	rok ukončenia year of completion
Tisovec – Slavošovce / Tisovec – Slavošovce			
Tisovecký*** Tisovec***	zast. Tisovec Bánovo – žst. Tisovec Tisovec Bánovo st. – Tisovec st.	770,2 770.2	1944 1944
Koprášsky Koprás	Koprás – Lubeník Koprás – Lubeník	245 245	1947 1947
Slavošovský** (Mníšanský) Slavošovce** (Mníšany)	Slavošovce – Koprás Slavošovce – Koprás	2400 2400	1947 1947
Podolinec – Plaveč / Podolinec – Plaveč			
Ružbašský Ružbachy	zást. Forbasy – žst. Podolinec Forbasy interm. st. – Podolinec st.	453 453	1966 1966
Milávsky Miláva	zást. Forbasy – žst. Podolinec Forbasy interm. st. – Podolinec st.	702,90 702.90	1966 1966
3091 Hronská Dúbrava – Banská Štiavnica / 3091 Hronská Dúbrava – Banská Štiavnica			
Banskoštiaivnický (Kolpašský) Banská Štiavnica (Kolpachy)	žst. Banská Belá – žst. Banská Štiavnica Banská Belá st. – Banská Štiavnica st.	1194,45 1194.45	1949 1949
Rožňava– Turňa nad Bodvou / Rožňava – Turňa nad Bodvou			
Jablonovský Jablonov	žst. Jablonov – žst. Lipovník Jablonov st. – Lipovník st.	3 148 3 148	1949 1949
Vrútky – Košice / Vrútky – Košice			
Kralovanský I* (U Šútovky) Kraľovany I* (U Šútovky)	žst. Kraľovany – žst. Turany Kraľovany st. – Turany st.	498 498	1948 1948
Ružínsky* Ružiná*	žst. Malá Lodina – žst. Margecany Malá Lodina st. – Margecany st.	130 130	1955 1955
Bujanovský* Bujanov*	žst. Malá Lodina – žst. Margecany Malá Lodina st. – Margecany st.	3 410 3 410	1955 1955
Žahanovský* Žahanovce*	žst. Košice – žst. Družstevná Košice st. – Družstevná st.	320 320	1954 1954
Revúca – Tisovec / Revúca – Tisovec			
Pod Dielikom Pod Dielikom	Muránska Lehota – Tisovec Muránska Lehota – Tisovec	2002 2002	1949 1949

Celkový počet: 29, v celkovej dĺžke 26 719,18 m / Total number: 29, at the total length of 26,719.18m

*dvojkolojajný; **nedokončený; *** – mimo prevádzky / *double-track; **unfinished; *** out of service

Najstarším železničným tunelom na území Slovenska je Bratislavský tunel I, ktorého výstavbu realizoval taliansky podnikateľ Tallachini. Tunel je situovaný na železničnej trati Viedeň – Marcheg – Bratislava – Nové Zámky – Budapešť. Tunel bol pôvodne dlhý 703,6 m, z toho bolo cca 600 m razených, 103,6 m budovaných v otvorenom výkope a ako jednokoľajný bol odovzdaný do prevádzky 20. 8. 1848. Pri výstavbe druhej tunelovej rúry v decembri 1899 došlo pri východnom portáli tunela k rozsiahlemu závalu za extrémne zlých klimatických podmienok a tunel bol skrátený na 595,8 m. Výstavbou železníc po prehratej prusko-rakúskej vojne a v hospodárskej kríze sa pokračovalo až v 70. rokoch 19. storočia. Uhorsko sa tým zaradilo medzi najzostalejšie krajinu Európy. Tunely na území Slovenska (Horného Uhorska) budovali hlavne barabovia z alpských krajín, a to najmä Taliansci a Nemci. Zostala po nich u nás stará tunelárska terminológia ako kalota, štrosa, burst, marčovanty, bankýny...

V období Rakúsko-Uhorska sa trasy budovaných železníc na našom území prispôsobovali potrebám Uhorska, tj. viedli prevažne severo-južným smerom. Za obdobie cca 70 rokov sa na území Slovenska vybudovala len jedna významná železničná trať Košice – Bohumín a len 18 tunelov dĺžky cca 7000 m. Výstavba sa úplne prerušila cez 1. svetovú vojnu. Trianonským usporiadáním v stredoeurópskom regióne vzniklo na území Rakúsko-Uhorska viacero nástupných štátov. Už niekolko rokov po vzniku Československej republiky bolo treba prepojiť železničnú sieť

Bralský tunnel sections passing through non-squeezing ground (see Fig. 4). Of the other methods applied to the construction of tunnels, the English Method was applied only to the first tube of the Bratislava tunnel (see Fig. 5). The Flying-Arch System was in addition experimentally applied to the Bujanov tunnel (see Fig. 6). In the case of the Austrian tunnelling method, the excavation of the tunnel cross-section begins by driving a bottom adit (the so-called pilot adit), from which the excavation is enlarged to the full profile gradually, usually in 8m long working blocks. This adit was used for the detailed geotechnical investigation; in addition, it was used for the transport, checking on the excavation direction and for opening other headings (see Fig. 8 to 10). A narrow-gauge track was usually used for the loading and transport of muck. The final excavation support (a massive masonry lining) was approached only after the completion of the excavation in one or several blocks. When the Flying-Arch System was being applied, the excavation and the following installation of the masonry vault were carried out and the vault was subsequently strengthened by the installation of massive masonry supports.

The application of classical methods in Slovakia ended in 1960, despite the fact that the finishing work on two tunnels – the Ružbachy and Miľava tunnels – continued even after this term. The total of 80 tunnels (of that number 7 double-track ones) with the total length of ca 47km were constructed in

Čiech a Slovenska. Výstavbu tohto prepojenia v rokoch 1923 až 1938 je možné označiť za prvý zlatý vek slovenských tunelárov. Na Slovensku sa vybudovalo 30 tunelov, z ktorých sú uvedené len tie najvýznamnejšie:

- tunel Pod Poľanou dĺžky 2423 m na trati Nové Mesto nad Váhom – Veselí nad Moravou budovaný v rokoch 1925–1927;
- Bralský tunel dĺžky 3011,6 m na trati Handlová – Horná Štubňa, realizovaný v rokoch 1927–1931.

Trať Nové Mesto nad Váhom – Veselí nad Moravou sa stavala v rokoch 1923–1929, nachádzajú sa na nej 3 tunely: Čachtický, Pod Poľanou a Poriadsky. Na trase pracovalo v priemere 2000 pracovníkov, maximálne až 4000, z toho 1300 ľudí na stavbe tunela Pod Poľanou. Bol razený v zlých geologických pomeroch, sčasti v napúčavých horninách. Prítoky vody do štôlne boli až 200 l.s^{-1} . Niveleta koľaje stúpa až 16 %, a preto bolo nutné dodatočne vyhľobiť vetraciu šachtu hlbky 119 m. Na trati Margecany – Červená Skala je celkom 9 tunnelov z nich najzaujímavejší je Telgartský tunel dĺžky 1239,4 m, vytvárajúci slučku na prekonaanie výškového rozdielu 31 m medzi Pohroním a údolím Hnilca. Razilo sa v krasovom prostredí aj s jaskyňami, takže tunnel je silne zvodnený.

Stredoslovenská transverzála to bola trasa Veselí nad Moravou – Trenčín – Prievidza – Handlová – Horná Štubňa – Zvolen – Banská Bystrica – Červená Skala – Margecany – Košice – Užhorod. Súčasťou tejto trate je úsek Handlová – Horná Štubňa s piatimi tunnelmi: Pstruhársky (380 m); Hajnický (102 m); Pekelský (304 m); Štubniansky (646,12 m) a Bralský (3011 m), ktorý bol uvedený do prevádzky v roku 1931.

Problémy s krasovými prostredím sa vyskytli v Telgártskom a Jablonovskom tuneli. Iné tåžnosti vznikli pri razení tunela pod Poľanou pri Myjave. V trase tunela sa nachádzali mohutné polohy pripustných pieskovcov zovretých vrstvami nepripustných bridlíc. Pri prerazení bridlíc pieskovce odvodnili masív, v dôsledku čoho vyschli studne a pramene v širokom okolí kopanic a vo viacerých osadách museli byť vybudované vodovody.

Bralský tunel s dĺžkou 3011,6 m (do roku 1940 najdlhší v ČSR) je vybudovaný na trati Handlová – Horná Štubňa, dlhej 18,5 km z toho je 25 % dĺžky trate v tuneloch a 30 % na mostoch a viaduktoch. Tunel má vetraciu šachtu hlbokú 129 m. Pri razení sa vyskúšala metóda dostropného zálomu (obr. 4). Postavený bol v rokoch 1926–1931. Pôvodné suché a tvrdé bridlice počas razenia tak napúčali, že horninový tlak zdeformoval hotovú výdrevu a na dĺžke 9 m vznikol zával. Výkon pri razení štôlne rozmerov 4,5–5 m² bol 10 m za deň pri práci na tri smeny.

Druhý zlatý vek nastal tunelárom počas 2. svetovej vojny a následne po vojne, keď v rozmedzí rokov 1939–1960 sa postavilo, opravilo, prípadne dobudovalo celkom 32 tunelov. Dôvodov bolo niekoľko:

- Po mníchovskom diktáte prišlo Slovensko o veľkú časť juhovýchodného Slovenska, čím sa prirodzené dopravné koridory prerušili a bolo nutné ich prepojiť po nových trasách.
- Nemcov sa podarilo presvedčiť, že niektoré navrhované trasy budú výhodné na presun vojsk do Poľska a ZSSR (trasy Banská Bystrica – Dolná Štubňa, Podolinec – Orlov Plaveč, Muráň – Tisovec).

Nasadením slovenských robotníkov na veľké dopravné stavby sa časť z nich podarilo zachrániť pred nasadením na nútene práce do Nemecka.

Za vojny bolo zničených 71,3 % z 3509 km železničných tratí, 31 tunelov a 798 mostov, ktoré bolo v povojnovom období nutné opraviť.

Po skončení 2. svetovej vojny bolo potrebné opraviť a zmodernizovať vojnou poškodené alebo zničené mosty a tunely,

Slovakia before 1960; several of them have already been decommissioned. The time during which these tunnels were constructed can be divided into the following three periods:

1. The Austro-Hungarian monarchy, the years 1848 through to 1912 (21 tunnels completed, see Table 1);
2. The First Czechoslovak Republic, the years 1925 through to 1938 (29 tunnels completed, see Table 2);
3. 1939 through to 1966, the years of World War II (the Slovak State) and the after-war period (30 tunnels completed, see Table 3).

No railway tunnel was completed in Slovakia from 1966 through to 2010, when the construction of the Turecký Vrch tunnel commenced.

The oldest railway tunnel in the territory of Slovakia is the Bratislava I tunnel. It was built by an Italian entrepreneur Felice Tallachini. The tunnel is located on the Vienna – Marcheg – Bratislava – Nové Zámky – Budapest railway line. It was originally 703.6m long, with ca 600m of this length mined and 103.6m cut-and-cover. It was brought into service as a single-track structure on 20/08/1848. An extensive collapse took place in December 1899 during the construction of the second tunnel tube, at the eastern portal, owing to extremely bad climatic conditions; the tunnel length was reduced to 595.8m. The development of railways after the lost Austro-Prussian war and during the economic crisis did not continue until the 1870s. Thereby Hungary ranked among the most underdeveloped European countries. Tunnels in the territory of Slovakia (Upper Hungary) were built mostly by miners from the Alpine counties, first and foremost the Italians and Germans. Our old tunnelling terminology, such as calotte, stross, burst, banchina... remained after them.

During the Austro-Hungarian period, the routes of the railway being developed in the Slovakian territory were accommodated to the needs of Hungary, which means that the majority of them led in the north-south direction. Only one important railway track (the Košice – Bohumín track) and only 18 tunnels at the total length of ca 7000m were constructed during the ca 70-year period. The development was completely suspended during World War I. The Trianon Arrangement gave rise to more successor states in the Austro-Hungarian region. It was necessary as early as several years after the origination of the Czechoslovak Republic to interconnect the railway network of Czechia and Slovakia. The development of this interconnection during the 1923–1938 period can be considered to be the golden age of Slovak tunnel builders. Thirty tunnels were constructed in Slovakia. We will mention only the most important of them:

- The 2423m long Pod Poľanou tunnel on the Nové Mesto nad Váhom – Veselí nad Moravou track, which was being constructed from 1925 to 1927;
- The 3011.6m long Bralský tunnel on the Handlová – Horná Štubňa track, which was realised in the 1927–1931 period.

The Nové Mesto nad Váhom – Veselí nad Moravou track, which was carried out during the 1923–1929 period, contains 3 tunnels: the Čachtice, the Pod Poľanou and the Poriadie. The average number of workers working on the track amounted to 2000 (up to 4000 as the maximum). Of that number, 1300 persons worked on the Pod Poľanou tunnel construction. The tunnel was driven under poor geological conditions, partly through swelling ground. The rates of the water inflows to the adit reached up to 200 l.s^{-1} . The track alignment gradient rises up to 16 %, which was the reason why an 119m deep ventilation shaft had to be additionally sunk.



Obr. 7 Výdrevu Bujanovského tunela
Fig. 7 Bujanov tunnel timbering

resp. niektoré hlavné trate zdvojkoľajniť. Celkom sa dobudovalo, resp. vybudovalo 32 nových tunelov, z toho 6 dvojkoľajných.

Do roku 1955 sa zmodernizovala a zdvojkoľajnila najdlôžejšia trať Košice – Žilina, na ktorej bol vybudovaný Bujanovský tunel, najdlhší slovenský dvojkoľajný tunel (3410 m) (obr. 7).

Do roku 1955 bola dokončená aj trať Turňa nad Bodvou – Rožňava, na ktorej sa nachádza Jablonovský tunel (dlhý 3145 m). V rokoch 1937–1940 bola postavená najpozoruhodnejšia trať Slovenska: Banská Bystrica – Dolná Štubňa. Trať je dlhá 41 km, s 22 jednokoľajnými tunelmi celkovej dĺžky 12,2 km, medzi ktorými je aj najdlhší tunel na Slovensku, Čremošiansky, dlhý 4697 m. Na stavbe tejto trate sa podieľalo v čase jej maximálnej rozostavanosti 12 340 pracovníkov. Čremošiansky tunel sa razil na rozhraní neovulkanitov a krasových formácií Veľkej Fatry. Lokálne prítoky vody do smerovej štôlne tunela boli zo začiatku veľké. Maximálny prítok bol až 800 l.s^{-1} , rýchlo sa zmenšoval, ustálil sa na polovičnej hodnote a kolísal v závislosti od povrchových zrážok a klimatických podmienok na povrchu. Sústredené výtoky z niektorých porúch dosahovali až 50 l.s^{-1} a prúd bol taký silný, že strhával so sebou aj dolomitický piesok a drvinu. Spôsobovalo to lokálne vykomínovanie nadložia, no bez väčších následkov. Tieto javy sa predvídali a raziči boli na ne pripravení. Hydrogeologické podmienky masívu v tomto tuneli sa podcenili, lebo prognózovali sa len prítoky cca 330 l.s^{-1} (Záruba a V. Mencl, 1966). V tomto tuneli sa dodatočne dorábala vetracia šachta z dôvodu parnej trakcie. Vetranie bolo použité aj počas výstavby.

Z tunelov rozpracovaných za vojny ako posledné boli dostavane v roku 1966 Ružbašský a Miľavský tunel na trati Podolinec – Plaveč. Tým sa éra výstavby klasických tunelov na Slovensku skončila.

3. CESTNÉ TUNELY

Až do konca 2. svetovej vojny bola výstavba cestných tunelov bežvýznamná. Na Slovensku bol len jeden cestný tunel pod Bratislavským hradom. Má dĺžku 786 m a bol vybudovaný v rokoch 1943–1949 klasickou rakúskou metódou (obr. 8). Konštrukcia ostenia zodpovedá osteniam železničných tunelov (opora z riadkového muriva, klenba z klenákov, rubová hydroizolácia len v mokrých pásoch). Stavba tunela bola odvodnená potrebu odľahčenia dopravy z centra mesta do Karlovej Vsi. Odbodie výstavby (začiatok r. 1943) viedlo k tomu, že tunel mal slúžiť aj ako protiletecký kryt pre obyvateľov v širšom okolí, o čom svedčí aj prístup do tunela chodbou z Palisád

There are 9 tunnels on the Margecany – Červená Skala track. The most interesting of them is the 1239.4m long Telgart tunnel, which creates a loop to overcome the 31m difference in altitudes of the area along the central stretch of the Váh River and the Hnilec River valley. The tunnel was driven through a karst environment even containing caves. For that reason the environment is heavily saturated with water.

The Central Slovakian transversal route led via Veselí nad Moravou – Trenčín – Prievidza – Handlová – Horná Štubňa – Zvolen – Banská Bystrica – Červená Skala – Margecany – Košice – Užhorod. The Handlová – Horná Štubňa section is part of this track. It contains the following five tunnels: the Pstruhárky (380 m); the Hájnice (102 m); the Peklisko (304 m); the Štubňa (646.12m) and the Bralský (3011m), which was commissioned in 1931.

Problems with the karst environment were encountered at the Telgárt and the Jablonov tunnels. Other difficulties originated during the driving of the tunnel under Poľana mountain near the Myjava River. There were thick layers of permeable sandstone clutched between impermeable shale layers along the tunnel route. When the shale layers were pierced through, the massif was drained through the sandstone. As a result, wells and springs in wide surroundings of secluded dwellings lost water and water pipelines had to be carried out in a number of villages.

The 3011.6m long Bralský tunnel (the longest tunnel in the CSR until 1940) was built on the 18.5km long Handlová – Horná Štubňa track (25% of this length run through tunnels and 30% are on bridges and viaducts). The tunnel is provided with a 129m deep ventilation shaft. The heading to top of arch system was experimentally applied to the excavation (see Fig. 4). The tunnel was constructed during the 1926–1931 period. The originally dry and hard shale swelled during the excavation as much that the confining pressure deformed the completed timbering and a collapse developed along the length of 9m. The rate of the excavation of the $4.5\text{--}5\text{m}^2$ cross-section adit amounted to 10m per day whilst working in three shifts.

The second golden age for tunnellers took place during World War II and subsequently after the war; the total of 32 tunnels were constructed, repaired or completed during the 1939–1960 period. There were several reasons for it:

After the Munich Dictate, Slovakia lost a significant part of south-eastern Slovakia. As a result, the natural transport routes were interrupted and had to be interconnected along new routes.

Slovakia succeeded in persuading the Germans that some of the proposed routes would be profitable for moving armies to Poland and the USSR (the Banská Bystrica – Dolná Štubňa route, the Podolinec – Orlov Plaveč route and the Muráň – Tisovec route).

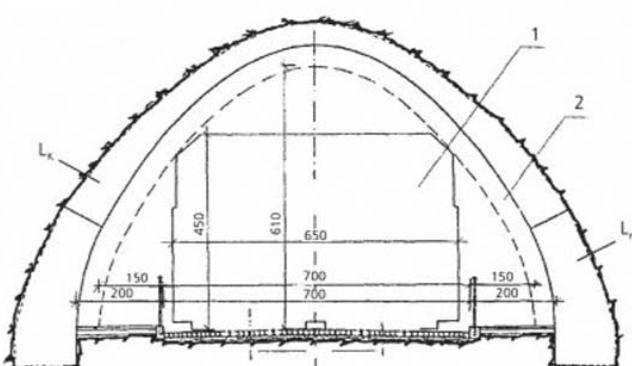
Owing to the employment of Slovak workers on large transport-related construction projects, a proportion of them were successfully saved from the deployment as forced labour in Germany.

71.3 % of the total of 3509km of railway tracks, 31 tunnels and 798 bridges were destroyed during the war. They had to be repaired during the post-war period.

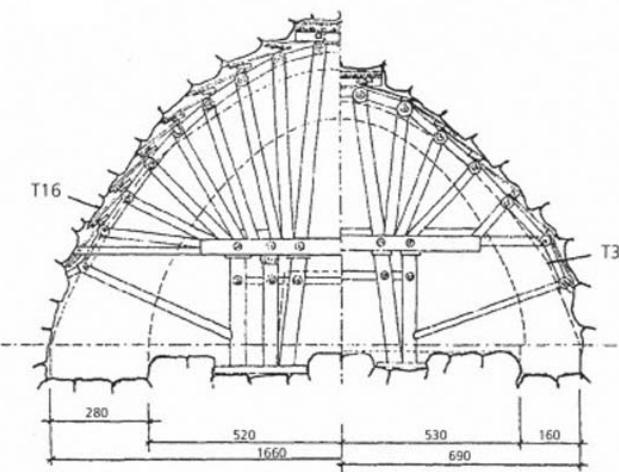
After the end of World War II, it was necessary to repair and modernise the bridges and tunnels damaged or destroyed by the war, or to double track some principal lines. The total of 32 tunnels were completed and newly constructed, respectively; 6 of them were double-track structures.

The most important Košice – Žilina rail track, with the Bujanov tunnel (the longest Slovak double-track tunnel – 3410m) built on it, was double-tracked before 1955 (see Fig. 7)

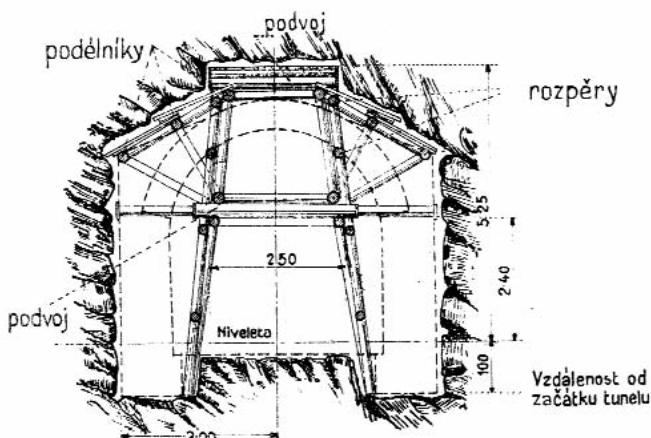
a)



b)



c)



obr.3.-Boční východ silničního tunelu v Bratislavě. Podvoje se stavají prahy jako u tunelu albuského. Podle plánu Ing. Šelonina.

The Turňa nad Bodvou – Rožňava track, containing the 3145m long Jablonov tunnel, was also completed before 1955.

The most remarkable Slovak railway track, Banská Bystrica – Dolná Štubňa, was constructed from 1937 through to 1940. The track is 41km long and contains 22 single-track tunnels at the total length of 12.2km, with the longest tunnel in Slovakia, the 4697m long Čremošné tunnel, among them. 12,340 workers participated in the construction of this track during the maximum volume of work. The Čremošné tunnel was driven at the interface between Neovolcanic and karst formations of the Big Fatra mountain range. In the beginning, the rates of local inflows of water to the pilot adit were high. The maximum inflow rate amounting to 800 l.s^{-1} quickly diminished and steadied at a half, to vary depending on surface precipitation and climatic conditions on the surface. Concentrated outflows from some faults amounted even to 50 l.s^{-1} and the flow was so strong that it even drew dolomitic sand and grit with it. It caused local collapsing of the overhead, fortunately having no more serious consequences. These manifestations were predicted and the miners were prepared for them. The hydrogeological conditions of the ground massif in this tunnel were underestimated because only ca 330 l.s^{-1} inflow rates were predicted (Záruba and V. Mencl, 1966). A ventilation shaft was additionally carried out in this tunnel because of the steam traction. The ventilation was used even during the construction.

Of the last tunnels the work on which started during the war, the Ružbachy tunnel and the Miľava tunnel on the Podolinec-Plaveč track were completed in 1966 as the last ones. It meant the end of the construction of classical tunnels in Slovakia.

3. ROAD TUNNELS

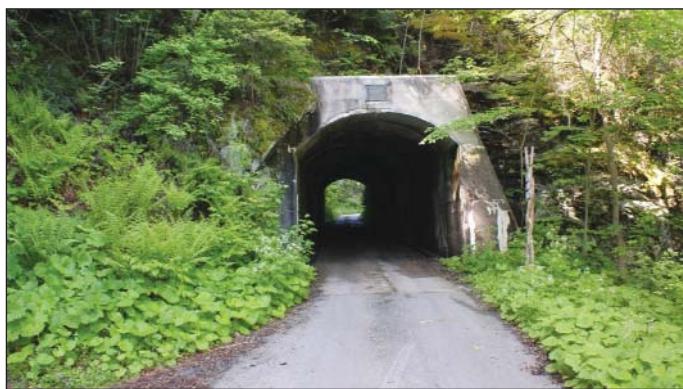
The development of road tunnels was not significant until the end of World War II. There was only one road tunnel in Slovakia, the tunnel under the Bratislava Castle. The 786m long tunnel was constructed from 1943 to 1949 using the classical Austrian Method (see Fig. 8). The lining structure corresponds to railway tunnel liners (coursed masonry sidewalls, a vault formed by wedges, external waterproofing applied only to wet blocks). The tunnel construction was justified by the necessity for easing the traffic from the city centre to Karlova Ves. The consideration of the time of the construction (the beginning of 1943) led to the decision that the tunnel would serve as a bomb shelter for residents in the wider surroundings. The proof of it is even the access to the tunnel via a corridor leading from Palisády Street and the development of

Obr. 8 Schéma tunela pod hradom v Bratislavě a) priečneho rezu b) výdrevy plného profilu výlomu, c) výdrevy prístupovej štôlne pre chodcov z Palisád
Fig. 8 Chart of the tunnel under the Bratislava Castle a) cross-section, b) full excavation profile timbering, c) timbering of the pedestrian access gallery from Palisády Street

a vybudovanie „vládneho“ krytu s komfortným vybavením, prístupného od východného portálu. Od roku 1983 tunel po rekonštrukcii slúži pre električkovú trať. V rokoch 2009–2010 bol opäťovne zrekonštruovaný.

Krátky automobilový tunel Stratená dlhý len 325,7 m bol vybudovaný v údolí Hnilca pri Stratenej a odovzdaný do prevádzky v januári 1972. Technológiu výstavby a jeho termínom dokončenia ho možno označiť ako prechodný typ medzi klasickým a moderným tunelovaním. Tunel sa nachádza vo veľmi zvodnenom prostredí bielych wettersteinských vápencov, preto v roku 1981 bol sanovaný chemickou injektážou, čím sa jeho stav zlepšil, ale len čiastočne.

Tunel Čelno sa nachádza na lesnej ceste 4 km južne od obce Lopej v doline Predajnianske Čelno, na území Odštepného závodu Lesy SR, Slovenská Ľupča. Tunel dlhý 41,5 m, známy aj ako Kelemenov tunel, bol vybudovaný v roku 1928 a v roku 1971 bol rozšírený na šírku 440 cm a výšku 435 cm. Tunel bol



Obr. 9 Tunel Čelno

Fig. 9 Čelno tunnel

pomenovaný po jeho autorovi Ing. Vojtechovi Kelemenovi, ktorý bol riaditeľom Štátnych lesov a majetkov v Banskej Bystrici počas rokov 1921–1934. Ostenie tunela aj jeho portály sú z betónu. Tunel na lesnej ceste je na Slovensku ojedinelou stavbou, a preto bol zaradený medzi technické pamiatky (obr. 9).

4. AKO SA PRACOVALO

Pri klasickom tunelovaní v skalných horninách sa používalo trhavinové razenie. Do roku 1870 sa ako trhavina používal tzv. čierny trhací prach – zmes 65 % liadku, 15 % síry a 20 % dreveného uhlia. Táto zmes sa nabíjala do vrtov vytvorených ručne pomocou kladiva a dláta, čo bolo veľmi prácné a zdľhavé.

Alfréd Nobel v roku 1865 vyvinul prvé nitroglycerínové trhaviny a tiež aj rozbušky. G. Sommeiller zestrojil prvé vŕtačky poháňané stlačeným vzduchom, čo urýchliло postup razenia. Bolo to nárazové vŕtanie. Príklepové vŕtačky poháňané stlačeným vzduchom sa začali využívať po roku 1890 a v rovnakom čase sa rotačné hydraulické vŕtačky už umiestnili na vŕtacie stroje (A. Brandt).

Najnáročnejšia pracovná činnosť je nakladanie rozpojenej horniny, ktoré bolo dlho ručné, lopatami (až do konca výstavby klasických tunelov). Postupne sa v obmedzenej miere začali používať pneumatické lopatové nakladače. Odvoz rúbaniny sa riešil spravidla kolajovou dopravou cez spodnú štôlňu. Výdrevu zhovili ručne, pri jej osadzovaní si robotníci pomáhali rozličnými jednoduchými zariadeniami (napr. kladkostrojmi). Snahou tunelárov bolo čo najskôr preraziť pomocnú dnovú štôlňu, ktorá slúžila ako transportná a zároveň aj ako odvodňovacia, vetracia a technologická. Bolo z nej možné otvárať ďalšie pracoviská v niekoľkých pracovných pásoch a tým razenie zrýchliť. Definitívne ostenie sa murovalo v opornej časti prierezu spravidla z lomového kameňa, neskôr z monolitického betónu, za súčasného odstraňovania výdrevy. Klenba sa murovala z kamenných alebo betónových klenákov. V zavodených masívoch sa ostenie chránilo z rubu cementovým poterom, asfaltovými doskami, resp. pozinkovanými plechmi (obr. 10). Izolovali sa spravidla len zamokrené pásy, a to len klenba výruba – oporná časť sa drénovala do svetlého prierezu. Pre návrh ostenia existovali tzv. normálne (štandardy) – používalo sa 16 tlakových typov ostienia bez izolácie, resp. s rubovou izoláciou. Podzemná voda zachytená rubovou pláštovou izoláciou sa odvádzala z tunela systémom drenáží.

Práca v tuneli bola tăžká, nebezpečná a vyžadovala špecifické zručnosti, preto tunelári – barabovia – boli hľadaní a putovali po stavbách. Množstvo budovaných tunelov umožnilo ich plynulý prechod zo stavby na stavbu. Robotníci postupne preberali skúsenosti od talianskych a nemeckých tunelárov, takže už za prvej Československej republiky na stavbách na Slovensku pracovali prakticky len domáci špecialisti – tunelári.

a comfortably equipped “governmental” shelter accessible from the eastern portal. After the reconstruction in 1983, the tunnel has been used for a tramway track. It was repeatedly reconstructed in 2009–2010.

The short Stratená automobile tunnel (only 325.7m long) was built in the Hnilec River valley near the village of Stratená; it was brought into service in January 1972. In terms of the construction technique and the completion deadline, it can be categorised as a type transiting between classical and modern tunnelling methods. The tunnel is located in a highly water-bearing environment formed by white Wetterstein limestone. For that reason it was rehabilitated in 1981 by means of chemical grouting. It improved its condition, but only partially.

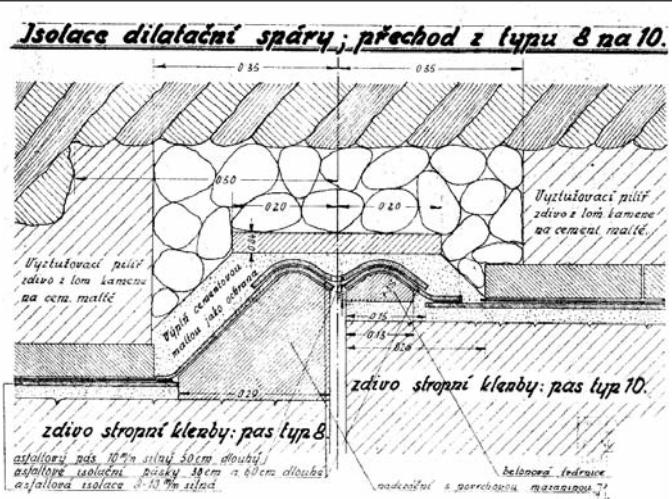
The Čelno tunnel is located on a forest road, 4km south of the village of Lopej, in Predajnianske Čelno Valley, in the area of the Lesy SR branch plant, Slovenská Ľupča. The width and height of the 41.5m long tunnel, which is known as the Klement tunnel and was built in 1928, was enlarged to 440cm and 435cm, respectively, in 1971. The tunnel was named after its author, Ing. Vojtech Klement, who was a director of Státní Lesy a majetky (State forests and properties) in Banská Bystrica from 1921 to 1934. The tunnel lining and its portals are from concrete. The tunnel on the forest road is a unique structure in Slovakia. For that reason it has been listed among technical monuments (see Fig. 9).

4. HOW WERE THE TUNNELS WORKED ON

Blasting was used in the classical hard rock tunnelling. Black blasting powder – the mixture of 65% of nitrate, 15% of sulphur and 20% of charcoal – was used as the explosive until 1870. Blast holes, which were carried out manually using hammers and chisels, which was a very laborious and lengthy operation, were charged with this mixture.

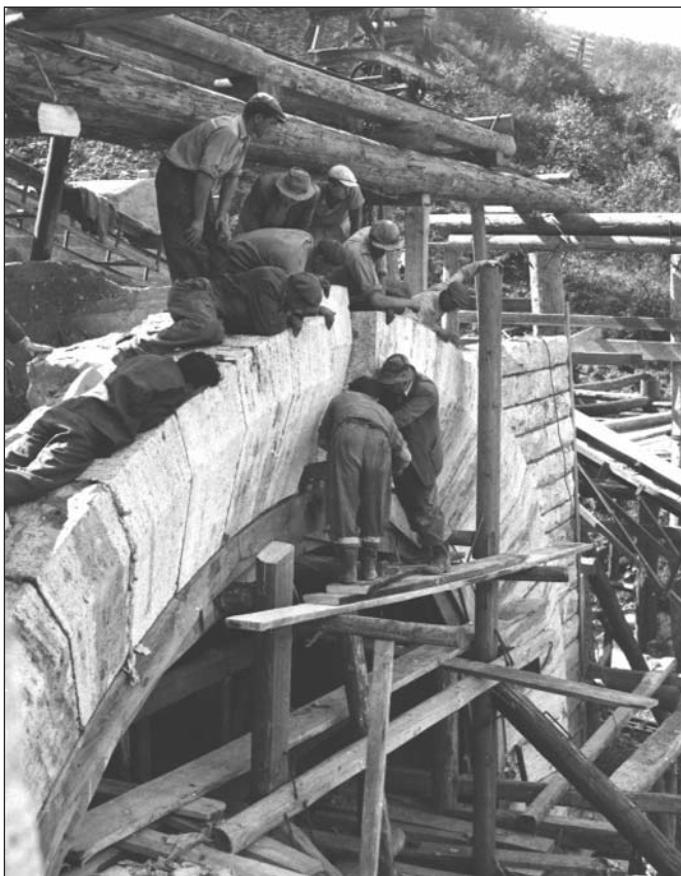
In 1865, Alfred Nobel developed the first nitroglycerine-based explosives and detonators. G. Sommeiller constructed first pneumatic borers, which considerably accelerated the tunnelling process. It was the so-called solid tool drilling system. The development of pneumatic percussive drilling machines started after 1890 and, at the same time, rotary hydraulic drills were already installed on drilling sets (A. Brandt).

The most demanding working operation is the loading of muck. It was for a long time (until the end of the construction of classical tunnels) carried out manually, using shovels.



Obr. 10 Detail izolačnej škáry

Fig. 10 Detail of a joint between waterproofing plates



Obr. II Výstavba klenby portálu Bujanovského tunela
Fig. II Construction of the Bujanov tunnel portal vault

Je prekvapujúce, že pri tejto úrovni techniky rýchlosť výstavby tunelov klasickými metódami bola približne rovnaká ako pri modernom tunelovaní. Dosahovalo sa to otvorením ďalších pracovných čielieb v smerovej štôlnej, a tým aj nasadenie väčšieho počtu robotníkov. Na väčšine tratí, kde sa budovali tunely, pracovalo spravidla až niekoľko tisíc námezdnych robotníkov, po roku 1948 aj brigádnikov (obr. 11).

5. ZÁVER

Poznať história výstavby tunelov je nutné z viacerých dôvodov. Dáva to možnosť lepšie pochopiť nové technológie tunelovania. Väčšina klasických tunelov je ešte stále funkčná, ale pri rekonštrukcii je dobre vedieť ako boli budované, aby sa dala navrhnuť správna technológia, ktorá musí rešpektovať nielen aktuálny stav ale aj históriu tunela.

**prof. Ing. FRANTIŠEK KLEPSATEL, PhD.,
ING. JANA CHABROŇOVÁ, PhD.,
jana.chabronova@stuba.sk, SvF STU Bratislava**

Recenzovali: Ing. Jozef Frankovský,
doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.

Pneumatic shovel loaders were gradually introduced to a limited extent in our country. The transport of muck was usually solved by means of track haulage via a bottom adit. The timbering was installed manually. Workers used simple equipment (e.g. tackles). The miners' objective was to break an auxiliary bottom adit through, which served as a transport adit as well as a drainage, ventilation and technological adit. It was possible to open additional headings in several working blocks from it, thus to accelerate the excavation. The random stone final lining was usually carried out in the lower part of the cross-section, whilst cast-in-situ concrete lining was used later, with the concurrent removing of timbering. The masonry vault was carried out from stone or concrete wedges. In water-bearing massifs, the outer surface of the lining was protected by cement screed, asphalt plates or galvanised steel sheets (see Fig. 10). Usually only wet blocks were provided with waterproofing in the vault – water from the abutment part was drained to the cross-section interior. The so-called normalies (standards) existed for the lining design – 16 pressure-resisting types without waterproofing, respectively with waterproofing on the outer surface, were used in Slovakia. Groundwater intercepted by the outer waterproofing skin was evacuated from the tunnel by a drainage system.

The work in a tunnel was difficult, dangerous and required specific skills. For that reason Italian miners were sought for and wandered from a construction site to another one. The multitude of tunnels to be built allowed them to fluently pass from tunnel construction site to site. Slovak workers gradually took the experience over from Italian and German miners. As a result, only domestic specialists – miners – worked on Slovak tunnel construction sites already at the time of the First Czechoslovak Republic.

It is surprising that the speed of construction at this technical level using classical methods was approximately identical with the speed of modern tunnelling. It was achieved by opening additional headings in the pilot adit, which allowed for the deployment of a larger number of workers. Up to several thousands of wage labourers (and temporary workers after 1948) worked on the majority of the tracks where tunnels were under construction (see Fig. 11).

5. CONCLUSION

Getting acquainted with the history of the development of tunnels is the necessity for several reasons. It allows us to better understand new tunnelling technologies. The majority of classical tunnels are still functional. Nevertheless, in the cases of reconstruction it is good to know how they were built so that a proper technology taking into consideration not only the existing condition but also the tunnel history can be proposed.

**prof. Ing. FRANTIŠEK KLEPSATEL, PhD.,
ING. JANA CHABROŇOVÁ, PhD.,
jana.chabronova@stuba.sk, SvF STU Bratislava**

LITERATURA / REFERENCES

- [1] KLEPSATEL, F., KUSÝ, P., MAŘÍK, L. *Výstavba tunelů ve skalních horninách*. Bratislava: JAGA Group, 2003. 215 s. ISBN 80-88905-438-5
- [2] KMET, L., RYŠAVÝ, J. *Banská Bystrica – Dolná Štubňa 1940 – 2000 Banská Bystrica – Harmanc-papiereň*. Košice: Olympia, účelová publikácia, 103 s.
- [3] KUBÁČEK, J. a kol. *Dejiny železníc na území Slovenska*. Bratislava: Železnice Slovenskej republiky, 2. opravené vyd., 2007, 256 s. ISBN 978-80-968864-5-6
- [4] WINKLER, E. *Zeichnungen zu den Vorträgen über Tunnelbau gehalten an der K. K. Technischen Hochschule in Wien*. Wien

GEOLOGICKÉ SLEDOVÁNÍ MECHANIZOVANÝCH TBM RAŽEB NA ÚSEKU KAT2 TUNELU KORALM

GEOLOGICAL MONITORING OF TBM DRIVES IN KAT2 SECTION OF THE KORALM TUNNEL

TOMÁŠ SVOBODA

ABSTRAKT

Tunel Koralm s celkovou délkou přibližně 32,9 km je nejvýznamnější konstrukcí Koralmské železnice s návrhovou rychlostí 200 km/h, která nově propojí sousedské spolkové země na jihu Rakouska Korutany a Štýrsko, konkrétně jejich hlavní zemská města Graz a Klagenfurt. Tunel prochází horským masivem Koralpe s maximální výškou nadloží přibližně 1200 m. Trasa tunelu je rozdělena do tří jednotlivých stavebních úseků KAT1, KAT2 a KAT3. Následující článek je zaměřený na úsek KAT2 délky cca 21,3 km, který především zahrnuje ražby jednotkolejných traťových tunelů pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů TBM do skalních hornin, ale i pomocí NRTM, dále pak ražby nouzové stanice a tunelových propojek. Článek je zaměřen na inženýrskogeologické sledování TBM ražeb traťových tunelů, které zahrnuje dokumentaci inženýrskogeologických podmínek v nezajištěném prostoru ražeb, odběr vzorků hornin a podzemní vody, dokumentaci a vyhodnocení průzkumných předvrtů. Tato dokumentace je podkladem pro následná technická opatření, prognózy v oblasti geologické stavby, ověření a optimalizaci předstihového průzkumu a stanovení smluvně definovaných charakteristických hodnot horninového masivu.

ABSTRACT

The Koralm tunnel with the total length of approximately 32.9km is the most important structure on the Koralm railway with the design speed of 200km/h. It will newly interconnect neighbouring federal states in the south of Austria, Kärnten and Steiermark, concretely Graz and Klagenfurt, their capitals. The tunnel passes through the Koralpe mountain range with the maximum overburden height of roughly 1200m. The tunnel route is divided into three separate construction lots, KAT1, KAT2 and KAT3. The following paper is focused on the 21.3km long KAT2 section, which first of all comprises driving single-track running tunnels using full-face hard-rock TBMs, but also using the NATM, as well as the excavation of an emergency station and cross passages. The paper is focused on the engineering geological monitoring of the TBM driving of running tunnels, comprising the documentation of engineering geological conditions in the unsupported space of the excavation, the collection of samples of rock and groundwater, the documentation and assessment of pre-drilled exploratory probe holes. This documentation is the basis for subsequent technical measures, prognoses regarding the geological structure, the verification and optimisation of the advance survey and the determination of the rock mass characteristic properties to be defined by the contract.

ÚVOD

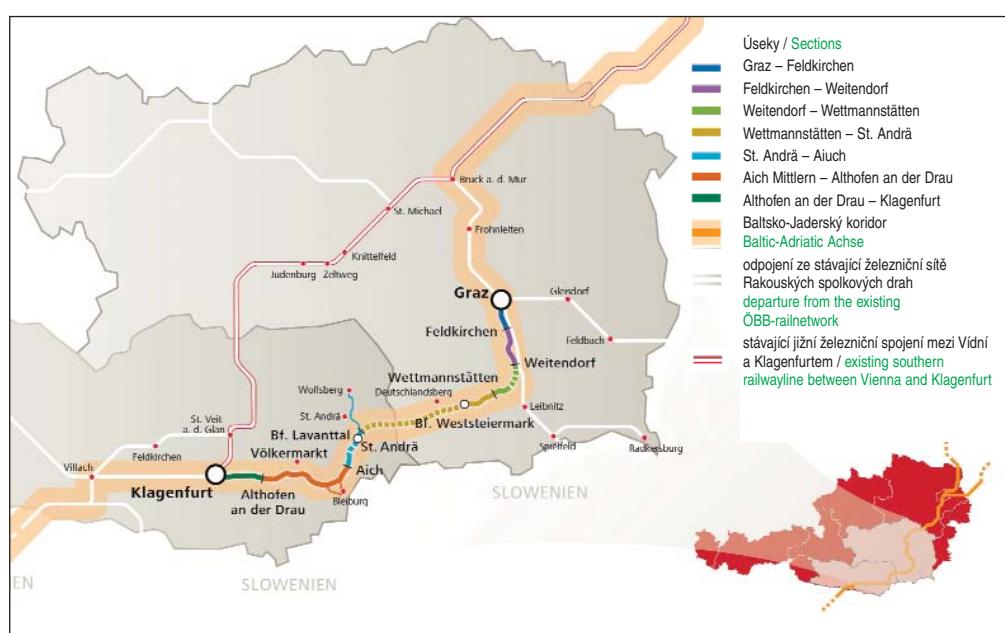
Tunel Koralm je součástí koralmské železnice o délce přibližně 127 km, která nově propojí sousedské spolkové země na jihu Rakouska Korutany (Kärnten) a Štýrsko (Steiermark), konkrétně jejich hlavní zemská města Graz a Klagenfurt. Železnice Koralm tvoří významný úsek na mezinárodním vysokorychlostním „baltsko-jaderském“ železničním koridoru (Baltisch-Adriatische Achse), který byl navržen Evropskou unií a propojuje Baltské moře se Středozemním přes města Helsinki, Gdańsk, Varšava, Vídeň, Benátky, Boloňa. Nově vyprojektovaná trať o návrhové rychlosti 200 km/h zkrátí přepravní dobu mezi městy Klagenfurt a Graz z aktuálních 3 hodin na méně než jednu hodinu. Dokončení ražeb je plánováno na rok 2019, uvedení trasý do provozu je předpokládáno v roce 2023 (obr. 1).

TUNEL KORALM

Nejvýznamnější konstrukcí koralmské železnice je samotný tunel Koralm s celkovou délkou přibližně 32,9 km, který na hranici spolkových zemí Korutany a Štýrsko prochází horským masivem Koralpe s maximální výškou nadloží

INTRODUCTION

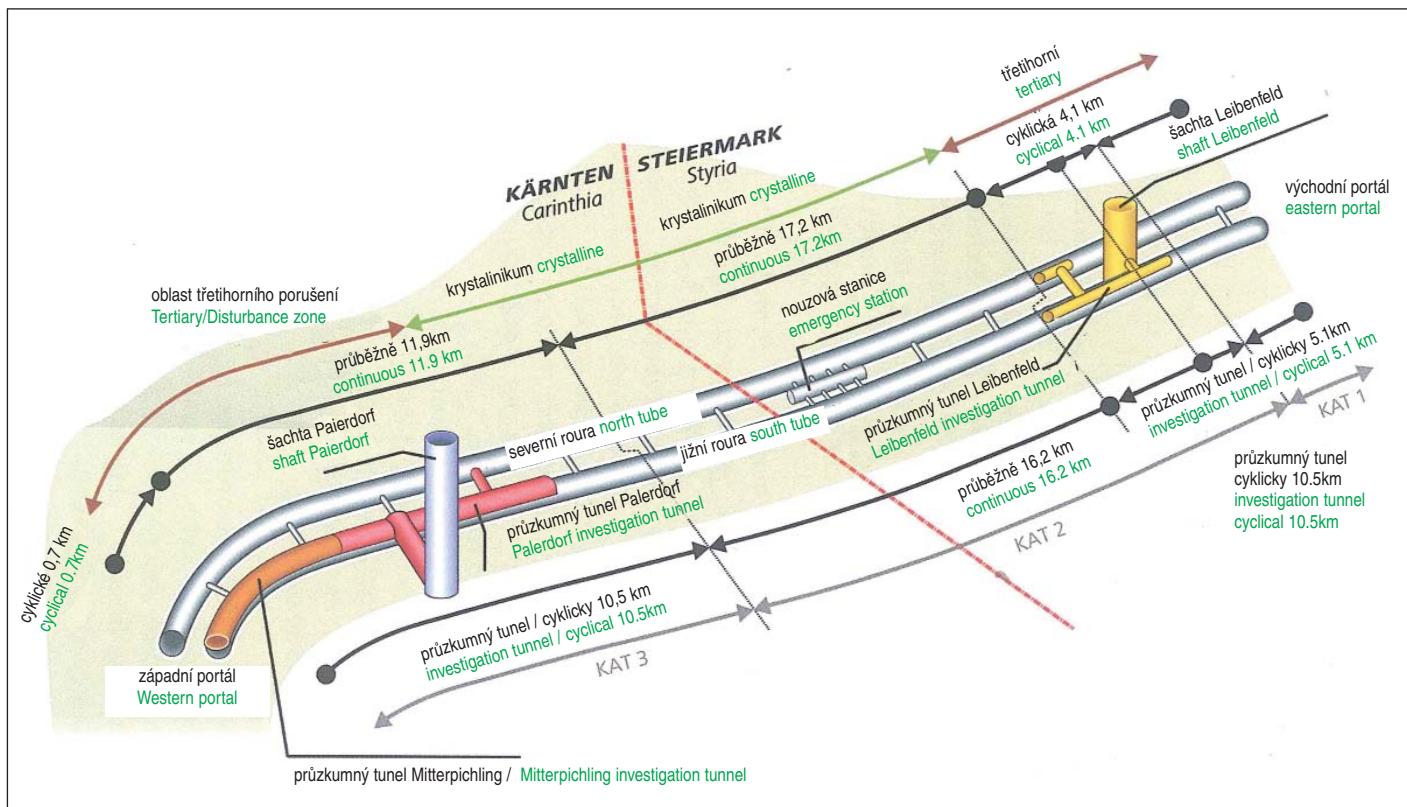
The Koralm tunnel is part of the approximately 127km long Koralm railway, which will newly interconnect neighbouring federal states in the south of Austria, Kärnten and Steiermark, concretely



Obr. 1 „Baltsko-jaderský“ železniční koridor na území Rakouska, úsek Graz – Klagenfurt s vyznačeným úsekem tunelu Koralm mezi městy Wettmannstätten a St. Ändra

Fig. 1 Baltic-Adriatic railway axis in Austria, the Graz – Klagenfurt section, with the Koralm tunnel section between the towns of Wettmannstätten and St. Ändra marked in it

zdroj/source: ÖBB



Obr. 2 Rozdělení tunelu Koralm do základních úseků, zobrazení průzkumných podzemních děl a vymezení konvenčních a mechanizovaných ražeb
Fig. 2 Koralm tunnel division into basic sections, representation of underground exploratory workings and specification of conventional and mechanised drives

zdroj/source: ÖBB

přibližně 1200 m. Investorem stavby je ÖBB Infrastruktur AG a následným provozovatelem budou Rakouské spolkové dráhy ÖBB. Jedná se o dva jednotkové tunely, které jsou po 500 m propojeny tunelovými propojkami. Přibližně uprostřed tunelu je situována nouzová stanice o délce 920 m. Trasa tunelu je orientována přibližně v Z – V směru.

Trasa tunelu Koralm je rozdělena do tří základních stavebních úseků (obr. 2), na kterých působí různá sdružení dodavatelských firem, dále firmy a jejich sdružení zajišťující všechny inženýrské činnosti a individuální experti.

Úsek Koralm 1 (KAT1) je na východě vymezen portálem v údolí Frauental ve spolkové zemi Štýrsko a pokračuje do oblasti města Deutschlandsberg, před průzkumnou šachtu Leibenfeld. Tento úsek je stavebně dokončen a zahrnuje hloubené a konvenčně ražené části tunelů o délce přibližně 2,5 km v každé tunelové troubě. Ražby probíhaly v období 2010–2012. Zhotovitelem stavebních prací bylo konsorcium firem „ARGE KAT1“ zahrnující společnosti Wayss & Freytag Ingenieurbau AG a Granit GmbH.

Úsek Koralm 2 (KAT2) je vymezen od zařízení staveniště průzkumné šachty Leibenfeld směrem na východ prorážkou do stavebního úseku KAT1 a na západ do úseku KAT3. Průzkumná podzemní díla se započala v roce 2005 vyhloubením 60 m hluboké průzkumné šachty Leibenfeld a průzkumného tunelu Leibenfeld o délce cca 1,87 km. Úsek KAT2 o délce úseku přibližně 21,3 km zahrnuje ražby traťových tunelů převážně pomocí tunelovacích strojů TBM, v menším rozsahu konvenčně ražených, dále konvenční ražby nouzové podzemní stanice a tunelových propojek. Ražby na úseku KAT2 byly zahájeny v roce 2011. Zhotovitelem stavebních prací je zde konsorcium „ARGE KAT2“ společností Strabag AG a Jäger Bau GmbH, které tento úsek vysoutěžilo v roce 2010 za 570 mil. eur. Podrobnosti o úseku KAT2 jsou uvedeny v dalším textu.

Úsek Koralm 3 (KAT3) je na západě vymezen portálem v údolí Lavanttal ve spolkové zemi Korutany a prorážkou do stavební části KAT2. Úsek KAT3 zahrnuje přibližně 10,6 km

Graz and Klagenfurt, their capitals. The Koralm railway forms an important section on the international high-speed railway corridor, the Baltic-Adriatic Axis, which was proposed by the European Union and which interconnects the Baltic Sea with the Mediterranean via Helsinki, Gdansk, Warsaw, Vienna, Venetia and Bologna. The newly designed track with the design speed of 200km/h will reduce the time of travel between Klagenfurt and Graz from the current 3 hours to less than one hour. The completion of the tunnelling operations is planned for 2019; bringing the line into service is expected in 2023 (see Fig. 1).

THE KORALM TUNNEL

The most important structure of the Koralm railway is the Koralm tunnel itself with the aggregated length of approximately 32.9km, passing at the border between the federal states of Kärnten and Steiermark through the Koralpe Range, with the maximum overburden height of roughly 1200m. The project owner is ÖBB Infrastruktur AG and the tunnel will subsequently be operated by Austrian Federal Railways (Österreichische Bundesbahnen, ÖBB). The tunnel consists of two single-track tunnel tubes interconnected by cross passages every 500m. An emergency station, 920m long is located approximately in the middle of the tunnel length. The tunnel route is oriented approximately in the W – E direction.

The Koralm tunnel route is divided into the following three basic construction sections (see Fig. 2), which are carried out by various consortia of contractors. In addition, there are firms and their consortia, as well as individual experts, providing all engineering.

The Koralm section 1 (KAT1) is defined in the east by the portal in Frauental valley in the federal state of Steiermark and it continues to the area of the town of Deutschlandsberg, via the Leibenfeld exploratory shaft. The civil works on this section have been completed. They comprised cut-and-cover and conventionally driven parts of tunnels at the aggregated length of each tunnel tube of approximately 2.5km. The tunnel construction lasted from 2010 to 2012. The civil engineering contractor was done by “ARGE

konvenčních ražeb v jižní tunelové troubě a 12,1 km mechanizovaných a cca 0,7 km konvenčních ražeb v severní tunelové troubě, dále krátké hloubené úseky v oblasti povrchového přístupu Mitterpitchling. Průzkumná podzemní díla byla zahájena v roce 2004 vyhloubením průzkumné šachty Paierdorf o hloubce 120 m a průměru 10 m. Z ní byly na převážném úseku jižní trouby rozraženy konvenčním způsobem průzkumné tunely o profilu kaloty budoucího tunelu (cca 48 m²), a to konkrétně průzkumný tunel Paierdorf délky cca 4,74 km a průzkumný tunel Mitterpitchling délky cca 3,05 km. Počáteční úseky obou tunelových trub ze západního portálu o délce 0,7 km k přístupovému místu Mitterpitchling byly vyraženy konvenčně v průběhu roku 2014. Zbývající úseky jižní tunelové trouby jsou raženy konvenčně k hranici s částí KAT2 a stávající úseky s průzkumnými tunely budou rozšířeny na plný profil tunelu. Severní tunelová trouba bude ražena mechanizovaně na úvodních cca 5 km v neogenních terciérních sedimentech pomocí plnoprofilového tunelovacího stroje v módu zeminového štítu (EPB), aby následně byl stroj přestavěn na horninové TBM se štítem v předem připravené kaverné o délce 40 m. Práce byly zahájeny koncem roku 2013 a ražby započaly v lednu 2014. Zhotovitelem stavby úseku KAT3 je společnost Porr AG.

GEOLOGICKÉ POMĚRY

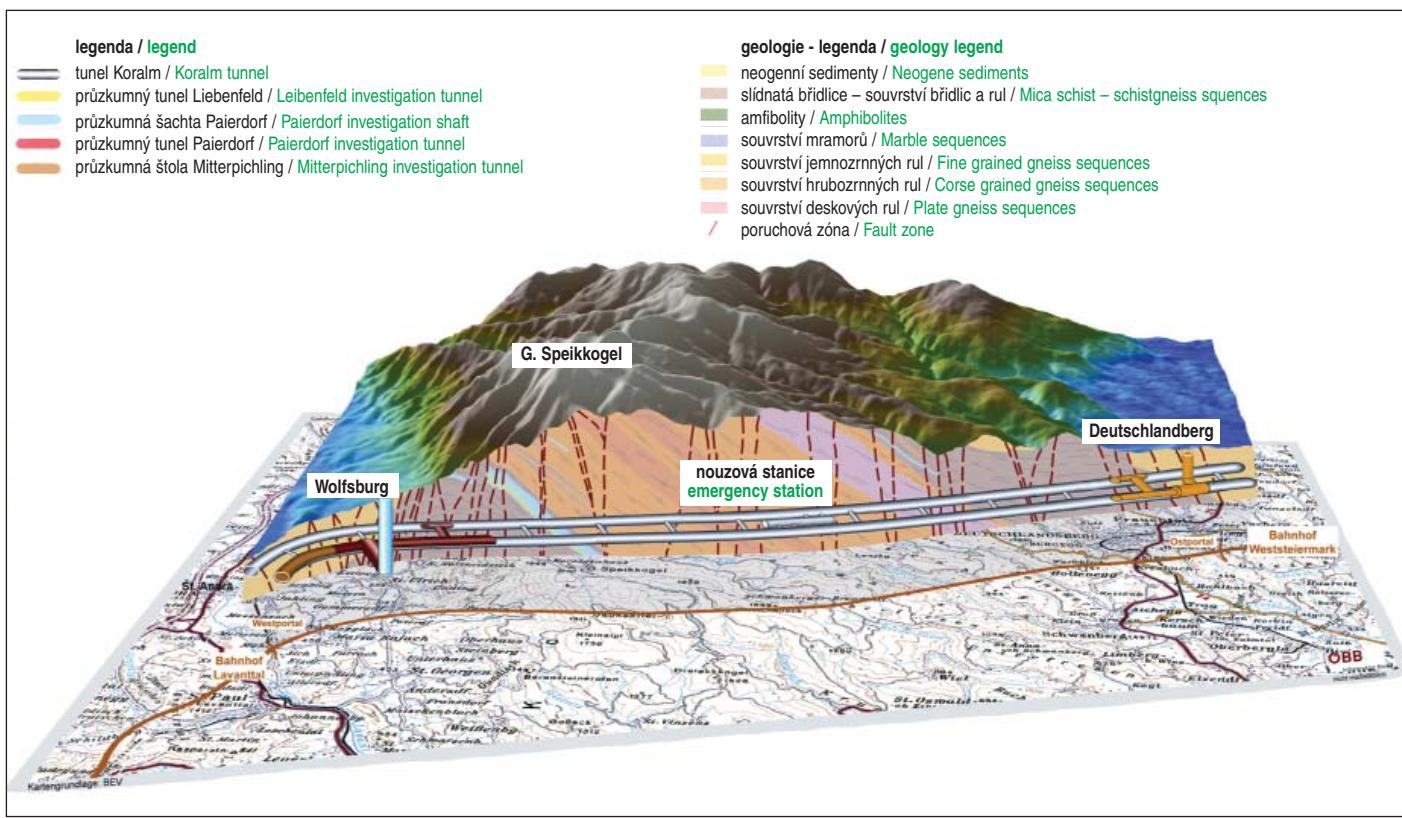
Zájmové území je v okrajových oblastech trasy tunelu tvořeno severozápadním výběžkem Panonské pánve, která je zde zastoupena mělké marinními sedimenty a dále intramontánní Lavantalskou pánví. Ze stratigrafického pohledu se jedná o sedimenty neogenního stáří. Horninové prostředí je zde tvořeno především ulehlymi písky a málo zpevněnými písčitými prachovci až hrubozrnnými pískovci. Mocnost a průběžnost jednotlivých typů hornin je velmi proměnlivá, a to především v oblasti lavantského údolí, což vede k výrazné heterogenitě horninových podmínek v tunelu.

Převážná část trasy tunelu je však tvořena metamorfovaným sledem hornin koralského krystalinika (obr. 3), které náleží tzv.

KAT1" consortium consisting of Wayss & Freytag Ingenieurbau AG and Granit GmbH.

The Koralm section 2 (KAT2) is constructed from the construction site facility located at the Leibenfeld exploratory shaft and is limited at the east by lot KAT1 and at the west by the breakthroughs to lot KAT3, respectively. The underground exploratory workings commenced in 2005 by excavating the 60m deep Leibenfeld exploratory shaft and driving the ca 1.87km long Leibenfeld exploratory tunnel. The about 21.3km long KAT2 section comprises the driving of running tunnels mostly by TBMs and, to a smaller extent, conventionally. Conventionally are constructed cross passages and the emergency station between the tunnel tubes. Tunnelling operations on KAT2 section commenced in 2011. The civil engineering contractor for this section was awarded to the "ARGE KAT2" consortium consisting of Strabag AG and Jäger Bau GmbH in 2010, for the cost of EURO 570 million. Details regarding KAT2 section are presented in the text below.

The Koralm 3 section (KAT3) is defined in the west by the portal in Lavanttal valley in the federal state of Kärnten and in the east by the breakthrough into construction section KAT2. KAT3 section comprises approximately 10.6km of conventional tunnelling in the southern tunnel tube and 12.1km of mechanised tunnelling and ca 0.7km of conventional driving in the northern tunnel tube; in addition, there are short cut-and-cover sections in the area of the Mitterpitchling at-grade access. Exploratory underground operations started in 2004 by sinking the 120m deep and 10m-diameter Paierdorf exploratory shaft. Exploratory tunnels were driven conventionally from this shaft in the major part of the southern tunnel tube, with the cross-sections corresponding to the top heading of the future tunnel (the excavation cross-sectional area of ca 48m²), concretely the 4.74km long Paierdorf exploratory tunnel and the ca 3.05km long Mitterpitchling exploratory tunnel. The initial 0.7km long sections of both tunnel tubes from the western portal to the Mitterpitchling access point were driven conventionally during 2014. Remaining sections of the southern tunnel tube are driven conventionally up to the border with KAT2 part; the existing sections formed



zdroj/source: ÖBB

koridorskému komplexu krystalinika Lavantalských Alp. Jde o polymetamorfí horniny křídového stáří, které jsou zastoupeny především masivními jemnozrnými a hrubožrnnými pararulami, deskovitými rulami, břidličnatými rulami až slídnatými břidlicemi, s polohami amfibolitů a dále s méně hojným výskytem eklogitů, mramoru, pegmatitů. V tektonických zónách se pak jedná o tektonické brekcie s často jílovitou výplní.

Z tektonického hlediska se jedná o výrazně postiženou oblast. Příkrovová stavba a ploché zvrásnění masivu je variského původu, rozdílné strukturální vlastnosti rul pak představují alpinský duktilní smykový horizont. Neogenní tektonické zlomy a výzdvihy následně vedly k současnému vzhledu koralpského masivu.

Převládající směr ploch nespojitosti a poruchových pásem je SSZ – JJV směru, tedy přibližně kolmý na osu tunelu, s dalším systémem kolmým na tento směr. Plochy nespojitosti jsou převážně strmě ukloněny (50° až 90° k VSV). Převládající směr diskontinuit koresponduje s orientací lavantalského zlomu, který, co se týče tektonického vývoje oblasti, představuje významnou strukturu, na které došlo k vyzdvížení Koralpského krystalinika a uklonění směrem k východu. Tento zlom byl následně překryt sedimenty lavantalské pánve. Trasa tunelu protíná tento zlom v blízkosti západního portálu.

Výskyt podzemní vody je v úrovni tunelu vázán především na plochy břidličnatosti, polohy mramorů a tektonické poruchové zóny.

PRŮZKUMNÁ PODZEMNÍ DÍLA

V letech 2003 až 2010 byla realizována čtyři průzkumná podzemní díla v rámci podrobného inženýrsko-geologického průzkumu, jehož výsledky se staly podkladem pro návrh projektu, realizační dokumentaci stavby a současně pro výběrové řízení na zhotovitele stavby. Součástí průzkumných prací byla realizace hlubené šachty a tunelu Leibenfeld v blízkosti východního portálu z důvodu ověření geologických a geotechnických podmínek kontaktu neogenních sedimentů s krystalinikem a tektonického systému ohraňujícího masiv krystalinika. Ze stejného důvodu byla realizována průzkumná šachta Paierdorf u západního portálu tunelu, a z této šachty průzkumný tunel Mitterpitchling a Paierdorf, který měl za úkol upřesnit polohu a podmínky lavantalské poruchové zóny. Obě šachty v současné době slouží jako ventilační šachty a zčásti k přepravě pracovníků.

STAVEBNÍ ÚSEK KAT2

Společnost 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH (společník české společnosti 3G ConsultingEngineers s. r. o.) v pracovním konsorciovém se společností PÖYRYPLC pod označením GEO KAT2 zajišťuje inženýrsko-geologické sledování mechanizovaných a konvenčních ražeb tunelů na stavebním úseku KAT2 a částečně stavební dozor investora ÖBB. Geotechnický dozor investora provádí společnost Geoconsult ZT GmbH. Vzhledem k činnosti firmy 3G CE na projektu se článek dále zabývá výhradně úsekem KAT2.

Celková délka úseku KAT2 činí přibližně 31 km, z toho cca 21,3 km připadá na ražbu dvou jednokolejných tunelů, a to v případě severní tunelové trouby 17,2 km na mechanizované a 4,1 km na konvenční ražby. V případě jižní tunelové trouby pak 16,2 km na mechanizované a 5,1 km na konvenční. Dále 920 m konvenčních ražeb připadá na nouzovou stanici a v průběhu mechanizovaných ražeb jsou realizovány i příčné tunelové propojky o délce cca 40 m.

Tunely jsou navrženy převážně jako dvoupláštové, kde primární ostění je tvoreno segmentovým prstencem s rozvrzením 6 + 0, dále mezilehá deštníková izolace a sekundární ostění z monolitického betonu. V úsecích s předpokladem příznivých geologických podmínek (tvrdé, masivní ruly) je uvažováno pouze vodotěsné segmentové ostění. Standardní segmenty jsou z betonu třídy C35/45 XC4 XA1L tloušťky 35 cm, vnitřní monolitické ostění pak z betonu C25/30. Pro poruchová pásma jsou připraveny speciální

by exploratory tunnels will be enlarged to the full tunnel profile. The northern tunnel tube will be driven mechanically in the initial ca 5km long section through Tertiary Neogene sediments using a full-face EPB TBM; the machine will subsequently be overhauled to a hard rock TBM in a 40m long cavern prepared in advance. The operations commenced at the end of 2013 and tunnelling started in January 2014. The contractor for KAT 3 section is Porr AG.

GEOLOGICAL CONDITIONS

The edge regions of the tunnel route area of interest are formed by the north-western protrusion of the Pannonian Basin, which is represented there by shallow marine sediments and farther by the intramontane Lavanttal Basin. From the stratigraphical point of view, there are Neogene sediments there. The ground environment is formed mainly by compact sand and little solidified siltstone to gravelly sandstone. The thickness and persistence of individual ground types is very variable, first and foremost in the area of Lavantall Valley, which in fact leads to the significant heterogeneity of the ground conditions in the tunnel.

Anyway, the major part of the tunnel route is formed by a metamorphosed sequence of rock types forming the Koralm crystalline complex (see Fig. 3), which is part of the so-called Koriden crystalline complex of the Lavanttal Alps. The rock types are polymetamorphosed, of the Cretaceous age and are represented mainly by massive fine-grained and coarse-grained paragneiss, tabular gneiss, schistose gneiss up to mica schist, with amphibolite interlayers and with the less ample occurrence of eclogite, marble and pegmatite. In fault zones, there are fault breccias, frequently with clayey filling.

In terms of tectonics, the area is significantly affected. The nape structure and the flat folding of the massif are of the Variscan origin; the various structural properties of the gneiss represent the Alpine ductile shear horizon. Neogene faults and structural highs subsequently led to the current appearance of the Koralpen massif.

The prevailing trend of discontinuity surfaces and fault zones is NNW – SSE, approximately perpendicular to the tunnel axis, with another system perpendicular to this direction. The discontinuity surfaces mostly steeply dip (50° to 90° ENE). The prevailing trend of discontinuities corresponds to the orientation of the Lavanttal fault, which, as far as the tectonic development of the area is concerned, represents an important structure along which the Koralpen crystalline complex got uplifted, dipping east. This fault was subsequently overlain by Lavanttal Basin sediments. The tunnel route cuts through this fault in the vicinity of the western portal.

The occurrence of groundwater at the tunnel level is bound mainly to schistosity surfaces, layers of marble and tectonic weakness zones.

Underground exploratory works

Four underground exploratory works were realised within the framework of the detailed engineering geological survey during the 2003–2010 period. The survey results became a basis for the design draft, the final design and, at the same time, for the tendering process. The realisation of the shaft and the Leibenfeld tunnel in the vicinity of the eastern portal was part of the exploratory activities. Its target was to verify geological and geotechnical conditions on the contact of Neogene sediments with the crystalline complex and the fault system bordering the crystalline complex massif. The same reason applied to the realisation of the Paierdorf exploratory shaft at the western portal of the tunnel and the Mitterpitchling and Paierdorf exploratory tunnels driven from it, which were designed to refine the location and conditions of the Lavanttal Fault Zone. The two shafts currently serve as ventilation structures and, partially, for the transport of workers.

segmenty s větším množstvím výztuže, případně i z vyšší třídy betonu C50/60. Pro úseky příčných tunelových propojek jsou též navrženy segmenty s navýšeným množstvím výztuže, vyšší třídy betonu a pro velmi nepříznivé podmínky i s ocelovými trny.

Centrem stavby KAT2 je zařízení staveniště Leibenfeld, které je situováno 3,5 km západně od východního portálu na okraji města Deutschlandsberg. Zařízení staveniště zahrnuje kanceláře investora, zhotovitele, železniční napojení, dvě betonárny s napojením na výrobní zařízení segmentů a jejich skladiště, dále deponie pro uložení, přetřídění a další využití vytěženého materiálu.

Práce na úseku KAT2 byly zahájeny v roce 2011, a to nejprve realizací dvojitě, rozepřené šachty hloubky 60 m a průřezu 800 m². Šachta byla vyhloubena za účelem transportu jednotlivých částí razicích strojů a nyní je využívána k dopravě materiálu (segmenty, rubanina, technický materiál, apod.). Následně byly konvenčním způsobem vyraženy obě tunelové trouby (respektive v jižní troubě rozšířen profil stávajícího průzkumného tunelu) délky cca 4 km, a to do místa startu mechanizovaných ražeb, včetně kaveren pro sestavení strojů, a do prorážky s úsekem KAT1.

Počátkem roku 2013 byly na KAT2 zahájeny mechanizované ražby pomocí plnoprofilových tunelovacích strojů TBM do skalních hornin s dvojitým štítem dodaných společností Aker-Wirth (obr. 4). Průměr řezné hlavy stroje je 9,93 m a výkon každého stroje činí 8000 kW a rotační moment 30 000 kNm. Dohromady obě TBM vyrazí 32,8 km. Současně s mechanizovanými ražbami probíhá konvenční ražba propojek mezi severní a jižní troubou. V současné době (květen 2015) bylo v jižní troubě vyraženo cca 11,1 km a v severní 11,4 km.

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ SLEDOVÁNÍ

Inženýrskogeologické sledování zahrnuje především dokumentaci inženýrskogeologických podmínek v nezajištěném prostoru ražeb, odběr vzorků hornin a podzemní vody a dokumentaci a vyhodnocení průzkumných předvrství. Dokumentace je podkladem pro následná technická opatření, prognózy v oblasti geologické stavby, ověření a optimalizace předstihového průzkumu a stanovení smluvně definovaných charakteristických hodnot horninového masivu.

Inženýrskogeologická dokumentace

Po účely prováděcího projektu na kontraktu KAT2 byla geologickým dozorem investora, společnosti 3G Gruppe Geotechnik Graz, připravena „Geologická (inženýrskogeologická) dokumentace“, která je rozdělena na jednotlivé dokumenty pro konvenční a mechanizované ražby. Zpracování dokumentu bylo realizováno

KAT2 CONSTRUCTION SECTION

3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH (a partner of the Czech company of 3G Consulting Engineers s. r. o.) and PÖYRY PLC, in a working consortium titled GEO KAT2, provide the engineering geological monitoring of the mechanised and conventional drives of tunnels within KAT2 construction section and, partially, the client's (the ÖBB) supervision. Client's geotechnical supervision is carried out by Geoconsult ZT GmbH. With respect to the activity of 3G CE on the project, the paper further deals exclusively with KAT2 section.

The total length of KAT2 section amounts approximately to 31km. An approximately 21.3km long part of this length falls on the excavation of two single-track tunnels, namely, in the case of the northern tunnel tube, 17.2km of mechanised drives and 4.1km of conventional drives. In the case of the southern tunnel tube, 16.2km will be driven mechanically and 5.1km conventionally. In addition, 920m of the conventional tunnelling falls on the emergency station and approximately 40m long cross passages are being carried out during the course of the mechanised tunnelling.

The tunnels are mostly designed as double-shell structures consisting of primary linings formed by 6+0 segmental rings, umbrella-type intermediate waterproofing and cast-in-situ secondary concrete linings. In the sections where favourable geological conditions are expected (hard, massive gneiss), only a watertight segmental lining is assumed. Standard 35cm thick segments are produced from C35/45 XC4 XA1L grade concrete, whilst the cast-in-situ concrete lining is from C25/30 grade concrete. Special segments containing more reinforcement or produced using higher concrete grade, C50/60, are prepared for fault zones. Segments with increased content of reinforcement, using a higher concrete grade and, for the cases of unfavourable conditions, even provided with steel dowels, are designed for cross passages.

The Leibenfeld construction facility is the centre of KAT2. It is located 3.5km west of the eastern portal, on the outskirts of the town of Deutschlandsberg. This construction facility comprises client's and contractor's offices, a railway connection, two batching plants with a connection to the segment casting yard and a segment stocking facility, yards for depositing, resizing and other use of muck.

The work on KAT2 section commenced in 2011, first by the realisation of a 60m deep and 800m² cross-section braced twin-celled shaft. The shaft was excavated for the purpose of transporting individual parts of the tunnelling machines. It is currently used for the transport of materials (segments, muck, technical materials etc.). The two ca 4km long tunnel tubes were driven (respectively, in the southern tunnel tube, the profile of the existing exploratory tunnel was enlarged) to the starting point of the mechanised drives, inclusive of caverns for the assembly of the machines, and to the breakthrough into KAT1 section.

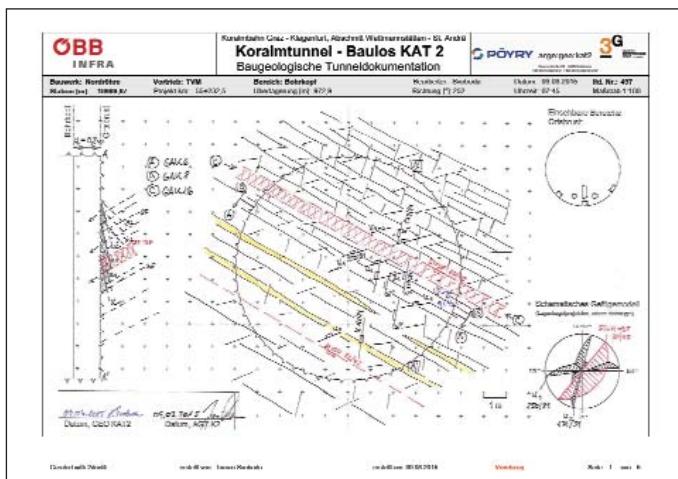
Mechanised tunnelling using double-shielded hard-rock TBMs supplied by Aker-Wirth commenced at KAT2 at the beginning of 2013 (see Fig. 4). The diameter of the cutterheads is 9.93m and the power of each of the machines amounts to 8000kW, their torque is 30,000kNm. Both TBMs will jointly drive 32.8km. Concurrently with the mechanised drives, the conventional excavation of cross passages proceeds between the northern tube and the southern tube. At the moment (May 2015), ca 11.1km and 11.4km of the excavation has been finished in the southern tube and northern tube, respectively.

ENGINEERING GEOLOGICAL MONITORING

The engineering geological monitoring comprises first of all the documentation of engineering geological conditions in



Obr. 4 TBM do skalních hornin s dvojitým štítem od společnosti Aker-Wirth
Fig. 4 Double-shielded hard rock TBM manufactured by Aker-Wirth



Obr. 5 Skica příčného inženýrskogeologického řezu čelby se zakreslenými hlavními strukturálními prvky, vlevo skica podélného řezu

Fig. 5 A sketch of the engineering geological cross-section through the heading with the main structural elements drawn in it; a sketch of the longitudinal section on the left side

s cílem sjednotit definice pojmu a klasifikaci a umožnit tak i přímé porovnání údajů a parametrů v geotechnické zprávě s geologickou dokumentací ražeb.

Geologická kancelář na straně investora je obsazena třemi pozicemi, hlavní geolog, asistent hlavního geologa a dokumentační geolog. Pracovní cyklus dokumentačního geologa sestává z 8 dní na stavbě a 6 dní volna. V tomto cyklu se střídají dva geologové (3G a PÖYRY). Hlavní geolog a asistent mají standardní pracovní týden.

Souběžně k dokumentaci sdružení GEO KAT2 (3G, PÖYRY) existuje geologický dohled zhotovalce, sdružení společností AGT.K2 (Dr. Plinninger Geotechnik, geo.zt gmbh, müller+hereth gmbh), které provádí vlastní tzv. konsenzuální geologickou dokumentaci, odsouhlasenou investorem stavby. Dokumentace jsou téměř identické, liší se způsobem zakreslení čelby, kdy v konsenzuální dokumentaci AGT.K2 se zakreslují výhradně fyzicky dokumentované části čelby, bez měřítka (např. bez zohlednění skutečné vzdálenosti diskontinuit), zatímco v dokumentaci GEO KAT2 se čelba extrapoluje do dalších částí se zohledněním měřítka (obr. 5).

Inženýrskogeologické sledování mechanizovaných ražeb zahrnuje dokumentaci horninového prostředí následujících oblastí:

Oblast řezné hlavy: především dokumentace skrze otvory v řezné hlavě pro účely oprav a údržby hlavy tzv. „Mannlöcher“ – kruhovité průlezy o průměru cca 80 cm (obr. 6a); dále skrze otvory začištovacích dlát (obr. 6b) a otvory řezných disků.

Oblast teleskopického štítu: otvory ve štítu tzv. „geologická okna“, která jsou umístěna přibližně 5 metrů za řeznou hlavou; v případě zatažení teleskopického štítu dokumentace kompletního horninového prstence ve vzdálenosti cca 3 m za čelbou.

Otvory v segmentech: dokumentace skrze otvory v segmentech prvního prstence za štítem (otvory v segmentech jsou osazeny závitem s víkem a slouží k injektáži prostoru mezi prstem a horninovým masivem) (obr. 6c).

Dokumentace rubaniny na přepravním pásu před první drtičkou

Dokumentace čelby v prostoru řezné hlavy představuje nejdůležitější referenční oblast pro stanovení procentuálního zastoupení horninových typů a celkové posouzení chování horninového masivu při ražbě. Zbývající oblasti pak slouží jako doplňující podklad pro ověření podmínek dokumentovaných na čelbě, dalšího vývoje chování nezajištěného horninového masivu podél štítu a případně k ověření dat z razicího stroje. Výše uvedené typy dokumentace zaujmí ve zpracování dokumentačních listů vlastní části.

unsupported excavated spaces, collecting samples of rock and groundwater and the documentation and assessment of pre-drilled exploratory boreholes. The documentation provides a basis for subsequent technical measures, prognoses in the field of the geological structure, the verification and optimisation of the exploration ahead of the excavation face and the determination of the characteristic properties of the ground mass to be defined by the contract.

ENGINEERING GEOLOGICAL DOCUMENTATION

“The geological (engineering geological) documentation” was prepared by client’s geological supervision, the company of 3G Gruppe Geotechnik Graz, for the needs of the final design for the KAT2 contract. It is divided into individual documents for conventional and mechanised tunnelling. The document was carried out with the aim of unifying the definitions of terms and classifications, thus allowing even for the direct comparison of the data and parameters contained in the geotechnical report with the geological documentation of the drives.

The client’s office of geology employs three positions – the main geologist, main geologist’s assistant and a documentation geologist. The documentation geologist’s working cycle consists of 8 days spent on site and 6 days off. Two geologists alternate in this cycle (3G and PÖYRY). The main geologist and his assistant have a standard working week.

Contractor’s geological supervision performed by the AGT.K2 consortium (Dr. Plinninger Geotechnik, geo.zt gmbh, müller+hereth gmbh) exists in parallel to the documentation carried out by GEO KAT2 consortium (3G, PÖYRY). It carries out its own so-called “consensual” geological documentation approved by the project owner. The documentations are nearly identical. They differ in the method of plotting the excavation face, where exclusively physically documented parts of the face are plotted without scaling (e.g. without taking actual spacing of discontinuities into consideration) in the AGT.K2 consensual documentation, whilst the face is extrapolated into other parts, taking the scale into account, in the GEO KAT2 documentation (see Fig. 5).

The engineering geological monitoring of mechanised drives comprises the documentation of the ground environment in the following areas:

The cutterhead area: it is first of all the documentation carried out through openings in the cutterhead used for repairs and maintenance of the cutterhead (the so-called Mannlöcher), i.e. circular man-holes ca 80cm in diameter (see Fig. 8a); in addition it is carried out through gates for the trimming cutters (see Fig. 6b) and gates for the disk cutters.

The telescopic shield area: holes in the shield, the so-called “geological windows”, which are located approximately 5m behind the cutterhead; in the case of the telescopic shield retracted; the geological documentation of a complete ring of rock ca 3m behind the excavation face.

Openings in segments: the documentation through holes in the segments forming the first lining ring behind the shield (the ports in the segments are provided with fittings with inner threads and lids and they serve to injecting grout into the annulus between the ring and the rock mass) (see Fig. 6c).

Documentation of muck on the belt conveyor before the initial crusher

The documentation of the heading in the space of the cutterhead represents the reference part most important for the determination of the proportional representation (percentage) of ground types and the overall assessment of the rock mass behaviour during the excavation. The remaining areas are used as supplementary bases for the verification of the conditions

Ohledně stručného popisu dokumentace ražby každý list obsahuje obecné informace o raženém díle. Na prvním listu je ručně kreslená skica dokumentované a dále prostorově interpretované čelby. Druhý list obsahuje zastižené a procentuálně vymezené horninové typy. Těch je v rámci projektu KAT2 a ražeb týkajících se hornin krystalinika vymezeno 27 typů, a to podle: anizotropie, stupně rozpušení horninového masivu, jednoosé pevnosti (UCS), stupně zvětrání, případně výskytu krasových jevů a v případě zastižení tektonických poruchových zón a pásem charakter materiálu jejich výplně. Dále obnáší vyznačení horninových typů směrodatných pro chování nezajištěného výruba při ražbě (včetně tvorby nadvýlomů), obecný geologický popis, strukturní charakteristiky horninového masivu, přítomnost a charakter podzemní vody, lepivost na čelbě a řezné hlavě a další poznámky k ražbě. Podrobně jsou následně popsány jednotlivé horninové typy (tj. například vzdálenost ploch břidlicnatosti, blokovitost masivu, rozevřenosť puklin, detailní litologie) a zařízena využitelnosti rubaniny (tj. přiřazení materiálové třídy, ze které vyplývá transport na příslušnou deponii a odpovídající zpětné využití). Dále charakteristika zdokumentovaných ploch odlučnosti (typ diskontinuity, případně systém diskontinuit, vzdálenost, drsnost, zvlnění, rozevření, výplň, povlaky). Následující listy jsou zaměřeny na fotodokumentaci výše uvedených oblastí. Poslední list je dokumentace rubaniny (foto, popis – geologický, zrnitostní, využitelnost atd.).

Inženýrskogeologická dokumentace in-situ

Inženýrskogeologická dokumentace ražeb probíhá v obou tunelových troubách každý den ráno, a to jak geologem zhotovitele, tak investora. Přijaté řešení plyne z důvodu ověření geologické situace jednotlivými stranami a současně splňuje podmínky bezpečnosti. Společně s geology se dokumentace účastní geotechnik a stavební dozor za investora a dále stavbyvedoucí a technik TBM za zhotovitele.

Vlastní průběh dokumentace in-situ začíná v 7 hodin ráno odjezdem důlního vlaku z šachty na čelbu jednoho z tunelů. V současné době cesta zabere cca 40 min jízdy. Pokud nedojde k zastižení technologické pauzy (např. výměna řezných disků, rekonstrukce průzkumného předvrstu, apod.), je možné okamžitě zdokumentovat rubaninu na přepravním pásu před drtičkou. V průběhu několika minut obsluha z důvodu geologické a geotechnické dokumentace zastaví razicí stroj, couvne s řeznou hlavou o několik desítek centimetrů (cca 20–30 cm) a umožní přístup do komory před hlavou. Ve většině případů, a je to vhodnější i z hlediska dokumentace čelby, je přístupná dolní polovina komory (obr. 7) a skrze otvory je možné fotograficky a fyzicky zdokumentovat horninové prostředí, tedy čelbu a lokálně boční stěny výruba. Standardně viditelná oblast čelby z otvorů v hlavě je předmětem obr. 8a. V ojedinělých případech je prostor mezi čelbou a řeznou hlavou zcela (kompletně) přístupný. Většinou se tak

documented at the excavation face, the subsequent development of the behaviour of the unsupported rock mass along the shield body and, if necessary, for the verification of the data from the tunnelling machine. The above-mentioned documentation types take up their own parts in the preparation of documentation sheets.

Regarding the brief description of the excavation documentation, each sheet contains general information on the working being excavated. A hand-drawn sketch of the heading being documented and the heading being subsequently spatially interpreted are on the first sheet. The second sheet contains the encountered types and the ground types defined by the percentage. 27 types are determined within the framework of KAT2 design and the tunnelling through the crystalline complex rock, with respect to: anisotropy, the degree of rock mass fracturing, the uniaxial compression strength (the UCS), the degree of weathering or even the occurrence of karst phenomena and, in the case of encountering fault zones, the character of the materials filling the cracks. In addition, it contains the marking of rock types decisive for the behaviour of the unsupported excavation during the work on it (inclusive of overbreaks), a general geological description, structural characteristics of the rock mass, the presence and character of groundwater, the stickiness at the excavation face and on the cutterhead and other notes regarding the excavation. Individual rock types (for example the spacing of schistosity surfaces, rock mass blockiness, aperture of cracks, detailed lithology) are subsequently described in detail and the usability of muck (the material classes from which the transport of muck to the respective stockpile is determined and from which the corresponding muck re-use follows) is categorised. In addition, the sheet contains the characteristics of the documented discontinuity surfaces (the type of the discontinuity or the system of discontinuities, the spacing, roughness, undulation, aperture, filling, coating). The following sheets are focused on the photo documentation of the above-mentioned areas. The last sheet contains the documentation of muck (photos, description – geological, grain-size related, usability etc.).

In-situ engineering geological documentation

The engineering geological documentation of drives is carried out in both tunnel tubes by both the client's and contractor's geologists every morning. The adopted solution follows from the verification of the geological situation by individual parties and, at the same time, meets the safety requirements. Together with the geologists the geotechnician and client's supervisor, the site manager and TBM technician on behalf of the contractor take part in the documentation.

The in-situ documentation process begins at 7h a.m. by the departure of the mine train from the shaft to the heading of one



Obr. 6 Fotografická dokumentace čelby skrze otvory v řezné hlavě, tj.“Mannloch“, otvory začišťovacích dlát, a dále mezery mezi segmentovým prstencem a horninou v klenbě

Fig. 6 Photo documentation of the excavation face carried out through openings in the cutterhead, the so-called “Mannlöcher“, gates for the trimming cutters and the gap between the segmental ring and the rock in the crown

združené: ŘBB, 3G



zdroj/source: ÖBB, 3G

Obr. 7 Provádění inženýrskogeologické dokumentace čelby ze dna razící komory skrze průlez v řezné hlavě štítu

Fig. 7 Carrying out the engineering geological documentation of the excavation face from the excavation chamber bottom through openings in the cutterhead

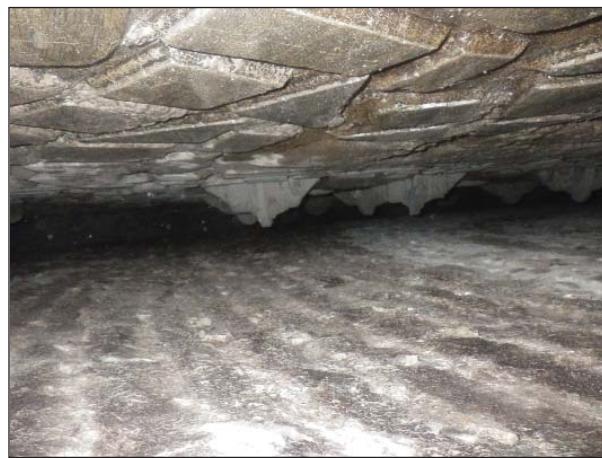
stane pouze v období prací na údržbě stroje, které jsou podmíněny maximální stabilitou čelby (obr. 8b). Opakem je obr. 8c, kdy čelba vykazuje výrazné blokovité výlomy.

Před samotným vykloněním se k čelbě je nutné se přesvědčit o stabilitě čelby, čili přítomnosti volných bloků, vzniku odprysků apod. Vzhledem ke stísněnému prostoru a časovému omezení na dokumentaci (cca 10 minut v případě zastavení ražby výhradně z důvodu geologické a geotechnické dokumentace) je nutné jednat rychle a současně opatrně vzhledem k výšce stroje. Nejprve je čelba fotografována v různých na sebe kolmých směrech pohledu. Viditelné strukturní prvky se popisují, jejich orientace a sklon jsou odhadovány, jelikož geologický kompas nepracuje správně z důvodu magnetického pole razicího stroje. Pevnost horniny je ověřována geologickým kladivem. Z prostoru komory je dále možné zkontrolovat zanesení štítu stroje. Po ukončení dokumentace čelby následuje dokumentace „geologických oken“ v teleskopickém štítu a v dalším kroku kontrola otvorů v segmentech a mezery mezi prstencem a horninovým masivem jednoho až dvou prstenců přístupných hned za štítem stroje. Kontrola se provádí z důvodu odhalení nadvýlomů – rozvolnění horninového masivu a dosednutí větších bloků na prstenec, jež mohou zapříčinit vznik trhlin v segmentech.

V průběhu čekání na důlní vlak, či přímo v něm, jsou vyplňeny jednotlivé dokumentační listy konsenzuální inženýrskogeologické dokumentace, a to za spolupráce geologů obou stran. Identickým způsobem se postupuje i v případě druhé trouby, kdy je nejprve

of the tunnels. The travel currently takes about 40 minutes. If no technological break is encountered (e.g. the replacement of disk cutters, the realisation of exploratory boreholes ahead of the excavation face etc.), it is immediately possible to document the muck on the belt conveyor before the crusher. The operators stop the tunnelling machines during several minutes to allow for the geological and geotechnical documentation. They move the cutterhead several centimetres back (ca 20–30cm) and allow for the access to the chamber ahead of the cutterhead. It is in the majority of cases, and it is more suitable even from the aspect of the documentation of the excavation face, that the lower half of the chamber is accessible (see Fig. 7) and it is possible to document the rock environment, i.e. the excavation face and locally even the sidewalls of the excavated space, photographically and physically through the openings. The area of the excavation face commonly visible from the openings in the cutterhead is presented in Fig. 8a. In rare cases, the space between the excavation face and the cutterhead is completely accessible. It mostly happens only during the machine maintenance periods, which are conditional on the maximum stability of the face (see Fig. 8b). An opposite case is in Fig. 8c, where the excavation face exhibits distinct blocky features.

It is necessary before leaning out of the space behind the cutterhead toward the excavation face to check the stability of the face, i.e. to inspect the presence of loose blocks, the development of rock bursting etc. With respect to the confined space and the restricted time for the documentation (ca 10 minutes in the case of stopping the excavation solely for the purpose of the geological and geotechnical documentation) it is necessary to act quickly and, at the same time, carefully taking into consideration the height of excavated tunnel. First, pictures of the face have to be taken from various angles of view perpendicular to each other. Visible structural elements are described, their orientation and dip are guessed because of the fact that the geological compass does not work correctly with respect to the magnetic field of the tunnelling machine. The rock strength is verified by a geological hammer. It is further possible to check the choking of the shield from the chamber space. The documentation of the “geological windows” in the telescopic shield follows after the completion of the documentation of the face. The openings in segments and the annulus between the ring and the rock mass along one or two rings accessible just behind the shield are inspected in the next step. The inspection is carried



zdroj/source: ÖBB, 3G

Obr. 8 Příklady dokumentace čelby: a) pohled z „Mannlochu“ vzhůru na stabilní čelbu s otisky řezných disků, b) stabilní, kompletně přístupná čelba v období údržby stroje, c) výrazně blokovitě vylomená čelba dokumentovaná z „Mannlochu“

Fig. 8 Examples of the documentation of the excavation face: a) a view from the “Mannloch” up to the stable excavation face with tracks of disk cutters in it, b) stable, completely accessible excavation face during a maintenance break, c) excavation face with distinct blocks broken from it, documented from the “Mannloch”

nutné důlním vlakem dosáhnout první průchozí příčné propojky a dalším vlakem pokračovat na čelbu. Pokud došlo k čerstvemu odstřelu na právě realizované propojce, je dokumentována cestou z čelby na zvláštní list i ona. Časová náročnost dokumentace obou (případně třech) čeleb je aktuálně přibližně 3,5 hodiny.

S dokumentací ražeb souvisí i každodenní odběr reprezentativních vzorků rubaniny na výsypce a provedení zkoušky pevnosti horniny při bodovém zatížení – Point load test a stanovení pevnosti v jednoosém tlaku (UCS).

Denní zpracování geologické dokumentace

Na inženýrskogeologickou dokumentaci in-situ navazuje okamžité zpracování fotografické dokumentace pro účely pravidelné dopolední schůzky tzv. „geotechnické čtvrt hodiny“, která se koná v půl dvanácté a účastní se jí zástupci investora a zhotovitele (geologové, geotechnici, geofyzici, stavbyvedoucí, stavební dozor a další), kde jsou prezentovány aktuální geologické, geotechnické a celkově technické podmínky ražeb a jejich postup (dále např. prognózy ražeb, odsouhlasení změny typu použitých segmentů, další technická opatření apod.).

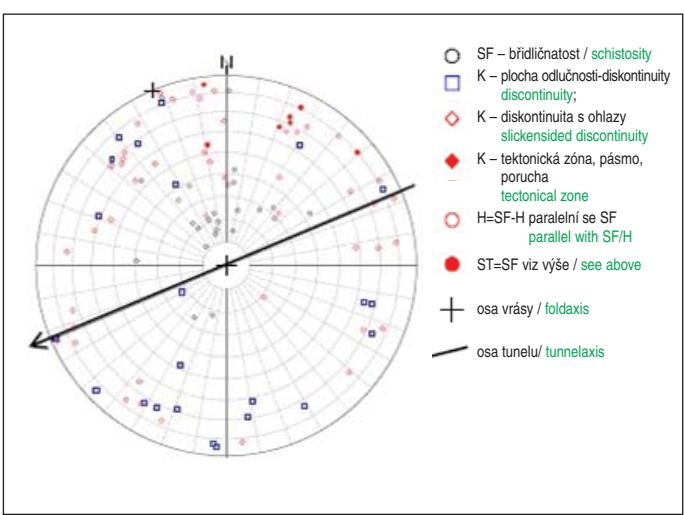
Dále navazuje vyplnění dokumentačních listů, zhotovení skici čelby a celková digitalizace dat využitím softwaru 2DOC upraveného pro stavbu KAT2. Zakreslení, a tedy každodenní aktualizace podélného a horizontálního geologického profilu tunelu ručně je nutné vzhledem ke spolupráci s geoteknikem a geofyzikem. Jelikož dokumentace probíhá jednou za den, je nutné vyražený úsek do další dokumentace čelby interpretovat (denní postup ražeb na jedné tunelové troubě až 35 m). K danému účelu jsou využívány geotechnicky zpracovaná data z razicího stroje (hodnoty přítlači, kroutícího momentu, rychlosť penetrace, zatížení drtiče, tření na pláště, hodnoty stabilizátorů a zpětně odvozená pevnost v prostém tlaku horninového masivu UCS). Využitím těchto dat lze usuzovat na rozdíl a orientaci geologických struktur.

Identická dokumentace a digitalizace geologických dat se týká též příčných tunelových propojek ražených převážně ze severní trouby do jižní v odstupu cca 1 km za stroji.

Denně jsou vkládány strukturní data do počítače pro jejich následnou analýzu využitím softwaru Sphaira (obr. 9).

PŘEDSTIHOVÝ PRŮZKUM V PRŮBĚHU RAŽEB

V průběhu TBM ražeb je pravidelně prováděn předstihový průzkum a následná prognóza geologických a geotechnických podmínek ražeb. Cílem je identifikace významných tektonických poruch či poruchových zón a zdrojů přítoku podzemní vody. Metody používané pro tyto účely zahrnují jak geofyzikální metody, tak rotační příklepové bezjádrové předvrty a přeletostné i jádrové vrty.



Obr. 9 Zpracování strukturních dat v programu Sphaira
Fig. 9 Processing structural data using the Sphaira software

out with the aim of revealing overbreaks – loosening of the rock mass and larger blocks pressing on the ring, which could cause the development of cracks in the segments.

Individual documentation sheets of the consensual engineering geological documentation are filled jointly by the geologists of both parties during the time of waiting for the mine train or directly on its board. An identical procedure is applied to the other tunnel tube, where it is first necessary to reach the first cross passage passable for pedestrians on the mine train and to continue to the excavation face on another train. If fresh blasting took place in the cross passage being just realised, the cross-passage is also documented on a separate sheet during the travel from the face. The time demands of the documentation of both (or three) excavation faces currently amount to 3.5 hours.

The daily collection of representative samples of muck at the dump, the execution of the Point Load Test and the determination of the Uniaxial Compression Strength (the UCS) are associated with the documentation of the drives.

Daily processing of geological documentation

The processing of the photo documentation for the use in the regular morning meeting, the so-called “geotechnical quarter of an hour”, which is held at half past eleven and is attended by representatives of the client and the contractor, is immediately followed by the in-situ engineering geological documentation (geologists, geotechnicians, geophysicists, site managers, clients’ supervisors and others). Current geological, geotechnical and general technical conditions of the drives and their procedures (as well as, for example, excavation prognoses, approvals to changes in the type of the segments to be used, other technical measures etc.) are presented in the meetings.

Filling the documentation sheets, drawing the face sketch and overall digitalisation of data using the 2DOC software (modified for the KAT2 construction) follows. Plotting the data, therefore the daily updating of the longitudinal and the horizontal geological profiles of the tunnel, has to be carried out manually with respect to the collaboration with the geotechnician and geophysicist. Because of the fact that the documentation is conducted once in a day, it is necessary to interpret the completed excavation section (the daily advance rate for one tunnel tube reaching up to 35m) into the subsequent documentation of the face. The processed data from the tunnelling machine (the values of thrust, torque, penetration rate, crusher loading, skin friction, values of stabilisers and retrospectively derived unconfined compressive strength (the UCS) of the rock mass) are used for this particular purpose. By using these data, it is possible to deduce the dimension and orientation of the geological structures.

In addition, identical documentation and digitalisation of the geological data concerns the cross passages driven mostly from the northern tube to the southern tube at the distance of ca 1km behind the tunnelling machines.

The structural data are daily entered into the computer to be subsequently analysed using the Sphaira software (see Fig. 9).

ADVANCE SURVEY DURING THE DRIVES

Advance surveying and subsequent prognoses of geological and geotechnical conditions of the excavation are regularly conducted during the course of the TBM drives. The objective is to identify significant faults or fault zones and sources of groundwater inflows. The methods used for these purposes comprise both the geophysical methods and percussive-rotary full-hole drilling and, occasionally, even rotary coring ahead of the excavation face.

Of the geophysical methods, the Tunnel Seismic While Drilling (TSWD) system, where the tunnel boring machine is applied as a source of seismic waves, is used. These seismic

Z geofyzikálních metod je jedná o seismický systém prognózy TSWD (tunnel seismic while drilling), kdy plnoprofilový razicí stroj je využíván jako zdroj seismických vln. Geofony, osazené v radiálních vrtech hloubky 10 m, ve třech profilech o vzájemné osové vzdálenosti cca 150–250 m přijímají tyto seismické vlny. Data jsou denně vyhodnocována s prognózou na vzdálenost cca 100 m před čelbu tunelu. Významným omezením této metody je nemožnost detekce tektonických zón, které svírají s osou tunelu úhel menší než cca 30°.

Předvrt realizované rotačně-příklepovým bezjádrovým vrtáním představují nejdůležitější metodu předstihového průzkumu. Standardně je prováděn jeden cca 100 metrů dlouhý, přibližně subhorizontální předvrt skrze vrtné prostupy v plásti stroje. Předvrt je realizován v závislosti na poznatcích geofyzikálního průzkumu a jejich doporučení. Přítomnost geologa a celková dokumentace realizace předvrtu je též součástí geologické dokumentace in-situ. Ta zahrnuje petrografický popis výnosu z vrtu zachytávaného na sítu. Na základě charakteru rozvrstané horniny a pozorované rovnomořnosti rychlosti vrtání lze přibližně odhadnout stupeň rozpukanosti horninového masivu. Ze zvýšeného zakalení vrtného výplachu, výrazně nerovnoměrného průběhu vrtání a úlomků hornin na sítě (nebo jejich úplné absence) lze usužovat na zastižení poruchové zóny a odhadnout její charakter. V případě přítoku podzemní vody do vrtu je prováděn odběr a popis vzorků podzemní vody. Po ukončení předvrtu je geologická dokumentace porovnána a vyhodnocena s ohledem na data z vrtné soupravy (tj. rychlosť vrtání, příklep, tlak vody, přítlak vrtné soupravy apod.) a je součástí prognózy chování horninového masivu na ražbu v následujících cca 100 metrech. V případě zastižení významné poruchové zóny je nejprve tato zóna prostorově ověřena dalšími vrtami, aby se v případě nutnosti přistoupilo k vrtu jádrovému skrze řeznou hlavu. Další metodou pro odhad charakteru materiálu výplně dané zóny jsou vodní tlakové zkoušky. Pokud dojde k zastižení výrazně zvodnělých poruch (např. přítok do vrtu cca 20–30 l/s), jsou opět podle nutnosti realizovány další vrtty z důvodu odvodnění horninového masivu. V místě budoucí přičné propojky je průzkumný předvrt realizován vždy.

V pravidelných intervalech, v místě přičných tunelových projek (každých 500 m) nebo v případě významné změny geotechnických podmínek ražby jsou prováděny jádrové vrtty o průměru 50 nebo 100 mm pro laboratorní stanovení jednoosé pevnosti horniny v tlaku (UCS) a abrazivity horniny podle CAI (Cerchar Abrasivity Index). Výsledky slouží k upřesnění charakteristik horninového masivu a ke stanovení tříd výrubu.

PROGNÓZA

Souhrnné výsledky z jednotlivých částí předstihového průzkumu jsou zpracovány do přehledné prognózy geologických a geotechnických podmínek ražeb v následujících přibližně 100 metrech budoucího úseku tunelu.

Geologická prognóza

Obr. 10 zobrazuje záznam z vrtání předstihového bezjádrového vrtu a geologickou prognózu na cca 100 m ražby. Předmětem je především petrografický a strukturní popis horninového masivu, přítomnost a charakter podzemní vody, obecné poznámky k průběhu vrtání (rovnomořnost atd.) a vyznačení z geologického hlediska významných oblastí horninového masivu.

Celkové shrnutí prognózy z předstihového průzkumu zahrnuje charakteristiku dokumentovaných aspektů horninového prostředí s ohledem na nadcházející ražbu úseku, neboli stanovení příznivosti zastižených geologických podmínek. Dokumentovanými charakteristikami v případě geologického dohledu jsou: dosažení konečné hloubky vrtu, přítok podzemní vody, její zbarvení, výnos, tlak, dále zastižení poruch, jejich mocnost a projev na záznamu z vrtání, další doporučení ohledně vrtu. V případě geofyziky se jedná o indikaci tektonické poruchy, její vzdálenosti od čelby, orientace vůči ražbě, mocnosti a podobnosti k zastiženým poruchám.

waves are received by geophones installed in 10m deep radial boreholes, in three profiles spaced at ca 150–250m. The data is daily assessed, with a prognosis ca 100m ahead of the excavation face. The fact that fault zones making an angle smaller than ca 30° with the tunnel axis cannot be detected is a significant limitation of this method.

Holes drilled ahead of the excavation face using percussive-rotary full-hole drilling are the most important method of the survey ahead of the excavation face. One 100m-long, approximately sub-horizontal, drillhole is carried out ahead through drilling gates in the machine skin as a standard. The borehole is realised ahead of the excavation face depending on the findings of the geophysical survey and its recommendations. The presence of the geologist and the overall documentation of the process of drilling ahead of the excavation face is also part of the in-situ geological documentation. It comprises the petrographical description of the recovery from the borehole retained on a screen. The degree of the rock mass fracturing can be approximately estimated on the basis of the character of the rock being subjected to drilling and the observed steadiness of the drilling penetration rate. Encountering a fault zone and guessing at its character can be deduced from the increased turbidity of the drilling fluid, the distinctly non-uniform course of drilling and the rock fragments on the screen (or the total absence of them). Groundwater samples are collected and described in the cases of groundwater flows into the borehole. When the drilling ahead of the face is finished, the geological documentation is compared and assessed taking into consideration the data from the drilling rig (the drilling penetration rate, percussion, water pressure, drilling thrust force etc.) and becomes part of the prognosis of the rock mass response to the excavation along the following ca 100-metre section. If a significant fault zone is encountered, it is first spatially verified by additional boreholes so that drilling of a cored hole through the cutterhead is proceeded to only in the case of necessity. Another method of estimating the character of the filling material in the particular zone is water pressure testing. When a significantly water-bearing fault is encountered (the rate of flow into the borehole of about 20–30 l/s), additional boreholes necessary for draining the rock mass are carried out. A survey borehole ahead of the excavation face is always carried out in the location of the future cross passage.

Cored boreholes 50 or 100mm in diameter are carried out at regular intervals, at cross passages (every 500m) or in the case of a significant change in geotechnical conditions for the excavation for the laboratory determination of the uniaxial compressive strength (UCS) of rock and the rock abrasivity according to the Cerchar Abrasivity Index (CAI). The results are used for refining the rock mass characteristics and determining the excavation support classes.

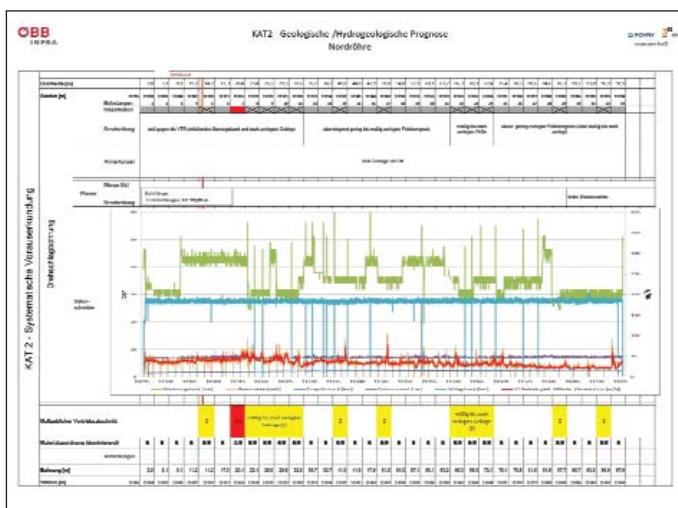
PROGNÓZA

The summary results from individual parts of the survey ahead of the excavation face are incorporated into a synoptic prognosis of geological and geotechnical conditions for the excavation in the subsequent approximately 100-metre section of the tunnel ahead.

Geological prognosis

Fig. 10 presents a record from full-hole drilling ahead of the excavation face and a geological prognosis for ca 100m long excavation section. Its main objective is the petrographical and structural description of the rock mass, the presence and character of groundwater, general notes regarding the course of drilling (penetration steadiness etc.) and marking of the rock massif areas significant from the geological point of view.

The overall summarisation of the prognosis based on the survey ahead of the excavation face comprises characteristics of



Obr. 10 Záznam z realizace předstihového bezjádrového vrstu a geologická prognóza
Fig. 10 Record from the realisation of a non-cored borehole and the geological prognosis

Geologická prognóza pro s odstupem raženou druhou troubou je obvykle omezena pouze na interpretaci geologických a geotechnických podmínek z první tunelové trouby. Pokud však byla první troubou zastižena významná poruchová zóna, přistupuje se též k realizaci předvrstu z důvodu ověření skutečné pozice a rozsahu zóny. Dále rozsah předstihového průzkumu v následující troubě závisí na vzájemné vzdálenosti strojů.

Geotechnické zhodnocení

Ke geologické prognóze je vždy připojeno stručné geotechnické zhodnocení pro daný cca 100 m dlouhý úsek. Hodnoceno je především očekávané chování horninového masivu, tj. stabilita čelby a bočních stěn výruba a popis příčiny vzniku možné nestability a celková doporučení k ražbě.

VYHODNOCENÍ CHOVÁNÍ ZAJIŠTĚNÉHO VÝRUBU (CHOVÁNÍ SYSTÉMU)

V pravidelných časových obdobích je vyhodnocováno chování systému horninové prostředí – konstrukce (tj. zajištěného výruba), a to formou porovnání geologické dokumentace s geotechnickými daty z razicího stroje a monitoringu deformací prstenců v odpovídajících měřených profilech. Vztah těchto dat je patrný z obr. 11, kde je uvedeno porovnání zdokumentovaného podélného a horizontálního geologického řezu z vyražené části tunelu (TM 10970 – 11170) s geotechnickými daty z TBM. Na geologických řezech jsou vyznačeny úseky, které byly osazeny jednotlivými typy segmentů (tj. ve stručnosti Typ IIa pro zhoršené podmínky, Typ III pro poruchové zóny, Typ IIb pro příznivé podmínky a Typ Q-III pro úsek příčné propojky v příznivých podmínkách). Nasazení jednotlivých typů segmentů plyne z výsledků předstihového průzkumu a z aktuální geologické dokumentace ražby. V profilu převažují „speciální“ segmenty, neboť se jednalo o úsek, kde byly zastiženy mírně až silně rozpukané ruly s přechodem až k poruchovým pásmům, což dokazuje nerovnoměrnost dat z TBM. Na příkladu je evidentní, že poruchová pásmá či změna na kvalitativně horší horninový typ korespondují se sníženou hodnotou přítlaku stroje a současně se zvýšenými hodnotami rotačního momentu a specifické penetrace. Sledována je i velikost tření na plásti štítu a zatížení drtiče, jejichž hodnoty též v poruchových, rozvolněných zónách výrazně rostou (obr. 11).

SHRNUTÍ

Inženýrskogeologický dozor je realizován jak na straně zhotovitele, tak investora, a to ze zmíněných důvodů možnosti ověření geologických podmínek, nároků zhotovitele a případně dalších nesrovonalostí. Dokumentace probíhá každý den a je průběžně

the documented aspects of the rock environment with respect to the coming tunnelling section, which means the determination of the favourableness of the geological conditions encountered. In the case of the geological monitoring, the documented characteristics comprise: reaching the final depth of the borehole, the inflow of groundwater, its colour, the recovery, pressure, encountering faults, their thickness and manifestation in the drilling record, other recommendations regarding the borehole. As far as the geophysics is concerned, the prognosis comprises the indication of a tectonic fault, its distance from the excavation face and the similarity to the already encountered faults.

The geological prognosis for the other tunnel tube driven at a distance behind the face in the first tube is usually limited to a mere interpretation of geological and geotechnical conditions from the first tunnel tube. Although, if the first tube encounters a significant fault zone, the hole is also drilled ahead of the face with the aim of verifying the actual location and extent of the zone. In addition, the extent of the survey ahead of the face depends on the distance between the tunnelling machines.

Geotechnical assessment

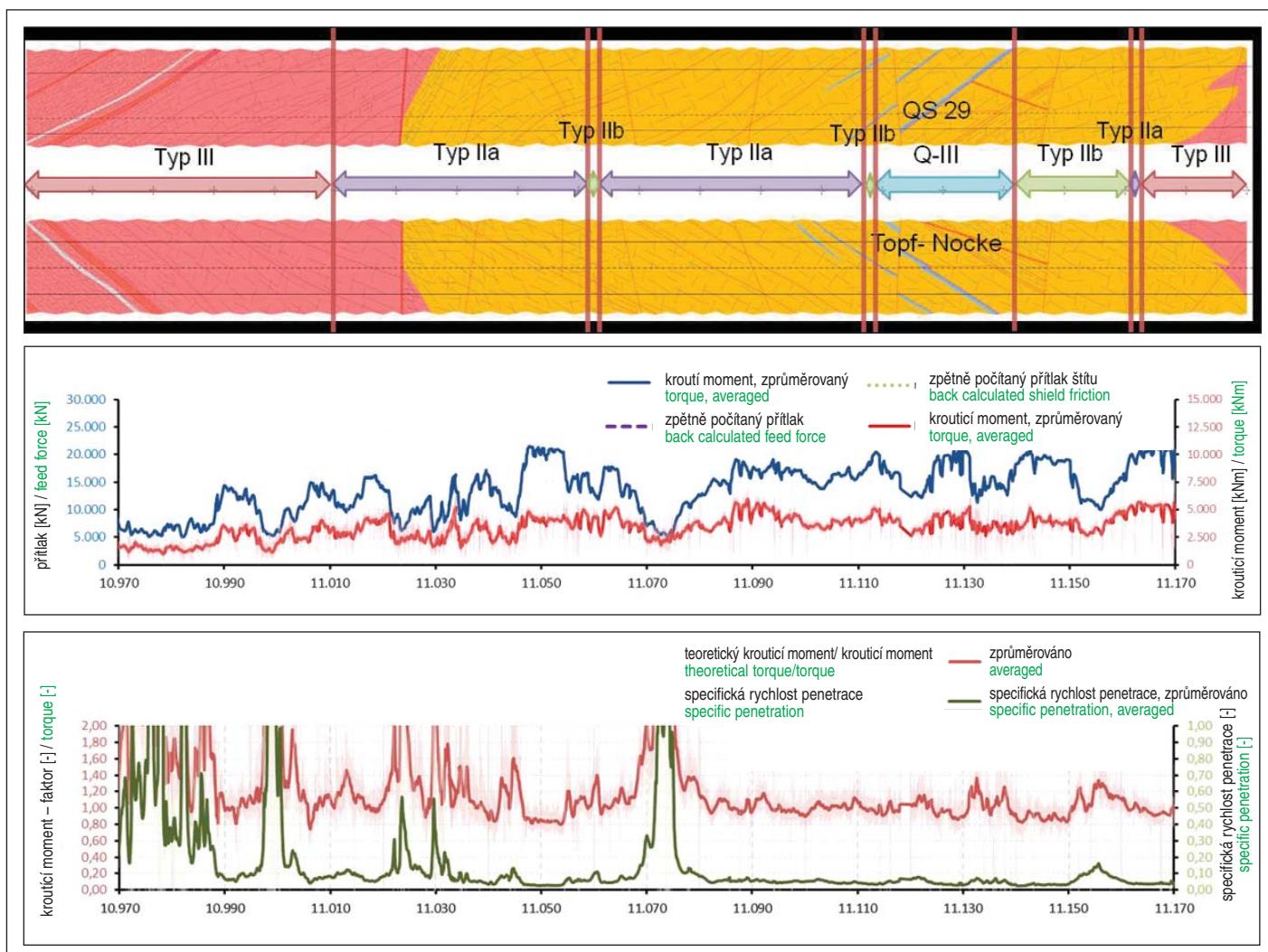
A brief geotechnical assessment for the particular ca 100m long section is always attached to the geotechnical prognosis. The assessment mainly deals with the expected behaviour of the rock mass, i.e. the stability of the face and the excavation sides, as well as the description of the cause of the origination of the potential instability and general recommendations regarding the excavation.

ASSESSMENT OF THE BEHAVIOUR OF UNSUPPORTED EXCAVATION (SYSTEM BEHAVIOUR)

The behaviour of the rock environment – structure system (i.e. the supported excavation) is assessed at regular intervals of time, in the form of comparing the geological documentation with geotechnical data from the tunnelling machine and the monitoring of deformations of the rings in the respective measured profiles. The relationships among these sets of data are obvious from Fig. 11, presenting the comparison of the documented longitudinal and horizontal sections from the completed excavation (tunnel chainage metres TM 10970 – TM 11170) with geotechnical data from the TBM. The sections lined with particular segment types (in brief: type IIa for worsened conditions, type III for fault zones, type Q-III for the cross passage section driven in favourable conditions) are marked on the geological sections. The application of individual segment types follows from the results of the survey ahead of the excavation face and from the current geological documentation of the excavation. The “special segments” prevail in the profile because it was a section where moderately to heavily fractured gneiss with a transition even to fault zones were encountered, which is a proof of the unevenness of the data from the TBM. It is evident on the example that the fault zones or the change into a qualitatively worse rock type correspond to the reduced value of the machine thrust and, at the same time, to the increased values of the torque (rotational moment) and the specific penetration rate. The friction on the shield skin and the crusher loading, the values of which also significantly grow in fault zones and loosened zones, are also monitored (see Fig. 11).

SUMMARY

The engineering geological supervision is carried both by the contractor and the project owner for the above-mentioned reasons, i.e. the possibility of verifying geological conditions, contractor's claims or other discrepancies. The documentation is carried out daily and is assessed continually. The categorisation into individual excavation support classes is adjusted on the basis of the results of the continual documentation and the documentation



zdroj/source: ÖBB, 3G

Obr. 11 Porovnání inženýrskogeologické dokumentace ražby s nasazením různých typů segmentů a s daty z razicího stroje, mezi daty je patrná významná korelace
Fig. 11 Comparison of engineering geological documentation of a drive with various types of segments applied with the data from the tunnelling machine; a significant correlation is visible among the data values

vyhodnocována. Na základě výsledků průběžné a předstihové dokumentace je upravováno zatřídění do jednotlivých razicích tříd, je navrhována aplikace speciálních segmentů ostění, je využíváno doplňkového průzkumu a zkoušek atd. Důsledná dokumentace a její vyhodnocení jsou důležitým podkladem pro predikci podmínek ražeb v následující tunelové troubě, zvláště v případě poruchových pásem.

Výše popsané inženýrskogeologické sledování mechanizovaných ražeb není popsáno v kompletním rozsahu, vybrány byly nejdůležitější činnosti, které probíhají souběžně s ražbami. V pravidelných periodách je prováděno souhrnné geologicko-geotechnické vyhodnocení a výsledky jsou vždy porovnávány s předpoklady před zahájením ražeb.

Tento příspěvek byl zpracován s podporou grantu TAČR TE01020168.

RNDr. TOMÁŠ SVOBODA, Ph.D.,
svoboda.tomas@3-g.cz,
3G Consulting Engineers s. r. o.

Recenzovali: Ing. Otakar Hasík, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.

regarding the subsequent excavation, ahead of the excavation face; the application of special lining segments is proposed and the supplementary survey and tests etc. are used on this basis. Consistent documentation and its assessment provide important grounds for the prediction of the excavation conditions in the subsequent tunnel tube, especially in the cases of fault zones. The above-mentioned engineering geological monitoring of mechanised tunnelling is not described at a complete extent; only the most important activities running in parallel with the excavation were selected. Overall geological-geotechnical assessing is carried out in regular periods and its results are always compared with the assumptions existing before the commencement of the excavation on.

This paper was prepared with the support of the TAČR (the Technology Agency of the CR) TE01020168T grant.

RNDr. TOMÁŠ SVOBODA, Ph.D.,
svoboda.tomas@3-g.cz,
3G Consulting Engineers s. r. o.

LITERATURA / REFERENCES

- HARER, G. The Austrian Koralmb Tunnel investigation , design and construction for a large base tunnel project. Proceedings of the international conference Underground Construction Prague 2013.
 HARER, G., SCHNEIDER, K. M. The main Koralmb Tunnel contracts – current state of works. Geomechanics and Tunnelling, 2013/6, pp. 641-650.

OHLÉDNUTÍ ZA VÝSTAVBOU METRA V.A LOOKING BACK AT THE METRO V.A LINE CONSTRUCTION

JAN KROUZA

ABSTRAKT

V pondělí 6. dubna 2015 byl na nově otevřené trase linky A mezi stanicí Dejvickou a Nemocnicí Motol zahájen provoz s cestujícími – její výstavba trvala více než pět let. Nastal tak vhodný okamžik ohlédnout se zpět v čase za významnými okamžiky při realizaci z pohledu dodavatele, stavební společnosti HOCHTIEF CZ a. s. (ve Sdružení metro V.A). Jsou zde připomenuty technické zajímavosti řady podzemních staveb, které jsou součástí celého projektu. Ražený traťový dvoukolejný tunel v oblasti Vypich – Motol nebo jednorodlní stanice Bořislavka, ražená za nepříznivých geologických podmínek. Nečekané potíže doprovázely ražbu vzduchotechnické štoly nedaleko motolské nemocnice, při ražbě se narazilo na zavalenou část historického podzemního díla. Nejen ražené podzemní stavby plnily stránky odborných periodik, technickým unikátem je konečná stanice Nemocnice Motol, jako jediná hloubená, sevřená mezi motolský svah a motolskou nemocnicí. Část tunelu pro obratové kolej se kvůli nesoudržnému nadloží nevyrazila podle původního plánu, ale realizovala se jako hloubený tunel. Okrajově bude nahlednuto do problematiky kolejových svršků.

ABSTRACT

The revenue service of the newly opened metro line section A between Dejvická station and Nemocnice Motol station commenced on Monday the 6th April 2015. The construction works lasted over five years. The moment has therefore come to look back in time at the moments in the realisation history important from the point of view of the contractor, the construction company of HOCHTIEF CZ a. s. (a member of the Sdružení Metro V.A consortium). Interesting facts about some underground structures which are parts of the whole project will be brought to mind. Among them, there is the mined double-track running tunnel in the Vypich – Motol area or the one-vault Bořislavka station excavated under unfavourable geological conditions. Unexpected problems attended the excavation of the ventilation gallery near the Motol hospital, where a collapsed part of a historical underground working was encountered. Not only mined underground structures did fill the pages of technical periodicals. The Nemocnice Motol terminal station, the only station built in an open trench, which is clamped between the Motol slope and the Motol hospital, is also a technically unique object. Part of the tunnel for dead-end tail tracks was not driven according to the original design because of incoherent overburden. It was realised as a cut-and-cover tunnel. The problems of trackwork will also be looked inside.

ÚVOD

Velikonoční pondělí 2015 se zapíše do historie pražské dopravní infrastruktury. Právě tento den byla oficiálně otevřena prodloužená linka A pro cestující. Konečná stanice zelené linky metra se po několika desetiletích přesune z centra města o další čtyři zastávky dále na periferii, do stanice Nemocnice Motol. Tento okamžik také znamená završení více než pět let trvajících stavebních procesů, na kterých se podílelo několik set lidí různých profesních zaměření a odborností. Z pozice generálního zhotovitele prováděla v rámci Sdružení metro V.A významnou část projektu stavební společnost HOCHTIEF CZ a. s., která tím upěvnila své postavení mezi lídry stavebního trhu v této zemi. Zejména razicí práce byly prováděny ve spolupráci s frankfurtskou divizí skupiny HOCHTIEF AG která patří ke světové špičce v oboru podzemních staveb. Mezi její díla patří také realizace metra po celém světě, například v Kodani, Kolíně nad Rýnem, New Yorku nebo katarském Dauhá.

Tento příspěvek pravděpodobně završí sérii článků, které byly v uplynulých pěti letech publikovány. Všechny zajímavé události spojené s realizací nejrůznějších součástí díla již byly podrobň popisovány a analyzovány. Právě proto je spíše ambicí tohoto článku v retrospektivě volně zrekapitulovat významné milníky a hlavní pilíře projektu realizované společností HOCHTIEF CZ a. s., připomenout důležité součásti díla a některé momenty během jeho provádění.

STANICE NEMOCNICE MOTOL

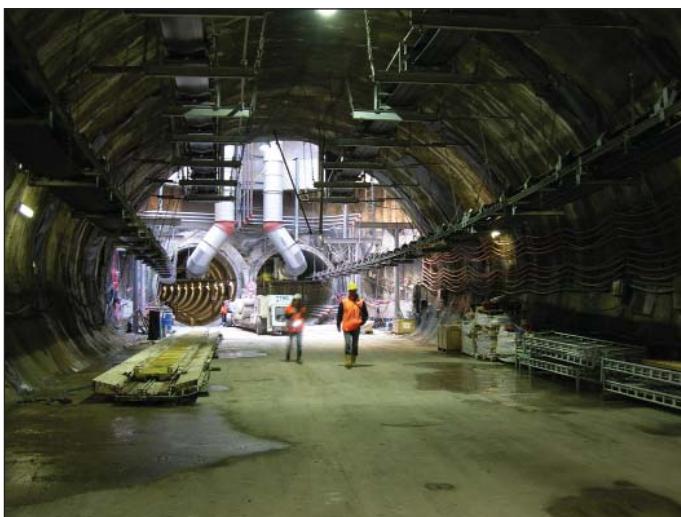
Stanice Nemocnice Motol, jediná z nově otevřených čtyř stanic prodlouženého „áčka“, byla realizována jako hloubená z povrchu v otevřené jámě. Rovněž jako jediná nemá nástupiště ostrovní, ale dvojici bočních. Umístění hloubeného vestibulu pod úroveň nástupiště také není obvyklé a v pražském metru zůstává ojedinělé. Vestibul metra plynule přechází v podchod pod ulicí Kukulovou

INTRODUCTION

The Easter Monday 2015 will be recorded in the Prague transportation infrastructure history. It was just this day that the line A extension was brought into passenger service. The terminal station of the “green” metro line will be after several decades shifted from the city centre additional four stations farther to the periphery, to Nemocnice Motol station. This moment will also mean the topping of over five years lasting construction processes, in which several hundreds of people of various professions and expertise participated. HOCHTIEF CZ a. s., from the position of the main contractor within the framework of the Sdružení Metro V.A consortium, carried out a significant part of the project. In this way,



foto/photo courtesy of Ladislav Kovář
Obr. 1 Rozestavěná stanice Nemocnice Motol v dubnu 2013
Fig. 1 Nemocnice Motol station under construction in April 2013



foto/photo courtesy of Miloš Benýšek

Obr. 2 Montážní komora štítu EPB na Vypichu v září 2011
Fig. 2 EPB TBM assembly chamber in Vypich in September 2011

a míří zaštřeleným přístupem přímo do vestibulu motolské nemocnice. Záměrem architekta bylo vizuálně rozdělit budovu stanice do tří celků – veřejný výstup na západním a servisní na východním konci s plochými zelenými střechami a modrínovým obkladem, dominantní střední část s nástupištěm a prosklenou střechou.

Budova stanice vykazuje řadu architektonicky význačných a z hlediska výstavby mnohdy až pozoruhodných prvků zajímavých zejména z hlediska pozemního stavitelství. Například lze zmínit použití velkoformátových tenkostěnných keramických obkladů, jejichž osazení je rozměrově koordinováno s umístěním střešních nosníků. Dodatečně předepnutých 39 střešních nosníků tvoří nosnou konstrukci zaštřelení o velkém rozponu, jejich tvar byl geometricky koncipován v souladu s lokalitou stanice u stoupající ulice Kukulovy podél jižní strany a prudkým svahem podél strany severní.

Těleso konstrukce stanice vykazuje prakticky nulovou torzní únosnost (kvůli absenci monolitické stropní desky), kterou by mohlo přenášet ohromné zatížení zemním tlakem ze strany severního svahu s blokovými pohyby. Aby bylo možné takto koncipovanou budovu v odřezu svahu vůbec postavit, bylo nutné vybudovat masivní trvale kotvenou podzemní stěnu. Stěna je servisně přístupná a napjatost kotev průběžně monitorována. Na obr. 1 úplně vpravo je patrná linie trvale kotvené stěny kopírovaná boční stěnou budovy stanice.

U trvale kotvené stěny je vhodné zmínit dramatickou genezi jejího provádění. Pro účel zadávací dokumentace nebylo možné v oblasti motolského úseku prodlouženého metra realizovat nijak zvlášť rozsáhlý inženýrskogeologický průzkum. Důvody jsou prozaické – v zalesněném svahu relativně velkého sklonu nebylo možné vrtnou techniku dopravit na místo trasy budoucího metra, v neposlední řadě také kvůli nesouhlasu ochránců přírody. Kromě archivní dokumentace byly geotechnické podklady připraveny pouze na základě vyhodnocení šikmých průzkumných vrtů z Kukulovy ulice. Teprve až s rozbehnutím výstavby se terén zpřístupnil a bylo možné dodatečně provést doplňující vrtný geologický průzkum. Jeden z nich také proběhl nad severní stranou stavební jámy motolské stanice a přinesl překvapivý závěr – zastihl totiž průběh rozsáhlé diabasové žíly s velmi pevnými magmatickými horninami. Nová skutečnost měla praktický dopad do způsobu provádění trvale kotvené stěny. Hloubení rýhy pro železobetonové lamely pomocí drapáků bylo možné pouze v omezeném rozsahu, majoritní část stěny byla realizována technologií frézováním pomocí hydrofrézy osazené na jeřábovém nosiči.

Stanice s bočními nástupišti a se stísněným šířkovým uspořádáním v odřezu svahu souvisí s charakterem přilehlých tratových tunelů. Ty bylo třeba kvůli požadované osově vzdálenosti kolejí ve

the company strengthened its position among the construction market leaders in this country. Especially tunnelling operations were performed in collaboration with the Frankfurt-based division of the HOCHTIEF AG group, which belongs among worldwide top companies in the field of underground construction. Among its works there is also the realisation of metros in the whole world, for example in Copenhagen, Koln am Rhein, New York or Quatar Doha.

This paper will probably round off a series of papers published during the past five years. All interesting events associated with the realisation of various parts of the project have already been described and analysed in detail. This is why the ambition of this paper is rather to retrospectively freely recapitulate important milestones and main pillars of the whole project realised by HOCHTIEF CZ a. s., to bring back to mind significant parts of the project and some moments during the works execution.

NEMOCNICE MOTOL STATION

Nemocnice Motol station, the only of the newly opened stations on the extended Line A, was realised in an open trench. Also as the only one it does not have an intermediate platform. Instead, it has a pair of side platforms. The placement of the cut-and-cover concourse under the platform level is also unusual and remains unique in the Prague metro system. The metro concourse fluently passes into the pedestrian subway under Kukulova Street, heading through a decked access leading directly to the concourse of the Motol hospital. Architect's intention was to visually divide the station building into three blocks – a public exit at the western end and service exit at the eastern end, having flat green roofs and larch cladding, a dominating central part with platforms and a glazed roof.

The station building exhibits many architecturally outstanding and in terms of the construction often even remarkable elements interesting first and foremost from the aspect of building. For example, it is possible to mention the use of large-format thin-walled cladding tiles, the installation of which is coordinated as far as the dimensions are concerned with the locations of roof beams. The load-bearing structure of the large-span roof is formed by 39 post-tensioned roof beams. Their geometry was drawn up in line with the station location at Kukulova Street rising along the southern side and a steep slope along the northern side.

The station structure body exhibits virtually zero torsion loading capacity (because of the absence of a monolithic roof deck through which it could transmit the immense load by ground pressure acting from the side of the northern slope affected by block movements). For the construction of a building framed in such the way to be viable in the side-hill cutting, it was necessary to carry out a massive permanently anchored diaphragm wall. The wall is accessible for servicing and stresses in anchors are continually monitored. The line of the permanently anchored wall copied by the side wall of the station building is visible in Fig. 1 right.

It is reasonable to mention the dramatic genesis of the execution of the permanently anchored wall. It was not possible to carry out any especially extensive engineering geological survey for the purpose of the tender design. The reasons are prosaic – drilling equipment could not be transported to the future metro route location on the wooded slope with relatively great gradient and, at last but not least, also because of the disapproval of conservationists. With the exception of archival documents, the geological source documents were prepared only on the basis of assessing inclined boreholes carried out from Kukulova Street. It was only after the start of the construction operations that the terrain was made accessible and

stanici koncipovat jako dvoukolejně. Délka tunelů byla optimalizována tak, aby přechod trati do jednokolejných (ražených štíty EPB, tj. Earth Pressure Balance) pak proběhl účelně v takových částech města, kde je logisticky a urbanisticky možné vybudovat startovací prostory pro rozjezd razicích štítů.

PŘILEHLÉ TRAŤOVÉ DVOUKOLEJNÉ TUNELY

Razicí práce na podzemních objektech metra V.A byly zahájeny v květnu 2010 ražbou přístupové štoly Kateřina s portálem na rozsáhlém staveništi označovaném jako BRE1 poblíž Vypichu. Rozrážkou boků konce štoly se vybudovala podzemní montážní komora razicích štítů, která prakticky představovala zárodek dvoukolejněho traťového tunelu. Montážní komora pak byla zaústěna do hloubené šachty kruhového půdorysu hluboké 33,5 m a pažené kotvenou převrtávanou pilotovou stěnou. V těchto prostorách byly smontovány a startovaly razicí štíty Tonda a Adéla směrem ke stanici Petřiny a dále na Dejvickou. Končí zde dvoukolejný tunel a dochází k rozdělení trati do dvou jednokolejných v samostatných tunelech (obr. 2). Mimochodem štola Kateřina byla, na rozdíl od dalších přístupových štol koncipovaných současně jako vzduchotechnické, po pozbytí svého účelu v celé délce zrušena a vyplňena.

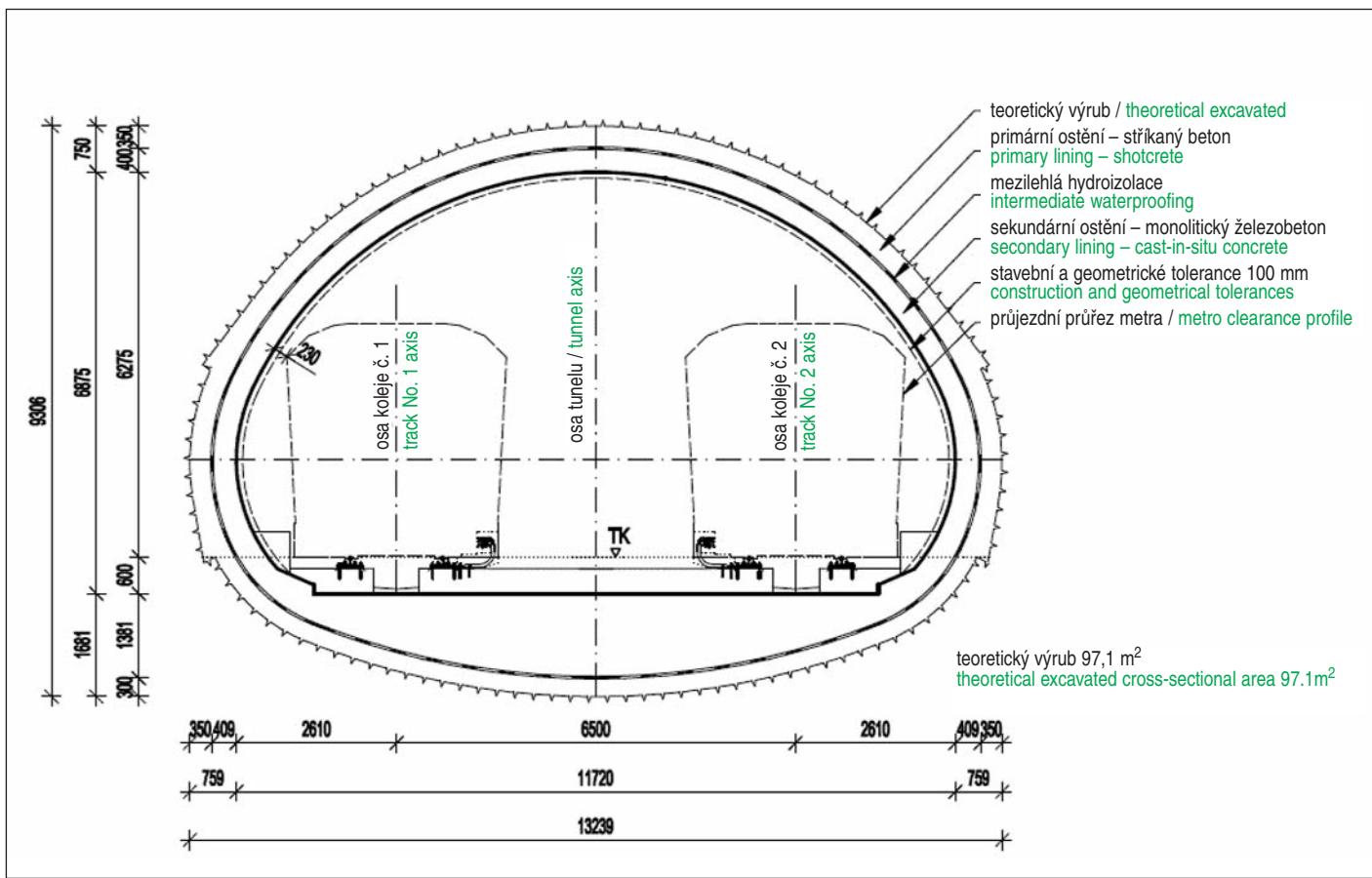
Traťový dvoukolejný tunel ražený Novou rakouskou tunelovací metodou (NRTM) byl navržen ze čtyř příčných profilů (pro osou vzdálenost kolejí 3,7–4,5–5,8–6,5 m) s teoretickou plochou výrubu 62,7–71,1–90,0–97,1 m² (obr. 3), jehož délka od montážní šachty až k portálu ve stanici Nemocnice Motol dosahuje 753 m. Úpadní ražba ze staveniště na Vypichu probíhala pouze do konce roku 2010, kdy bylo nutné uvolnit prostor pro montáž razicích štítů a jejich logistiky. Původní harmonogram sice směroval znovuobnovení ražby z Vypichu po odstěhování logistiky razicích štítů až na rok 2012, nicméně díky optimalizaci koordinace s výstavbou stanice Nemocnice

a supplementary geological survey could be carried out. One of the surveys was conducted above the northern side of the construction pit for the Motol Hospital station. It brought a surprising conclusion – it encountered an extensive diabasic vein with very hard magmatic rock types. The new reality practically affected the execution procedure for the permanently anchored wall. The excavation of the trench for reinforced concrete lamellas by means of clamshell grabs was possible only to a limited extent; the major part of the wall was realised by milling using a hydrofraise mill suspended from a crane carrier.

The station design with side platforms and with the restrained width geometry in the slope half cutting is associated with the character of adjacent running tunnels. They had to be designed as double-track structures with respect to the required track centre distance in the station. The length of the tunnels was optimised so that the transition of the EPB TBM-driven single-track running tunnels took place reasonably, in such parts of the city where it was possible to develop spaces for launching the TBMs from the aspects of logistics and urbanism.

ADJACENT DOUBLE-TRACK RUNNING TUNNELS

Tunnelling work on metro V.A underground structures commenced in May 2010 by the excavation of Kateřina access tunnel with the portal in an extensive construction site named BRE1 near the Vypich locality. The underground assembly chamber for TBMs was carried out through adits bifurcating from the tunnel sides. The chamber practically represented a germ of the double-track running tunnel. It was subsequently connected to a 33.5m deep circular shaft, the sides of which were braced by an anchored secant bored pile wall. Tonda and Adéla EPB TBMs were assembled and launched toward Petřiny station and farther to



Obr. 3 Příčný řez dvoukolejným traťovým tunelem raženým NRTM o. v. 6,5 m (výnatek z výkresu DVZ)

Fig. 3 Cross section through NATM driven double-track tunnel, track centre distance of 6.5m (excerpt from final design)

autor / author Metropunkt Praha a. s.



foto/photo courtesy of Dipl.-Ing. Gottlieb Blažek

**Obr. 4 Prorážka dvoukolejněho tunelu v březnu 2012
Fig. 4 Double-track tunnel breakthrough in March 2012**

Motol bylo možné tunel vyrazit z motolského portálu s předstihem řady měsíců. Slavnostní prorážka na TM 480,5 proběhla koncem března 2012 (obr. 4), v opačném směru plynule navázaly práce na hydroizolaci a sekundárním ostění.

Ze západní strany ústí do motolské stanice obratový dvoukolejný tunel dlouhý 406 metrů, který je na druhém konci zakončen větracím objektem. Ten byl vybudován ve velké montážní jámě o půdorysu cca 30x30 metrů vyhloubené na rozsáhlém staveništi KU1 přiléhající ke Kukulově ulici ve svahu před areálem motolských skládek. Montážní jáma byla navržena pro sestavení pojízdných souprav na provádění hydroizolace a definitivního ostění dvoukolejných tunelů, především však odtud měly startovat razicí štíty EPB směrem k ruzyňskému letišti. Původní scénář vycházel z představy, že po dokončení trasy metra V.A bude plynule navazovat další úsek VI.A od Nemocnice Motol přes Bílou Horu, Dědinu až na letiště s přípravou odbočky směrem k Sídlišti Řepy a na Zličín. Další plány na prodloužení metra A byly nakonec odloženy a trasa prozatím končí ve stanici Nemocnice Motol.

Tunel pro obratové kolejí měl být podle zadání v celé své délce proveden jako ražený technologií NRTM, jeho ražba z portálu v montážní jámě byla zahájena začátkem ledna 2011. Přibližně po vyražení 60 metrů začal výrub vykazovat nadmerné deformace, takže další razicí práce pokračovaly pod ochranným mikropilotovým deštníkem. Nízké a nesoudržné nadloží ve zbývající části směrem k motolské stanici nakonec zapříčinilo, že ražba byla po dosažení délky 227 m zastavena a zbývající úsek u stanice byl realizován jako hloubený tunel v otevřené stavební jámě.

Rozhodnutí investora o způsobu realizace zbývající části tunelu předcházelo několik variant, jakou technologii zvolit. Statický posudek zajištění výrubu vystrojeného mikropilotovým deštníkem podal negativní výsledek – další ražba směrem ke stanici byla tedy vyloučená. Nabízely se jiné varianty technického řešení, všechny však počítaly se stavebním zásahem z povrchu. Zajištění příjezdové komunikace a příprava území byly v každém případě nevyhnutelné. Ve spolupráci s kolegy z Frankfurtu byla zpracována varianta ražby pod ochranou tzv. želvy. Princip spočíval v tom, že se horninová klenba v nadloží prakticky vymění za klenbu betonovou, odtud analogie krunýře želvy. Ten by pochopitelně musel být realizován z povrchu, ale největší část přesunů hmot by se odehrála v podzemí. Vyrazil by se profil tunelu, jeho primární zajištění by se však omezilo pouze na boky a dno. Z hlediska plynulosti prací a nastavení staveniště logistiky by tento postup z pohledu zhotovitele vyhovoval nejvíce.

Dejvická station. The double-track tunnel ends in this location and the track is split into two single tracks running in two separate tunnel tubes (see Fig. 2). By the way, Kateřina tunnel, in contrast with other access tunnels designed concurrently as ventilation structures, was cancelled and backfilled throughout its length after losing its purpose.

The design of the double-track running tunnel driven using the New Austrian Tunnelling Method (NATM) uses four cross-sections (for the track centre distances of 3.7–4.5–5.8–6.5m), with the theoretical excavation cross-sectional areas of 62.7–71.1–90.0–97.1m² (see Fig. 3). Its length measured from the assembly shaft to the Nemocnice Motol station portal amounts to 753m. The downhill excavation from the Vypich construction site continued only till the end of 2010, when it was necessary to leave the space for the assembly of tunnelling shields and their logistics. While the original works schedule planned the restoration of the excavation work to start as late as 2012, after moving the EPB TBM logistics to a new site, it was possible to excavate the tunnel from the Motol portal in an advance of several months thanks to the optimisation connecting it with the construction of Nemocnice Motol station. The breakthrough ceremony at the chainage of TM 480.5 took place at the end of March 2012 (see Fig. 4); the work on waterproofing and the secondary lining fluently continued in the opposite direction.

The 406m long double-track tunnel for the dead-end tail track is connected from the western side. There is a ventilation structure on its other end. This structure was carried out in a large assembly pit with the ground plan dimensions of 30x30 metres. The pit was excavated on the extensive construction site KU1 adjacent to Kukulova Street, located on the slope before the area of the Motol muck stockpiles. The assembly pit was designed for putting the waterproofing and final lining installation travelling scaffolds together. First of all, EPB TBMs were to be launched from this pit toward the Ruzyne airport. The original scenario was based on the idea that another metro section VI.A will fluently follow from Nemocnice Motol station via Bílá Hora and the Na Dědině residential area up to the airport, with the preparation of a branch toward the residential area of Řepy and Zličín. Other plans for the metro Line A extension were eventually postponed and for the time being the line ends in Motol.

According to the tender documents, the tunnel for the dead-end tail tracks was to be driven using the NATM throughout its length. The tunnel excavation from the portal in the assembly pit commenced at the beginning of January 2011. Approximately after the completion of a 60m long excavation section the excavation started to exhibit excessive deformations and the subsequent work had to be carried out under the protection provided by canopy tube pre-support. The low and incoherent overburden in the remaining part toward the Motol Hospital station caused that the excavation was stopped after reaching the length of 227m and the remaining section was realised as a cut-and-cover tunnel in an open construction trench.

The decision of the project owner regarding the method of the realisation of the remaining part of the tunnel was preceded by several variants. The structural analysis carried out on the support of the excavation stabilised by the canopy tube pre-support gave a negative result – the subsequent tunnelling toward the station was therefore excluded. Other variants of the technical solution offered themselves, but all of them expected a construction intervention from the surface. The stabilisation of the access road and preparation of the site were in any case unavoidable. A variant of excavation under the protection of the so called "tortoise shell" (a cover-and-cut type of procedure) was prepared in collaboration with our colleagues from Frankfurt. The principle lied in replacing



foto/photo courtesy of Ing. Ondřej Minich

Obr. 5 Prával horniny z nadvýlomu do VZT štoly v lednu 2012
Fig. 5 Inrush of ground from the overbreak into the ventilation gallery in January 2012

Současně se však připravila varianta pro realizaci tunelu v otevřené stavební jámě, a to hned ve dvou alternativách. První možností byla forma „krabice“, tedy obdélníkové monolitické konstrukce sestávající ze základové desky, stěn a stropu. S ohledem na množství zatěžovacích stavů a velikost zatížení zejména zásypem, na která musela být konstrukce dimenzována, bylo nutné navrhnut všechny její součásti jako velice masivní s vysokým stupněm vyztužení.

Variantně byla připravena koncepce hloubeného tunelu s klenbou, pracovně nazvaná „podkova v jámě“. Monolitická konstrukce by byla betonována na bednicím voze, pomocí kterého se realizuje definitivní ostění raženého tunelu. Dimenze konstrukce, která bude ve finálním stavu zasypaná a vzdorující celé výšce nadloží, je však pochopitelně také masivnější. Tato varianta by byla velmi výhodná z hlediska návaznosti betonáži definitivního ostění na raženou část, kdy by souprava bednicího vozu pokračovala v realizaci hloubeného úseku. Následně by byla protážena přes rozestavěnou stanici Nemocnice Motol a dál plynule pokračovala v betonáži sekundárního ostění dvoukolejněho tunelu směrem k Vypichu. Elegantní řešení je v souladu s původním harmonogramem stavby, kdy není nutné pracně demontovat, transportovat a opětovně montovat soupravy pro provedení definitivního ostění. Škála možností na výběr vykrysalizovala ve volbu nejkonvenčnějšího řešení, tedy podobu monolitické „krabice“.

Zajímavostí je, že během hloubení stavební jámy se narazilo na „podzemní řeku“ a výstavbou tak došlo k zastavení přirozeného proudění podzemní vody. Linie tělesa tunelu by tak pro ni fungovala jako bariéra, proto pro obnovení původních hydrologických podmínek v celé oblasti bylo nutné kolem konstrukce tunelu vybudovat dostatečně kapacitní drenážní systém.

VZDUCHOTECHNICKÁ ŠTOLA

Ražené štoly projektované pro účel větrání nového metra se nacházejí na trase celkem čtyři, nepočítaje hloubené větrací objekty nebo propojky mezi jednokolejnými tunely. Nejdramatičtější události spojené s jejich ražbou nastaly zejména u jedné z nich, u té, která ústí do dvoukolejněho tunelu směrem na Petřiny necelých dvě stě metrů od motolské stanice. Tato 156 m dlouhá štola o teoretické ploše výrubu $38,1 \text{ m}^2$ je pak zakončená raženou větrací šachtou mezi Kukulovou a Roentgenovou ulicí, nicméně šlo o jednu z nejkomplikovanějších součástí celé trasy V.A.

Koncem ledna 2012 se totiž překvapivě narazilo na zavalenou část nikdy nedokončené podzemní nemocnice z roku 1944. To zřejmě úzce souvisí se skutečností, že v těchto místech probíhá pásmo tektonicky porušených hornin, které zde nebylo možné předpokládat.

the natural ground arc by a concrete arc, which is where the analogy with the tortoise shell is derived from. Of course, this “shell” would have to be realised from the surface, but the largest proportion of the earthmoving operations would take place underground. The tunnel profile would be excavated, but its primary support would be restricted only to the sides and the bottom. This procedure would have suited the contractor most of all from the aspect of the fluency of work and setting the construction site logistics.

Nevertheless, a variant was prepared for the realisation of the tunnel in an open pit, even in two alternatives. The first option was the form of a “box”, i.e. a rectangular cast-in-situ concrete structure consisting of a base slab, walls and roof deck. It was necessary with respect to the quantity of loading cases and the magnitude of the loads, mainly induced by the backfill, for which the structure had to be dimensioned, to design all structural elements as very massive items with high reinforcement content.

A concept of a vaulted cut-and-cover tunnel, named for working purposes a “horse shoe in a pit”, was submitted as a variant. The cast-in-situ concrete structure would have been cast behind traveller formwork which is used for the construction of final linings of mined tunnels. The dimensions of the structure, which would be backfilled in the final state and would resist loads induced by the whole height of the overburden, are naturally also more massive. This variant would have been very advantageous in terms of linking the casting of the final lining to the tunnel mined part, where the traveller formwork could have continued to realise the cut-and-cover section. Subsequently it would have been pulled along the Nemocnice Motol station under construction and would have fluently continued to work on the casting of the concrete secondary lining of the double-track tunnel toward Vypich. This was an elegant solution complying with the original works schedule, where it was not necessary to laboriously dismantle, transport and repeatedly assemble the traveller sets required for the construction of the final lining. The scale of the selection options crystallised into the selection of the most conventional solution, the cast-in-situ “box”.

An interesting fact is that an “underground river” was encountered during the construction pit excavation and the natural flow of groundwater was intercepted because of the construction. The tunnel body line would have acted as a barrier preventing groundwater water flow. For that reason it was necessary for reinstating the original hydrological conditions in the whole area to build a drainage system with a sufficient capacity around the tunnel structure.

VENTILATION GALLERY

There are four mined galleries designed for the purpose of ventilating the new metro spaces on the route, if we disregard ventilation structures constructed in open pits or cross passages between single-track tunnels. Complications associated with driving them were encountered at one of them, the one which is connected to the double-track tunnel in the direction of Petřiny, nearly two hundred metres from the Nemocnice Motol station. This 156m long gallery with the theoretical excavated cross-sectional area of $38,1 \text{ m}^2$ is terminated by a mined ventilation shaft between Kukulova and Roentgenova Streets. Nevertheless, it was one of the most complicated parts of the entire Line V.A.

The reason was that a collapsed part of a never completed underground hospital from 1944 was encountered at the end of 2012. It was probably related to the fact that a zone of tectonically disturbed rock, which could not be expected in this location, runs across this area. Similar situation was probably encountered by builders and miners at the time of the Protectorate. The loosened ground broke into the excavation

V obdobné situaci se pravděpodobně ocitli i stavitelé a horníci v protektorátním bezcasí. Rozvolněná hornina se provalila do díla a došlo k vykomínování kaverny kuželovitého typu (obr. 5). Okamžitě byly zahájeny práce na zmáhání nadvýlomu a stabilizaci čelby, razicí práce se na čas zastavily.

Bыло необходимо провести детальные инженерно-геологические изыскания и пересмотреть проектную документацию для следующего этапа работ. Весь проблемный слой надвалов требовал устabilизации. Тяжелая масса земли была усиlena высокотехнологичной инъекционной заливкой в пределах зоны разрыва, чтобы продолжение выработки могло продолжаться. Только после этих шагов было возможно возобновить работы по тоннелированию. Дальнейшее выработка проходило под защитой микропилярового зонтика. Тем не менее, выработка продолжалась в таком режиме только на несколько дней, с учетом значительного задержки. Из-за блокировки доступа для тяжелого оборудования с двухпутевого тоннельного участка, где в то время работы по водонепроницаемости и окончательной облицовке только начинались, команда горняков перенесла работу на противоположный конец и начала открывать контраточку с противоположной стороны вентиляционной шахты недалеко от улицы Рентгенова. С учетом ограниченных возможностей размещения оборудования в ограниченном пространстве, определенном профилем шахты, было необходимо модифицировать горизонтальную последовательность выработки, добавив в нее бортовую выработку. Это привело к очень медленному и логистически сложному процессу выработки, требующему длительной вертикальной транспортировки грязи и материалов. Для полноты изложения следует отметить, что даже сама шахта была изменена. Ее глубина была увеличена из-за водонасыщенной базы из песчаника, расположенной непосредственно на внешней поверхности тоннельной контраточки.

Za zmínku stojí, že půdorysné vedení vzduchotechnické štoly bylo nutno oproti zadávací dokumentaci upravit. Jednak z technologického hlediska provádění definitivního ostění dvoukolejněho tunelu bylo potřeba zaústění štoly o několik metrů posunout, aby se portál štoly ocitl uprostřed betonovaného bloku a nikoli na rozhraní bloků dvou. Dále se pak zvětšil poloměr půdorysného oblouku štoly kvůli optimalizaci provádění sekundárního ostění ve štole – pro původní oblouk velké křivosti by nebylo možné použít bednicí vůz a provádění definitivního ostění by bylo zdlouhavé a komplikované.

Každopádně události v této vzduchotechnické štole spojené s nafárnáním na historický podzemní objekt štoly z druhé světové války vzbudily velký zájem odborného světa.

KOLEJOVÝ SVRŠEK

V druhém poločase výstavby přinesl harmonogram prací další významnou kapitolu – kolejový svršek. Realizací veškerých kolejových svršků a vystrojení tratí se společnost HOCHTIEF CZ a. s. úspěšně etablovala v segmentu staveb pevné jízdní dráhy pro kolejovou dopravu. Kolejový svršek je navržen ve formě bezpražcového upevnění na podkladnicích a pevném podkladu z podélných železobetonových prahů, u výhybek jsou to železobetonové desky. Mimořádem výhybkové objekty jsou v trase realizovány dva – ve stanici Petřiny (konec úseku V.A1) a stanici Nemocnice Motol (V.A2), v obou případech v podobě dvojitě kolejové spojky.

V řadě úseků tratí bylo z hygienických důvodů nařízeno zajistit akustické odizolování kolejí od konstrukce tunelu kvůli ochraně stávající zástavby před přenosem vibrací. Kupříkladu v motolské stanici jsou kolejové betony uloženy na desky z recyklované pryže a kolejnice opatřeny klasickým upevněním, do úseku pod Evropskou ulicí byl pořízen systém upevnění Delta-Lager (speciální uchycení tlumící stojinu kolejnice).

STANICE BOŘISLAVKA

Stavební společnost HOCHTIEF CZ a. s. realizovala rovněž celou stanici Bořislavka, její podzemní i nadzemní část včetně přidružených staveb. Západní část stanice byla koncipována jako technologická s navazující větrací štolou, která je zakončena šachtou ústící na povrch. Z nástupiště stoupá ražená výtahová šachta zaústěná do hloubeného podchodu Evropské ulice. Východní konec nástupiště

and a conical cavern developed there (see Fig. 5). The work on the excavation recovery and stabilisation of the excavation face immediately commenced; the tunnelling operations were temporarily suspended.

It was necessary to have detailed engineering geological investigations carried out and the final design for the next works procedure re-worked. The whole area of the problematic overburden had to be stabilised. The ground mass was reinforced by high-pressure grouting within the scope of the fault zone so that the excavation of the gallery could continue. Only after these steps was it possible to renew the tunnelling operations. The subsequent excavation proceeded under the protection of a micropile umbrella. Nevertheless, the excavation continued in this way only for several days, with respect to the significant delay. Because of blocking the access for heavy equipment from the double-track tunnel side, where at that time the work on the waterproofing and final lining was starting up, the mining team was shifted to the opposite end to start to open the counter-heading from the side of the ventilation shaft near Roentgenova Street. With respect to the limited possibilities of deploying suitable equipment in the handling space defined by the given profile of the shaft, it was necessary to modify the "horizontal" excavation sequence by adding the bench excavation to it. It resulted into very slow and logistically difficult excavation procedure requiring lengthy vertical transport of muck and materials. For the sake of completeness, it is necessary to add that even the shaft itself was changed. It was deepened because of a water-bearing sandstone base, which was located directly at the external surface to the gallery top heading.

Worth mentioning is the fact that the horizontal alignment of the ventilation gallery had to be modified in comparison with the final design. It was necessary from the technological point of view of the installation of the double-track tunnel final lining to shift the gallery connection point several metres aside so that the gallery portal got to the centre of the concrete casting block, not to be at the interface between two blocks. In addition, the radius of the horizontal curve of the gallery was increased for the reason of optimising the installation of the secondary lining in the gallery – it would not have been possible to use a traveller formwork; for the original large curvature of the alignment and the construction of the secondary lining in the gallery, the work would have been lengthy and complicated.

Anyway, the events in this ventilation gallery associated with the encounter with the historical underground structure of the gallery from World War 2 attracted great interest of the professional world.

TRACKWORK

In the second half of the works the schedule brought another important chapter – the trackwork. By the realisation of all trackwork elements and the track equipment HOCHTIEF CZ a. s. got successfully entrenched in the segment of the construction of slab tracks for railway transport. The trackwork is designed in the form of direct fixation of tracks on base plates and a fixed sub-base formed by longitudinal reinforced concrete plinths or, in the cases of switches, by reinforced concrete slabs. By the way, there are two switching structures on the route – in Petřiny station (the end of section V.A1) and Nemocnice Motol station (V.A2), in both cases in the form of double crossovers.

Securing acoustic insulation of rails from the tunnel structure was ordered for several sections for public health reasons, because of the prevention of existing buildings from the transition of vibration. For example, trackbed concrete in Motol Hospital station is placed on recycled rubber plates and rails are



foto/photo courtesy of Miloš Benýšek

Obr. 6 Ražba eskalátorového tunelu z vestibulu stanice Bořislavka v srpnu 2011
Fig. 6 Driving the escalator tunnel from Bořislavka station concourse in August 2011

pokračuje v ražený eskalátorový tunel s portálem v hloubeném vestibulu přímo u křižovatky Evropské a Horoměřické ulice (obr. 6).

Těleso stanice je navrženo jako ražené jednolodní o délce 193 m s plochou výruba 243 m² a 224 m². Ražba staničního tunelu technologií NRTM byla zahájena rozrážkou profilu přístupové a ventilační štoly František, která má portál poblíž Kladenské ulice. Během ražby této štoly se geotechnické podmínky ukázaly jako méně příznivé, než se projekčně předpokládalo. Ražba přístupové štoly sice probíhala hlavně zpočátku částečně v očekávaných polohách tvrdých skaleckých křemenců, nevyskytovaly se však v takovém rozsahu, proto místo majoritně uvažované ražby v třídě TT3 probíhala výhradně v třídách TT4 a TT5a. Navíc během ražby docházelo k četnému výskytu nahodilých nadvýlomů kvůli nepříznivé orientaci lavicovitých vrstev. Před zaústěním štoly do stanice nastává šikmě křížení s pravým traťovým tunelem EPB, a to s minimálním výškovým rozdílem. V oblasti vzájemného ovlivnění proto bylo primární ostění štoly zesíleno, zejména v části protiklenby. Mimořádně ražba přístupové štoly František byla jediným podzemním objektem, kde bylo třeba přistoupit k trhacím pracím. V ostatních štolách a tunelech ražených NRTM se vystačilo s mechanickým rozpojováním horniny pouze pomocí tunelovacího bagru.

Skutečnost, že geotechnické podmínky ražby stanice neodpovídají předpokladům zadávací dokumentace, potvrdil i doplňující geologický průzkum. Na rozdíl od souběžných křemencových masívů očekávaných v etapě přípravy zadávací dokumentace, musel být výrub stanice realizován téměř výhradně ve zvětralých jílovito-prachovitých břidlicích s velmi nízkou pevností, které byly navíc v západní části tektonicky porušené. Ražbu doprovázely četné přítoky podzemní vody, které manipulaci s rubaninou ještě více komplikovaly.

Důsledkem nepříznivých parametrů zastižených hornin byla přijata zásadní opatření spojená s ražbou – změna členění výruba z horizontálního na vertikální klasifikovaného třídou ražnosti TT5b, obecně zesílení primárního ostění a vystrojení výruba. Ražba probíhala v levé a pravé postranní štole, s odstupem pak dorážka střední části výruba a uzavření horní a spodní klenby celého staničního profilu. Razilo se proudovou metodou, kdy byl každý vertikální dílčí výrub současně horizontálně dělen na kalotu, lavici a dno, celkově byla proudová ražba roztažena zhruba na sto metrech délky stanice. Současně se podnikla další technická opatření pro minimalizaci vlivu na stávající zástavbu a zvýšila se četnost monitoringu deformací. Pro odstínení poklesové kotliny od nejbližší povrchové

provided with classical fixation components; Delta-Lager fixation system (special fixation attenuating the rail web) was procured for the section under Evropská Street.

BOŘISLAVKA STATION

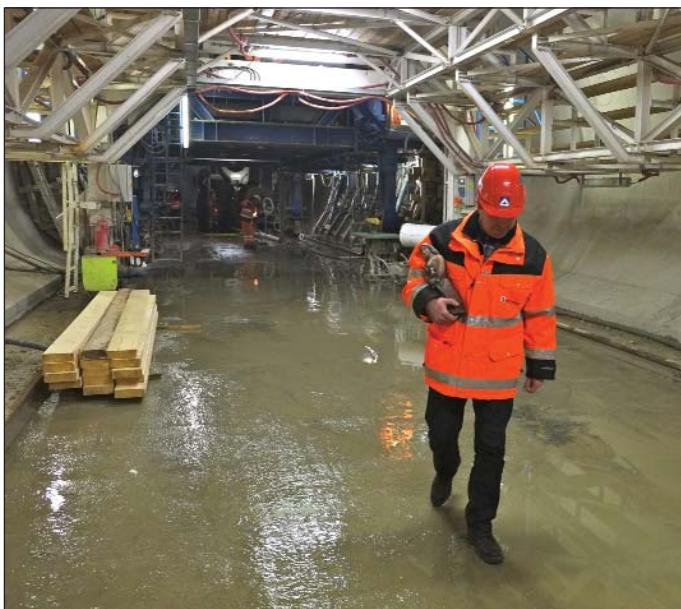
The construction company of HOCHTIEF CZ a. s. in addition realised entire Bořislavka station, its underground and above ground part, including ancillary structures. The western part of the station was conceived as a technological part with a linking ventilation gallery terminated by a shaft ending at the surface. A mined lift shaft ending in a cut-and-cover pedestrian subway under Evropská Street rises from the platform. The eastern end of the platform passes to a mined escalator tunnel with the portal in the cut-and-cover concourse located directly at the intersection between Evropská Street and Horoměřická Street (see Fig. 6).

The station body is designed as a mined one-vault structure with the length of 193m and the excavated cross-sectional area of 243m², respectively 224m². The NATM excavation of the station tunnel commenced by the bifurcation of the František access and ventilation tunnel, which has its portal near Kladenská Street. During the excavation work on this tunnel, geotechnical conditions turned out to be less favourable than expected by the design. The excavation of the access tunnel proceeded, mainly in the beginning, partially through expected hard Skalec quartzite, but it did not occur in so large extent. For that reason the excavation passed through excavation support classes TT4 and TT5a instead of class TT3, which was assumed for the majority of excavation. In addition, random overbreaks occurred during the course of the excavation because of the unfavourable orientation of tabular layers. An oblique crossing with the right-hand EPB TBM-driven running tunnel takes place with a minimum difference in levels before the connection of the gallery to the station. The thickness of the primary lining of the gallery was therefore increased in the area of the mutual affecting, mainly in a part of the invert. By the way, František access tunnel was the only case of an underground structure where it was necessary to proceed to blasting operations. Mechanical disintegration using tunnel excavators was sufficient in all other galleries and tunnels driven using the NATM.

The fact that the geotechnical conditions of the station excavation do not agree with the final design was in addition confirmed by the supplementary geological survey. In contrast with parallel quartzite masses expected at the stage of the preparation of tender documents, the station excavation had to be



Obr. 7 Prorážka štítu EPB Tondy do vyražené stanice Bořislavka v dubnu 2012
Fig. 7 Tonda EPB TBM breakthrough into completely excavated Bořislavka station in April 2012



foto/photo courtesy of Ing. Martin Smetana

Obr. 8 Soška sv. Barborky v rukou ředitele výstavby opouští dokončený tunel Vypich – Motol v únoru 2013

Fig. 8 Saint Barbara statuette in the hands of the director, leaving the completed Vypich – Motol tunnel in February 2013

Závěrky se vybudovala pilotová stěna veknutá pod úroveň dna stanice, hluboká 40 metrů. Dále se pod deformacemi nejvíce ohroženou budovou provedly injektáže zlepšující parametry horniny a mikropilotový deštník z boku raženého profilu stanice.

Kvůli výrazně pomalejšímu postupu razicích prací tyto okolnosti zapříčinily časovou kolizi s protažením štítů EPB stanic a jejich následnou ražbou pod Evropskou ulicí směrem k Dejvické (obr. 7). Dorážka středního dílčího výrubu staničního tunelu byla realizována za komplikovaných logistických a technických podmínek v souběhu s ražbou razicích štítů. Jejich samotný průtah rozraženou stanicí si dokonce vyžádal dva a půlměsíční přerušení prací. Veškerý sled událostí byl nepřímým důsledkem zmíněných zhoršených geologických podmínek a tyto faktory zapříčinily významné prodloužení času ražby stanice. Navazující práce se však podařilo efektivně zkoordinovat natolik, že termín zprovoznění nového úseku metra nebyl nikak ohrožen.

ZÁVĚR

Závěrem lze jistě zrekapitulovat, že řada velkých problémů při výstavbě metra V.A byla způsobena zejména zastižením odlišných geotechnických podmínek, než předpokládala zadávací dokumentace. Je však potřeba spravedlivě podotknout, že to není případ pouze tohoto projektu, ale fenomén všech rozsáhlých staveb v pražském intravilánu. Geologické prostředí hlavního města je složité, o tom není pochyb. Způsobuje komplikace, které vyžadují alternativní technická řešení, ale mohou se pochopitelně také promítnout do finančních nákladů. Daň za trend umístit městskou infrastrukturu pod zem.

Ing. JAN KROUZA, jan.krouza@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s., divize Dopravní stavby

Recenzovali: Ing. Vladimír Pražler, Ing. Jan Korejčík

carried out nearly solely through weathered clayey-silty shales with very low strength, which were, in addition, tectonically disturbed in the western part. The excavation was accompanied by frequent groundwater inflows, which even more complicated the handling of muck.

The unfavourable parameters of the encountered ground resulted into principal measures associated with the excavation – the change in the excavation sequence from “horizontal” to “vertical” was categorised as excavation support class TT5b, generally meaning strengthening of the primary lining and the excavation support. The excavation proceeded simultaneously through the left-hand and right-hand sidewall drifts. The completion of the central core excavation followed at a distance. Finally the upper vault and the invert of the whole station profile were closed. The flow method was applied to the excavation, with each partial excavation sequence further divided into top heading, bench and bottom. The application of the flow method was spread roughly over the length of the station of one hundred metres. At the same time, other technical measures for the minimisation of impacts on existing buildings were implemented and the intensity of the monitoring of deformations was increased. A 40m deep pile wall fixed under the station bottom was carried out for screening the settlement trough from the closest existing buildings. In addition, grouting improving the properties of ground under the most threatened buildings threatened by deformations and the canopy tube pre-support from the side of the mined station profile were carried out.

Because of the significantly lower advance rates of the excavation, these circumstances caused a collision with the time of pulling the EPB TBMs along the station and subsequent driving of running tunnels under Evropská Street toward Dejvice (see Fig. 7). The completion of the excavation of the central core was realised under complicated logistical and technical conditions, concurrently with the advancing TBMs. The pulling of the TBMs along the station itself even claimed a two and half month interruption of the work. The whole sequence of events was an indirect result of the above-mentioned worsened geological conditions. These factors caused a significant extension of the station excavation time. Nevertheless, the subsequent works were effectively coordinated so successfully that the deadline for putting the new metro section into operation was not at all endangered.

CONCLUSION

To conclude, it is certainly possible to recapitulate that many significant problems during the course of the metro line V.A construction were caused mainly by encountering different geotechnical conditions than those expected by the tender design. It is nevertheless needed to be fair and say that it is a phenomenon of all large construction projects in the Prague urban area, not a case only of this project. The geological environment of the capital is no doubt complicated. It causes complications requiring alternative technical solutions and, naturally, can reflect themselves into financial costs. It is a tax for the trend to place urban infrastructure underground.

Ing. JAN KROUZA, jan.krouza@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s., divize Dopravní stavby

LITERATURA / REFERENCES

METROPROJEKT Praha a. s. Prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická, Provozní úsek V. A – Dejvická (mimo)

– Motol, dokumentace pro výběr zhotovitele

METROPROJEKT Praha a. s. Prodloužení trasy A metra v Praze ze stanice Dejvická, Provozní úsek V. A – Dejvická (mimo)

– Nemocnice Motol, dokumentace pro provedení stavby

TECHNOLÓGIA, POSTUP A ŠPECIFIKÁ RAZENIA TUNELA POVAŽSKÝ CHLMEC

TECHNOLOGY, PROCEDURE AND SPECIFICS OF THE POVAŽSKÝ CHLMEC TUNNEL EXCAVATION

ANTON PETKO, VÍT PASTRŇÁK

ABSTRAKT

Razenie tunela Novou rakúskou tunelovou metódou v podmienkach flyšových hornín nie je nič výnimočné. Dvojrúrový diaľničný tunnel Považský Chlmec dlhý 2,2 km má však stanovené veľmi prísné termíny a miľníky. Zvláštnosťou je to, že okrem vstupných portálov na jeho koncoch je sprístupnený aj ďalšími portálmi situovanými v strednej časti jeho trasy. Umožňuje to terénna depresia, v ktorej sa tunel na tomto úseku buduje v otvorenom výkope. Na jednej strane to z hľadiska razenia komplikuje postup (nízke nadložie, ľahšie triedy), na strane druhej to dáva možnosť na razenie z ďalších portálov. Článok opisuje spôsob, ako sa s tým zhovitelia zamýšľa vyravnat, a zároveň opisuje technológiu razenia, nasadenie kapacít a organizáciu razieb samotných. Tunel je aktuálne razený šestimi čelbami pomocou zvýšeného nasadenia kapacít. Toto robí výstavbu tunela Považský Chlmec výnimočnou.

ABSTRACT

Driving tunnels using the New Austrian Tunnelling Method in conditions formed by flysch-type grounds is nothing exceptional. On the other hand, the conditions and milestones set for the 2.2km long twin-tube Považský Chlmec tunnel are very stringent. The rarity of this tunnel excavation is that the tunnel is made accessible not only through portals at its ends, but also through other portals located in the middle of its route. It is possible owing to a terrain depression; the tunnel is built in an open cut in this section. On the one hand, it complicates the procedure in terms of the excavation (low overburden, more difficult excavation support classes); on the other hand, it offers the opportunity to excavate the tunnel from other portals. The paper describes the procedure the contractor is going to cope with it. At the same time, it describes the excavation technology, the deployment of capacities and organisation of the excavation itself. The tunnel is currently being driven on six headings applying the increased deployment of capacities. This fact is the reason why the Považský Chlmec construction is exceptional.

ÚVOD

Na Slovensku je v súčasnosti vo výstavbe osem tunelových stavieb na úsekoch diaľničnej siete. V čase prípravy článku sa v týchto tuneloch razilo na osemnáctich čelbách. Z tohto počtu je šesť čielieb na tuneli Považský Chlmec. Toto je neobvyklý rozsah v oblasti simultanne prebiehajúcej tunelovej výstavby, ktorý Slovensko doteraz nezaznamenalo a z ktorého vyplýva potreba obrovského nasadenia strojních a personálnych kapacít.

Tunel Považský Chlmec je súčasťou stavby D3 Žilina (Strážov) – (Žilina – Brodno), ktorá je situovaná na severozápade Žiliny a tvorí spojnicu súčasného úseku D3 a komunikácie 1/11 smerom na Kysucké Nové Mesto. Bude slúžiť na prevedenie tranzitnej dopravy mimo mesta Žilina v rámci severo-južného dopravného koridoru. Úsek je dlhý 4,25 km a pozostáva z estakády ponad vodné dielo Hričov (1471 m dĺžky), z tunela Považský Chlmec, mosta cez rieku Kysuca a z napojenia na súčasnú komunikáciu 1/11. Zhoviteľom je Združenie D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno), ktorého členmi sú EUROVIA SK, a. s., HOCHTIEF CZ a. s. a STAVBY MOSTOV SLOVAKIA, a. s. Zhoviteľom tunela je HOCHTIEF CZ a. s. Podľa harmonogramu vyplývajúceho z termínov daných objednávateľom má byť tunel vyrazený za štrnásť mesiacov a vozovka v ním má byť hotová v termíne 23 mesiacov od začiatku razenia.

ZÁKLADNÉ INFORMÁCIE O TUNELI

- lehota výstavby: 1095 dní – ukončenie: 30. 6. 2017;
- dĺžka tunelov – severná tunelová rúra 2252 m, južná tunelová rúra 2189,40 m;
- plocha hrubého výlomu tunelovej rúry: 83,1–112,02 m² (podľa geológie a vystrojovacej triedy);

INTRODUCTION

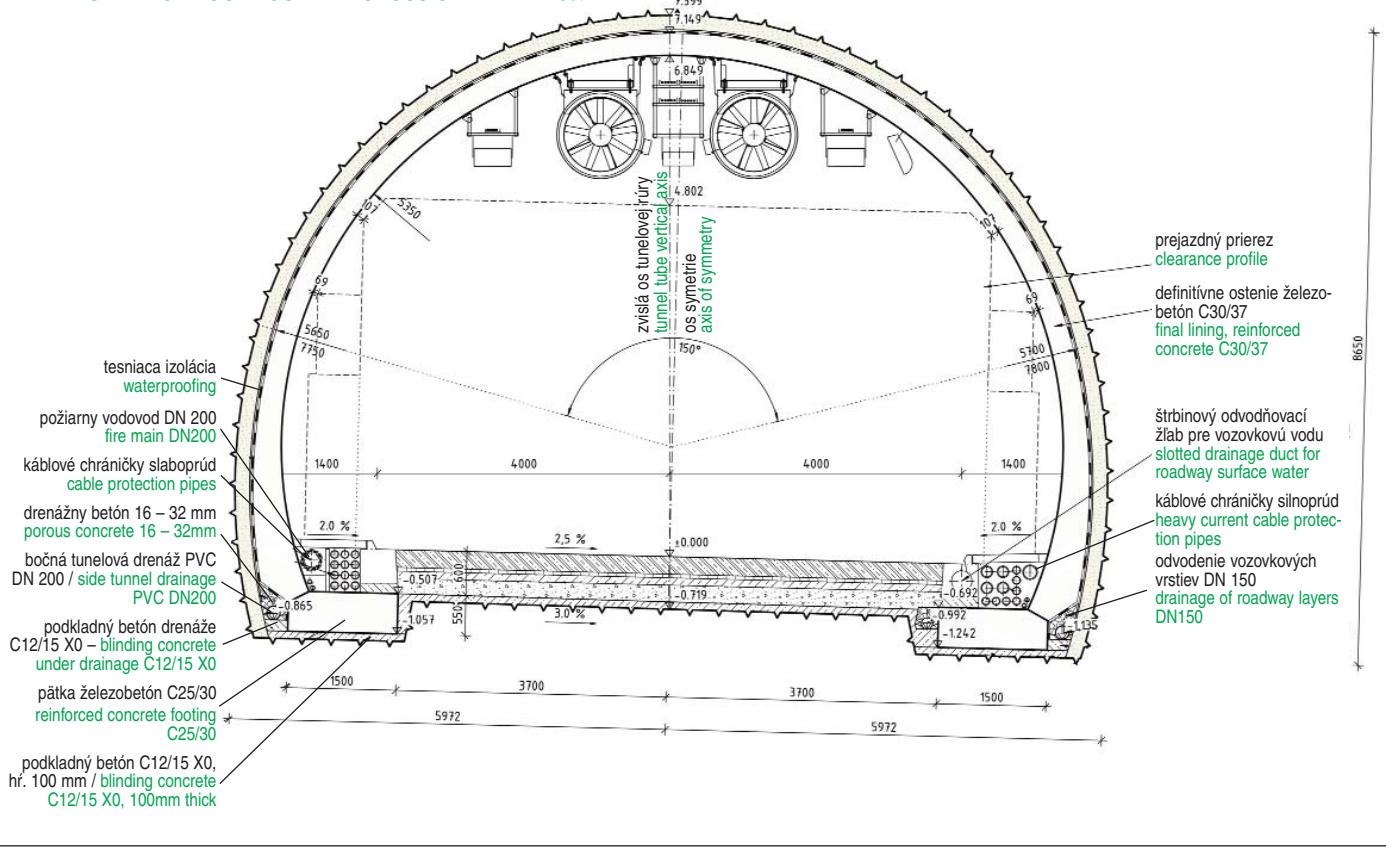
Eight tunnel construction projects are currently underway in Slovakia on the motorway network sections. Eighteen headings were worked on at the moment of the preparation of this paper. Of this number, six headings are on the Považský Chlmec tunnel. This extent is unusual in the area of simultaneously running tunnel construction, which has not been recorded in Slovakia till now. The necessity for immense deployment of mechanical and personnel capacities follows from it.

The Považský Chlmec tunnel is part of the D3 Žilina (Strážov) – (Žilina – Brodno) construction lot, which is located south-west of Žilina and forms a link between the existing section of the D3 motorway and the 1/11 road heading toward Kysucké Nové Mesto. It will be used for the diversion of transit transport outside the town of Žilina within the framework of the north-southern transport corridor. The 4.25km long section comprises a 1471m long viaduct over the Hričov hydropower scheme, the Považský Chlmec tunnel, a bridge over the Kisuca River and the connection to the existing 1/11 road. The contractor is the Združenie D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) consortium, the members of which are EUROVIA SK, a. s., HOCHTIEF CZ a. s. and STAVBY MOSTOV SLOVAKIA, a. s. The contractor for the tunnel is HOCHTIEF CZ a. s. According to the works schedule following from the deadlines set by the project owner, the tunnel excavation is to be completed in fourteen months and the roadway in it is to be finished in 23 months from the beginning of the excavation.

BASIC INFORMATION ON THE TUNNEL

- construction duration: 1095 days –completion: 30/06/2017;

RAZENÝ TUNEL NA PÄTKÁCH – STR PRIEČNY SKLON 2,5 %
MINED TUNNEL ON FOOTINGS – NTT CROSS GRADIENT 2.5%



Obr. 1 Vzorový priečny rez tunelom

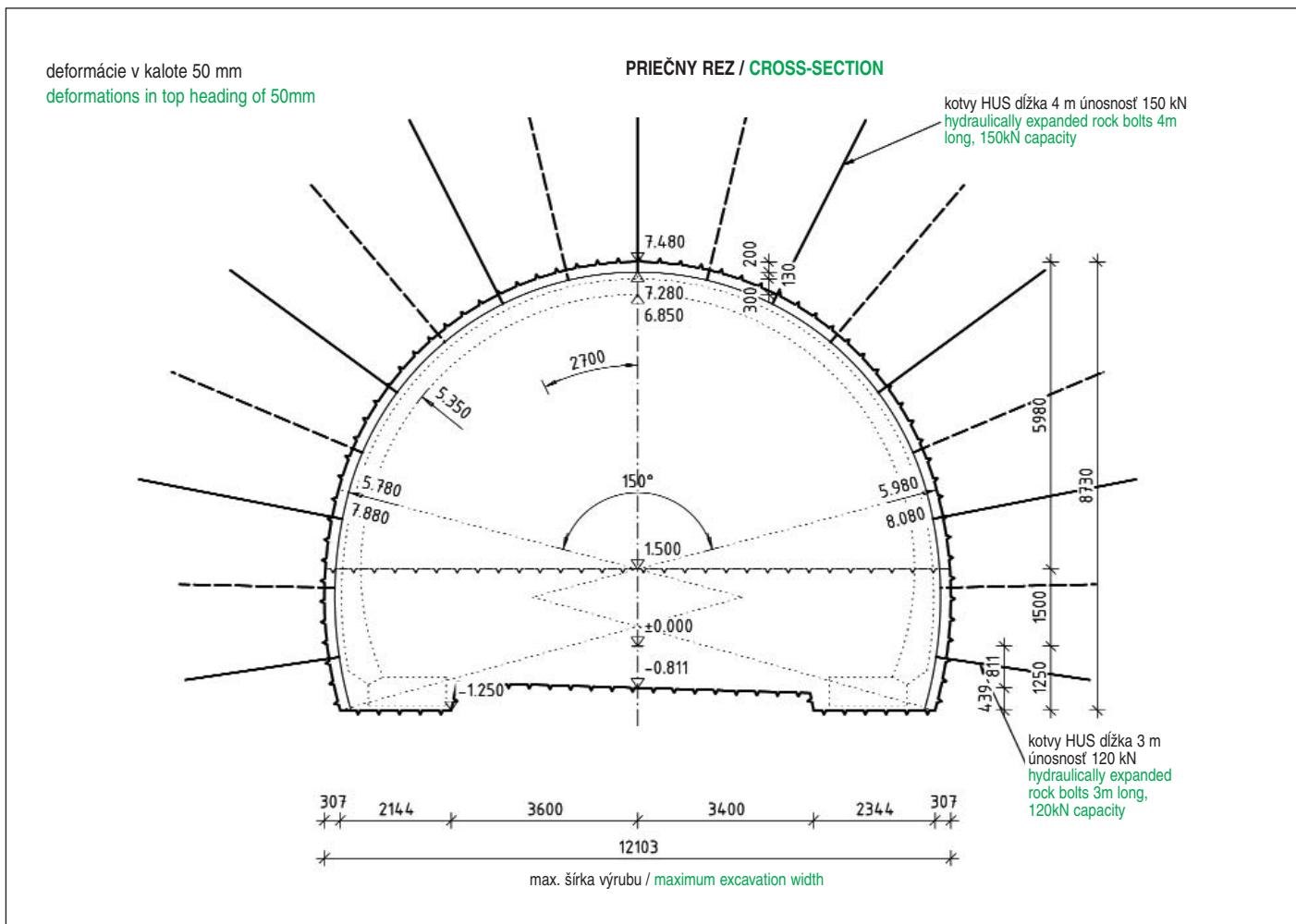
Fig. 1 Typical cross-section through the tunnel

- tunel je razený vo flyšových súvrstviach tvorených prevažne flövcami, pieskovcami a polymiktnými zlepencami;
- šírkové usporiadanie – kategória tunela 2T – 8,0 podľa STN 73 7507 r. 2008 – dva jazdné pruhy, šírka medzi obrubníkmi je 8 m (obr. 1);
- tunel bude mať dva núdzové zálivy a osem priečnych prepojení;
- vetranie tunela bude pozdĺžne, zabezpečené prúdovými ventilátormi;
- tunel je razený NRTM (obr. 2) – cyklickým razením s rozpojovaním vrtno-trhacími prácam, z dôvodu krátkeho času výstavby na taký náročný projekt je razený až šiestimi čelbami súčasne;
- zhотовiteľ využil na tento účel priestor stredového portálu – depresie terénu, kde je tunel podľa zadávacej dokumentácie v úseku cca 40 m budovaný v otvorenom výkope a z toho priestoru sa razí naraz štyrmi čelbami, ďalšie dve čelby sú razené zo západného portálu, pričom neskôr sa bude razit aj z východného portálu;
- špecifikom tohto projektu je nasadenie veľkého množstva kapacít počas razenia.

- lengths of tunnel tubes – the northern tube 2252m, the southern tube 2189.40m;
- the excavated cross-sectional area of the tunnel tube: 83.1–112.02m² (depending on geology and the excavation support class);
- the tunnel is driven through flysch series of layers formed mainly by claystone, sandstone and polymict conglomerates;
- the tunnel roadway configuration – tunnel category 2T – 8.0 according to STN 73 7507 standard from 2008 – two traffic lanes, kerb-to-kerb width of 8m (see Fig. 1);
- there will be two emergency lay-bys and eight cross passages in the tunnel;
- the axial ventilation in the tunnel will be provided by jet fans;
- the tunnel is driven using the NATM (see Fig. 2) – cyclical excavation with the drill-and-blast technique applied to the disintegration; with respect to the construction time short for such a demanding project, the tunnel is driven at up to six headings simultaneously;
- the contractor used the space of the central portal (the terrain depression) where, according to the tender documentation, the tunnel is built in a ca 40m long section in an open trench; the tunnel is driven from this section on both sides, working on four headings concurrently; other two headings are underway from the western portal; the excavation from the eastern portal will start later;
- a specific feature of this project is the deployment of a large amount of capacities during the process of excavation.

HLAVNÁ VÝZVA PROJEKTU

Hlavnou výzvou projektu je popri nájdení optimálneho technického riešenia v rámci žltého FIDICU splnenie harmonogramu stavby. Každá stavba vždy bojuje s termínom, ale tu bolo už od začiatku zrejmé, že to bude mimoriadne zložitá úloha. Celkový čas výstavby je plánovaný na 36 mesiacov. V tejto časovej lehote sa musí stavba vypojať, prerokovať nové stavebné povolenie, vybudovať portály, vybudovať tunel, osadiť ho technológiou a sprevádzkovať. Pre zjednodušenie je možné uviesť, že na počia-



Obr. 2 Najviac zastúpená vystrojovacia trieda NRTM 5.1, dĺžka záberu max. 1,7 m

Fig. 2 The most frequently represented NATM excavation support class 5.1; excavation advance cycle length maximum of 1.7m

točnú prípravu projektu portálov a ražieb vrátane získania nového stavebného povolenia a na vybudovanie portálov je k dispozícii 6 mesiacov. Nasleduje razenie, na ktoré je vyhradených 14 mesiacov. Potom prebehne betonáž definitívneho ostenia v trváni 1 rok a zostáva 9 mesiacov na dokončovacie práce, betonáž vozovky, náter tunela a montáž technológie. Paralelne s tým sa musí zhotoviť mostná konštrukcia nadvážujúca na tunel na oboch jeho koncoch. Všetko sú to relatívne náročné úlohy. Zložité sú najmä príprava projektovej dokumentácie a zaistenie nových stavebných povolení v takom krátkom čase. Klúčom na splnenie plánovaného času výstavby je však razenie tunela. Tu je možné organizáciou práce najviac času získať, ale i stratit.

Je potrebné vyraziť za 14 mesiacov 4,3 km tunelov. To znamená priemerný postup 310 m kompletne vyrazeného tunela (vrátane zálivov, prepojení a profilácie) mesačne. Také tempo razenia zodpovedá skôr plánom s použitím TBM. Aby to bolo možné dosiahnuť metódou NRTM, je nutné maximalizovať počet čielieb. V tomto prípade bolo zvoleno namiesto obvyklých štyroch čielieb súčasné razenie na 6 čelbách. Priemerné tempo razenia je stanovené na 1,7 m vyrazeného tunela denne na každú čelbu.

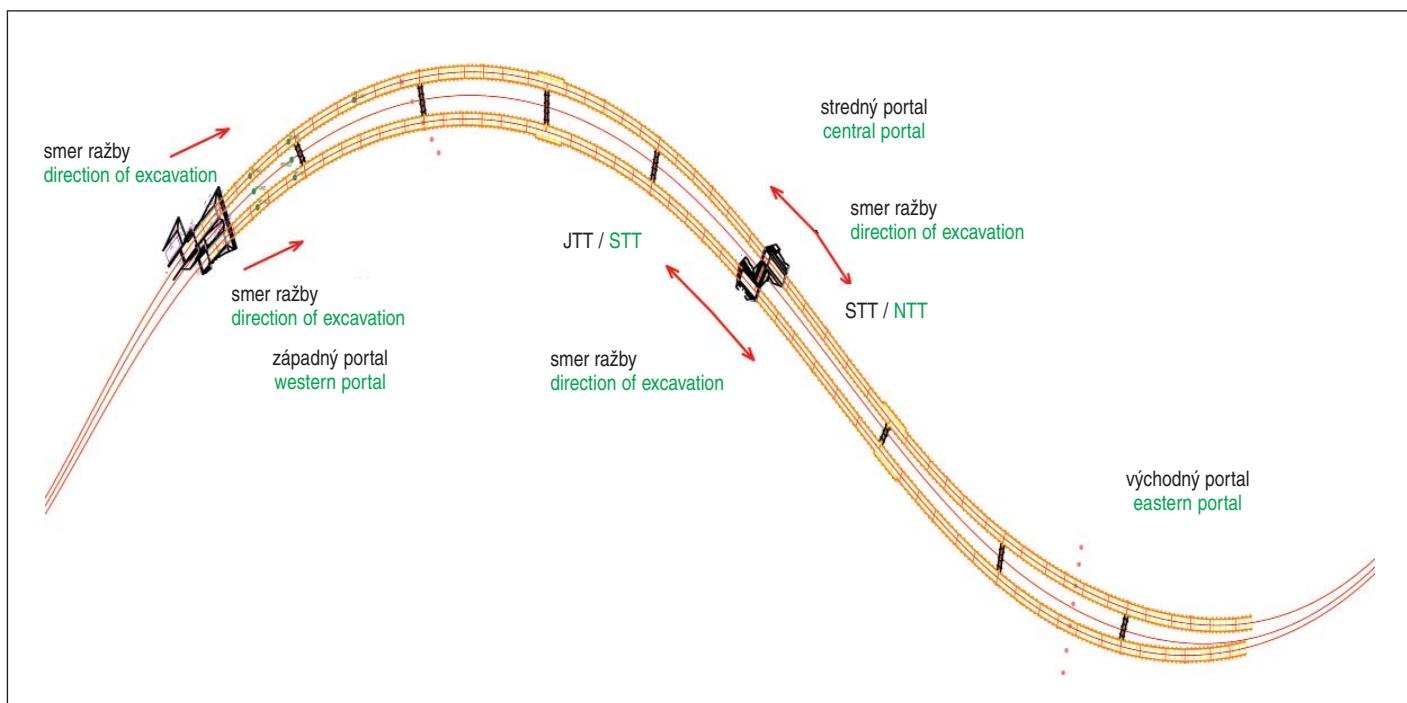
ORGANIZÁCIA VÝSTAVBY

Prvé dve čelby sú razené zo západného portálu, kde sa buduje severná a južná tunelová rúra smerom na východ. Ďalšie štyri čelby sú, odlišne od pôvodného riešenia investora, razené zo strednej hlbnej časti tunela (obr. 3). Tu mala pôvodne najmä z priestorových dôvodov prebiehať iba betonáž tunela v otvorennej jame, razenie tu prebiehať nemalo. Zo stredovej jamy sa razí súčasne v severnom a južnom tuneli západným i východným smerom.

THE MAIN PROJECT CHALLENGE

The main challenge of the project, apart from finding an optimum technical solution within the framework of the FIDIC yellow book, is meeting the works schedule. Each project always fights the completion deadline, but in this case it was clear from the beginning that it will be an exceptionally difficult task. The total construction period is planned for 36 months. In this term, the construction has to be designed, a new building permit has to be negotiated, portals have to be built, the tunnel has to be constructed, the equipment has to be installed and the tunnel has to be put into operation. For simplification it is possible to say that 6 months are available for the initial preparation of the design for the portals and excavation, obtaining the building permit and constructing the portals. The tunnel excavation, for which 14 months are assigned, follows. The final concrete lining will be constructed during 1 year, and 9 months will remain for finishing works, casting of the roadway concrete, tunnel coatings and installation of equipment. The bridge structures connecting to the tunnel at both of its ends have to be carried out in parallel. All of these tasks are demanding by themselves. The most difficult tasks are the preparation of the design documents and securing new building permits during such the short time. Anyway, the tunnel excavation is the key for meeting the planned construction deadline. By its organisation it is possible either to gain or to lose most of the time.

It is necessary to excavate 4.3km of tunnels during 14 months. It means the average monthly advance rate of 310m



Obr. 3 Schéma organizácie razenia tunela Považský Chlmec
Fig. 3 Považský Chlmec tunnel excavation organisation chart

Po prerazení severného a južného tunela zo západu a stredu bude kapacita zo západného portálu presunutá na východný portál a bude sa tu raziť východným smerom oproti postupujúcomu razeňiu zo stredového portálu východným smerom. Dĺžka úseku razeňého tunela od stredového portálu na západný portál je 1199 m a na východný portál 1025 m.

Na prvý pohľad to vyzerá ako jednoduché riešenie. Pokiaľ je málo času, použije sa väčší počet ľudí a strojov, aby bola úloha zvládnuta. Je však nutné si uvedomiť, že to znamená značnú koncentráciu kapacít na malom území a to prináša nemalé problémy.

Po prvej je potrebné zaistiť na relatívne krátke časy značný počet robotníkov. Na šesť čielieb razených v nepretržitej prevádzke to znamená mať podľa plánu celkovo 200 robotníkov – razičov, strelmajstrov, banských elektrikárov a mechanikov. Bohužiaľ, negatívne sa prejavuje fakt, že v okolí Žiliny je vo výstavbe 7 tunelov a je v chode razenie na 12 ďalších čelbách. Profesia tunelového robotníka či strojníka je v dnešnej dobe vysoko špecializovaná a počet kvalifikovaných zamestnancov zo Slovenska či Česka, ktorí sú k dispozícii, začína byť už vyčerpaný. K tomu takisto prispieva i súčasný tunelový boom v nemecky hovoriačich krajinách a v Škandinávii, ktorá významnú časť tuzemských kapacít odčerpáva. Zárobky zo zahraničia sú stále výrazne vyššie než na tuzemských stavbách a nie je ľahké tuzemské kapacity vrátiť späť domov.

Obdobný problém je i so zaistením techniky. Je potrebné nasadiť päť až šesť vŕtacích vozov, striekacích strojov, tunelových bagrov a ďalšiu potrebnú techniku. Na jednej stavbe súčasne, ale iba relatívne krátko. Sú to všetko stroje, ktoré sa súčasne vyskytujú, ale nikdy v takej koncentrácií na jednej malej stavbe v jednom čase. Väčšina existujúcich kapacít materského koncernu a našich partnerov je nasadená na prebiehajúcich zákazkách. Preto sa mnoho strojov muselo pre túto akciu kúpiť či prenajítať. Prenajímané mechanizmy sa zbierali doslova z celého sveta. Sú tu i stroje požičané zo Spojených štátov amerických či z Thajska. Zaistenie techniky a personálu bol od prípravárov stavby heroický výkon.

Posledným z hlavných obmedzení, ktoré vzniklo v dôsledku krátkeho času výstavby, je priestor. Stavba je situovaná na okraji Žiliny, nie v jej centre. Mohlo by sa teda zdáť, že s priestorom

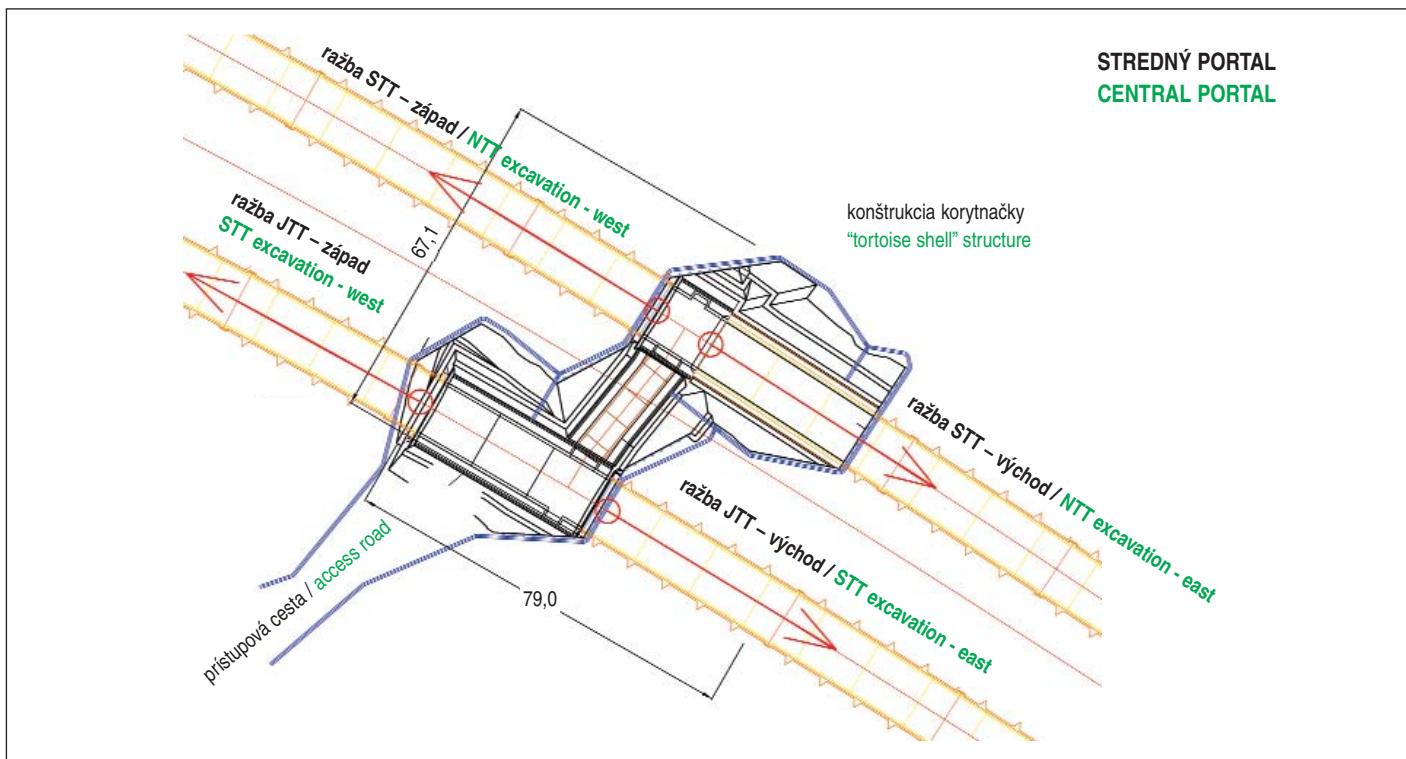
of the complete excavation of the tunnel (including lay-bys, cross passages and profiling). Such the advance rate rather corresponds to plans for the excavation using TBMs. If it is to be viable when the NATM is used, it is necessary to maximise the number of headings. In our case, we chose concurrent excavation at 6 headings instead of customary four. The average advance rate is determined at 1.7m of the excavated tunnel per day.

CONSTRUCTION ORGANISATION

The initial two headings proceed from the western portal, from which the northern and eastern tunnel tubes are being driven toward the east. Other four headings, in contrast with the original solution, proceed from the central cut-and-cover part of the tunnel (see Fig. 3). In this part, only the casting of concrete for the tunnel tubes was to be carried out, first of all for spatial reasons, and the tunnel was not to be driven from this point. The excavation proceeds concurrently in both the northern and southern tunnel tube, both in the western and eastern directions. After the completion of the excavation of the northern and southern tunnel tubes from the west and the centre, the capacity will be moved from the western portal to the eastern portal and the excavation will proceed from this location west, opposite the headings from the central portal. The sections driven from the central portal to the western portal and the eastern portal are 1199m and 1025m long, respectively.

It seems at first sight as a simple solution. If we lack time, we will use a greater number of workers and machines to cope with the task. It is however necessary to realise that it means a significant concentration of capacities in a small area, which brings not negligible problems.

First it is necessary to provide a significant number of workers for a relatively short time. It means to have 200 workers – miners, shotfirers, mine electricians and mechanists to be available for six headings, working around the clock. Unfortunately, the fact that there are 7 tunnels under construction in the Žilina surroundings and 12 other headings are



Obr. 4 Situácia stredovej jamy

Fig. 4 Central construction pit layout

nebude na stavbe problém. Bohužiaľ, pre zhotoviteľa je opak pravdu. Pôvodné technické riešenie investora nepočítalo s takým nasadením kapacít a tomu zodpovedajú i priestory pre stavbu vyhradené. Zhotoviteľ sa, samozrejme, snažil zaistiť ďalšie plochy pre zariadenie staveniska, ale konfigurácia terénu a okolitej zástavy značne limituje a rozlohy zariadenia stavenísk sa príliš zväčšovať nedajú. Najväčší problém to prináša v oblasti stredovej jamy (obr. 4). Tu sú v prevádzke štyri čelby. Pokial' z tunela vyjde všetka technika, zariadenie staveniska vyzerá ako parkovisko, ale už sa tam nedá nič robiť. Stroje sa tam skrátka nevojdú. Preto je nevyhnutné všetky operácie spojené s plánovanou údržbou strojov starnostivo plánovať a všetko, čo je možné vykonávať priamo v stredovej jame alebo v tuneloch. Západný a najmä východný portál je zas limitovaný mostmi, ktoré bezprostredne nadväzujú na tunel. Medzi razeným portálom na východe a západe a oporou východných a západných mostov je priestor široký iba 10 až 20 m. Miesta pre zázemie razieb je tu minimum a takisto je nutné koordinovať jeho využitie a stavebnú činnosť v predportálí s kolegami v združení, ktorí ich potrebujú na výstavbu mostov.



Obr. 5 Vŕiaci voz Atlas – Copco Rocket Boomer E2C

Fig. 5 Atlas – Copco Rocket Boomer E2C drill rig

being worked on, manifests itself negatively. The profession of a mine worker or mechanist is today highly specialised and the number of qualified employees from Slovakia or Czechia who are available begins to be exhausted. The current tunnelling boom in German-speaking countries and in Skandinavia, which drains a significant portion of domestic capacities, contributes to it. Earnings from abroad are still much higher than earnings from domestic construction sites and it is not easy to return domestic capacities back home.

A similar problem also concerns procuring construction equipment. It is necessary to employ five to six thousand drilling sets, spraying machines, tunnel excavators and other required equipment. On one construction site concurrently, but only for a relatively short time. On the one hand, all of these machines are commonly present on construction sites, but never in such the concentration on one site at one time. The majority of existing capacities of the mother concern and our partners have been deployed on ongoing contracts. For that reason we had to purchase or hire many of the machines for this project. We collected machines for hiring literally from the whole world. We have hired machines even from the United States or Thailand. Providing the equipment and personnel was a heroic performance of our work preparation staff.

The last of the main limitations which originated as a result of the short time available for the construction is the space. The construction is located at the edge of Žilina, not in its centre. It could therefore seem that there will be no problem with space. Unfortunately, the opposite is true. The original technical solution did not take into account the deployment of so extensive capacities and the necessity for corresponding spaces to be assigned for the construction. Of course, we tried to find even other areas for construction site equipment, but the configuration of terrain and buildings in the surroundings significantly limits us and the sizes of construction sites cannot be expanded too much. The greatest

V súčasnosti je dokončený západný portál a stredová jama. Prebieha plánované razenie na dvoch čelbách zo západu a na štyroch čelbách zo stredového portálu. Takisto na západnom portáli prebieha v bezprostrednej blízkosti portálov výstavba opory mosta. Východný portál je teraz vo výstavbe súčasne so stavbou príľahlej opory a prístupovej cesty.

TECHNOLÓGIA RAZENIA

Razenie a primárne ostienie

Razenie oboch tunelových rúr prebieha podľa zásad NRTM. Čelba je delená na kalotu, jadro, prípadne protiklenbu.

Na rozpojovanie horniny sú použité prevažne (90 %) vrtnotracie práce. Ostatný podiel tvorí mechanické rozpojovanie tunelovým bagrom Liebherr 944 Litronic, resp. CAT 328D LCR.

Na vŕtanie vývrtov (obr. 5) sa používajú dvojlafetové vŕtacie vozy Atlas – Copco Rocket Boomer E2C, vybavené laserovým navádzaním, počítačom (obr. 6) a plošinou na nabíjanie, resp. vŕtacie vozy TAMROCK AXERA. Nabíjanie vývrtov je manuálne, používa sa neelektrický roznet rozbuškami NITRONEL QS a trhaviny ERGODYN 30E a EMULINIT. V úvodných fázach razby boli trhacie práce obmedzené kvôli seismickým účinkom na vodovodné potrubie priemeru 800 mm pri stredovom portáli, ktoré čelby v smere na západ podchádzali vo vzdialenosťi len 2 m od stropu kaloty. Seismický monitoring pri trhacích práciach prebiehal kontinuálne. Priamo na potrubí sú namontované seismografy nad každou tunelovou rúrou a hodnoty seismických účinkov sú oznamované SMS správami na mobilné telefóny zodpovedných pracovníkov.

Odtáženie je realizované čelnými kolesovými nakladačmi CAT 966 K do dumprov CAT 730, ktoré rozpojenú horninu vyvážajú na depóniu. Čelba sa po trhacích práciach začisťuje (obr. 7) od uvoľnených kusov horniny tunelovým bagrom Liebherr 944 Litronic, resp. CAT 328D LCR. Po rozpojení a odtážení nasleduje vždy fáza vystužovania, resp. budovania primárneho ostienia. Striekaný betón je na tejto stavbe aplikovaný pomocou striekacích zariadení MEYCO Potenza s teoretickým výkonom 30 m³ striekaného betónu/hod. s použitím bezalkalického urýchľovača tuhnutia BASF Masterrock 183. Trieda betónu primárneho ostienia je C 25/30. Súčasťou primárneho ostienia sú priehradové nosníky typu ARCUS, KARI siete a hydraulicky upínateľné svorníky HUS dĺžky 3 až 6 m, resp. IBO alebo SN kotvy.

Čelba pri razení je delená na kalotu a stupeň. Priemerný denný postup razenia na jednu čelbu je zatiaľ 2,5 m/24 hod. a je poznačený začiatkami prác, horšími horninovými pomermi v priportálových úsekokoch, obmedzením trhacích práci a prehlbovaním stredovej jamy na úroveň stupňa tunela za súčasného razenia kalot v jednotlivých rúrach. Razenie a výstavba tunela a jemu prislúchajúcich objektov prebieha v režime nepretržitej prevádzky – 7 dní v týždni 24 hodín denne.

KAPACITY NA PROJEKTE

Ako už bolo spomenuté vyššie, pozoruhodné je nasadenie strojových kapacít a pracovníkov na tomto tuneli. V čase prípravy článku sa na razení tunela a príprave podieľalo 37 technických pracovníkov, 136 pracovníkov na obsluhu tunelovej techniky a tunelárov, subdodávatelia na geodetické merania, trhacie práce a geotechnický monitoring.

Tunelové stroje nasadené na razenie:

- 5 dvojlafetových vŕtacích vozov (3x Atlas Copco Boomer E2C a 2x Tamrock Axerra);
- 5 kolesových čelných nakladačov (2x CAT 966 K, 2x KOMATSU WA470, 1x CAT 944);
- 6 tunelbagrov (4x LIEBHERR 944 a 2x CAT 328D LCR);

problem exists in the area of the central construction pit (see Fig. 4). There are four headings in operation in this area. When all equipment emerges from the tunnel, the construction site looks as a parking lot, but it is no more possible to work there. The machines simply do not fit there. It is therefore necessary to carefully plan all operations associated with the planned maintenance of machines and all that is possible to carry out directly in the central pit or the tunnels. In addition, the western and mainly the eastern portals are limited by bridges immediately connecting the tunnel. The distance between the mined portals in the east and west and the abutments of the eastern and western bridges lies somewhere between ten and twenty metres. The spaces for the tunnelling hinterland are minimum and, in addition, it is necessary to coordinate their use and construction activities in the pre-portal area with colleagues in the consortium, who need them for the construction of bridges.

At the moment, the western portal and the central construction pit are finished. The planned excavation is underway at two headings from the west and four headings from the central portal. The construction of the bridge abutment in the immediate vicinity of the portals used for the tunnel excavation is also underway at the western portal. The eastern portal is now under construction concurrently with the construction of the adjacent abutment and an access road.

TUNNELLING TECHNOLOGY

Excavation and primary lining

Both tunnel tubes are being driven according to the principles of the NATM. The excavation sequence is divided into top heading, bench and, as the case may be, invert.

Rock is mostly (90%) disintegrated using the drill-and-blast technique. The remaining proportion is formed by mechanical disintegration using Liebherr 944 Litronic, respectively CAT 328D LCR tunnel excavators.

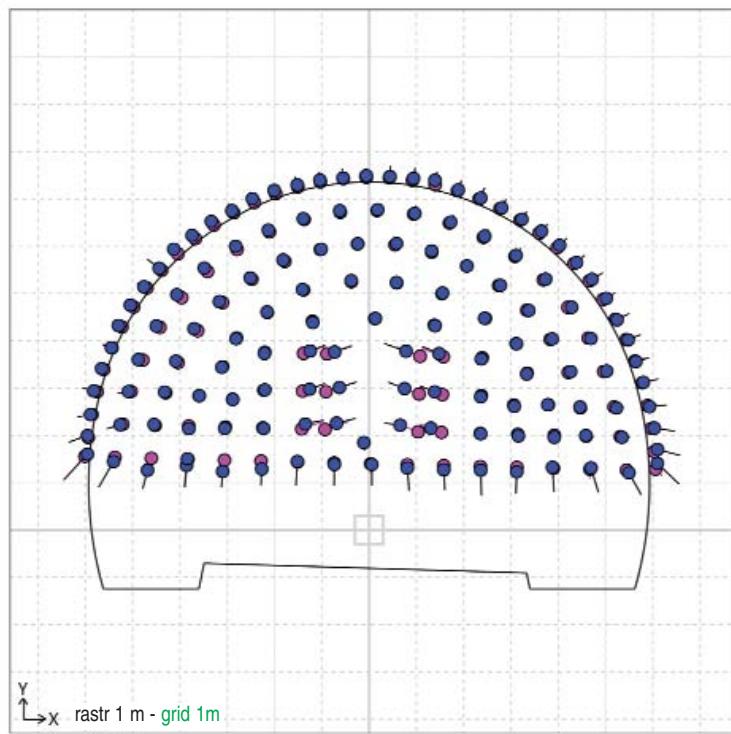
Twin-boom Atlas – Copco Rocket Boomer E2C drill rigs, equipped with a laser guidance system, computer (see Fig. 6) and a lifting platform for charging blast holes, or TAMROCK AXERA drilling rigs are used for drilling the holes (see Fig. 5). Blast holes are charged manually; non-electric firing using NITRONEL QS detonators and ERGODYN 30E and EMULINIT explosives is used. At the initial excavation stages, blasting was restricted because of seismic effects on an 800mm-diameter water pipeline at the central portal, which was passed under by the west-leading headings at the distance of a mere 2m from the top heading crown. The seismic monitoring during the blasting operations proceeded continually. Seismographs are installed on the pipeline above each tunnel tube and the values of seismic effects are announced through SMS reports to mobile telephones of responsible employees.

Muck is loaded by CAT 966K wheeled front end loaders on CAT 730 dumpers, which transport the disintegrated rock to the stockpile. After blasting, the excavation face is scaled by Liebherr 944 Litronic, respectively CAT 328D LCR tunnel excavator. After the disintegration of rock and removal of muck, the stage of the installation of the excavation support, or the construction of the primary lining follows. Shotcrete is applied on this construction site by means of MEYCO Potenza spraying machines with the theoretical output of 30m³ of shotcrete per hour, using BASF Masterrock 183 alkali-free setting accelerator. The grade of the primary lining concrete is C 25/30. Parts of the primary lining are ARCUS

ODPALOVÁ ZPRÁVA FIRING REPORT

pracoviště / workplace
tunel / tunnel
sekce / section TUNEL_POVAZSKY-
CHLMEC (Imported)
JTR_STRED-VYCHOD
1183.740

Graf vývrtu



Obr. 6 Protokol odvŕtanej čelby z počítača vŕtacieho vozu
Fig. 6 Excavation face drilling protocol from a drill rig computer

- 5 striekacích súprav MEYCO POTENZA;
- 6 dumprov (4x CAT 730 a 2x KOMATSU HM 300);
- 2 dvojramenné plošiny Normet;
- 1 jednoramenná plošina Normet;
- 3 manipulátory MANITOU MRT1635.

ZÁVER

Dovolíme si tvrdiť, že takýto rozsah raziacich kapacít nie je nasadený na žiadnom inom tunelovom projekte tak na Slovensku, ako aj v Čechách, a ich zabezpečenie súčasného rozmachu výstavby tunelov na Slovensku vôbec nebolo jednoduché.

Zvyčajne je po rozbehnutí razenia pre zhotoviteľa obdobie a čas na optimalizáciu razenia a dosiahnutia plánovaných postupov, ale na organizáciu a prípravu je menej náročné. Na tomto projekte je však nutné už teraz plánovať a zabezpečovať betonáž sekundárneho ostenia. V čase vydania tohto čísla by mal byť úsek od stredového portálu po západný portál už prerazený a mali by začínať prvé betonáže.

**Ing. ANTON PETKO, Ing. VÍT PASTRŇÁK,
HOCHTIEF CZ a.s., Žilina**

Recenzovali: Ing. Pavel Polák, Ing. Viktoria Chomová

LITERATURA / REFERENCES

Projektová dokumentácia

MAŘÍK, L. SO 410 Razenie a primárne ostenie. IKP Consulting Engineers, s. r. o., 2015

lattice girders, KARI welded mesh and hydraulically expanded rock bolts 3 to 6m long, respectively IBO or SN anchors.

The excavation sequence consists of top heading and bench. The average daily advance rate at one heading has still been 2.5m/24h. It has been affected by initial problems of the excavation, worse ground conditions in the portal sections, restrictions on blasting operations and deepening of the central pit to the level of the tunnel bench with the top headings in individual tubes being driven simultaneously. The excavation and construction of the tunnel and structures associated with it is carried out in the round-the-clock operation – 7 days in a week, 24 hours a day.

CAPACITIES ON THE PROJECT

As mentioned above, the deployment of mechanical capacities and persons on this tunnel is remarkable. At the time of the preparation of this paper, 37 technical persons, 136 persons operating the equipment and miners, sub-contractors for surveying, blasting operations and geotechnical monitoring participated in the tunnel excavation and its planning.

Tunnelling machines applied to the excavation:

- 5 twin-boom drilling rigs (3x Atlas Copco Boomer E2C and 2x Tamrock Axerra);
- 5 wheeled front end loaders (2x CAT 966 K, 2x KOMATSU WA470, 1x CAT 944);
- 6 tunnel excavators (4x LIEBHERR 944 and 2x CAT 328D LCR);
- 5 concrete spraying machines MEYCO POTENZA;
- 6 dumpers (4x CAT 730 and 2x KOMATSU HM 300);
- 2 Normet twin-boom work platforms;
- 1 Normet single-boom work platform;
- 3 MANITOU MRT1635 manipulators.

CONCLUSION

We dare say that such the extent of tunnelling capacities is not deployed on any other tunnel construction project in Slovakia, nor in Czechia, and providing them during the current tunnelling boom in Slovakia was not at all simple.

There is usually a period and time for the contractor after starting up the excavation, during which the excavation can be optimised and the planned advance rates can be achieved. It is less demanding as far as the organisation and preparation are concerned. It is however necessary on this particular project to plan and secure the casting of the secondary concrete lining already now. At the time of publishing this journal issue, the excavation of the section between the central portal and the western portal should be finished and first concrete casting operations should be starting.

**Ing. ANTON PETKO, Ing. VÍT PASTRŇÁK
HOCHTIEF CZ a.s., Žilina**

TUNEL POVAŽSKÝ CHLMEC NA DÁLNICI D3 ŽILINA (STRÁŽOV) – ŽILINA (BRODNO) OD PROJEKTU K REALIZACI

POVAŽSKÝ CHLMEC TUNNEL ON ŽILINA (STRÁŽOV) – ŽILINA (BRODNO) SECTION OF THE D3 MOTORWAY – FROM DESIGN TO REALISATION

LIBOR MAŘÍK

ABSTRAKT

V květnu 2014 byla zahájena výstavba dvoutroubového dálničního tunelu Považský Chlmec v úseku dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno). V době vydání článku byly vyhloubeny stavební jámy západního i východního portálu i stavební jáma střed. Na západním portále dokončil zhotovitel zpětný zásyp obou želv a vyrážil pod nimi plný profil tunelu. Probíhá ražba kaloty i opěří v obou tunelových troubách. Ve stavební jámě střed je konstrukce želvy rovněž zasypána a ražba probíhá v obou tunelových troubách směrem k východnímu i západnímu portálu. Na východním portále se provádí zajišťovací práce portálového svahu a ražba dosud nebyla zahájena. Proto není v článku technické řešení východního portálu popsáno a bude předmětem některého z dalších článků. Text popisuje práci konzultantů a projektantů od fáze poradenské činnosti při zpracování nabídky zhotovitele stavebních prací přes vlastní projektování realizační dokumentace tunelu v režimu „navrhni a postav“ podle žluté knihy FIDIC až po první zkušenosti z realizace, které umožňují porovnání předpokladů projektu se skutečně zastíženými geotechnickými podmínkami. Spolu s článkem autorů Petka a Pastrnáka z firmy HOCHTIEF CZ a. s., který vychází rovněž v tomto čísle časopisu Tunel, poskytuje ucelenou informaci o prvním roce projektování a výstavby tunelu Považský Chlmec.

ABSTRACT

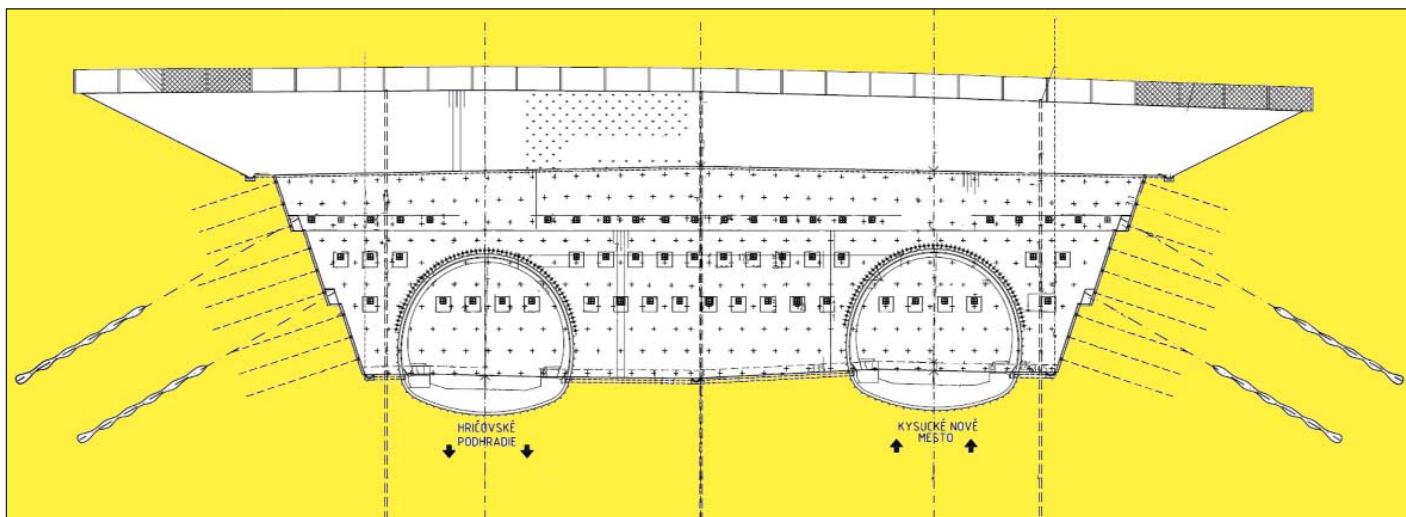
The construction of the twin-tube Považský Chlmec motorway tunnel in the D3 motorway section between Žilina (Strážov) and Žilina (Brodno) commenced in May 2014. At the time of publishing this paper, the excavation of construction pits for both the western and eastern portals and the construction pit in the middle of the route was finished. At the western portal, the contractor finished backfilling of both "tortoise shell" structures and the excavation of the full tunnel profile under them. The excavation of the top heading and bench is underway in both tunnel tubes. Backfilling the "tortoise shell" structures in the mid-point excavation pit is also finished and the excavation proceeds in both tunnel tubes toward both the eastern and western portals. The portal slope at the eastern portal is being stabilised and the tunnel excavation has not begun yet. For that reason the technical solution to the eastern portal is not described in the paper. It will be the topic of some of the future papers. The text describes the work of consultants and designers, from the phase of consulting activities during the work on construction contractor's bid, through the work on the detailed design in the "design and build" regime according to the FIDIC Yellow Book, up to the initial experience from the realisation, which allow for comparing the design assumptions with actually encountered geotechnical conditions. Together with the paper by Petko and Pastrnák from HOCHTIEF CZ a. s., which is also published in this TUNEL journal issue, it provides self-contained information on the first year of designing and constructing the Považský Chlmec tunnel.

ÚVOD A ZÁKLADNÍ INFORMACE

Dálnice D3 prochází v úseku Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) územím, které vyžaduje kvůli náročné morfologii terénu celou řadu umělých staveb. Trasa v celkové délce 4250 m překonává nejprve směrově rozdelenou mostní estakádou délky 1493 m (levý most) a 1437 m (pravý most) vodní nádrž Hričov. Ta plynule přechází do západního portálu tunelu Považský Chlmec, aby se z něj po více než dvou kilometrech opět vynořila a přešla na směrově rozdelený most přes řeku Kysucu délky 410 m (levý most) a 402 m (pravý most). Stavba byla zahájena v květnu 2014 a plánovaný termín uvedený do provozu je v červnu 2017. Soutěž byla vypsána a realizace probíhá v režimu „navrhni a postav“ s definováním smluvních podmínek podle žluté knihy FIDIC. To projektantovi i zhotoviteli umožňuje v rámci pravidel uvedených v zadávací dokumentaci optimalizovat již ve fázi nabídky technické řešení i postup výstavby. Tunel je navržen jako dvoutroubový kategorie T2-8 s šířkou vozovky mezi obrubníky 8 m a výškou průjezdného průřezu 4,8 m. Při provozování tunelu se nepočítá s obousměrným provozem. V případě uzavření jedné tunelové trouby bude doprava převedena na objízdnou trasu. To má vliv zejména na technologické vybavení tunelu. Tunel je ražen pomocí NRTM v celé délce s horizontálním členěním výrubu. Hloubené úseky jsou navrženy nejen v oblasti východního a západního portálu, ale i ve střední stavební jámě, kde kvalita horninového masivu a výška nadloží neumožňují tunel razit. Z celkové délky jižní tunelové trouby 2186,5 je raženo 2120,5 m. V severní

INTRODUCTION AND BASIC INFORMATION

The D3 motorway runs in the Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) section across a territory requiring numerous artificial structures because of the complicated terrain morphology. The alignment at the aggregated length of 4250m first overcomes the Hričov dam reservoir on a dual carriageway viaduct (the left-hand and right-hand bridges 1493m and 1437m long, respectively). The route fluently passes at the western portal into the Považský Chlmec tunnel. It emerges from it after more than 2 kilometres and passes to the dual carriageway bridge over the Kysuca River (the left-hand and right-hand bridges 410m and 402m long, respectively). The construction operations commenced in June 2014 and the deadline planned for its opening to traffic is June 2017. The public call for bids was issued and the realisation proceeds in the "design and build" regime, with the contractual conditions defined according to the FIDIC Yellow Book. It allows the designer and contractor to optimise the technical solution and construction procedure already in the tendering phase, within the rules specified in the tender documents. The tunnel is designed as a twin-tube structure, category T2-8, with the kerb-to-kerb width of 8m and the clearance profile height of 4.8m. Bidirectional traffic tunnel operation is not counted with. In the case of closing one tunnel tube, traffic will be diverted to a bypass route. This system has mainly an impact on the tunnel equipment. The tunnel is driven throughout its length using the NATM, with the so-called "horizontal" excavation sequence



Obr. 1 Původní zajištění svahu západního portálu – popis v textu
Fig. 1 Original stabilisation of the western portal slope – description in text

tunelové troubě celkové délky 2249 m je raženo 2200 m. Plocha výrubu se pohybuje od 83 m² v případě tunelu na patkách až po 105 m² u tunelu se spodní klenbou a mění se s tloušťkou primárního ostění, velikostí nadvýšení teoretického tvaru o předpokládané deformace, stavební tolerance a tloušťku hydroizolačního souvrství. Výška nadloží dosahuje až 125 m. Trasa tunelu však prochází i územím, kde naopak malá výška nadloží vede k ražbě pod zastropením, známé také pod názvem metoda „želva“. Tato konstrukce je na západním portále použita na jižní tunelové troubě v délce 37,5 m a na severní tunelové troubě v délce 50 m. Ve střední stavební jámě je nasazena pro zahájení ražby v severní tunelové troubě směrem k východnímu portálu a délka úseku raženého pod želvou je 34,5 m. Ke zvláštnostem tunelu Považský Chlmec patří jistě i skutečnost, že napjatý harmonogram výstavby vyžaduje ražbu tunelu až z osmi čeleb. Po dvou ze západního a východního portálu a celkem ze čtyř čeleb z prostoru střední stavební jámy. Tato skutečnost je při tunelu takové délky nepochybňě raritou. Oblast Žiliny, ve které se tunel nachází, patří do území s možností výskytu zemětřesení. Proto jsou dočasně i trvalé konstrukce tunelu a stavebních jam posuzovány i na seismické účinky. Ražbu tunelu provádí ze střední stavební jámy firma HOCHTIEF CZ a. s., od západního portálu její subdodavatel firma TuCon, a.s.

INŽENÝRSKOGEOLOGICKÉ A HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Území v trase tunelu je součástí pieninského bradlového pásmá. Severní a jižní část koridoru tunelu je tvořena flyšovým souvrstvím vápnitých jílovců a pískovců. Ve vrchní části tohoto souvrství se nacházejí exotické slepence a pískovce, které převládají nad vrstvami jílovců a slínovců. Hlavní složkou pískovců je křemen (20–60 %), úlomky karbonátových hornin (5–56 %), granitoidních a metamorfovaných hornin (4–29 %) a úlomky vulkanitů (5 %). Tmel je karbonátový (3–30 %). Z hlediska tektoniky území leží tunel na východním okraji zóny paralelních zlomů severo-jižně orientovaného žilinského systému. Pokryvné útvary tvoří deluviální komplex kvarterních sedimentů vyvinutých na svazích údolí, které v menších mocnostech zasahují i do vrcholových částí území nad tunelem. Jedná se o jíly střední až nízké plasticity s polohami písčitého jílu a kamenito jílovitý sutě. V západní portálové oblasti a ve svahu nad západním portálem se pod těmito vrstvami nachází terasové sedimenty o mocnosti 1 m až 7 m. Jedná se o písky s příměsí jemnozrnné zeminy, jíl štěrkovitý, štěrk jílovy a štěrk s příměsí jenozrnné zeminy. Výškově zasahují tyto terasové sedimenty v oblasti západního portálu do kaloty tunelu a komplikují stabilitu přístropů.

Hladina podzemní vody byla zjištěna jen lokálně v hloubce od 4 m do 15 m na bázi terasových sedimentů, resp. v podložních vrstvách mezozoického komplexu. Při provádění hydrogeologického

(top heading, bench and invert). The cut-and-cover sections are designed not only for the areas of the eastern and western portals, but also for the mid-point construction pit, where the quality of ground mass and the overburden height do not allow for driving the tunnel. Of the total length of the southern tunnel tube of 2186.5m, 2120.5m are driven by mining. In the northern tunnel tube with the total length of 2249m, 2200m long section is driven by mining. The excavated cross-sectional area ranges from 83m² in the case of the tunnel on footings up to 105m² in the case of the tunnel with invert. It changes with the varying thickness of the primary lining, the magnitude of overcutting the theoretical excavation and the anticipated deformation, construction tolerance and thickness of the waterproofing series of layers. The overburden height reaches up to 125m. Nevertheless, the tunnel route passes even through an area where, on the contrary, small overburden height leads to the cover-and-cut method known as the “tortoise shell” method. At the western portal, this construction method is applied to a 37.5m and 50m long sections of the southern and northern tunnel tubes, respectively. It is used in the mid-point excavation pit for the beginning of the excavation in the northern tunnel tube toward the eastern portal. The section driven using the “tortoise shell” method is 34.5m long. In the mid-point excavation pit, this method is applied to the beginning of the excavation in the northern tunnel tube toward the eastern portal. The length of the section driven under the “tortoise shell” structure amounts to 34.5m. Among special features of the Považský Chlmec tunnel, there is certainly the fact that the tight construction programme requires the work at up to eight headings: two from the western portal, two from the eastern portal and four from the space of the mid-point construction pit. Taking into consideration the tunnel length, this fact is undoubtedly a rarity. The area of Žilina in which the tunnel is located lies in a region where the occurrence of earthquakes is possible. For that reason both temporary and permanent structures of the tunnel and construction pits are designed even for seismic effects. HOCHTIEF CZ a. s. is the contractor for the excavation of the tunnel from the mid-point construction pit, while TuCon, a.s. is its sub-contractor for driving the tunnel from the western portal.

ENGINEERING GEOLOGICAL AND HYDROLOGICAL CONDITIONS

The area along the tunnel route is part of the Pieniny Klippen Belt. The northern and southern parts of the tunnel corridor is formed by flysch series of calcareous claystone and sandstone layers. Exotic conglomerates and sandstone are located in the upper part of this series, prevailing over the claystone and marlstone. The main component of the sandstone is quartz (20–60%), fragments of

průzkumu ani jeden vzorek odebrané vody nevykazoval agresivitu na betonové konstrukce.

V rámci inženýrskogeologického průzkumu byl horninový masiv rozdělen do čtyř kvazihomogenních celků pro ražené úseky tunelu a tří celků pro hloubené portálové úseky a střední stavební jámu. Pro každý celek bylo popsáno očekávané chování masivu při ražbě nebo hloubení, stanoveny rizikové faktory a popsána doporučení pro zajištění stability výrubu, resp. svahů stavebních jam a pro bezpečnost provádění. Tato doporučení nejsou pro provádění závazná a zhotovitel si může vypracovat vlastní interpretaci výsledků průzkumu, který je součástí zadávací dokumentace. V takovém případě na sebe bere geotechnické riziko.

SPOLUPRÁCE PŘI PŘÍPRAVĚ NABÍDKY V REŽIMU „NAVRHNI A POSTAV“

Soutěž na stavbu dálnice D3 v úseku Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) byla vypsána v režimu žluté knihy FIDIC. Vzhledem k tomu, že úsek tunelu tvoří 50 % trasy a jeho cena tvořila významnou část z celkové nabídkové ceny, začala úzká spolupráce mezi firmou HOCHTIEF CZ a. s. a IKP Consulting Engineers, s.r.o. již ve fázi zpracování nabídky na výběr zhotovitele. Na rozdíl od zadávací dokumentace podle červené knihy FIDIC, kdy je technické řešení závazné, je v případě žluté knihy FIDIC úloha projektanta a konzultanta nezastupitelná. Druhým konzultantem firmy HOCHTIEF CZ a. s. byli kolegové z firmy 3G Consulting Engineers s.r.o., jejichž úlohou byla vlastní interpretace výsledků inženýrskogeologického průzkumu a v návaznosti na zjištěné informace optimalizace technologických tříd výrubu. Úlohou firmy IKP Consulting Engineers, s.r.o. byla optimalizace rozsahu a způsobu zajištění stavebních jam, rozsahu hloubených a ražených úseků tunelu, optimalizace tvaru příčného řezu tunelu, dimenzí definitivního ostění, prognóza nasazení nevyztuženého definitivního ostění, optimalizace blokového schématu a bezpečnostních prvků (počet a poloha tunelových propojek, nouzových zálivů, výklenků požárního hydrantu, skříní SOS, výklenků čistění drenáže atd.). Pro určení úseků definitivního ostění prováděného se spodní klenbou, nebo na patkách sloužily výsledky zpracované firmou 3G Consulting Engineers s.r.o. Na základě prognózy rozdělení ražené části tunelu do technologických tříd výrubu byla vytvořena prognóza úseků tunelu s různým stupněm vyztužení definitivního ostění, případně ostění bez výztuže. Vzhledem k času na zpracování nabídky i omezeným nákladům na konzultační činnost vycházel projektant ze zkušeností získaných při projektování tunelů v obdobných geotechnických podmírkách. V případě tunelu Považský Chlmec se jednalo i o zkušenosti získané při projektování realizační dokumentace dálničního tunelu Branisko obdobných rozměrů, který byl rovněž z části ražen v prostředí flyše.

Vzhledem k avizovaným geotechnickým podmínkám bylo nutné stejnou pozornost, jako raženým úsekům tunelu, věnovat i stavebním jamám. V oblasti portálů zastihly průzkumné vrty polohy pískovců, jílovců a slepenců různého stupně zvětrání. Poměrně hluboko zasahovala i vrstva pokryvných útvářů. V oblasti střední jámy situaci komplikovala přítomnost svahových sutí a skutečnost, že údolím, do kterého je střední jáma situována, protéká potok. Přeložkou jeho koryta nebylo ještě garantováno, že v prostředí propustných sedimentů neproudí podzemní voda, která bude mít negativní dopad na stabilitu svahů stavební jámy. Obecně proto byla navržena taková technická řešení, která byla méně citlivá na změnu geotechnických parametrů horninového prostředí a přítomnost podzemní vody. Snahou projektanta bylo minimalizovat hloubku a rozsah stavebních jam i čas potřebný pro výstavbu definitivních konstrukcí a provedení zpětných zásypů.

Veškeré návrhy technického řešení byly konzultovány se zástupci zhotovitele z hlediska nákladů, času potřebného pro provádění, logistiky dopravy materiálu i nasazení strojních sestav a personálu. Výsledkem byl hrubý výkaz výměr a návrh technologického postupu výstavby, který sloužil zhotoviteli pro stanovení ceny a doby

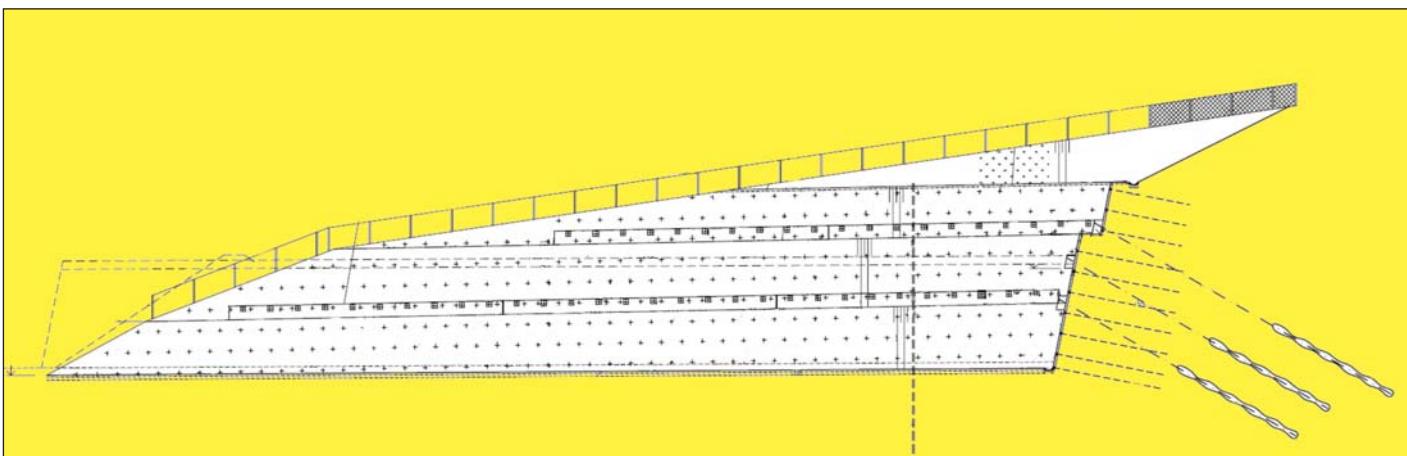
carbonate rock (5–56%), granitoide and metamorphosed rock (4–29%) and fragments of volcanic rock (5%). The fragments are cemented by carbonate cement (3–30%). From the aspect of tectonics, the area lies at the eastern edge of the north-south oriented parallel faults of the Žilina system. The cover is formed by a deluvial complex of Quaternary sediments developed on the slopes of the valley, thinner layers of which extend even to the peak parts of the area above the tunnel. It consists of medium to low plasticity clay and stony-clayey debris. Terrace sediments 1m to 7m thick are found under these layers in the western portal area and on the slope above the western portal. They consist of sands with the admixture of fine-grained soil, gravelly clay, clayey gravel and gravel with the admixture of fine-grained soil. As far as the levels are concerned, these terrace sediments extend into the tunnel top heading in the area of the western portal and complicate the top heading stability.

The water table was identified only locally at the depth ranging from 4m to 15m, on the base of terrace sediments, or in the underlying layers of the Mesozoic complex. When the hydrogeological survey was being carried out, not a single sample of water exhibited aggression to concrete structures.

The ground mass was divided within the framework of the engineering geological survey into four quasi-homogeneous blocks for mined tunnel sections and three blocks for the cut-and-cover portal sections and the mid-point construction pit. The anticipated behaviour of the ground mass during the tunnel excavation or the excavation of pits was described separately for each block, risk factors were determined and recommendations were described regarding securing the tunnel excavation stability, respectively the stability of slopes of construction pits, and the safety at work. These recommendations are not binding for the work and the contractor can prepare their own interpretation of the results of the survey which is part of the tender documents. In such a case the contractor take the geotechnical risk on themselves.

COLLABORATION DURING THE PREPARATION OF THE TENDER IN THE "DESIGN – BUILD" REGIME

The contract for the construction of the D3 motorway section between Žilina (Strážov) and Žilina (Brodno) went out to tender in the FIDIC Yellow Book regime. With respect to the fact that the tunnelled section forms 50% of the alignment and its cost forms a significant part of the overall tender cost, close cooperation between HOCHTIEF CZ a. s. and IKP Consulting Engineers, s.r.o. started already in the phase of the preparation of the bid for the selection of the contractor. In contrast with the preparation of the final design according to the FIDIC Red Book, where the technical solution is binding, the role of the designer and consultant is non-substitutable in the case of the FIDIC Yellow Book. The other consultants for HOCHTIEF CZ a. s. were colleagues from 3G Consulting Engineers s.r.o. Their task was to interpret the results of the engineering geological survey and, building on the obtained information, to optimise the excavation support classes. The task of IKP Consulting Engineers, s.r.o. was to optimise the scope and method of the support of construction pits, the scope of cut-and-cover tunnel sections, the tunnel cross-section and the final lining dimensions, to forecast the application of the unreinforced final lining, to optimise the block diagram and safety elements (the number and location of cross passages, emergency stopping lay-bys, fire hydrant niches, SOS boxes, drainage cleaning recesses etc.). Results prepared by 3G Consulting Engineers s.r.o. served for the determination of the final lining sections, whether with invert or on footings. A prognosis of tunnel sections with various final lining reinforcement contents or an unreinforced final lining was developed on the basis of the prognosis of the division of the mined tunnel part into excavation support classes. With respect to the time available for the preparation of the tender and the limited expenditures for consultancy, the designer built on



Obr. 2 Původní zajištění svahů stavební jámy západního portálu – popis v textu

Fig. 2 Original stabilisation of the slopes of the construction pit at the western portal – description in text

výstavby. Na zpracování nabídky se podíleli i kolegové z německé centrály firmy HOCHTIEF. Příprava nabídky byla výzvou i zajímavou týmovou prací se společným cílem optimálního návrhu technicky náročného díla.

TECHNICKÉ ŘEŠENÍ ZÁPADNÍHO PORTÁLU

Svahy stavební jámy byly stabilizovány vrstvou stříkaného betonu o minimální tloušťce 150 mm se dvěma vrstvami sítí KARI 100x100x6 mm. V dolních partiích skalního podloží byly použity kotvy SN průměru 32 mm a délky 8 m v šachovnicovém rastru 1,5x1,5 m. Vrstva pokryvných útvarů byla prokotvena kotvami SN průměru 32 mm a délky 6 m v šachovnicovém rastru 1,5x1,5 m. Stavební jáma byla dále kotvena ve dvou úrovních předpjatými lanovými kotvami. První kotevní úroveň 10 m nad dnem jámy tvořilo 29 ks předpjatých lanových kotev 6 ØLs 15,5 mm, délky 22 m s délkou kořene 10 m. Druhou kotevní úroveň 5 m nad dnem jámy tvořilo 44 ks předpjatých lanových kotev 6 ØLs 15,5 mm, délky 20 m s délkou kořene 10 m. Portálový svah byl zajištěn kromě již popsané vrstvy vyztuženého stříkaného betonu a SN kotev předpjatými lanovými kotvami ve třech úrovních. První kotevní úroveň 10 m nad dnem jámy tvořilo 22 ks předpjatých lanových kotev 6 ØLs 15,5 mm, délky 25 m s délkou kořene 10 m. Druhou kotevní úroveň 7 m nad dnem jámy tvořilo 15 ks předpjatých lanových kotev 6 ØLs 15,5 mm, délky 22 m s délkou kořene 10 m a třetí kotevní úroveň 5 m nad dnem jámy tvořilo 19 ks předpjatých lanových kotev 6 ØLs 15,5 mm, délky 20 m s délkou kořene 10 m. Všech 129 ks lanových kotev v celkové délce 2778 m bylo navrženo v trvalém provedení a předepnuto přes železobetonovou převážku o rozměrech 600x1000 mm. Pro zahájení ražby ze stavební jámy zajišťoval přístropí nad každým tunelem mikropilotový deštník z 60 ks mikropilot Ø76/10 mm délky 16 m vrtaných s osovou roztečí 300 mm. Způsob zajištění stavební jámy a sklonu portálového svahu ukazuje pohled na severní svah jámy na obr. 2.

Objekt technického řešení západního portálu je v zadávací dokumentaci označen jako nezávazný. Proto se rozhodli zástupci firmy HOCHTIEF CZ a. s. po konzultaci s projektantem již ve fázi nabídky upravit technické řešení s cílem zmenšit objem zemních prací, snížit objem činností s technologicky vynucenými pauzami (betonáž převázek, provádění lanových kotev ve třech úrovních) a zkrácení hloubeného úseku pro rychlé zahájení ražby tunelu. Při návrhu zajištění západního portálu vycházel projektant z technického řešení, které již dříve použila firma HOCHTIEF na tunelu Euerwang v Německu. Jednalo se o konstrukci želvy po stranách v patách upnutou do řady velkopůměrových pilot, zajišťujících stabilitu stavební jámy i boků tunelu. Vzhledem k reliéfu terénu se délka úseku raženého pod želvou v severní a jižní tunelové troubě liší. V jižní tunelové troubě délka úseku činí 37,5 m, v severní tunelové troubě je 50 m. Příčný řez v místě obou želv znázorňuje obr. 3.

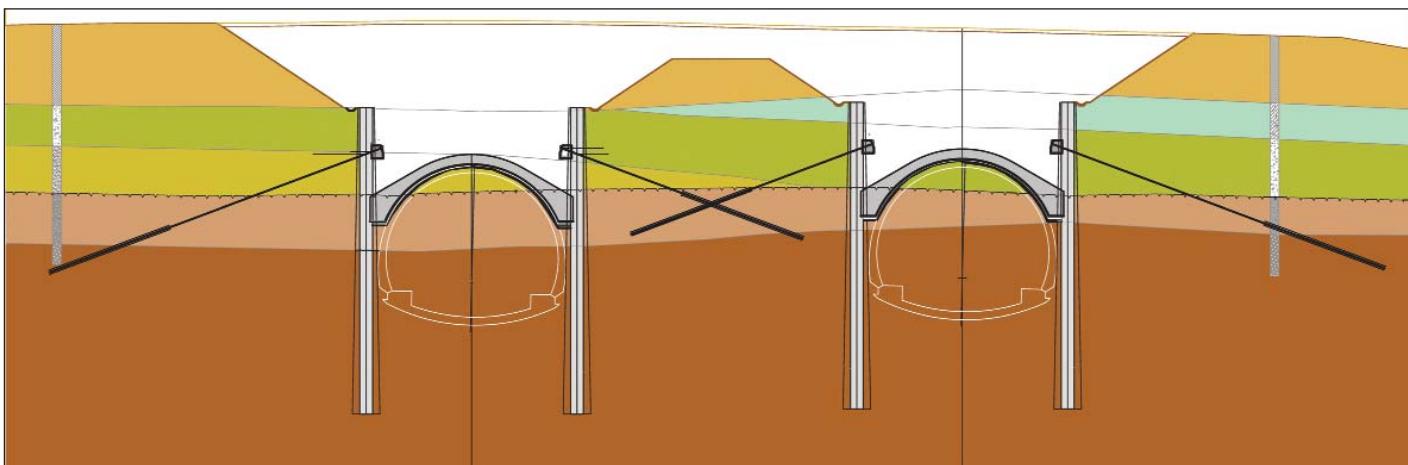
the experience gathered in designing tunnels in similar geotechnical conditions. In the case of the Považský Chlmec tunnel, it was the experience gained during the work on the design of means and methods for the Branisko motorway tunnel with similar dimensions, which was also partially driven through a flysch environment.

With respect to the predicted geotechnical conditions, it was necessary to pay the same attention as to the mined tunnel sections also to the construction pits. Boreholes in the portal areas encountered layers of sand, claystone and conglomerates with various degrees of weathering. Even the cover layer extended relatively deep. In the mid-point excavation pit area, the situation was complicated by the presence of slope debris and the fact that a stream flows along the valley to which the mid-point pit is designed. The diversion of the stream did not guarantee that groundwater did not flow through the environment formed by permeable sediments. It would have a negative impact on the stability of slopes of the construction pit. In general, such technical solutions were proposed which were less sensitive to changes in geotechnical parameters of the ground environment and the presence of groundwater. Designer's effort was to minimise the depth and extent of construction pits and the time required for the construction of final structures and the execution of backfills.

All proposals for the technical solution were consulted with contractor's representatives regarding the costs, the time required for the works, the logistics of transport of materials and the deployment of mechanical equipment sets and personnel. The consultancy resulted in a gross bill of quantities and a proposal on the construction technological procedure, which was used by the contractor for the determination of the cost and duration of the works. Colleagues from the Germany-based HOCHTIEF head office also participated in the tender preparation. The preparation of the tender was a challenge and interesting team work with a common objective to develop an optimum design for such the technically demanding project.

TECHNICAL SOLUTION TO THE WESTERN PORTAL

The construction pit slopes were stabilised by a shotcrete layer with the minimum thickness of 150mm, with two layers of KARI welded mesh 100x100x6mm. SN anchors 32mm in diameter and 8m long were used in the lower parts of the bedrock, in a diamond pattern, staggering at 1.5x1.5m. The cover layer was stabilised by 6m long, 32mm in diameter SN anchors, installed in a diamond pattern staggering at 1.5x1.5m. The construction pit was further anchored at two levels by pre-tensioned cable anchors. The first anchoring level 10m above bottom of the pit consisted of 29 pre-tensioned anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 22m long, with the roots 10m long. The second anchoring level located 5m above the pit bottom consisted of 44 pre-tensioned cable anchors 6-strand, Ls



Obr. 3 Příčný řez v místě želv na západním portále – popis v textu

Fig. 3 Cross-section in the location of “tortoise shell” structures at the western portal – description in text

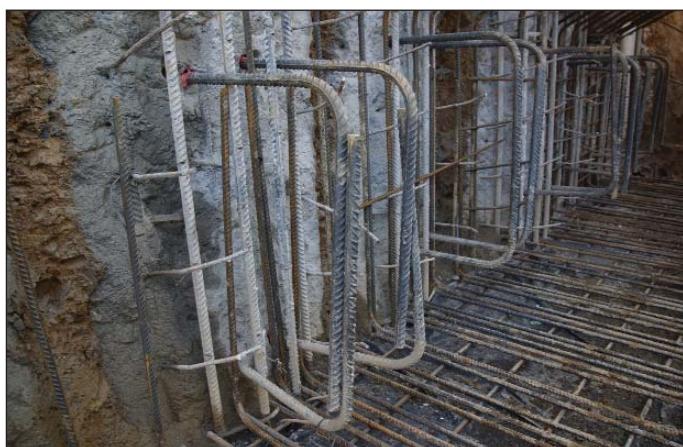
Projektování konstrukce naráželo na četná úskalí. Jako největší se ukázal problém s volbou matematického modelu, který by výstižně a věrohodně dokázal zohlednit interakci kotvené, pilotové stěny a konstrukce želvy ve všech fázích výstavby, a to se zohledněním všech z toho plynoucích zatěžovacích stavů. Propojením výztuže klenby želvy a pilot vznikl styčník, který byl schopen přenášet vnitřní síly mezi oběma konstrukcemi. Cílivostní analýza ukázala, že v závislosti na obtížně předvídatelné deformaci pilot se hodnoty vnitřních sil v klenbě želvy i ve styčníku pilot a želvy mění v rámci desítek procent. Vzájemné ovlivnění obou relativně tuhých konstrukcí bylo nutno posoudit z hlediska jejich možného chování v průběhu výstavby. Faktory ovlivňujícími výpočet byly nejen geotechnické parametry horninového prostředí a materiálové charakteristiky konstrukcí, ale i přesný způsob provádění ovlivněný matematicky obtížně stanovitelným lidským faktorem. Výpočet byl prováděn v programech PLAXIS a SCIA Engineer s tím, že ani jeden z těchto programů nebyl schopen danou problematiku řešit komplexně. V programu PLAXIS byly modelovány fáze výstavby včetně ražby tunelu pod želvou. Matematický model MKP zohledňoval interakci konstrukce s horninovým masivem. Z hlediska fází výstavby se jednalo o výkop stavební jámy do úrovni pro vrtání pilot, jejich vrtání a betonáž, vyhloubení stavební jámy do úrovni převázky pro předpínaní lanových kotev, předeplnutí lanových kotev, vyhloubení stavební jámy s tvarem dna pro betonáž želvy, rozepření pilot klenbou želvy, vyražení kaloty i opěří tunelu a provedení zpětného zásypu do úrovni hlavy pilot. Výpočet vycházel z modelu v programu PLAXIS. Následně byly v programu SCIA Engineer nastaveny takové okrajové podmínky, které v daném zatěžovacím stavu vystihovaly deformaci a silové chování konstrukce, jak bylo modelováno v programu PLAXIS. Tak byla provedena kalibrace obou modelů. Konstrukce byla pak v programu SCIA Engineer podrobena dalšímu zatěžování nelineární kombinací zatěžovacích stavů, které v programu PLAXIS nebylo možné simulovat. Jednalo se zejména o nelineární zatížení teplotou v zimě i v létě, smrštování s vlivem dotvarování betonu a seismické účinky zemětřesení pro oblast Žiliny. Zatížení zásypem bylo v modelu rozloženo na vertikální a horizontální složku. Do kombinací zatěžovacích stavů tyto složky vstupovaly jako samostatné zatěžovací stavby, aby bylo možné vyšetřit jejich nejnepříznivější účinky z hlediska únosnosti celého systému „piloty – želva“. Vypočtené vnitřní síly z programu SCIA Engineer byly vstupními hodnotami pro dimenzování konstrukce v programu FINEBETON.

Výstavba jámy západního portálu byla zahájena v listopadu 2014. Pro každou tunelovou troubu byla nejprve vyhloubena mělká, svařovaná stavební jáma, z jejíhož dna byly vrtány vždy dvě řady velkopružových pilot o průměru 800 mm a délky 19 m, 18 m a 16 m. Piloty vrtané s osou vzdáleností 1 m nad konstrukcí želvy zajišťovaly stabilitu boků stavební jámy, pod konstrukcí želvy stabilizovaly boky tunelu. I když se zpočátku zhotovitel obával, zda bude možné požadovanou hloubku vrtání dosáhnout, a investor

15.5mm, 20m long, with the roots 10m long. The portal slope was stabilised, in addition to the above described layer of unreinforced shotcrete and SN anchors, by three tiers of pre-tensioned cable anchors. The first anchoring level consisted of cable anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 25m long, with the roots 10m long. The second level 7m above the pit bottom consisted of 15 pre-tensioned cable anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 22m long, with the roots 10m long and the third anchoring level 5.5m above the bottom of the pit consisted of 19 pre-tensioned anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 20m long, with the roots 10m long. All of the 129 cable anchors at the aggregated length of 2778m were designed as permanent structures and were pre-tensioned through 600x100mm reinforced concrete walers. Prior to the commencement of tunnelling from the construction pit, the top heading of each tunnel tube was secured by canopy tube pre-support consisting of 60 tubes 76/10mm, 16m long, drilled at 300mm spacing. The system of stabilising the construction pit and the slopes of the portal slope are shown in the view of the northern slope of the pit in Fig. 2.

The object of the technical solution to the western portal is referred to as unbinding in the tender documents. For that reason, the representatives of HOCHTIEF CZ a. s., after consulting the designer already in the tendering stage, decided to modify the technical solution with the aim of reducing the volume of earthmoving, reducing the volume of activities with technologically enforced breaks (casting of concrete walers, the installation of three tiers of cable anchors) and reducing the length of the cut-and-cover section to allow the quick commencement of the tunnel excavation. In the process of designing for the stabilisation of the western portal, the designer built on the technical solution which had been earlier applied by HOCHTIEF to the Euerwang tunnel, Germany. The solution lied in the “tortoise shell” structure, clamped between two rows of large-diameter piles securing the stability of the construction pit and the sides of the tunnel. With respect to the terrain relief, the lengths of the sections excavated for the northern and southern tunnel tubes under the “tortoise shell” structure are different. The section in the southern tunnel tube amounts to 37.5m, whilst its length in the northern tunnel tube amounts to 50m. The cross-sections in the locations of the two “tortoise shell” structures are presented in Fig. 3.

Numerous pitfalls impinged on the work on the structure design. The biggest problem turned out to be with the selection of the mathematical model which would be appositely and plausibly able to take into consideration the interaction between the anchored pile wall and the “tortoise shell” structure in all construction phases, taking into account all loading stages following from it. A joint capable of transmitting inner forces between the reinforcement of the “tortoise shell” structure and the reinforcement of the piles, which originate by tying the two structures together. The sensitivity



Obr. 4 Obnažená výztuž pilot a vlepená kotevní železa pro napojení želvy
Fig. 4 Exposed reinforcement of piles and the anchoring bent bars glued into them for connecting the "tortoise shell" structures to them

požadoval alternativní řešení pro případ, že by se kvůli pevnosti horniny nepodařilo piloty dovrátat, vše proběhlo podle předpokladů projektu. Takto vzniklou pilotovou stěnu zajišťovala v jedné úrovni řada předpjatých lanových kotev délky 18 m a 16 m s kořeny délky 8 m, vrtaných s osovou vzdáleností 2 m. Druhou úroveň zajištění pilotové stěny představovala klenba želvy, která sloužila jako rozpěra pro zachycení vodorovných sil. Konstrukci želvy propojovala s velkoprůměrovými pilotami speciální kotevní železa vlepená do betonu pilot. Pro vytvoření niky sloužící k napojení výztuže pilot a želvy byly v armokoši pilot naprojektovány „kapsy“ vyplněné snadno odstranitelným materiálem (polystyrenem). Tam, kde se nepodařilo vložku do armokoše správně upevnit, musela být kapsa dodatečně vyšramována. Kapsu v pilotové stěně i s kotevními železy pro napojení želvy na piloty ukazuje obr. 4. Celkem bylo odvráceno na severní tunelové troubě 18 ks pilot délky 16 m, 12 ks pilot délky 18 m a 70 ks pilot délky 19 m. Na jižní tunelové troubě se jednalo o 12 ks pilot délky 16 m, 14 ks pilot délky 18 m a 50 ks pilot délky 19 m. Celkem zajišťuje 87,5 m tunelu raženého pod želvou 3228 m pilot a 78 předpjatých kotev v délce 1326 m kotvených přes železobetonovou převázku o rozměrech 700x800 mm. Celou stavební jámu pro tvarování želvy stabilizovala štětová stěna kotvená v konečném řešení ve dvou úrovních předpjatými lanovými kotvami. Stěna stejně konstrukce zajišťovala stabilitu stavební jámy na rozhraní budoucího hloubeného a raženého tunelu (obr. 5). Po odvrácení pilot zahájila firma EUROVIA hloubení stavební jámy mezi pilotovými stěnami na úrovni převázky lanových kotev. Na této úrovni došlo k první technologické pauze spojené s vytvrzením betonu převázky a kořenů lanových kotev. Tuto fázi výstavby ukazuje fotografie na obr. 6. Následně probíhalo těžení stavební

analysis showed that the values of inner forces in the "tortoise shell" vault and in the joint vary within the order of tens of per cent, depending on the deformation of piles, which is hard to predict. The mutual influence of the two relatively rigid structures had to be assessed from the aspect of the possible behaviour of the structures during the course of the construction. Among the factors influencing the analysis, there were not only geotechnical parameters and material characteristics of structures, but also the exact procedure of the execution affected by the human factor, which is difficult to determine. The analysis was carried out in PLAXIS and SCIA Engineer programs, with neither of them capable of solving the particular problems comprehensively. PLAXIS software was used for modelling construction phases, inclusive of the tunnel excavation under the "tortoise shell" structure. The FEM model took into account the interaction between the structure and the ground massif. From the aspect of construction phases, it was the excavation of the construction pit down to the level for drilling for the piles, drilling and casting of concrete piles, excavating the construction pit down to the level of the waler for pre-tensioning the cable anchors, excavating the construction pit with the bottom shaped to the form of the bed for casting the concrete "tortoise shell" structure, bracing the piles by the "tortoise shell" vault, excavating the tunnel top heading and bench and backfilling the pit up to the level of the top of the piles. The calculation was based on the model created in the PLAXIS software. Subsequently, such boundary conditions were set in the SCIA Engineer software which gave a true picture of the deformational and forces-related behaviour in the particular loading stage as modelled in the PLAXIS software. In this way both models were calibrated. The structure was subsequently subjected to other loading by a non-linear combination of loading stages which could not be simulated in the PLAXIS software using the SCIA Engineer software, mainly the non-linear loading by temperature both in winter time and in summer time, concrete shrinkage and creep and seismic effects of earthquakes on the region of Žilina. The loads induced by the backfill were broken down into vertical and horizontal components in the model. These components entered the combinations of loading stages as independent loading cases so that analysing their most unfavourable effect was possible from the aspect of the load-carrying capacity of the whole piles-tortoise shell system. The values of inner forces calculated in the SCIA Engineer software became input values for designing the dimensions of structures in the FINEBETON software.

The work on the excavation pit for the western portal started in November 2014. A shallow, sloped construction pit was excavated first. Always two rows of large-diameter piles with the diameter of 800mm and the lengths of 19m, 18m and 16m were carried out from the bottom of this pit. The piles bored above the "tortoise



Obr. 5 Zajištění čela jámy štětovnicovou stěnou
Fig. 5 Excavation front end supported with a sheet pile wall

foto/photo courtesy of Libor Mařík



Obr. 6 Odtěžení stavební jámy do úrovně převázek
Fig. 6 Excavation of the construction pit down to the level of waler

jámy na úroveň jejího dna ve tvaru klenby želvy. Díky použití vhodné mechanizace i kvalitě horninového masivu se zhotoviteli podařilo dosáhnout požadovaného tvaru bez větších odchylek od projektovaného tvaru. Zemní těleso, vytvářející bednění želvy, bylo tvořeno pokryvnými útvary a silně zvětralými slínovci a jílovci na jejich bázi. Zemní práce spojené s tvarováním dna stavební jámy do tvaru klenby ukazuje obr. 7. Menší odchylky vyplnil zhotovitel hubeným betonem stahovaným pomocí dřevěných šablon, jak ukazuje obr. 8. Na upravený povrch dna stavební jámy vyrovnaný do tvaru klenby želvy, pokrytý separační fólií a geotextilií byla po blocích betonáže smontována výztuž a provedena betonáž klenby želvy (obr. 9). Vzhledem k napjatému harmonogramu výstavby použil zhotovitel pro bloky betonáže blíže k portálu vyšší pevnostní třídu betonu, než předepisovala projektová dokumentace, aby dříve dosáhl pevnosti potřebné pro zahájení ražby pod želvou. Ta byla ve smlouvě pro reálizaci tunelu milníkem, jehož nesplnění by znamenalo penalizaci.

Projektové řešení umožňovalo ražbu pod želvou bez omezení délky záběru jak v kalotě, tak v opěří a ražba proto postupovala díky dobré rozpojitevnosti masivu tunelovým bagrem velmi rychle. Po vyražení kaloty a opěří v úseku pod želvou došlo k vytvarování boků tunelu do tvaru raženého tunelu pomocí stříkaného betonu primárního ostění, nanášeného na stěny z velkopřůměrových pilot. Podstříkání patek želvy zároveň sloužilo jako podpůrný prvek nutný pro zásyp želvy (obr. 10). Stavba postupovala bez větších technických komplikací a v době vydání časopisu jsou již obě želvy na západním portále zasypány (obr. 11), tunel pod nimi vyražen a ražba pokračuje dále v obou troubách pomocí NRTM s horizontálním členěním výrubu směrem do střední stavební jámy.



Obr. 7 Tvarování dna jámy pro betonáž želvy
Fig. 7 Shaping the excavation pit bottom for casting the concrete "tortoise shell" structure

shell" structure at 1m spacing secured the stability of the sides of the construction pit and stabilised the tunnel sides under the "tortoise shell". Even though the contractor in the beginning feared weather it would be possible to reach the required boring depth and the client required an alternative solution in case the boring could not be achieved owing to the rock strength, everything worked out in compliance with the design. The pile wall constructed in this way was stabilised by one tier of 18 or 16m long pre-tensioned cable anchors with roots 8m long, installed at 2m spacing. The second level of the pile wall support was provided by the "tortoise shell" vault, which acted as bracing resisting horizontal forces. The "tortoise shell" structure was interconnected with the large-diameter piles by special anchoring steel pieces glued into concrete of the piles. "Pockets" were designed for the reinforcing cages of the piles for the creation of a niche to be used for the interconnection between the piles and the "tortoise shell" structure. The pockets were filled with easily removable material (polystyrene). Where the correct fixing of the insert to the reinforcement cage failed, the pocket had to be subsequently broken out with a pick hammer. The pocket in the pile wall with anchoring steel pieces for connecting the "tortoise shell" to piles is presented in Fig. 4. The total of 18 piles 16m long, 12 piles 18m long and 70 piles 19m long were carried out at the northern tunnel. At the southern tunnel tube, 12 piles 16m long, 14 piles 18m long and 50 piles 19m long were constructed. In total, 3228m of piles and 78 pre-tensioned anchors at the aggregated length of 1326m, installed through reinforced concrete walers, support the 87.5m long section of the tunnel excavated under the "tortoise shell" vault. The front end of the construction pit in which the "tortoise shell" ground support was to be shaped, was stabilised by a soldier beam and lagging wall, which was in the final solution anchored by two tiers of pre-tensioned cable anchors. A wall of the same design provided the stability of the construction pit at the interface between the future cut-and-cover tunnel and the mined tunnel (see Fig. 5). After the completion of the piles, EUROVIA started to excavate the construction pit between the pile walls to the level the waler for the cable anchors. The first technological break required for hardening of the concrete of the waler and the roots of the cable anchors was necessary at this level. This construction phase is presented in Fig. 6. Subsequently the construction pit was excavated down to the level of its bottom in the shape of the "tortoise shell". Owing to the use of suitable mechanical equipment and the quality of the ground mass, the contractor managed to achieve the required shape without substantial deviations from the designed shape. The ground body substituting the formwork for the "tortoise shell" consisted of superficial deposits and heavily weathered marlstone and claystone located at their base. The earthmoving operations associated with shaping of the construction pit bottom into the vault are presented in Fig. 7. Smaller deviations were filled by the contractor with lean concrete, which was struck off with wooden templates, as shown in Fig. 8. Concrete reinforcement was installed in blocks corresponding to the concrete casting blocks, on the treated surface of the construction pit bottom having the shape of the "tortoise shell" vault. A separation membrane and felt were spread on it and the "shell" concrete was cast on them in the blocks (see Fig. 9). With respect to the tight construction schedule, the contractor used a higher than prescribed by the design grade of concrete for the blocks closer to the portal so that concrete achieved the strength required for the commencement of the excavation under the "tortoise shell" earlier. It was a milestone in the tunnel construction contract. The failure to meet it would have meant a penalty.

The design solution allowed for excavating under the "tortoise shell" structure without limiting the excavation round length both in the top heading and the bench. Also owing to the good cuttability for a tunnel excavator, the excavation advanced very quickly. After the completion of the excavation of the top heading and bench in the section under the "tortoise shell", the shape of the



foto/photo courtesy of Libor Mařík

Obr. 8 Vyrovnávací beton pro dosažení přesného tvaru želvy
Fig. 8 Levelling concrete for achieving the precise shape of the “tortoise shell” vault

STŘEDNÍ STAVEBNÍ JÁMA

Nedostatečná výška nadloží zhruba ve středu trasy tunelu vyvolala nutnost otevření třetí stavební jámy, nacházející se v údolí situovaném do průběžné zlomové poruchy s orientací severovýchod-jihozápad. Dno výrazně asymetrického tvaru údolí vyplňují fluvální sedimenty horských toků. Povrchovou vrstvu náplav tvoří jíly s ostrohrannými úlomky horniny a valouny z rozložených slepenců skalních výchozů nad údolím. Pod touto vrstvou se nalézají štěrkovité zeminy různého stupně zahlinění i mocnosti. Na bázi pokryvů se nacházejí vrstvy hrubozrnných slepenců s vysokým obsahem opracovaných valounů až balvanů s pevným, karbonátovým tmem. Východní, bradlový svah spadá prudce do údolí a na jeho úpatí lze pozorovat sutové kuže. Západní svah je spíše pozvolný s malou mocností pokryvných útvarů. Hladina podzemní vody byla zastižena v pokryvných útvarech ve hloubce 2 až 4 m pod úrovní terénu. Údolím protéká bezejmenný potok, který tvoří pravostranný přítok Váhu. Jeho vydatnost je úzce spojena s klimatickými poměry v dané lokalitě. Vzhledem k dotování potoka z pramenů vyvěrájících na úpatí okolních hor nevysychá ani v letečích měsících. Podél potoka vede lesní cesta.

Před zahájením prací na hloubení stavební jámy bylo nutné přeložit jak cestu, tak koryto potoka. V zadávací dokumentaci byla stavební jáma navržena jako svahovaná a stabilitu jejích boků zajišťovaly kotvy (hrébíky) typu SN osazované do cementové zálivky a dále předpjaté lanové kotvy kotvené přes železobetonové prahy. Lokální stabilitu svahů zajišťovala vrstva stříkaného betonu se sítí KARI. Stavební jáma hloubky 17 m až 21 m byla navržena s jednotným sklonem svahů 3:1 až k povrchu území, portálové

mined tunnel on the sides was reached by means of primary lining shotcrete, which was applied to the surface of the large-diameter pile wall. The application of shotcrete under the footings of the “tortoise shell” at the same time served as a support element necessary for the backfill of the “tortoise shell” structure (see Fig. 10). The works proceeded without substantial technical complications and, the backfill of both “tortoise shell” structures at the western portal was completed (see Fig. 11), the excavation of the tunnel under them was finished at the time of publishing the journal and the tunnel excavation proceeds in both tunnel tubes using the NATM with the excavation sequence consisting of top heading, bench and invert (the so-called horizontal sequence), heading toward the mid-point construction pit.

MID-POINT CONSTRUCTION PIT

The insufficient overburden height roughly in the middle of the tunnel route necessitated opening of the third construction pit, which is located in a valley situated to a continuous north-east – south-west heading fault. The bottom of the significantly asymmetrically shaped valley is filled with fluvial sediments of mountain streams. The surface of the alluvium is formed by clay with sharp-edged fragments of rock and boulders from the decomposed conglomerates forming rock outcrops above the valley. Gravelly soils of a variable degree of the loam content and variable thickness are found under this layer. Layers of coarse-grained conglomerates with a high content of worked cobbles to boulders with hard carbonate cement lie on the cover base. The eastern klippe slope steeply descends to the valley and talus cones can be seen at its foot. The western slope is rather slow, with the thickness of the cover small. The water table was encountered in the cover at the depth under the terrain ranging from 2m to 4m. A nameless creek forming a right-bank tributary of the Váh River flows along the valley. Its yield is closely connected with climatic conditions in the particular locality. With respect to the springs springing at the feet of the surrounding mountains, the stream does not dry up even in summer months. A forest road leads along the stream.

It was necessary before the commencement of the work on the excavation of the construction pit to relocate both the road and the bed of the stream. In the tender documents, the construction pit was designed with slopes and the stability of the slopes was secured by SN-type anchors (bolts) inserted into boreholes filled with cementitious grout and pre-tensioned cable anchors anchored through reinforced concrete walers. The local stability of slopes was provided by a layer of shotcrete with KARI mesh. Uniform 3:1 slopes up to the terrain surface were designed for the 17–21m deep construction pit; the portal slopes were designed at 5:1 gradient up to



foto/photo courtesy of Libor Mařík

Obr. 9 Separaci vrstvy a montáž výztuže želvy
Fig. 9 Separation layers and the placement of the “tortoise shell” concrete reinforcement



foto/photo courtesy of Libor Mařík

Obr. 10 Vyražení opěří pod želvou a podstříkání jejich patek primárním ostěním
Fig. 10 Excavation of the bench under the “tortoise shell” structure and application of shotcrete under its footings as a part of the primary lining



foto/photo courtesy of Libor Mařík

Obr. II Zásyp želv na obou troubách západního portálu

Fig. II Backfill of the "tortoise shell" structures at both tunnel tubes at the western portal

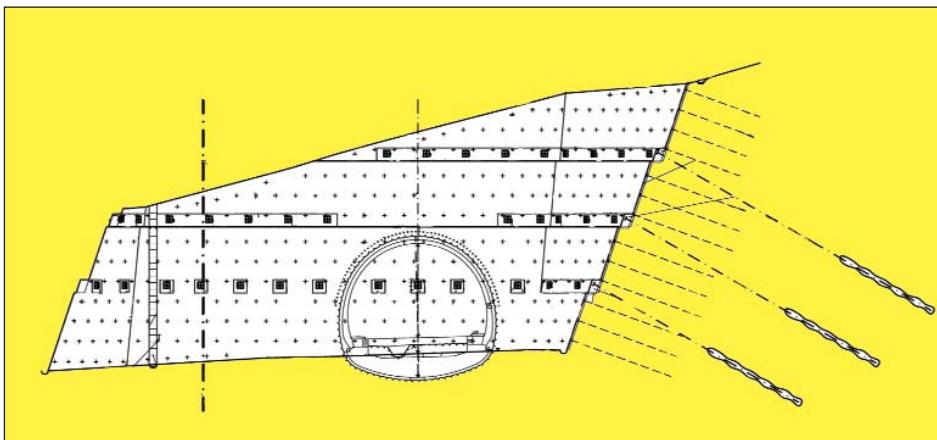
svahy byly navrženy ve sklonu 5:1 až na úroveň terénu. Způsob původního zajištění je patrný z obr. 12, který znázorňuje západní portálový svah severní tunelové trouby. Svahy byly členěny na etáže s lavičkami. V patě každé etáže byla navržena kotevní úroveň lanových předpjatých kotev $6 \text{ Ø Ls} 15,5$ v délkách 16 m, 18 m, 20 m, 22 m a 24 m vrtaných s roztečí 3 m. Celkem bylo navrženo 219 ks předpjatých lanových kotev v celkové délce 4266 m, stříkaný beton o celkové ploše 4590 m², výztuž stříkaného betonu ze síť KARI o hmotnosti 51,6 tun a kotvy SN délky 6 m a 8 m v celkovém počtu 1874 ks a celkové délce 14 244 m. Do stavební jámy byly situovány v obou tunelových troubách nouzové zálivy a mezi nimi průjezdna tunelová propojka.

Ve fázi zpracování nabídky na výběr zhotovitele došlo v souvislosti s úpravou blokového schématu definitivního ostění a redukcí počtu bezpečnostních stavebních úprav i k redukci počtu nouzových zálivů. Zmenšením počtu nouzových zálivů z 6 na 4 byly oba zálivy ze střední stavební jámy odstraněny. Cílem nového technického řešení v rámci zpracování nabídky bylo snížit objem zemních prací, zmenšit půdorysné rozměry stavební jámy a vzhledem k ne zcela příznivým geotechnickým podmínkám i dobu jejího otevření. Proto došlo ke zkrácení jámy ve směru tunelových trub, k jejímu zúžení díky odstranění nouzových zálivů a v místě očekávaných přítoků podzemní vody opět návrhu konstrukce želvy. Toto řešení umožňovalo zasypání části stavební jámy nad želvou ještě dříve než ostatní části jámy a minimalizovat tak riziko neočekávaných situací. Vzhledem k omezené ploše záboru pozemků nebylo vždy možné zmírnit sklon svahů a projektant přistoupil v horních partiích stavební jámy k použití kotvených záporových stěn. Obr. 13 a 14 porovnávají původní a nové technické řešení východního portálu severní tunelové trouby, kde byla původně svahovaná stavební jáma nahrazena záporovou stěnou a konstrukcí želvy.

the terrain surface. The original system of stabilisation is obvious from Fig. 12, demonstrating the western portal slope of the northern tunnel tube. The slopes were divided into stages with berms. An anchoring level of 6 pre-tensioned cable anchors 6-strand, Ls 15.5mm, 16m, 18m, 22m and 24m, spaced at 3m, was designed for the foot of each stage. In total, 219 pre-tensioned cable anchors at the aggregated length of 4266m, shotcrete in the total area of 4590m², concrete reinforcement with KARI mesh at the total weight of 51.6 tonnes and 1874 SN anchors 6m and 8m long at the aggregated length of 14.244m were designed. The emergency stopping lay-bys in both tunnel tubes and a cross passage passable for vehicles between them were situated into the construction pit.

The block diagram for the final lining was modified, the number of the safety construction elements was reduced and the number of emergency stopping lay-bys was reduced in the phase of developing the final design. The two emergency stopping lay-bys were removed from the mid-point construction pit by reducing the number of lay-bys from 6 to 4. The objective of the new technical solution within the framework of tendering was to reduce the volume of earthmoving, reduce the ground plan dimensions of the construction pit and, with respect to the not fully favourable geotechnical conditions, to reduce the duration of opening the pit. For that reason the length of the construction pit in the direction of the tunnel tubes was reduced and its width was also reduced owing to the cancellation of the emergency stopping lay-bys; the "tortoise shell" structure design was returned to the location of anticipated increased groundwater inflows. This solution allowed for backfilling the part of the construction pit above the "tortoise shell" structure even earlier than the other parts of the pit. As a result, the risk of unexpected situations was minimised. With respect to the reduced land acquisition area, it was not always possible to reduce the gradients of slopes and the designer proceeded to the application of anchored soldier pile and lagging walls in the upper parts of the construction pit. Figures 13 and 14 compare the original and new technical solutions to the eastern portal of the northern tunnel tube, where the originally designed sloped construction pit was replaced with the soldier pile and lagging wall and the "tortoise shell" structure.

Trial holes were dug using mechanical equipment available before the commencement of earthmoving operations. They confirmed the presence of debris mixed with loam and supported the rightness of the decision to give up the idea of the construction pit sloped at 3:1 respectively up to 5:1. The construction operations started



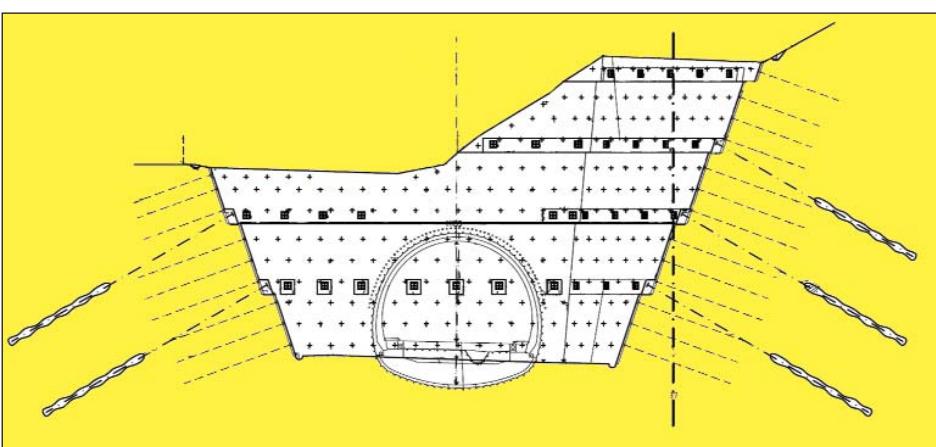
Obr. 12 Původní svahování a zajištění západního portálu severní tunelové roury – popis v textu

Fig. 12 Original sloping and stabilisation of the western portal of the northern tunnel tube – description in text

Před zahájením zemních prací byly dostupnou mechanizací provedeny kopané sondy, které potvrdily přítomnost zahliněných sutí a podpořily správnost rozhodnutí upustit od svahované stavební jámy ve sklonu svahu 3:1, resp. až 5:1. Stavební práce začaly vrtáním zápor, přičemž jejich hloubka vycházela z prognózy úrovně báze pokryvu určené na základě inženýrskogeologického průzkumu, který byl součástí zadávací dokumentace. Obr. 15 dokumentuje počáteční fáze vrtání zápor a ukazuje geologické poměry na východním portálovém svahu severní tunelové trubky. Vzhledem k proměnnému horizontu pís-kovců a slepenců musela být hloubka vrtání podle informací zhotovitele často upravována a projektant musel na tuto skutečnost rychle reagovat změnou úrovně převá-zeck pro lanové kotvy. Vyhodnocení vrtů pro záporu po obvodu stavební jámy poskytlo poměrně přesnou představu o rozhraní pokryv-ných útvarů i kvalitě skalního podkladu, což projektant využil k přesnějšímu návrhu konstrukce želvy i zahájení ražeb na všech čty-řech portálech stavební jámy. Na rozdíl od západního portálu spočívají patky želvy ve střední stavební jámě na rostlém terénu vyztuže-ném vertikálně vrtanými mikropilotami. Vzhledem k posunu termínu zahájení ražeb do zimních měsíců byly původně nad profilem kaloty navržené železobetonové věnce nahrazeny kotvenými ocelo-vými převázkami, které nad tunely držely paty zápor. Zajištění svahů, fáze výstavby želvy a stísněné poměry střední stavební jámy ukazuje obr. 16. Problematiku ražeb popisuje další kapitola.

TECHNOLOGICKÉ TŘÍDY VÝRUBU A RAŽBA TUNELU

V zadávací dokumentaci byly pro zajištění stability výruba navrženy na základě interpretace výsledků inženýrskogeologického prů-zkumu technologické třídy výruba a jejich rozdělení po trase obou tunelových trub. Ve fázi zpracování nabídky na výběr zhotovitele tunelu prováděla firma 3G Consulting Engineers s.r.o. v rámci konzultační činnosti pro firmu HOCHTIEF CZ a. s. novou interpretaci geotechnických poměrů a úpravu jednotlivých prvků zajištění sta-bility výruba v rámci jednotlivých technologických tříd výruba. Realizační dokumentace zpracovaná firmou IKP Consulting Engineers, s.r.o. respektovala počet tříd výruba a jejich rozdělení po trase tunelů ze zadávací dokumentace, zohledňovala však redukci prvků zajištění výruba podle návrhu 3G Consulting Engineers s.r.o. Technologický postup výstavby byl ve fázi zpracování realizační dokumentace konzultován se zástupci firmy HOCHTIEF CZ a. s.,

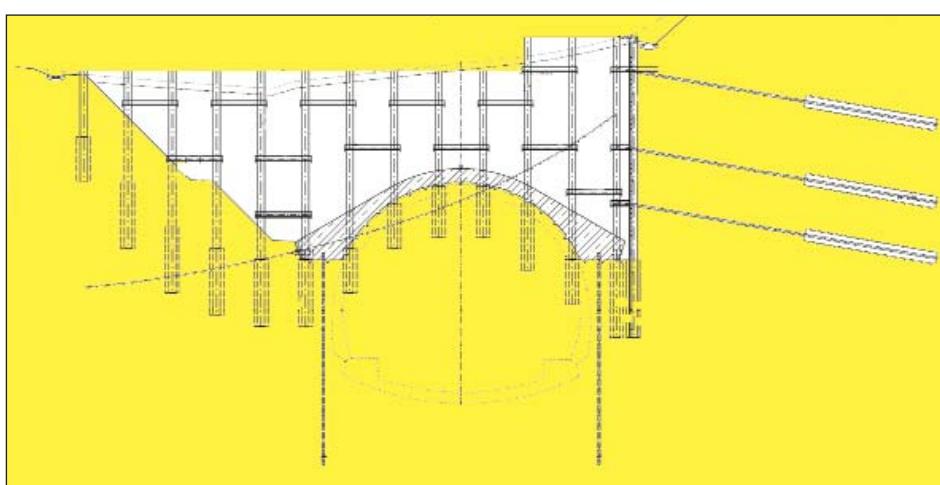


Obr. 13 Původní řešení východního portálu severní tunelové trubky – popis v textu
Fig. 13 Original solution to the eastern portal of the northern tunnel tube – description in text

by drilling for soldier beams. The drilling depth was built on the prognosis of the cover base level determined on the basis of the engineering geological survey which was part of the tender documents. Fig. 15 documents the initial phases of the drilling for soldier piles. It shows geological conditions at the eastern portal slope of the northern tunnel tube. With respect to the variable horizon of sandstone and conglomerates, the drilling depth, according to contractor's information, had to be frequently modified and the designer had to quickly respond to this reality by changing the level of the walers for cable anchors. The assessment of the boreholes for soldier piles around the circumference of the construction pit provided a relatively exact idea of the interface between the cover and bedrock and the quality of the bedrock. The designer used it for more accurate designing for the "tortoise shell" structure and the commencement of tunnelling at all four portals in the construction pit. In contrast with the western portal, the footings of the "tortoise shell" structure in the mid-point construction pit lie on unmade ground reinforced with vertically bored micropiles. With respect to shifting the term for commencing the tunnel excavation to the winter season, the originally proposed reinforced concrete collars above the top heading profile were replaced with anchored steel walers, holding the toes of soldier beams above the tunnel. The stabilisation of slopes, the "tortoise shell" construction phases and the constrained conditions in the construction pit are presented in Fig. 16. The problems of the tunnel excavation are described in the following chapter.

EXCAVATION SUPPORT CLASSES AND THE TUNNEL EXCAVATION

Excavation support classes and their distribution along the routes of both tunnel tubes were designed in the tender documents for ensuring the stability of the excavated opening on the basis of the interpretation of the engineering geological survey results. In the phase of preparing the tender design, 3G Consulting Engineers s.r.o. carried out new interpretation of geotechnical conditions and modification of particular elements of the excavation support within the framework of the consultancy for HOCHTIEF CZ a. s. The design of means and methods carried out by IKP Consulting Engineers, s.r.o. respected the number of excavation support classes and their distribution along the route of the tunnels contained in the tender documents, but took into account the reduction of the excavation support elements according 3G Consulting Engineers



Obr. 14 Nové řešení s ohledem na inženýrskogeologické podmínky – popis v textu
Fig. 14 The new solution taking into account engineering geological conditions – description in text



Obr. 15 Geologické poměry na východním svahu údolí
Fig. 15 Geological conditions on the eastern slope of the valley

která je garantem tunelového úseku stavby. Grafické znázornění zastoupení jednotlivých tříd výrubu po délce tunelových trub ukažuje obr. 17.

Do nejtěžších geotechnických podmínek byly navrženy technologické třídy výrubu 6.3, 6.2 a 6.1. Tyto třídy jsou situovány do příportálových úseků a do tektonických poruch. V úsecích ražby, kde byly očekávány velmi špatné geotechnické poměry, byla v zadávací dokumentaci navržena ražba pod mikropilotovým deštníkem. Jednalo se zejména o úseky s nízkým nadložím, navazující na stavební jámu západního portálu. Tato třída nebyla při ražbě použita. Po překonání příportálových úseků a zlepšení IG poměrů byl v realizační dokumentaci plánován přechod do technologických tříd výrubu 5.2 a 5.1. V úsecích velmi pevných a stabilních hornin, tvořených zejména slepenci a neporušenými pískovci, jsou navrženy technologické třídy výrubu 4.2 a 4.1. Pro kotvení jsou ve třídách 5 a 6 používány kotvy SN, nebo v případě, kdy hrozí zavalování vrtu, kotvy IBO. Ve třídách 4 se s výhodou rychlé aktivace a snadného osazování používají hydraulicky upínatelné svorníky. Tloušťka ostění se mění od 250 mm v nejtěžších třídách, až po 100 mm ve třídě 4.1. Tato tloušťka ostění již nemá z hlediska celého tunelu žádnou nosnou funkci a ve statickém výpočtu není uvažována. Zajišťuje pouze integritu horninového prstence a stabilizuje líc výrubu z hlediska bezpečnosti. Z tohoto důvodu je využita jednou síť KARI Q188. Hlavním nosným prvkem je prokovený horninový prstenec. V této třídě se nepoužívají výztužné rámy, což klade

s.r.o.' proposal. The technological procedure of the construction was consulted in the phase of the preparation of the design of means and methods with representatives of HOCHTIEF CZ a. s., which is the guarantor of the tunnelled section of the project. The graphical representation of individual excavation support classes along the length of the tunnel tubes is shown in Fig. 17.

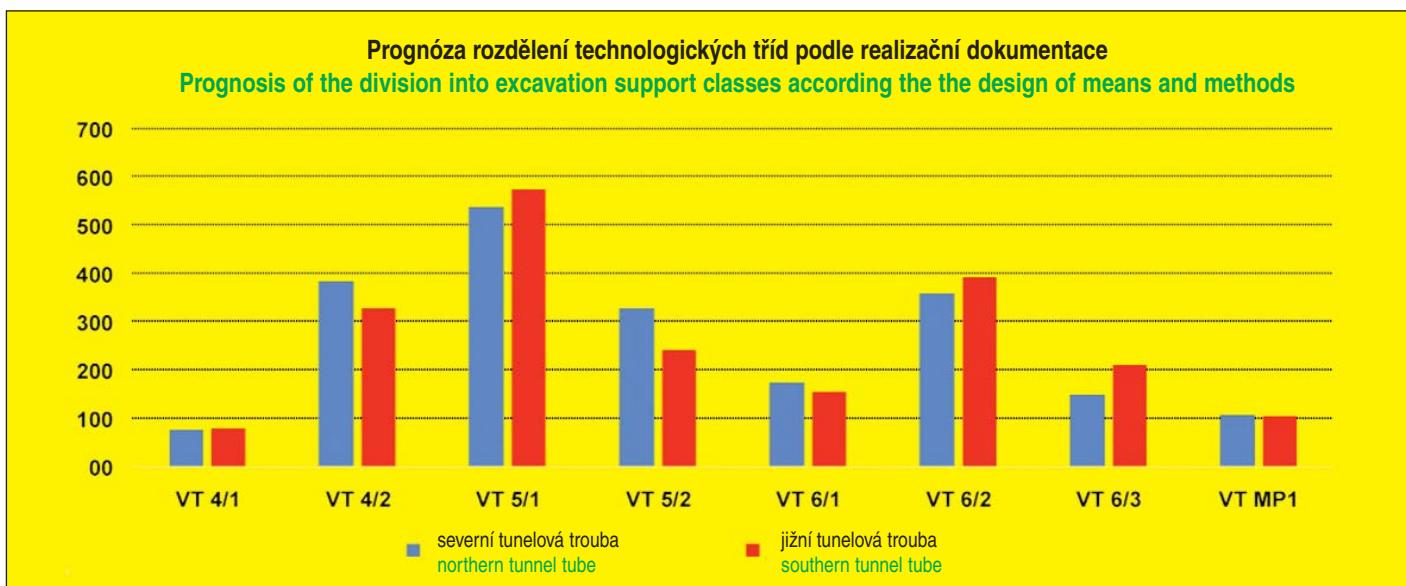
Excavation support classes 6.3, 6.2 and 6.1 were designed for the most difficult conditions. These classes are designed for pre-portal sections and tectonic failures. The application of the canopy tube pre-support was proposed in the design for means and methods for the tunnelling sections where very poor geotechnical conditions were expected, first and foremost the sections under very low overburden joining the construction pit for the western portal. This class was not applied during the tunnel excavation. The transition to better excavation support classes 5.2 and 5.1 was planned in the design of means and methods for tunnelling after the portal sections were overcome and the EG conditions was improved. Excavation support classes 4.2 and 4.1 are designed for sections running through very strong and stable rock formed mainly by conglomerates and undisturbed sandstone. SN anchors or IBO anchors, in the cases where there is the threat of collapsing bore-hole walls, are used for anchoring in classes 5 and 6. In class 4, hydraulically expanded rock bolts are used with respect to the quick activation and easy installation. The thickness of the lining varies from 250mm in the hardest classes to 100mm in class 4.1. The lining with this thickness has no more any structural function from the aspect of the whole tunnel and is not taken into account in the structural analysis. It only provides the integrity of the rock ring and stabilises the surface of the excavated opening in terms of safety. For this reason it is reinforced with only one layer of KARI Q188 mesh. The main load-carrying element is the rock ring stabilised with anchors. Reinforcing frames are not used in this class, which fact puts increased demands on miners and on maintaining the excavation shape. The major differences in the excavation stability systems between classes 6.3 and 5.2 and class 4.1 are presented in Fig. 18.

In the environment formed by flysch, with alternating marl layers, claystone layers and sandstone layers, geotechnical conditions frequently change at each excavation round. It is mainly manifested by the degree of jointing and orientation of discontinuities (see Fig. 19). The situation is more favourable in the case of tunnelling through agglomerates. For that reason, only the number of needles required for the stabilisation of the excavation contour is designed in the documents, with the assumption that their positions around



Obr. 16 Celkový pohled na východní svah stavební jámy
Fig. 16 Overall view of the eastern slope of the construction pit

foto/photo courtesy of Libor Mařík

*Obr. 17 Prognóza zastoupení tříd výruba podle realizační dokumentace**Fig. 17 Prognosis of the representation of excavation support classes according to the design of means and methods*

zvýšené nároky na raziče a dodržování tvaru výruba. Zásadní rozdíly ve způsobu zajištění stability výruba ukazují obr. 18 s třídami výruba 6.3, 5.2 a 4.1.

V prostředí flyše se při střídání vrstev slínovců, jílovů a pís-kovců geotechnické podmínky mnohdy mění v každém záběru. Jde zejména o stupeň rozpukaní a orientaci diskontinuit (obr. 19). V případě ražby v slepencích je situace příznivější. Pro stabilizaci obrysu výruba jsou proto v dokumentaci navrženy jehly pouze počtem s tím, že jejich poloha po obvodě kaloty bude určena až na základě vyhodnocení skutečně zastižených podmínek. Funkci NRTM inženýra na stavbě provádí firma 3G Consulting Engineers s.r.o., která zajišťuje trvalý geotechnický dohled, a společně se zástupci firmy HOCHTIEF CZ a. s. navrhují zatříďování do technologických tříd výruba. V případě, že dochází k úpravě způsobu zajištění v rámci třídy (rozmístění jehel po obvodu kaloty, změna typu a délky kotev, stabilizační opatření na čelbě atd.), jsou tyto změny posouzeny a odsouhlaseny projektantem realizační dokumentace. Pro rozhodování o způsobu zajištění výruba a volbu technologické třídy výruba slouží kromě vizuálního sledování výsledky geotechnického monitoringu, který pro zhotovitele provádí firma ARCADIS CZ a.s. Výsledky měření jsou po vyhodnocení v řádu hodin přístupné všem kompetentním účastníkům výstavby na webovém portále BARAB, který umožňuje zobrazování jak výsledků geotechnických měření, tak pasportizace čeleb a jejich fotodokumentace. Práce spojené s vytýčením tunelu, stejně jako měření pro osazování výztužních rámů primárního ostění a měření deformací výruba provádí na straně zhotovitele firma Angermeier Engineers, s.r.o. Kromě každodenního vyhodnocování geotechnických poměrů a optimálního nastavení způsobu ražby probíhají v 14denním rytmu kontrolní dny monitoringu, na kterých se za účasti zástupců Národní dálniční společnosti vyhodnocuje minulé období a stanovuje očekávaný postup výstavby pro další období. Způsob zajištění stability výruba a postupu ražeb je pro jednotlivé technologické třídy výruba přehledně uspořádán do tab. 1.

Kromě technologických tříd výruba uvedených v tabulce byla připravena technologická třída výruba pro ražbu pod želvou na západním portále a ve střední stavební jámě a pro ražbu pod mikropilotovým deštníkem. Mikropilotový deštník byl použit pouze pro ražbu jižní tunelové trouby ze střední stavební jámy směrem na západ, která podcházela vysokotlaké vodovodní potrubí zásobující město Žilina pitnou vodou a nad kterou se nacházelo přeložené koryto potoka i staveniště komunikace, která slouží pro odvoz rubaniny na deponii. Zahájení ražby jižní tunelové trouby směrem na východ a severní tunelové trouby směrem na západ zajišťovalo místo původně plánovaného mikropilotového deštníku pouze jehlování po obvodu kaloty. Jehly byly

the top heading circumference will be determined later on the basis of actually encountered conditions. The function of the NATM engineer on site is performed by 3G Consulting Engineers s.r.o., which provides continual geotechnical supervision and, together with HOCHTIEF CZ a. s. representatives, proposes the categorisation into excavation support classes. When the excavation support is modified within the framework of a class (the distribution of needles around the top heading circumference, a change in the type and length of anchors, stabilisation measures at the excavation face etc.), these changes have to be assessed and approved by the author of the design of means and methods. Decisions on the excavation support system and selection of the excavation support class are made on the basis of not only visual monitoring but also of the results of the geotechnical monitoring, which is carried out for the contractor by ARCADIS CZ a.s.. After the assessment, the results of measurements are available to all competent parties to the construction on the BARAB web portal, which allows for presenting the results both of the geotechnical measurements and the condition survey of the headings and their photo documentation. Operations associated with setting out the tunnel axis, the measurements for the installation of reinforcing arches for the primary lining and measurements of excavation deformations are carried out by Angermeier Engineers, s.r.o.. Monitoring Control Days are held once in two weeks in addition to the daily assessment of geotechnical conditions and optimum setting of the excavation procedure. The past period is assessed and the expected excavation procedure for the subsequent period is discussed in the meetings, in the presence of representatives of the Národná Dálničná Spoločnosť (the National Motorway Company). The method of ensuring the stability of excavation and the excavation procedure for individual excavation support classes is synoptically arranged in Table 1.

Apart from the excavation support classes presented in the table, an excavation support class was prepared for tunnelling under the "tortoise shell" at the western portal and in the mid-point excavation pit and for the excavation under the protection of the canopy tube pre-support. The canopy tube pre-support was applied only to the excavation of the southern tunnel tube in the mid-point construction pit toward the west, which passed under a high-pressure water pipeline supplying the town of Žilina with drinking water, with the relocated bed of a stream and the construction road serving for the transport of muck to the stockpile above it. The initial excavation of the southern tunnel tube toward the east and driving the northern tunnel tube toward the west was supported only by forepoling around the top heading circumference instead of the originally planned canopy tube pre-support. In this particular case, the spiles were inserted into

Tab. 1 Základní parametry zajištění výrubu v technologických třídách podle RDS

Table 1 Basic parameters of the excavation support in the classes according to the design of means and methods

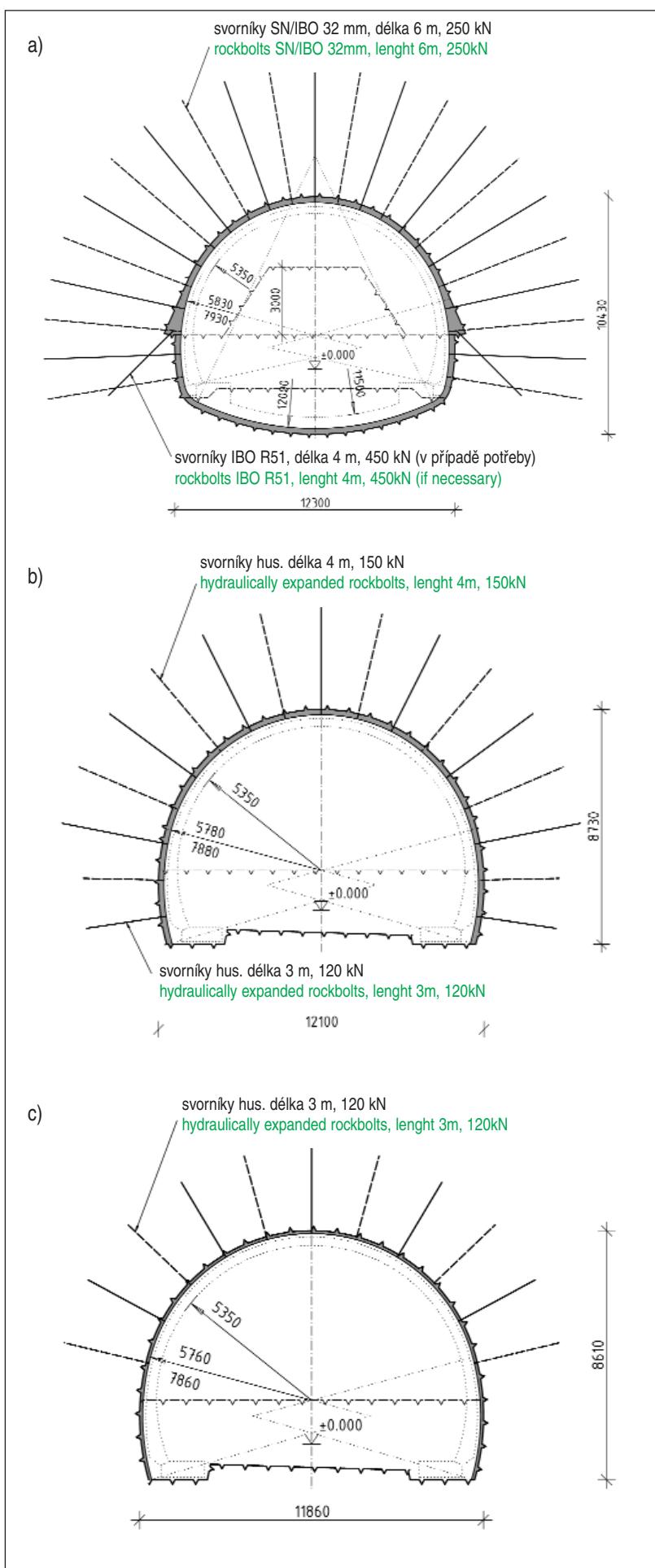
třída výrubu excavation support class	jed. unit	6.3 6.3	6.2 6.2	6.1 6.1	5.2 5.2	5.1 5.1	4.2 4.2	4.1 4.1
délka záběru excavation round length	[m] [m]	0,75 – 1,3 0,75 – 1,3	0,75 – 1,3 0,75 – 1,3	0,75 - 1,3 0,75 - 1,3	1,0 - 1,7 1,0 - 1,7	1,0 - 1,7 1,0 - 1,7	1,5 - 2,2 1,5 - 2,2	bez omezení without limit
plocha výrubu excavated cross-sectional area	[m ²] [m ²]	105,2 105,2	105,2 105,2	101,4 101,4	86,0 86,0	86,0 86,0	84,8 84,8	83,1 83,1
plocha kaloty / top heading cross-sectional area	[m ²] [m ²]	58,9 58,9	58,9 58,9	56,2 56,2	56,2 56,2	55,3 55,3	54,0 54,0	54,0 54,0
plocha opěří bench cross-sectional area	[m ²] [m ²]	29,8 29,8	29,8 29,8	29,2 29,2	29,8 29,8	29,8 29,8	29,5 29,5	29,1 29,1
plocha dna bottom cross-sectional area	[m ²] [m ²]	16,5 16,5	16,5 16,5	16,0 16,0	- -	- -	- -	- -
tloušťka ostění lining thickness	[mm] [mm]	250 250	250 250	200 200	200 200	200 200	150 150	100 100
počet sítí KARI number of KARI mesh layers	[ks] [pcs]	2 KY80 2 KY80	2 Q188 2 Q188	2 Q188 2 Q188	2 Q188 2 Q188	1 Q188 1 Q188	1 Q188 1 Q188	1 Q188 1 Q188
počet kotev v kalotě number of anchors in top heading	[ks] [pcs]	9/10 9/10	8/9 8/9	7/8 7/8	6/7 6/7	6/7 6/7	5/6 5/6	5/6 5/6
délka kotev v kalotě lengths of anchors in top heading	[m] [m]	6 6	4, 6 4, 6	4 4	4 4	4 4	3 3	3 3
počet kotev v opěří number of anchors in bench	[ks] [pcs]	1/1 1/1	1/1 1/1	1/1 1/1	1/1 1/1	1/1 1/1	1/1 1/1	- -
délka kotev v opěří lengths of anchors in bench	[m] [m]	6 6	4 4	4 4	4 4	4 4	3 3	- -
jehly spiles	[ks] [pcs]	20 - 30 20 - 30	20 - 30 20 - 30	15-20 15-20	15-20 15-20	podle potřeby as needed	podle potřeby as needed	- -
čelbový klín face wedge	- -	ano yes	podle potřeby as needed	podle potřeby as needed	podle potřeby as needed	ne no	ne no	ne no

v tomto případě osazeny do cementové zálivky, při ražbě tunelu jsou již osazovány na sucho. Ražba severní tunelové trouby ze střední stavební jámy směrem na východ probíhala pod konstrukcí želvy, která byla v době zahájení razíckých prací již částečně zasypána. Stísněné poměry se vzdáleností portálů pouhých 12,5 m ukazuje obr. 20. Podél klenby želvy vede pod zásypem staveniště drenáž, která odvádí vydatný přítok podzemní vody zejména na severním boku konstrukce želvy. Díky tomu se podařilo omezit přítoky vody do tunelu. Před zahájením ražby pod želvou a provedením jejího zásypu byla oblast nad profilem kaloty úseku raženého za želvou zpevněna a zatěsněna výplňovou injektáží. Nad profilem kaloty byl navrtán dvojitý deštník, jehož vrtby byly vyplňeny injektážní směsí a vyztuženy vloženou betonářskou výztuží. Při ražbě v tomto úseku nedocházelo k tvorbě nadvýrubů. I tak je úsek ražený za želvou silně zvodněný a v kalotě jsou pro odvedení vody z masivu navrženy svodnice. Další přítoky se objevily při ražbě opěří jižní tunelové trouby směrem na západ, a to hned u portálu. Ražba hlouběji v hoře probíhá zatím bez větších přítoků a průsaků podzemní vody jsou většinou vázané na puklinový systém horninového masivu. Po prvních záběrech kaloty se ražba na všech čelbách ražených ze střední stavební jámy poměrně rychle dostala do pevného horninového masivu, tvořeného převážně slepenci, a délka záběru se prodloužila z 1 m až na 3 m.

Zvýšená pozornost byla věnována přechodu z ražby pod želvami do úseku raženého NRTM na západním portále. Důvodem byly jednak geotechnické podmínky, jednak skutečnost, že čelo stavební jámy paží štětovnice, které nebyly do masivu beraněny, ale vsazovány do vrtů, které byly následně vyplňeny vytěženým materiélem. Ražba kaloty pod želvou poskytla přesné informace o horninovém masivu, který bude nutné stabilizovat, až kalotu nebude chránit konstrukce želvy. V obou tunelových troubách do přístropí zasahovala štěrková terasa, resp. vrstva silně zvětralých slínovců a jílovů. Štěrová stěna tvořila překážku pro podzemní vodu a nešlo vyloučit zvodnění materiálu v nadloží. Pro další ražbu bylo proto navrženo zajištění nadloží pomocí hnaného pažení ocelovými pažnicemi UNION délky 4 m, které byly

cement grout; during the excavation of the tunnel itself, they are already installed in holes without grout. The excavation of the northern tunnel tube from the mid-point construction pit proceeded toward the west under the "tortoise shell" structure, which was at the time of the commencement of the tunnelling operations already partially back-filled. The constrained conditions where the distance between the portals is only 12.5m are shown in Fig. 20. Construction site drainage leads along the "tortoise shell" vault under the backfill. It evacuates the abundant groundwater inflow mainly on the northern side of the "tortoise shell" structure. Owing to it, the rates of flows of water into the tunnel were successfully reduced. The area above the top heading profile of the section driven behind the "tortoise shell" was reinforced and sealed by sealing grouting prior to the commencement of the excavation under the "tortoise shell" structure and the execution of the backfill. A double-umbrella consisting of concrete reinforcement bars inserted into boreholes filled with grout was carried out above the top heading profile. No overbreaks happened during the course of tunnelling in this tunnel section. Nevertheless, the section excavated under the "tortoise shell" structure is heavily saturated with water and water collection lines are designed from the top heading out of the massif. Other inflows appeared just at the portal during the excavation of the bench in the southern tunnel tube in the western direction. The tunnel excavation proceeding deeper into the mountain is for the time being without significant inflows and the seepage of groundwater is mostly bound to the ground massif fissure system. After the initial top heading excavation rounds, the excavation process at all headings proceeding from the mid-point construction pit got relatively quickly to hard rock mass, consisting mainly of conglomerates. The excavation round length was increased from 1m up to 3m.

Increased attention was paid to the transition from driving under "tortoise shell" structures to the NATM-driven section at the western portal. The reason lied in geotechnical conditions and in the fact that the front end of the construction pit is braced with sheet piles, which



Obr. 18 Technologické třídy výrubu a) 6.3, b) 5.2 a c) 4.1
Fig. 18 Excavation support classes a) 6.3, b) 5.2 and c) 4.1

were not hammered into the massif. Instead, they were inserted into boreholes, which were subsequently filled with muck. The top heading excavation under the "tortoise shell" structure provided precise information on the ground massif. It will have to be stabilised when the top heading is not protected by the "tortoise shell". A gravel terrace or a layer of heavily weathered marlstone and claystone, extended into the top heading in both tunnel tubes. The soldier pile and lagging wall created an obstacle for groundwater and it was not possible to exclude the saturation of the overhead material with water. For that reason the support using sheet piling with 4m long UNION steel sheet piles driven into the ground around the "tortoise shell" structure circumference with the boom of the drill rig was designed for the next tunnel excavation. In the locations where the gravel terrace passed into claystone layers, the sheet piles were replaced by needles inserted into cement grout. In addition, it was necessary to prevent the loss of stability of the excavation face, which would have led to an uncontrollable extension of the excavation round length. For that reason, boreholes for 8m long IBO anchors were drilled into the excavation face and UNION steel sheets were attached to them in a flat position and were pressed to the excavation face with nuts and plates on the IBO anchors (see Fig. 21). The continuous thread on the IBO anchors allowed for active supporting of the top heading excavation face immediately after the completion of the excavation round by means of lagging. The technological procedure proposed for the construction allowed for safe passing through the risk zone on the contact between the "tortoise shell" structure and the NATM-driven section. Even though design documents expected the subsequent excavation in the ca 70m long section to be carried out under canopy tube pre-support, the decision was made after assessing the geotechnical conditions that excavation support class 6.3 would be applied. This decision turned out to be correct and the tunnel excavation using this class proceeded, owing to the experienced approach of the contractor, TuCon, a.s., without more significant problems. The length of an excavation round in this section did not exceed 1m. Despite the top heading excavated cross-sectional area of nearly 60m² and the low overburden, the excavation deformations in the section behind the "tortoise shell" section to not exceed 15mm and are reduced to a virtually non-measurable value with the excavation proceeding deeper into the mountain. Small deformational manifestations of the ground mass have still been the common denominator of the excavation at all headings. They remain far behind the values of warning states.

CONCLUSION

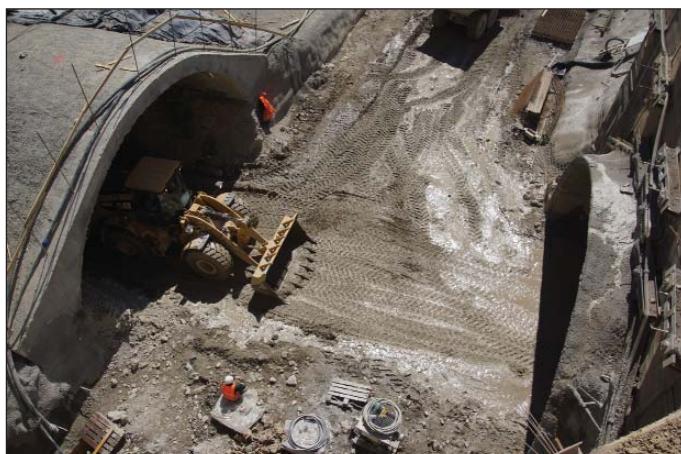
The Považský tunnel construction proceeds through variable geotechnical conditions formed by the Carpathian flysch, ranging from heavily weathered interbeds of sandstone, marlstone and claystone at the western portal up to very hard conglomerates in the sections in the middle of the tunnel length. Both the tender documents and the design of means and methods define one excavation support class for the whole tunnel cross-section. The actually encountered geotechnical conditions show that it would be reasonable to define excavation support classes for individual parts of the excavation sequence (top heading, bench and, respectively, bottom) in the design and, depending on the situation encountered at the excavation face, categorise the excavation into respective excavation



Obr. 19 Skloný diskontinuita na čelbě

Fig. 19 Dipping of discontinuities at the excavation face

foto/photo courtesy of Libor Mařík



Obr. 20 Stísněné poměry ve střední stavební jámě

Fig. 20 Constrained conditions in the mid-point construction pit

foto/photo courtesy of Libor Mařík

lafetou vrtacího vozu zahnáný po obvodu želvy. V místech, kde štěrková terasa přecházela do vrstev jílovců, nahradily pažiny jehly osazované do cementové zálivky. Dále bylo nutné zabránit ztrátě stability čelby, která by vedla k nekontrolovatelnému prodloužení záběru. Proto byly do čelby navrtány kotvy IBO délky 8 m a na ně naplocho nasazeny pažiny UNION, které byly na čelbu přitlačeny pomocí matic a desek na IBO kotvách (obr. 21). Průběžný závit IBO kotev umožňoval okamžitě po provedení záběru pomocí pažin aktivně podepírat čelbu kaloty. Navržený technologický postup výstavby umožnil bezpečný průchod rizikovou zónou na kontaktu želvy a úseku raženého NRTM. I když projektová dokumentace předpokládala další ražbu v úseku cca 70 m pod mikropilotovým deštníkem, bylo po vyhodnocení geotechnických poměrů rozhodnuto o nasazení technologické třídy 6.3. Toto rozhodnutí se ukázalo jako správné a ražba v této třídě probíhala díky zkušenému přístupu zhotovitelské firmy TuCon, a.s. bez větších problémů. Délka záběru v tomto úseku nepřesahovala 1 m. I přes plochu kaloty téměř 60 m² a nízké nadloží se deformace výrubu v úseku za želvu pohybují do 15 mm a s postupem ražby směrem dále do hory se snižují až na prakticky neměřitelné hodnoty. Malé deformační projevy horninového masivu jsou doposud společným jmenovatelem ražeb na všech čelbách a zůstávají daleko za hodnotami varovných stavů.

ZÁVĚR

Stavba tunelu Považský Chlmec probíhá v pestrých geotechnických podmínkách karpatského flyše od silně zvětralých poloh pískovců, slínovců a jílovců na západním portále až po velmi pevné slepence ve středních úsecích tunelu. Zadávací i realizační dokumentace definuje jednu technologickou třídu výrubu pro celý příčný profil tunelu. Skutečně zastílené geotechnické podmínky ukazují, že by bylo vhodné technologické třídy výrubu v projektové dokumentaci definovat pro jednotlivé dílčí výruby (kalota, opěří, případně dno) a podle situace zastílené na čelbě provést zatřídění do příslušné technologické třídy pro každý dílčí výrub zvlášť. Nejmarkantnější byla v tomto smyslu situace ve střední stavební jámě, kde do kaloty zasahovaly vrstvy pokryvů s ražbou klasifikovanou do technologické třídy výrubu 6.3, zatímco opěří ražené v pevných slepencích již zdaleka nevyžadovalo tak masivní způsob zajištění, jaký předepisuje třída 6.3.

Díky vstřícnému přístupu zkušených zástupců investora NDS i stavebního dozoru ze sdružení firem EUTECH&ESP&MULLER&API-D3 se daří dosáhnout shody v názoru na způsob zajištění stability výrubu podle geotechnických podmínek zastílených při výstavbě a aplikovat v praxi základní principy NRTM. Návrh na zatřídování do technologických tříd i jejich úpravy předkládají zástupci zhotovitele stavby, firmy HOCHTIEF CZ a. s. Při dosud provedených ražbách došlo již k celé řadě úprav způsobu zajištění výrubu, at' se jedná o změnu typu, nebo délky kotev, rozsahu jehlování, vynechání výztužných rámů při ražbě opěří nebo vrstvy výztužných sítí. Napomáhá tomu realizace stavby podle žluté knihy FIDIC. Tento smluvní vztah na rozdíl od červené knihy nevyžaduje zdlouhavé a mnohdy odrazující pro-

support classes separately for each partial excavation. In this sense, the most marked situation was in the mid-point construction pit, where cover layers categorised as class 6.3 extended into the top heading, whilst the bench excavation through hard conglomerates was far from so massive support system which is prescribed by class 6.3.

Thanks to the helpful approach of experienced representatives of the client, the Národná Diamlná Spoločnosť, and the supervision provided by the EUTECH&ESP&MULLER&API-D3 consortium, the consensus of opinion on the method of ensuring the stability of excavation according to geotechnical conditions encountered in the construction process is successfully achieved and the basic NATM principles are applied in practice. The proposal for the categorisation into excavation support classes and their modifications are submitted by representatives of the contractor, HOCHTIEF CZ a. s.. Lots of changes in the excavation support system have been made during the course of the till now completed excavation, comprising changes in the types or lengths of anchors, the scope of forepoling, leaving out reinforcing frames during the bench excavation or leaving out a layer of mesh, etc. It is helped by the realisation of the works in compliance with the FIDIC Yellow Book. This contractual relationship, in contrast with the Red Book, does not require lengthy and often discouraging negotiations about deviations from the design of means and methods. It therefore allows for really economic and safe excavation of tunnels. Each modification of elements designed to secure the stability of excavation is authorised by a mine designer in the form of his official written statement.

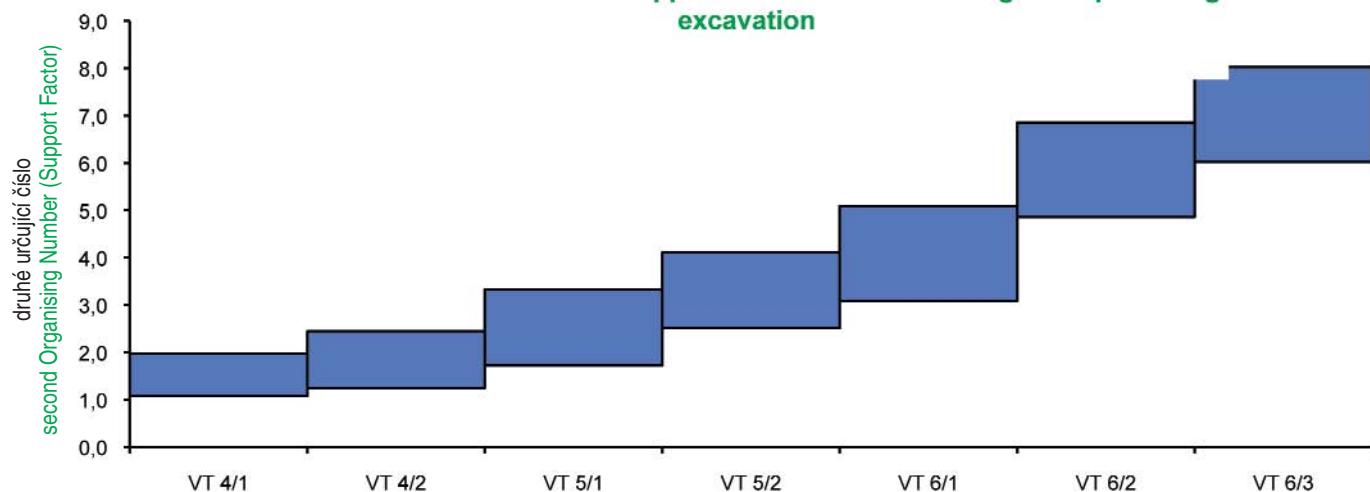


Obr. 21 Čelba na rozhraní želvy a úseku NRTM na západním portále

Fig. 21 Excavation face at the interface between the "tortoise shell" structure and the NATM-driven section at the western portal

foto/photo courtesy of Libor Mařík

Matrice pro vyhodnocení prvků zajištění stability výruba v kalotě
Matrix for the evaluation of support elements to stabilizing the top heading
excavation



Obr. 22 Vyhodnocení technologických tříd výruba podle TP06-1/2006

Fig. 22 Assessment of excavation support classes according to TP06-1/2006 specifications

jednávání změn oproti realizační dokumentaci a umožnuje tak skutečně ekonomickou a bezpečnou ražbu tunelů. Každá úprava prvků zajištění stability výruba je autorizována báňským projektantem formou jeho oficiálního, přesného vyjádření.

Zadávací dokumentace vyžaduje vyhodnocovat technologické třídy výruba uvedené v realizační dokumentaci podle metodiky uvedené v TP 06-1/2006. Jedná se o překlad rakouské normy ÖNORM B2203-1, která definuje smluvní podmínky mezi investorem a zhotovitelem při konvenční ražbě tunelů a mimo jiné určuje pomocí matric způsob účtování za ražbu v technologické třídě výruba. V rámci realizační dokumentace byly proto vytvořeny pro každou technologickou třídu výruba v závislosti na způsobu vystrojení, délce záběru a ploše dílčích výrubů matrice, které znázorňuje obr. 22. Vzhledem k tomu, že při výstavbě platí smluvní podmínky podle žluté knihy FIDIC a nikoli podle pravidel uvedených v technických podmírkách TP 06-1/2006, má toto vyhodnocování pouze akademický význam a z hlediska smluvních vztahů mezi investorem a zhotovitelem nehráje žádnou roli. Při posuzování úprav způsobu zajištění stability výruba a postupu prací nelze proto výsledky vyhodnocení ve smluvním vztahu použít.

V porovnání s předpoklady zadávací i realizační dokumentace probíhá ražba v příznivějších geotechnických podmírkách. Deformační projevy horninového masivu jsou zlomkem očekávaných hodnot. Zastoupení technologických tříd výruba zatím směřuje k lehčím třídám s menším počtem vystrojovacích prvků a delším záběrem. Celkové vyhodnocení ražeb bude možné provést až po vyražení celého tunelu.

Unikátní ražba tunelu až k osmi čeleb je náročná na organizaci činností na jednotlivých pracovištích a podmínkou pro dodržení harmonogramu výstavby.

Ing. LIBOR MARÍK, HOCHTIEF CZ a. s.
libor.marik@hochtief.cz

Recenzovali: Ing. Viktória Chomová, Ing. Pavel Růžička, Ph.D.

The tender documentation requires assessing the excavation support classes contained in the design of means and methods using the methodology contained in the TP 06-1/2006 specifications. These specifications are a translation of the Austrian ÖNORM B2203-1, which defines contractual conditions between the client and the contractor during conventional tunnel excavation and, among others, determines the method of charging for the excavation in a particular excavation support class by means of a matrix. For that reason, the matrices presented in Fig. 22 were developed for each excavation support class, depending on the support system, the length of the excavation round, and the cross-sectional area of partial headings. With respect to the fact that contractual conditions according to the FIDIC Yellow Book are applied instead of the rules contained in TP 06-1/2006 specifications, this assessing has only academic importance and plays no role in terms of contractual relationships between the client and the contractor. For that reason, the results of the assessment cannot be used in assessing the modifications of the excavation stability method and the works procedure.

In comparison with the assumptions contained in the tender documents and the design of means and methods, the excavation proceeds in more favourable geological conditions. The values of the deformational manifestations of the ground massif are a fraction of the expected values. The representation of excavation support classes is for the time being heading toward easier classes with a smaller number of support elements and longer excavation rounds. Carrying out the overall assessment of the excavation will be possible only after the completion of the excavation of the entire tunnel.

The unique tunnel excavation from up to eight headings is demanding in terms of the organisation activities at individual workplaces. But it is a condition for complying with the works schedule.

Ing. LIBOR MARÍK, HOCHTIEF CZ a. s.
libor.marik@hochtief.cz

LITERATURA / REFERENCES

- Diaľnica D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno), súťažné podklady. Bratislava, Národná diaľničná spoločnosť, a. s., 5/2013
- Diaľnica D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno), realizační dokumentace stavby objektů SO401-00, SO403-00 a SO410-00. Praha, IKP Engineers Group, s. r. o.
- Technicko-kvalitativne podmienky MDVRR TP 06-1/2006 Podzemné stavby Časť 1: Cyklické razenie, vystrojovacie triedy
ÖNORM B-2203 Untertagebauarbeiten – Werkvertragsnorm, Teil 1: Zyklischer Vortrieb

FOTOREPORTÁŽ Z EXKURZE CZTA NA SLOVENSKÉ TUNELY POVAŽSKÝ CHLMEC, ŽILINA A OVČIARSKO

PICTURE REPORT FROM CZTA EXCURSION TO SLOVAKIAN TUNNELS POVAŽSKÝ CHLMEC, ŽILINA AND OVČIARSKO



Obr. 1 Účastníci exkurze na západním portále tunelu Považský Chlmec
Fig. 1 Excursion attendees at the western portal of the Považský Chlmec tunnel

Foto/Photo Ing. Viktor Petráš HOCHTIEF CZ a. s.



Obr. 2 Portály tunelu Žilina s konstrukcí želvy
Fig. 2 Žilina tunnel portals with the „tortoise shell“ structure



Obr. 3 Primární ostění tunelu Ovčiarisko
Fig. 3 Ovčiarisko tunnel primary lining

Foto/Photo Ing. Libor Mařík, HOCHTIEF CZ a. s.



Obr. 4 Portály tunelu Ovčiarisko
Fig. 4 Ovčiarisko tunnel portals

Foto/Photo Ing. Libor Mařík, HOCHTIEF CZ a. s.



3D laserové skenování,
modelování a vizualizace
pomocí skeneru
Leica ScanStation P20

www.arcadis.cz



 **ARCADIS**
Infrastructure · Water · Environment · Buildings

PERSPEKTÍVA V PODZEMÍ

 **AMBERG**
ENGINEERING

Somolického 1/B
811 06 Bratislava
tel.: +421 2 5930 8261
www.amberg.sk

AMBERG ENGINEERING SLOVAKIA, s.r.o.



DOZORUJEME

tunely, diaľnice, železnice, mosty, ČOV, vodovody, kanalizácie, pozemné stavby

PROJEKTUJEME

pozemné, vodohospodárske, inžinierske, dopravné stavby, geotechnické konštrukcie, rizikové analýzy

REALIZUJEME

inžiniersku, poradenskú a expertíznu činnosť, geotechnický monitoring, zameriavanie budov a tunelov, školenia a kurzy

PROJEKTOVÁ, INŽINIERSKA
A KONZULTAČNÁ SPOLOČNOSŤ

- PROJEKTOVANIE
- INŽINIERING
- MAJETKOVOPRÁVNE
- VYSPORIADANIE
- GEODÉZIA A KARTOGRAFIA
- KONZULTAČNÁ ČINNOSŤ
A RIADENIE PROJEKTOV
- REGIONÁLNY ROZVOJ,
DOPRAVNÁ INFRAŠTRUKTÚRA
A PLÁNOVANIE
- VEREJNÉ OBSTARÁVANIE

Trnavská cesta 27, 831 04 Bratislava 3 / T: +421 2 5556 6161 / E: reming@reming.sk / <http://www.reming.sk>

12. FÓRUM KOĽAJOVEJ DOPRAVY FORUM OF RAIL TRANSPORT

15 - 16.3.2016 HOTEL DOUBLETREE BY HILTON, BRATISLAVA

usporiadatelia

s podporou Zastúpenia
Európskej komisie na Slovensku

generálny partner

PSKD

Prevádzka a stavby koľajovej dopravy



REMING
CONSULT
A.S.

www.fkd.sk



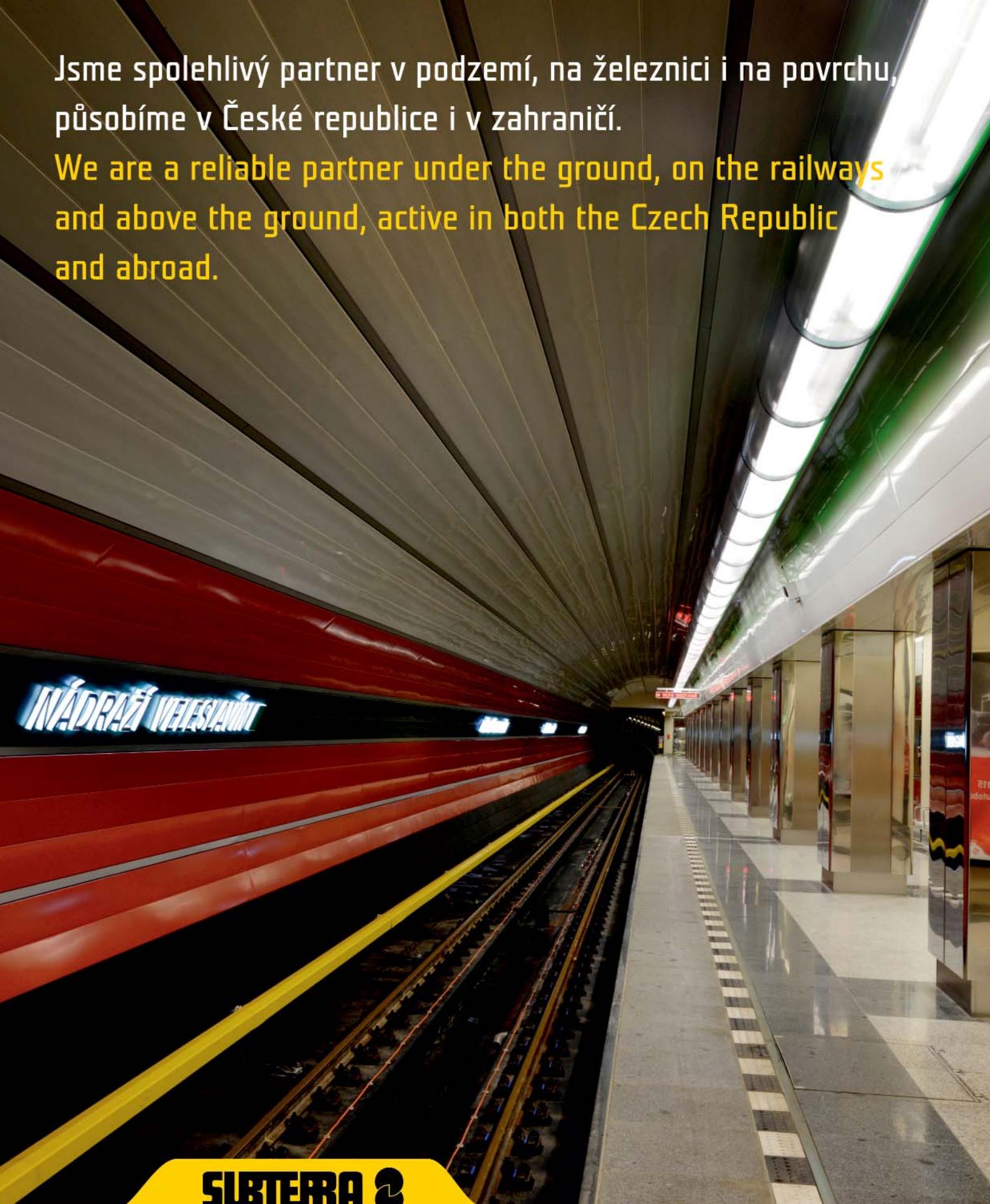
SUDOP PRAHA
projekty - inženýring - konzultace

SUDOP PRAHA a.s.

je projektová, konzultační a inženýrská společnost s tradicí více než 60 let. Společnost nabízí velmi široké portfolio komplexních, profesionálních služeb v oblasti dopravní infrastruktury, pozemních staveb a obsluhy území veřejnou dopravou, kde se soustřeďuje na velké projekty ze státního i privátního sektoru.

**Jsme spolehlivý partner v podzemí, na železnici i na povrchu,
působíme v České republice i v zahraničí.**

**We are a reliable partner under the ground, on the railways
and above the ground, active in both the Czech Republic
and abroad.**



SUBTERRA 

www.subterra.cz

Nedržíme se při zemi

Never stuck on the ground

Subterra a.s.
Koželužská 2246/5
180 00 Praha 8 – Libeň



Výstavba metra V.A (Dejvická–Motol), Praha
stanice Nemocnice Motol



Postavili jsme pro vás nové metro

Specializace na ražené i hloubené podzemní stavby je naší nosnou technologií. Disponujeme týmem zkušených techniků a máme potřebné výrobní kapacity umožňující optimalizaci vašich projektů podle posledních technologických poznatků. Své zkušenosti jsme upevnili a rozšířili na řadě významných a technicky náročných tunelových projektů, mezi které patří i realizace stanic Nemocnice Motol a Bořislavka a části traťových tunelů v rámci projektu prodloužení trasy metra V.A v Praze.

HOCHTIEF CZ a.s.
Plzeňská 16/3217
150 00 Praha 5
tel.: +420 257 406 000
www.hochtief.cz

Partner konference
Podzemní stavby Praha 2016

 **HOCHTIEF**

ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB / THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

MOZAika ze světa

Zvýšení bezpečnosti švýcarského tunelu Belchen

V 3,2 km dlouhých tunelech Belchen na dálnici A2 byla od roku 2008 provedena řada opatření ke zvýšení bezpečnosti provozu. Především byly instalovány nové proudové ventilátory, upraveno bylo vybavení tunelů a zvýšena požární bezpečnost. Prováděné práce vyžadovaly postupné uzavírání jednoho tunelu a obousměrný provoz druhého.

Ovšem tunely uvedené do provozu v sedmdesátých letech minulého století potřebují podstatnější renovaci, protože jejich nosné konstrukce jsou poškozeny účinky bobtnání sádrovce zastiženého při ražbě v pohoří Jura. Aby nedošlo k nežádoucímu omezení intenzivní dopravy, rozhodla švýcarská správa silnic o výstavbě třetího tunelu, do kterého bude převáděna doprava z opravovaných tunelů.

Po dokončení oprav starých tunelů se ale prozatím nepočítá s využitím všech tří tunelů, v provozu budou nadále jen dva s celkově čtyřmi jízdními pruhy.

Pařížské metro rozšiřuje provoz souprav bez řidiče

Plně automatický provoz na silně zatížené lince 1 pařížského metra byl zahájen v roce 2011. Hlavním dodavatelem byl německý Siemens, který veškeré dodávky a montáže pro automatický provoz provedl bez přerušení provozu linky. Nyní instaluje automatický provoz na prodloužení linky 14.

Dopravní kapacitu linek metra lze zvýšit přechodem na automatický provoz až o 50 %, protože může být zkrácen interval mezi jízdními soupravami. V Paříži se očekává, že při automatickém provozu bude nejkratší interval 85 vteřin. Pokud množství cestujících náhle vzroste, zvýší se dopravní kapacita automatickým vysláním další soupravy z depa.

Odstraňování usazenin v drenážním potrubí tunelu

V jedné z únikových štol z železničního tunelu Leinzer na území města Vídne byl zjištěn úsek drenážního potrubí vyplněný ze dvou třetin tvrdými vápenitými usazeninami. Pokusy o jejich odstranění běžnými hydraulicko-mechanickými metodami byly neúspěšné. Po vyhodnocení různých variant v návaznosti na provedené průzkumy, bylo rozhodnuto použít 10% kyselinu chlorovodíkovou dávkovanou do drenážního potrubí v kontrolní šachtě nad daným úsekem. Směs drenážní vody a roztoku kyseliny po její reakci s usazeninami teče potom do drenážního potrubí hlavního tunelu a po 3,5 km vtéká do jímkové čerpací stanice.

Celý proces probíhal za stálého monitoringu včetně sledování chemismu protékající vody a měl v podstatě výzkumný charakter. Byl přerušován také proto, aby naměřené hodnoty mohly být vyhodnoceny i v návaznosti na postupné rozpuštění usazenin. Po deseti měsících aplikace roztoku kyseliny mohlo být provedeno dočištění hydraulicko-mechanickou metodou.

Podrobněji – viz článek v čísle 1/2015 německého časopisu Tunnel.

Problémy v zásobování vodou města Las Vegas

Hladina v jezeře Mead v Nevadě, ze kterého je zásobováno vodou město Las Vegas, za posledních čtrnáct let klesla o 35 m. Jen o sedm metrů hlouběji je umístěno odběrné okno č. 1. Proto bylo rozhodnuto o vybudování podstatně hlubšího odběrného místa č. 3, což ale znamenalo ze 180 m hluboké šachty vyrazit 4,4 km dlouhý tunel trasovaný z větší části pod dnem jezera. Tunelovací stroj musel být schopen odolat rekordnímu tlaku vody 15 barů a razit v proměnlivých geotechnických podmínkách s použitím otevřeného i uzavřeného módu. Speciálně zkonstruovaný a vybavený tunelovací stroj průměru 7,2 m dodala firma Herrenknecht. Mimo jiné umožňoval přejít z otevřeného na uzavřený mód za 120 vteřin nebo použít přetlak vzduchu při údržbářských pracích na řezné hlavě.

Ražba probíhá od konce roku 2011 a má být dokončena v letech měsících roku 2015.

Zahájeny „mokré“ zkoušky přečerpávací vodní elektrárny Reisseck II

Od února letošního roku (2015) probíhají mokré zkoušky nové přečerpávací elektrárny Reisseck II, která bude s výkonem 1400 MW jednou z největších v Evropě. Při její výstavbě došlo k propojení do té doby samostatných systémů vodních elektráren Reisseck a Malta. Tato stručná zpráva je připomínkou úspěšné exkurze, kterou na tuto rakouskou stavbu uspořádala CzTA ITA-AITES v roce 2011.

Nový tunel Albula

Švýcarská železniční společnost Rhätische Bahn AG provozuje železnici vedoucí ze Sv. Mořice do Churu, jejíž součástí je přes 5,8 km dlouhý tunel Albula. Ten je sto let starý a udržet ho v provozu by si vyžádalo rozsáhlé opravy, jejichž provádění za současného provozu by bylo příliš drahé. Proto investor rozhodl, že raději vybuduje souběžný nový tunel dl. 5860 m s raženým profilem 58 m². Součástí stavby bude vybudování dvanácti propojek do starého tunelu, který bude v budoucnosti sloužit jako úniková cesta.

Ražba nového tunelu bude probíhat v nadmořské výšce 1800 m n. m. a měla by být dokončena v listopadu 2017.

Podzemní cyklistické a pěší stezky v Londýně

Koncept sítě podzemních cyklistických a pěších stezek zvítězil v jedné londýnské urbanistické soutěži. Autorem návrhu je projektová firma Gensler, která navrhla využití velkého množství opuštěných podzemních tunelů metra a železnice i dalších již nepoužívaných podzemních prostor. Svůj záměr autoři zdůvodňují skutečností, že Londýnu kriticky chybí prostor pro pěší a hlavně pro cyklisty. Zvláštním aspektem návrhu je způsob získávání elektrické energie pro provoz podzemních prostor. Navrhují použít dlažbu, která je schopná přeměnit kinetickou energii chůze nebo jízdy na kole v elektřinu. Taková dlažba by měla být instalována také v přestupních tunelech mimořádně zatížených stanic metra na křížení linek.

Úspěch dodatečného intenzivního průzkumu

Po zahájení ražeb tunelovacím strojem ve východní troubě tunelu Bossler délky 8806 m na nové trati z Ulmu do Stuttgartu intenzivně pokračoval geotechnický průzkum. Jeho výsledky podstatně změnily plánované nasazení stroje. Ukázalo se, že geologie dovoluje podstatně zvýšení podílu plně mechanizované ražby. Původně se předpokládalo, že tunelovací stroj vyrazí v obou tunelových troubách asi 2800 m, ale nyní se plánuje strojně vyrazit 7,5 km ve východní a dokonce 8,5 km v západní troubě.

Mimořádná přesnost první prorážky na tunelu Ceneri

Bázový tunel Ceneri délky 15,4 km je součástí nové trasy železnice jižně od Gotthardského bázového tunelu. První prorážka proběhla v březnu 2015 v západní troubě s mimořádnou přesností. Odchyly byly zanedbatelné – 2 cm vodorovně a 1 cm svisle.

Nová budoucnost Karawanského tunelu

V souladu s mezinárodní smlouvou mezi Rakouskou a tehdejší Jugoslávií z roku 1977 byla v prvním pololetí 2015 podepsána nová smlouva o ražbě druhé tunelové trouby tentokrát mezi Rakouskem a Slovenskem. Přípravné práce na rakouské straně zahrnující nový most a přilehlý úsek dálniční vozovky budou zahájeny na podzim roku 2015, vlastní ražba by měla začít v roce 2017. Po zprovoznění nové trouby bude ta původní otevřená v roce 1991 kompletně rekonstruována. Zahájení provozu obou trub se předpokládá v letech 2022 až 2023.

ITA-AITES bude udílet ceny

Na svých webových stránkách vyzvala ITA-AITES tunelářskou veřejnost k přihlášení významných projektů, technických a jiných inovací i příkladů mimořádného využití podzemí do soutěže, kterou vyhodnotí 19. listopadu 2015 v průzkumném pracovišti Hagerbach. Soutěž se v devíti kategoriích a přihlášky měly být zaslány do 14. srpna 2015.

Nový tunel pod kanálem u nizozemského Gentu

Část silniční dopravy jižně od tunelu Westerschelde otevřeného v roce 2003 silně narušoval most přes kanál u Gentu, který kvůli lodím byl denně zdvihán tříadvacetkrát. Problém odstranil v květnu 2015 otevřený dvourubní tunel Sluiskil délky 1145 m (resp. 1330 m vč. ramp). Razil se tunelovacím strojem v hloubce až 33 m pod hladinou v kanálu. Má vnější profil 11 m při tloušťce segmentů 45 cm. Propojky mezi troubami byly raženy konvenčně pod ochranou zmrazené zeminy.

Nový třípatrový tunel pod Bosporem?

V Istanbulu pod Bosporem je v provozu od roku 2013 železniční tunel a v roce 2017 má být otevřel tunel silniční. Zjara 2015 oznámil turecký premiér, že vláda plánuje stavbu dalšího tunelu délky 6,5 km a profilu 16,8 m. Měl by mít tři provozní úrovně, horní dvě by nesly dvoupruhové vozovky, spodní úroveň by používalo metro. Velký istanbulský tunel, jak jej premiér nazval, by měl být dokončen do pěti let.

Podzemní vysokonapěťové propojení mezi Francií a Španělkem

Nově zprovozněné 64 km dlouhé vysokonapěťové podzemní propojení rozvodných systémů mezi Francií a Španělkem zahrnuje

i 8,5 km dlouhý tunel pod Pyrenejemi, který byl ražen dvěma TBM firmou Herrenknecht.

Mimořádné požadavky na segmentové ostění

V letošním roce bude uvedena do provozu nová centrální čistírna odpadních vod v Abú Dhabí ve Spojených arabských emirátech včetně nové 41 km dlouhé kmenové stoky o průměru 5,5 m. Životnost segmentového ostění byla požadována 80 let, což byl v nepříznivých korozních podmínkách velký úkol. Horninové prostředí obklopující tunel obsahuje pětkrát více chloridů než mořská voda u pobřeží emirátu a obsah sulfátů je 5000 mg/l. Proto segmenty nemohly být konvenčně vyztuženy a vyrobeny z běžného betonu. Po řadě zkoušek bylo rozhodnuto použít rozptýlenou výztuž z ocelových drátků a síranovzdorný beton C50/60. Pojivem bylo 50 % portlandského cementu, 20 % polétavého popílku a 30 % mleté vysokopevní strusky.

Dalším protikorozním opatřením byla instalace vnitřní vystýlky tunelu fólií HDPE.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ, mila_novotny@volny.cz

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCI / NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

SWISS TUNNEL CONGRES 2015 V LUZERNU

SWISS TUNNEL CONGRES 2015 IN LUZERN

The Swiss Tunnelling Society, FGU (Fachgruppe für Untertagbau), held the traditional Swiss Tunnel Congress at the Congress and Culture Centre in Luzern from the 10th to the 12th June. The afternoon colloquium with the main topic "Design life and usability of structural parts of tunnels" was held on Wednesday the 10th June. The standard full-day conference was held on Thursday and technical excursions to underground construction sites in Switzerland were organised on Friday. The standard number of attendees at this conference reaches 800 (this year 760) and about a half of them visit the colloquium. Despite the fact that it is a national Swiss congress, about 80 foreign delegates took part in it.

Ve dnech 10. 6. až 12. 6. uspořádala švýcarská tunelářská asociace FGU (Fachgruppe für Untertagbau) v Kongresovém a kulturním centru v Luzernu tradiční švýcarskou tunelářskou konferenci (STC). Ve středu 10. června se konalo odpolední kolokvium s hlavním tématem „Životnost a použitelnost stavebních částí tunelů“. Ve čtvrtek pak proběhla standardní celodenní konference a v pátek byly organizovány odborné exkurze na podzemní stavby ve Švýcarsku. Účast na této konferenci standardně dosahuje kolem 800 návštěvníků (letos 760), kolovia se účastní vždy přibližně polovina přihlášených. Přestože jde o národní švýcarskou konferenci, zúčastnilo se jí asi 80 zahraničních delegátů. Z našeho regionu CZ/SK se zúčastnilo 6 delegátů v poměru 2/4.

Témata přednášek na konferenci – to je prostě všechno opravdu excellentních přednášek z oblasti podzemních staveb nejen ze Švýcarska, ale po jedné přednášce i z Německa, Itálie, Francie, Anglie, Nizozemska, Norska a Kanady. Kvalita přednášek je dána

velmi přísným výběrem ze strany přípravného výboru – úspěšnost přihlášených referátů pro prezentaci na konferenci se pohybuje hluboko pod 40 %. Přednáší se převážně německy, ale také anglicky a francouzsky s velmi kvalitním simultáním tlumočením v uvedených řezech. Závěr hlavního konferenčního dne představuje tradičně kulinářský zážitek – večeře v luxusním hotelu Schweizer Hof.

Zajímavé bylo srovnání STC v Luzernu s nedávno proběhnuvším WTC 2015 v Dubrovniku ze strany účastníků obou kongresů. Zcela jednoznačně po organizační stránce, ale i z hlediska kvality většiny přednášek zvítězil Luzern. Potvrdilo se rčení, že „méně a kvalitněji“ je přínosnější, než megalomanský organizovaná akce.

Odborné exkurze v třetím dni konference jsou vždy tradičně perfektně organizovány. V letošním roce byly na výběr následující stavby ve Švýcarsku:

- a) novostavba silničního obousměrného tunelu Galgenbuck pod částí města Schaffhausen;
- b) Ceneri Basistunnel – navazující bázový tunel dl. cca 16 km na jih od Gotthardského bázového tunelu;
- c) dálniční tunel – obchvat města Visp;
- d) novostavba únikové štoly obousměrného silničního tunelu Gleissbach.

Součástí obdržených materiálů pro každého účastníka konference je již tradičně perfektně knižně vázaný sborník na křídovém papíře se vsemi přednáškami včetně DVD s identickým obsahem.

Ing. VLASTIMIL HORÁK, AMBERG Engineering Brno, a. s.

SVĚTOVÝ TUNELÁŘSKÝ KONGRES WTC 2015 A 41. VALNÉ SHROMÁŽDĚNÍ ITA-AITES WORLD TUNNEL CONGRESS WTC 2015 AND 41TH ITA-AITES GENERAL ASSEMBLY

The World Tunnel Congress was held in Dubrovnik from the 22nd through to 28th May 2015. It was organised by the Croatian Tunnelling Association. The congress motto was "Promoting Tunnelling in South-East Europe Region".

PRŮBĚH KONGRESU

V pondělí 25. května byl světový kongres zahájen předsedou organizačního výboru WTC 2015 a prezidentem Chorvatské ITA Dr. Davorinem Kolićem a prezidentem ITA-AITES panem Sorenem

Eskesenem. Slavnostního zahájení se zúčastnili i představitelé Chorvatska – župan Dubrovnicko-Neretvanské župy pan Nikola Dobroslavici a primátor města Dubrovnik Dr. Andro Vlahusic. Oba ve svých projevech vyzdvihli význam této akce, stejně jako celého oboru podzemních staveb. Po krátkém kulturním programu, který zajistil folklorní soubor „Lindjo“, vystoupil Ing. Pietro Lunardi s tzv. „Muir Wood lecture“, tradiční přednáškou na počest zakladatele ITA-AITES sira Muira Wooda. Dále pokračoval prof. Thedosis Tassios s tématem o veřejných stavbách v antickém Řecku, kde zmínil i projekt Eupalinovy štoly.

Letos byla nově uvedena přednáška s názvem „Red-tie lecture“ na památku prvního prezidenta Chorvatské ITA prof. Mladena Hudece – o podzemních stavbách hovořil prof. In-Mo Lee v rámci přednášky s obrazným názvem „Krtčí sny“.

Jednání pokračovalo udělením cen nadace ITACET a dalšími klíčovými přednáškami – vystoupil Dr. Davorin Kolić, který seznámil posluchače se současnými a budoucími podzemními stavbami v Chorvatsku a regionu jihovýchodní Evropy, a pan Zdravko Antolovic, tématem jehož přednášky byly plány na využití podzemního prostoru při vývoji železniční a silniční infrastruktury v Chorvatsku.

V odpoledních hodinách, stejně jako po dva následující dny, již probíhaly přednášky rozdělené do jednotlivých sekcí:

1. Plánování a projektování tunelů a podzemních staveb
2. Mechanizované tunelování – plánované a ve výstavbě
3. Tunely ražené konvenčními metodami – plánované a ve výstavbě
4. Plavené tunely
5. Provoz a údržba tunelů a podzemních staveb
6. Vybavení tunelů a podzemních staveb
7. Požární bezpečnost tunelů a podzemních staveb
8. Inteligentní systémy, mechatronika a robotika v tunelování
9. Vývoj užívání podzemních prostor: případové studie (doprava, odpady, energie, voda, odpadní hospodářství, protipovodňová opatření, komerční a další využití)
10. Plánování a užívání podzemních prostor ve městech
11. Sekce jihovýchodní Evropa: městské tunelování v zeminách, tunelování v krasovém území
12. Rizikové analýzy a techniky pro podzemní stavitelství
13. Optimalizace nákladů a financování podzemních staveb

V úterý 26. května se uskutečnilo tzv. „Open Session“, během nějž diskutovali odborníci o možnostech využívání podzemních prostor pro získávání energie z vodních zdrojů.

Ve středu 27. května v podvečer byl kongres slavnostně ukončen. Zavítalo na něj celkem 1543 účastníků ze 71 zemí, Česká republika s 33 účastníky byla patnáctá. Celkem bylo prezentováno 390 příspěvků z 50 zemí, z naší země bylo zařazeno celkem osm příspěvků, díky kterým ČR bylo co do počtu prezentací třinácté v pořadí.

Přednášky probíhaly vždy v pěti paralelních sekcích. Všechny příspěvky jsou obsaženy v elektronickém sborníku. Účastníci obdrželi tištěný sborník rozšířených abstraktů, který má 821 stran.

41. valné shromáždění

Jako součást kongresu se konalo i 41. valné shromáždění, kterého se zúčastnilo 57 ze 73 zástupců členských asociací.

První část valného shromáždění se konala v neděli 24. května. Přítomní byli seznámeni se zprávou o činnosti výkonného výboru ITA-AITES, byli představeni dva noví členové asociace – Guatema a Qatar. Následovala zpráva auditora o výsledku hospodaření asociace. Potom účastníci z jednotlivých členských zemí představovali své aktivity, za Českou republiku zazněla informace o připravované konferenci PS 2016.

Valné shromáždění pokračovalo informací o činnosti sesterských organizací a zprávou o hospodaření za období 2014–2015. Na konec jednání prvního dne byli představeni kandidáti na konání WTC 2018 – Indie a Spojené arabské emiráty.

Ve středu se konala druhá část valného shromáždění. Jednotlivé pracovní skupiny podaly zprávy o své činnosti, zástupci přípravných výborů WTC 2016 (v San Francisco, USA) a 2017 (v norském Bergenu) informovali o stavu přípravy budoucích kongresů. Byl schválen rozpočet na další období a nakonec proběhla volba místa konání WTC 2018. Z 51 přítomných delegátů a 3 korespondenčních hlasů jich bylo 29 pro Dubaj a 22 pro Dilí. Poté vystoupila viceprezidentka tunelářské asociace Spojených arabských emirátů, poděkovala za zvolení a pozvala všechny přítomné na WTC 2018.

Ceny ITA-AITES 2015

V letošním roce byla kvůli potřebě růstu infrastruktury, požadavkům na lepší využití prostor i zdrojů a identifikování mimorádných projektů v oblasti podzemních staveb založena soutěž „Ceny ITA-AITES“. Probíhá v devíti kategoriích:

1. Velký projekt roku (přes 500 mil. €);
2. Tunelový projekt roku (50–500 mil. €);
3. Mimořádný projekt roku (do 50 mil. €);
4. Modernizace, inovace roku;
5. Technická inovace roku;
6. Ekologická iniciativa (využití podzemí pro zlepšení životního prostředí);
7. Bezpečnostní iniciativa;
8. Inovativní využití podzemního prostoru;
9. Mladý tunelář roku.

Více informací lze nalézt na webových stránkách soutěže <https://awards.ita-aites.org/>.

*Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D., pruskova@ita-aites.cz,
CzTA ITA-AITES, z. s.*

AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICE CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION

ČESKÁ REPUBLIKA

MODERNIZACE TRATI ROKYCANY – PLZEŇ

Po zahájení ražeb v únoru letošního roku pokračovala ražba jižního Ejpovického tunelu během jarních měsíců v úseku, který byl ve známení nízkého nadloží, vysoké nestability čelby a značných přítoků podzemní vody. S postupující ražbou se geologické podmínky ovšem začaly měnit. Silně zvětralé břidlice postupně ustupovaly z profilu raženého tunelu a byly čím dál větší měrou nahrazovány břidlicemi zdravými, lokálně i prachovci. Zlepšené geologické prostředí tak umožnilo zeminovému štítu S-799 přechod do režimu bez podpory čelby, což se okamžitě promítlo i do zvýšení rychlosti ražeb. Zatímco

THE CZECH REPUBLIC

MODERNISATION OF ROKYCANY – PLZEŇ RAILWAY TRACK SECTION

After the commencement of driving the tunnel in February 2015, the excavation of the southern Ejpovice tunnel tube continued during spring months in a section which was in token of low overburden, the high instability of the excavation face and significant groundwater inflows. But with the excavation advancing, the geological conditions started to change. The heavily weathered shale gradually retreated from the mined tunnel profile and was increasingly being replaced with fresh shale, locally even

ke konci března 2015 bylo vyraženo 178 m, ke konci června je to již 1270 m. Během června bylo dosaženo i doposud nejlepšího denního výkonu o hodnotě 32 m.

DÁLnice D8 – 0805 LOVOSICE – ŘEHLOVICE

V tunelu Prackovice je dokončen sjednocující a ochranný nátěr vrchlíku horní klenby a epoxidový nátěr odrazné vrstvy definitivního betonového ostění tunelu. Stavebně je dokončen objekt odvodnění tunelu a jsou provedeny i kamerové a tlakové zkoušky potrubí odvodnění.

Zhotovitel předložil objednateli koncept dokumentu Změny během výstavby zabezpečovacích a sanačních prací, přičemž v rámci nezbytných zabezpečovacích prací byl zhotoven přítěžující a stabilizační násyp v patě zárubní zdi.

V tunelu Radejčín jsou dokončeny stavební části provozně-technického objektu a byly zahájeny práce na části elektroinstalace a na části vzdutotechnika. Je dokončen sjednocující a ochranný nátěr vrchlíku horní klenby definitivního ostění tunelu. Provádí se betonáž chodníků, montáž chrániček, dokončuje se výpustní objekt a potrubní řád od zásobovací nádrže.

Tak jako v tunelu Prackovice, tak i v tunelu Radejčín byly zahájeny práce na realizaci technologického vybavení tunelu, a to konkrétně na provozních souborech osvětlení v tunelu, servisní telefonní síť, napájení elektrickou energií, kabelové rozvody v tunelu a dieselagregát.

*Ing. BORIS ŠEBESTA, sebesta@metrostav.cz,
Metrostav a. s.*

PRŮZKUMNÁ ŠTOLA PRO RADLICKOU RADIÁLU JIHOZÁPADNÍ MĚSTO – SMÍCHOV (STAV K 10. 7. 2015)

Na stavbě průzkumné štoly pro Radlickou radiálu (obr. 1) bylo k 10. 7. vyraženo 560 m včetně třetí výhybny, tj. do vzdálenosti cca 50 m před signalizovanou geologickou poruchou. Z důvodů předpokládaných krasových jevů se provádějí v intervalu dvacet metrů průzkumné jádrové vrty profilu 80 mm a délky 20 m. Neprodleně po dokončení každého vrtu se provede jeho geofyzikální vyhodnocení, na jehož základě je určena technologická třída a stanoven další postup na ražbě. V současné době probíhá ražba v technologické třídě TT3 a TT4. Souběžně s ražbou štoly probíhají průzkumné práce na povrchu v rozsahu celé trasy plánované Radlické radiály.

*Ing. JAN VINTERA, JVintera@subterra.cz,
Subterra a.s.*

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

TUNEL ŠIBENIK

Na stavbe diaľničného tunela Šibenik dĺžky 588 m bolo dokončené betónovanie sekundárneho ostenia. V súčasnosti sú vykonávané dokončovacie práce a montáž technologických celkov. Tunel Šibenik bude súčasťou úseku diaľnice D1 Jánovce – Jablonov celkovej dĺžky 9,5 km. Zhotoviteľom stavby je združenie Eurovia SK, a. s., Eurovia CS, a. s.,



Obr. 1 Průzkumná štola pro Radlickou radiálu
Fig. 1 Exploratory gallery for Radlice radial road

siltstone. The improved geological environment allowed for changing the S-799 TBM to the open-face regime. This fact immediately reflected itself into the increased excavation advance rate. Whilst 178m of the excavation was completed before the end of March 2015, the length completed before the end of June already amounts to 1270m. The till now highest daily excavation advance rate of 32m was reached during June.

D8 MOTORWAY – CONSTRUCTION LOT 805: LOVOSICE–ŘEHLOVICE

The unifying and protective coating of the upper vault crown and the epoxy coating of the reflective layer of the tunnel concrete final lining has been finished in the Prackovice tunnel. The tunnel drainage object is structurally complete and camera inspection and pressure testing of the drainage pipelines have been finished.

The contractor submitted to the client a concept of the document titled Changes during the construction regarding securing and rehabilitation work. A surcharging and stabilising embankment was carried out at the foot of the revetment wall.

As far as the Radejčín tunnel is concerned, the services building is structurally complete and the work started on the ventilation part of the electrical installations. The unifying and protective coating of the upper vault crown has been finished. The casting of concrete walkways and the installation of protective pipes is underway. The outlet structure and the pipeline from the water feed reservoir are being completed.

As is the case with the Prackovice tunnel, the work on the installation of tunnel equipment, concretely on the tunnel lighting, the service telephone network, the supply of electrical energy, the cable distribution in the tunnel and the diesel generating set commenced in the Radejčín tunnel.

*Ing. BORIS ŠEBESTA, sebesta@metrostav.cz,
Metrostav a. s.*

EXPLORATORY GALLERY FOR THE RADLICE RADIAL ROAD BETWEEN SOUTH-WESTERN SATELLITE TOWN AND SMÍCHOV (THE STATE AS OF 10/07/2015)

The length of 560m of the excavation was completed as of 10/07, including the third passing bay, i.e. up to the distance of ca 50m before the signalled geological failure (see Fig. 1). Exploratory boreholes 80mm in diameter and 20m long are being carried out at 20m intervals because of the anticipated karst phenomena. Each borehole is geophysically assessed immediately after the completion and the excavation support class and subsequent procedure are determined on the basis of the survey results. At the moment, the gallery is being driven through excavation support classes TT3 and TT4. Exploratory operations on the surface are performed within the entire planned Radlice radial road scope concurrently with the gallery excavation.

Ing. JAN VINTERA, JVintera@subterra.cz, Subterra a.s.

THE SLOVAK REPUBLIC ŠIBENIK TUNNEL

The casting of the concrete secondary lining was finished at the 588m long Šibenik tunnel construction site. At the moment, finishing work and installation of equipment complexes is underway. The Šibenik tunnel will be part of the 9.5km long Jánovce – Jablonov section of the D1 motorway. The contractor is a consortium consisting of Eurovia SK, a. s., Eurovia CS, a. s., and Stavby mostov Slovakia, a. s. The construction completion is planned for 2015.

Stavby mostov Slovakia, a. s. Ukončenie stavby a uvedenie diaľičného úseku do prevádzky sa predpokladá v roku 2015.

TUNELY POŁANA A SVRČINOVEC

Na stavbe úseku diaľnice D3 Svrčinovec – Skalité súčasťou stavby sú aj tunely Połana (890 m) a Svrčinovec (445 m). V súčasnosti je na tuneli Połana vyrazených 801 m kaloty, 748 m lavice a 368 m dna v pravej tunelovej rúre (PTR). Na ľavej tunelovej rúre (LTR) sa už dokončilo razenie. Razenie sa realizuje od západného portálu. Na východnom portáli prebieha práce na zárubnom múre. Sú ukončené práce na únikových cestách 1, 2 a 3. V tuneli Svrčinovec je v súčasnosti vyrazených 183 m v kalote, 170 m v lavici a 130 m dna od západného portálu na LTR. Na PTR sa už ukončili raziacie práce. Východný portál je dokončený, prebieha príprava na betonáz sekundárneho ostenia. Výstavbu úseku zabezpečuje združenie štyroch spoločností: Váhostav – SK, a. s., Doprastav, a. s., Strabag, a. s., a Metrostav SK, a. s.

TUNELY OVČIARSKO A ŽILINA

Na úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka súčasťou stavby sú dva tunely: Ovčiarsko (2367 m) a Žilina (651 m). Na tuneli Ovčiarsko prebieha razenie zo západného portálu, kde v severnej tunelovej rúre je vyrazených 1130 m v kalote a v južnej tunelovej rúre 1020 m v kalote. Na východnom portáli začalo samotné razenie. V severnej tunelovej rúre je vyrazených 105 m v kalote a v južnej tunelovej rúre 45 m v kalote. V tuneli Žilina prebieha razenie od západného portálu. V súčasnosti je vyrazených 95 m. Na východnom portáli prebieha zaistovanie portálovej steny. Stavbu realizuje združenie Doprastav, a. s., Váhostav – SK, a. s., Strabag, a. s. a Metrostav SK, a. s.

TUNEL ČEBRÁT

Na úseku D1 Hubová – Ivachnová, ktorej súčasťou je tunel Čebráť (1994 m), v súčasnosti prebieha razenie od východného portálu. V severnej tunelovej rúre je vyrazených 150 m a v južnej tunelovej rúre 150 m. V súčasnosti sú práce na tuneli pozastavené. Zhotoviteľom stavby je združenie spoločností OHL ŽS, a. s., a Váhostav – SK, a. s.

TUNEL POVAŽSKÝ CHLMEC

Na tunelu Považský Chlmec v súčasnosti prebieha razenie zo stredovej stavebnej jamy na obe strany v oboch rúrach. K 22. 8. 2015 je v severnej tunelovej rúre v kalote vyrazených 186 m smerom k východnému a 404 m smerom k západnému portálu. V kalote južnej tunelovej rúre je vyrazených 355 m smerom k východnému a 570 m smerom k západnému portálu. Kalota južnej rúry bola prerazená v TM 527 (obr. 2). Razenie prebieha aj od západného portálu. Je vyrazených 535 m v severnej tunelovej rúre a 515 m v južnej tunelovej rúre. Zhotoviteľom stavby je združenie Eurovia a. s., HOCHTIEF CZ a. s. a Stavby mostov Slovakia, a. s.

TUNEL VIŠŇOVÉ

S výstavbou tunela Višňové (7500 m), ktorý je súčasťou úseku D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala, sa začalo dňa 27. 6. 2014.



foto/photo courtesy of Mgr. Jiří Zmitk

Obr. 2 Prorážka JTT tunelu Považský Chlmec

Fig. 2 The breakthrough of the Považský Chlmec tunnel in the STT

POŁANA AND SVRČINOVEC TUNNELS

The Połana tunnel (890 m) and Svrčinovec tunnel (445 m) are parts of the Svrčinovec – Skalité section of the D3 motorway construction. Currently 801m of top heading, 748m of bench and 368m of the bottom excavation is finished in the right-hand tunnel tube (RTT) of the Połana tunnel. The excavation of the left-hand tunnel tube has already been completed. The tunnel excavation proceeds from the western portal. At the eastern portal, the work on the revetment wall is underway. The work on escape routes No. 1, 2 and 3 is finished. In the Svrčinovec tunnel, 183m of top heading, 170m of bench and 130m of the bottom has been finished from the western portal in the LTT till now. The tunnel excavation in the RTT has been finished. The eastern portal has been completed and the casting of the concrete secondary lining is under preparation. The construction of this section is provided by a consortium consisting of the following four companies: Váhostav – SK, a. s., Doprastav, a. s., Strabag, a. s., and Metrostav SK, a. s.

OVČIARSKO AND ŽILINA TUNNELS

In the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway there are two tunnels: the Ovčiarsko tunnel (2367 m) and the Žilina tunnel (651 m). In the Ovčiarisko tunnel, the excavation proceeds from the western portal, with 1130m and 1020m of top heading excavation finished in the northern and southern tunnel tubes, respectively. The excavation itself commenced at the eastern portal. In the northern and southern tunnel tubes, 105m and 45m of top heading have been finished, respectively. In the Žilina tunnel, the tunnel excavation proceeds from the western portal. At the moment, 95m of the excavation have been completed. At the eastern portal, the stabilisation of the portal wall is underway. The construction is provided by a consortium consisting of Doprastav, a. s., Váhostav – SK, a. s., Strabag, a. s. and Metrostav SK, a. s.

ČEBRÁT TUNNEL

In the Hubová – Ivachnová section of the D1 motorway, a part of which is the Čebráť tunnel (1994 m), the tunnel excavation currently proceeds from the eastern portal. The lengths of 150m and 150m of the excavation have been completed in the northern tunnel tube and southern tunnel tube, respectively. At the moment the operations in the tunnel are suspended. The contractor is a consortium consisting of OHL ŽS, a. s., and Váhostav – SK, a. s.

POVAŽSKÝ CHLMEC TUNNEL

At the moment, the tunnel excavation proceeds from the mid-point portal in both directions, in both tunnel tubes. The top heading excavation has been finished at the lengths of 404m and 186m in the northern tunnel tube, respectively, and 570m and 355m in the southern tunnel tube, respectively. The breakthrough of the topheading in the southern tunnel tube was in TM 527 (see Fig. 2). The excavation proceeds even from the western portal. The excavation lengths of 535m and 515m have been completed in the northern and southern tunnel tubes, respectively. The contractor is a consortium consisting of Eurovia a. s., HOCHTIEF CZ a. s. and Stavby mostov Slovakia, a. s.

VIŠŇOVÉ TUNNEL

The construction of the Višňové tunnel (7500 m), which is part of the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway, commenced on 27/06/2014. At present, the tunnel excavation proceeds from the western portal. The excavation lengths of 153m and 21m have been finished in the northern tunnel tube and the southern tunnel tube, respectively. The excavati-

V súčasnosti prebieha razenie od západného portálu na severnej tunelovej rúre 153 m a južnej tunelovej rúre 21 m. Razenie od východného portálu prebieha len na severnej tunelovej rúre. V súčasnosti je vyrazených 122 m. Zhotoviteľom úseku je združenie firiem Salini Impregilo S. p. A a Dúha, a. s.

Ing. MILAN MAJERČÍK, milan.majercik@ndas.sk, NDS, a. s.

on from the eastern portal is underway only in the northern tunnel tube. Currently the excavation length of 122m has been completed. The contractor for the section is a consortium consisting of Salini Impregilo S. p. A and Dúha, a. s.

Ing. MILAN MAJERČÍK, milan.majercik@ndas.sk, NDS, a. s.

VÝROČÍ / ANNIVERSARIES

ŽIVOTNÍ JUBILEUM INC. JIŘÍHO POKORNÉHO ING. JIŘÍ POKORNÝ BIRTH ANNIVERSARY

Ing. Jiří Pokorný se narodil 29. 7. 1940. Po absolvování Stavební fakulty Českého vysokého učení technického, obor konstrukce a doprava pracoval od roku 1966 na mnoha kolejových dopravních stavbách ve firmě Stavby silnic a železnic. Po šesti letech přešel do investorské složky Českých drah Správy přestavby železničního uzlu Praha, kde pracoval na železničních stavbách včetně tunelu pod Bílou skálou v Praze.

V roce 1979 nastoupil do projektové organizace DP METROPROJEKT do funkce hlavního inženýra projektu stavby metra, trasy B. V roce 1990 byla pod jeho vedením úspěšně zkolaudována a otevřena pro provoz s cestujícími trasa metra II.B. Po roce 1989 Metroprojekt vystoupil z organizační struktury Dopravního podniku hl. m. Prahy a na krátkou dobu se stal státním podnikem. V období privatizace se stala majitelem Metroprojektu firma Cimex z Karlových Varů. Od roku 1992 se METROPROJEKT Praha stal akciovou společností a je významnou dceřinou společnosti SUDOP GROUP a. s. V pozici generálního ředitele zde Ing. Jiří Pokorný působil od roku 1996 do roku 2010. Za jeho vedení v této složité době se akciová společnost stala významným projektantem městské hromadné dopravy a rozšířila spektrum své činnosti i na různé pozemní stavby. Ve společnosti došlo k změnám v reakci na nové ekonomické podmínky. Od roku 1996 Ing. Pokorný zastává funkci předsedy představenstva a. s. až do dnešních dnů. Využívá svých bohatých zkušeností k dalšímu rozvoji společnosti.

Když se ohlédneme zpět na jeho téměř padesáti leté působení v oblasti projektové přípravy staveb, zejména dopravních staveb, musíme zmínit projekty tras metra v Praze, rekonstrukce úseků evropských železničních koridorů, modernizace tramvajových tratí, stavby dálničních a železničních tunelů. Uvedme zde i projekty řady pozemních staveb, Aquapark v Čestlicích, rekonstrukce NK v Klementinu, rekonstrukce budovy Českého rozhlasu Praha na Vinohradech, budovy železniční stanice Praha hlavní nádraží a mnoha dalších staveb.

Významné životní jubileum zastihuje Ing. Jiřího Pokorného v plné tvůrčí síle. Je mi potěšením, že mohu jménem všech spolupracovníků a vás čtenářů časopisu Tunel popřát našemu oslavenci pevné zdraví a hodně energie do dalších let.

Ing. MIROSLAV NOVÁK



Ing. Jiří Pokorný was born on the 29th July 1940. After graduating from the Faculty of Civil Engineering, the Department of Civil Engineering and Traffic Structures, of the Czech Technical University in Prague with a degree in civil engineering, he worked from 1966 with Stavby Silnic a Železnic (a road and railway construction company) on numerous railway construction projects. After six years he transferred to the investment component of the Czech Railways, the Prague Rail Junction Redevelopment Administration, where he worked on railway construction projects, including the tunnel through Bílá Skála rock in Prague.

In 1979, he entered DP METROPROJEKT, a designing office, in the position of the chief design engineer responsible for the Metro Line B. In 1990, the Metro Line II.B successfully passed the final inspection and went to passenger service under his leadership. After 1989, Metroprojekt got out of the organisational structure of the Prague Public Transit Company Inc. to become a state-owned company for a short time. In the privatisation period, Cimex, a Karlovy Vary-based company, became the owner of Metroprojekt. In 1992, METROPROJEKT Praha became a share-holding company and became an important daughter company of SUDOP GROUP a. s. Ing. Jiří Pokorný worked there in the position of the general director from 1996 to 2010. Under his leadership, during this complicated period of time, the joint-venture company became an important designer for urban mass transit projects and broadened the spectrum of its activities by adding buildings to it. Changes in the response to new economic conditions took place in the company. From 1996 till now, Ing. Pokorný has held the position of the chairman of the Board of Directors. He has used the wealth of his experience on behalf of the further development of the company.

If we look back at his nearly fifty-year work in the field of the design preparation of construction projects, first and foremost transport-related ones, we must mention designs for Metro lines in Prague, the reconstruction of sections of European railway corridors, modernisation of tramway tracks, construction of motorway and railway tunnels etc. Let us mention even the designs for numerous buildings, Aquapark in Čestlice, reconstruction of the National Library at Clementinum, reconstruction to the Czech Radio Prague building in Vinohrady, the building of the Prague Main Railway Station and many other projects.

The significant anniversary has caught Ing. Jiří Pokorný in the full creative strength. It is a great pleasure for me to wish him on behalf of all collaborators and you, TUNEL journal readers, good health and lots of energy in the years to come.

ING. MIROSLAV NOVÁK

ŠESŤDESIATE NARODENINY ING. PAVLA KUSÉHO, CSc. SIXTIETH ANNIVERSARY OF ING. PAVOL KUSÝ, CSc.

V auguste tohto roku si pripomíname šestdesiate narodeniny nášho dlhorčného spolupracovníka a priateľa, Ing. Pavla Kusého, CSc., odborníka v oblasti geotechniky a tunelov, vysokoškolského pedagóga a v neposlednom rade aktívneho funkcionára Slovenskej tunelárskej asociácie.

Pavol Kusý sa narodil 5. augusta 1955 v Nových Zámkoch. Vyštudoval odbor konštrukcie a dopravné stavby na Stavebnej fakulte Slovenskej vysokej školy technickej v Bratislave, ktorý ukončil v roku 1978. Po ukončení štúdia pokračoval internou aspirantúrou na katedre geotechniky, kde neskôr, pôsobil ako vedecko-výskumný a pedagogický pracovník až do roku 1992. V osemdesiatych rokoch sa v Bratislave rozbiehala projektová príprava bratislavskej rýchlodráhy, na ktorej sa spolu s kolegami z katedry podieľal mnohými expertízami a posudkami. V tomto období absolvoval aj niekoľko stáží a kurzov v zahraničí, vrátane ročnej stáže na univerzite Bochum a trojmesačnej stáže na univerzite Braunschweig vo vtedajšom západnom Nemecku. Tieto pobytu mu otvorili dvere k modernému tunelárstvu a naviac mu dopomohli k vynikajúcej znalosti nemčiny, ktorú neskôr intenzívne využíval v kontakte s tunelárskymi odborníkmi z nemecky hovoriacich krajin.

Po roku 1989 zastával funkciu prodekanu Stavebnej fakulty STU Bratislava pre vedecko-výskumnú činnosť a zahraničné styky a následne, od roku 1991, funkciu vedúceho katedry geotechniky. So školou zostal v úzkom spojení aj počas ďalších dekad, keď bol členom vedeckej rady Stavebnej fakulty, prednášal na postgraduálnych kurzoch, či pôsobil v štátnicových komisiách.

V prvej polovici deväťdesiatych rokov minulého storočia sa na Slovensku začali črtať plány na intenzívnu výstavbu diaľničnej siete vrátane úsekov s mnohými tunelmi. Nevelký počet slovenských odborníkov v oblasti tunelárstva, a Pavol Kusý bol prirodzene medzi nimi, sa v tom čase koncentroval okolo firiem s ambíciou podieľať sa na výstavbe tunelov. V rokoch 1993–1996 pôsobil ako riaditeľ v Prvej slovenskej tunelárskej, a. s., Bratislava, ktorá bola spoločným podnikom Váhostav Žilina a Banských stavieb Prievidza. Počas tohto obdobia sa podieľal na príprave prieskumných štôlní pre tunely Branisko a Ovčiarisko, ako aj na tvorbe viacerých expertíznych dokumentov a technických predpisov pre navrhovanie cestných tunelov.

V období od roku 1997 až do roku 2013 pracoval Pavol Kusý ako riaditeľ a neskôr aj predseda predstavenstva spoločnosti Terraprojekt a. s., Bratislava, ktorá sa stala projektantom diaľničného tunela Branisko. Vo veľmi zaujímavom a profesionálne náročnom období výstavby prvého moderného slovenského tunela pôsobil výrazne integrujúco v tíme zloženom z rakúskych, českých a slovenských odborníkov. Počas 16 rokov svojho pôsobenia v Terraprojekte sa aktívne zúčastnil projektovej prípravy a výstavby viacerých veľkých stavieb. Okrem už spomenutého Braniska to boli napríklad diaľničný tunel Sitina a protipovodňová ochrana Bratislavu, stavby oceňované laickou aj odbornou verejnoscou, čoho dôkazom sú ich výsledky v súťaži Stavba roku.

Popri pracovných aktivitách je potrebné spomenúť aj jeho aktivity v profesných organizáciach. Od vzniku Slovenskej tunelárskej asociácie v roku 1993 pôsobil v jej výbere, v období rokov 1999 až 2003 ju viedol ako prezident. V rokoch 1993 až 1999 bol jedným zo slovenských členov redakčnej rady časopisu Tunel. Prirodzenou



This year, in August, we will commemorate the sixtieth anniversary of birth of Ing. Pavol Kusý, CSc., our long-standing collaborator and friend, expert in the field of geotechnics and tunnels, university teacher and, at last but not least, an active member of the Slovak Tunnelling Association.

Pavol Kusý was born on the 5th August 1955 in Nové Zámky. He graduated from the Slovak Technical University in Bratislava with a degree in civil engineering from the Department of Civil Engineering and Traffic Structures in 1978. After the graduation he continued in the form of internal postgraduate study at the Department of Geotechnics, where he later worked in the position of a scientific-research and pedagogical worker until 1992. In the 1970s, the design preparation for the Bratislava speed rail project commenced and he, together with colleagues from the Department, participated in it by many expertises and assessments. During this period, he passed several fellowships and courses, including a one-year fellowship at the Bochum University and a three-month fellowship at the Braunschweig University in former West Germany. These stays not only opened the door for him to the modern tunnelling, but also helped him to the excellent knowledge of German. He intensely used it in contact with tunnelling professionals from German speaking countries.

After 1989 he held the position of the Associate Dean of the Faculty of Civil Engineering of the Slovak Technical University in Bratislava for scientific-research activities and foreign affairs and, subsequently from 1991, the position of the chief of the Department of Geotechnics. He remained in close contact with the university even during subsequent decades when he was a member of the Scientific Council of the Faculty of Civil Engineering, lectured at postgraduate courses or worked in final examination committees.

In the first half of the 1990s, plans began to be outlined in Slovakia regarding the intense development of the motorway network including numerous tunnels. The not large number of Slovakian professionals in the field of tunnel construction, with Pavol Kusý naturally among them, were concentrated around companies having the ambition of participating in the development of tunnels. In 1993-1996 he worked in the position of the director of Prvá Slovenská tunelárska, a. s., which was a joint venture of Váhostav Žilina and Banské Stavby Prievidza. During this period he participated in the preparation of exploratory galleries for the Branisko and Ovčiarisko tunnels and in the preparation of several expertise documents and technical regulations for designing road tunnels.

During the 1997 – 2013 period, Pavol Kusý worked in the position of the director and, later, the chairman of the Board of Directors of Terraprojekt a. s., Bratislava, which became the designer for the Branisko motorway tunnel. During the very interesting and professionally demanding period of the construction of the first modern Slovak tunnel he acted as a highly integrating element in the team consisting of Austrian, Czech and Slovak professionals. During the 16 years of his work for Terraprojekt, he was active in designing stages and the construction of a number of large construction projects. Apart from the above-mentioned Branisko tunnel, he participated in the construction of the Sitina motorway tunnel and the flood defence of Bratislava, which are projects appreciated by both the lay and professional public. Results in the competition Construction of the Year prove it.

In addition to his working activities, it is necessary to remember his activities in professional organisations. From the origination of the Slovak Tunnelling Association in 1993, he worked in its Board and, in the 1999 – 2003 period led it in the position of the President. In 1993 through to 1999 he was one of Slovak members of the Editorial Board of TUNEL journal. The participation in the organi-

súčasťou jeho profesného životopisu je aj aktívna účasť na organizácii viacerých slovenských i českých tunelárskych konferencií, vrátane v súčasnosti pripravovanej konferencie Tunely a podzemné stavby 2015 v Žiline.

Aj keď svoje pracovné aktivity v poslednom období utlmil, zostáva so svojimi bývalými kolegami v kontakte. Vždy ho radi medzi nami privítame, či už na pôde Terraprojektu alebo Slovenskej tunelárskej asociácie a veríme, že sa ešte budeme dlho stretnať pri odborných či spoločenských príležitostach.

V mene výboru Slovenskej tunelárskej asociácie želám Pavlovi Kusému do ďalšieho životného obdobia veľa zdravia, entuziazmu, pohody a slnečných dní.

**Ing. MIOSLAV FRANKOVSKÝ,
frankovsky@terraprojekt.sk, Terraprojekt, a. s.**

sation of numerous Slovak and Czech tunnelling conferences, including the Tunnels and Underground Construction 2015 in conference Žilina which is currently under preparation, is a natural part of his professional career.

Even though he has recently dampened his working activities, he has remained in contact with his past colleagues. We will always be happy to welcome him in Terraprojekt or at the Slovak Tunnelling Association. We believe that we will meet him for a long time at professional or social events.

I wish Pavol Kusý on behalf of the Slovak Tunnelling Association Board good health, enthusiasm, well-being and sunny days for the future period of life.

**Ing. MIOSLAV FRANKOVSKÝ,
frankovsky@terraprojekt.sk, Terraprojekt, a. s.**

SPOMIENKA NA ING. MIKULÁŠA PÁKHA MEMORY OF ING. MIKULÁŠ PÁKH

V prvom júlovom týždni tunelársku verejnosť zastihla smutná správa o odchode zanieteného a vždy optimistického priateľa a spolupracovníka Ing. Mikuláša Pákh. Jeho tunelárske srdce dobito 2. júla 2015.

Miky, ako sme ho všetci familiarne volali, bol neobyčajne húževnatý bojovník za spravodlivé a odborné usporiadanie technických a aj obchodných záležitostí pri každej aktivite, na ktorú sa podujal.

Skutočným tajomstvom jeho odborných a riadiacich úspechov bol entuziasmus – nadšenie, akým sa vedel zapáliť pre daný problém, a neoblomná viera v zdarný koniec. Bol nielen spolupracovníkom, ale najmä dobrým priateľom, s ktorým stretnutia a rozhovory vždy vzájomne obohacovali.

Ing. Mikuláš Pákh sa narodil 4. 2. 1942 v Ružomberku. Gymnázium vychodil v Bratislave na Tehelnom poli. Po matuře pokračoval v rokoch 1959 až 1964 štúdiom na Slovenskej vysokej škole technickej v Bratislave, odbor inžinierske konštrukcie a dopravné stavby. Od začiatku štúdia bol prirodzeným vedúcim krúžku a vždy sa staral aj o študijné napredovanie ostatných spolužiakov ako aj spoločensko športové výzitie. Bol vásnívny lyžiarom, ktorý s obľubou hľadal „čierne“ zjazdovky a obávaným súperom v tenise.

Po ukončení štúdia nastúpil v roku 1964 do štátneho podniku Hydrostav Bratislava, kde začalo jeho dlhoročné pôsobenie v československom stavebnictve. Tu prešiel všetkými funkiami od stavbyvedúceho až po najvyššie riadiace funkcie. Pôsobil na najnáročnejších stavbách ako ropovody, výstavba Rafinérie Slovnaft v Bratislave, občianskej a bytovej výstavby. Počas výstavby a uvedenia do prevádzky sústavy vodných diel Gabčíkovo-Nagymaros, v tom čase najväčšej stavby v celom Československu, zastával náročnú funkciu výrobného riaditeľa.

Po zmenách vo vedení Hydrostavu v roku 1996 prešiel do spoločnosti Doprastav Bratislava, kde našiel svoj druhý stavbársky domov. Až do roku 2003 zastával pozíciu asistenta obchodno-technického riaditeľa a neskôr vedúceho odboru.

Pracoval na realizácii diaľničného programu v danom časovom období a významne prispel k zavedeniu tunelových stavieb



In the first week of July, the tunnelling public was caught by sad news about the departure of an ardent and always optimistic friend and colleague, Ing. Mikuláš Pákh. His tunnelling heart stopped beating on the 2nd July 2015.

Miky, as we all familiarly called him, was an unusually tenacious fighter for equitable and professional arrangement of technical and commercial matters at each activity he set about.

The real secret of his professional and managerial success lied in enthusiasm owing to which he was able to get excited for a particular problem and his unbreakable faith in a successful end. He was not only a collaborator but first of all a good friend the meetings and discussions with whom were always mutually enriching.

Ing. Mikuláš Pákh was born on the 4th February 1942 in Ružomberok. He completed high school in the Tehelné Pole district of Bratislava. After passing the leaving examination, in 1959 – 1964, he continued to study at the Slovak Technical University in Bratislava, the Department of Civil Engineering and Traffic Structures. He was a natural leader of the study group from the beginning of the studies and was always concerned with the study success of other schoolmates as well as the social-sporting enjoyment. He was a passionate skier, who liked to select “black” slopes, and was a feared competitor in tennis.

After completing his studies, in 1964, he entered the state-owned company of Hydrostav Bratislava, where his long-term activities in the Czechoslovak construction industry started. He passed through all positions, from a site agent up to the highest managerial functions. He worked on most demanding construction projects, such as crude oil pipelines, the development of Slovnaft Refinery in Bratislava or civic and residential construction. He was in the position of the operations director during the construction and bringing into service the Gabčíkovo-Nagymaros system of hydraulic structures, which was at that time the largest construction project in the whole Czechoslovakia.

After changes in Hydrostav management in 1996, he passed to Doprastav Bratislava, where he found his second civil engineer's home. He was in the position of commercial-technological director assistant until 2003, later in the position of a chief of department.

He worked on the implementation of a motorway development programme in the particular period of time and significantly contributed to the incorporation of tunnel structures into Doprastav production program. We all can remember his unbreakable belief that all technical complications encountered during the realisation of the 7.5km long exploratory gallery for the Višňové tunnel (1998–2002) would be coped with.

vo výrobnom programe Doprastavu. Všetci si pamätáme jeho neoblomnú vieru vo vyriešenie všetkých technických komplikácií pri realizácii 7,5 km dlhej prieskumnej štôlne tunela Višňové (1998–2002).

V rokoch 2004–2005 pôsobil vo funkcií asistenta predsedu predstavenstva DPS a. s. a neskôr asistenta člena predstavenstva DDM Group. Tu veľkým dielom prispel k úspešnej spolupráci medzi podnikmi Doprastav a Metrostav.

Od roku 2007 pôsobil v organizačnej zložke Doprastavu Praha, kde zastával do roku 2010 funkciu riaditeľa. Pod jeho vedením sa podieľali tunelári Doprastavu na stavbách tunela Blanka a výstavby metra trasy V.A. Aktívne sa angažoval pri prvom nasadení raziaceho stroja TBM v Čechách. Aj po odchode z riaditeľskej funkcie pracoval ako expert pre podzemné stavby, kde našli uplatnenie jeho praktické skúsenosti a ľudský prístup.

Ing. Mikuláš Pákh mal svoje stavbárske remeslo nesmierne rád a o svoje bohaté skúsenosti z výstavby náročných podzemných stavieb sa nezíštie delil so spolupracovníkmi, najmä však s mladšími kolegami, ktorým bol mnohokrát dobrým tútorom.

Aj popri náročných pracovných povinnostiach významne prispel k zveľaďeniu Slovenskej tunelárskej asociácie, a to aj na medzinárodnom fóre. V rokoch 2003 až 2014 aktívne pôsobil vo výbere STA. Zúčastnil sa na organizácii Svetového tunelárskeho kongresu v Prahe 2007 a viacerých konferencií Podzemnej stavby Praha.

I keď sa v mu v posledných rokoch do života priplietli zdravotné komplikácie, nevzdával sa a stále sa živo zaujímal o výstavbu tunelov, ktorá sa na Slovensku konečne po desaťročiach príprav a odkladov rozbehla.

Tí, ktorí mali možnosť dlhodobo poznáť Ing. Mikuláša Pákhu, budú stále spomínať na jeho chut' do života, dlhé rozhovory a najmä priateľstvo.

Slovenská tunelárska asociácia v osobe Ing. Mikuláša Pákhova stráca jedného z mimoriadne aktívnych funkcionárov, ktorému vďačí za všetko, čím prispel k napĺňaniu jej poslania.

Miky, navždy zostaneš v našich srdciach – čest' Tvojej pamiatke.

Ing. JURAJ KELEŠI, Ing. VIKTÓRIA CHOMOVÁ

From 2004 to 2005 he worked in the position of the assistant to the chairman of the DPS a. s. Board of Directors and later in the position of the assistant member of the DDM Group Board of Directors. In this position he significantly contributed to the successful cooperation between Doprastav and Metrostav.

From 2007 he worked in the organisation branch, Doprastav Prague, where he was in the position of the director until 2010. Doprastav tunellers participated in the construction of the Blanka complex of tunnels and the metro Line A extension V.A. He actively engaged himself at the first application of a TBM tunnelling machine in Czechia. He worked in the field of underground construction even after the end of the work in the directorships position as an expert, applying the wealth of experience and human approach.

Ing. Mikuláš Pákh immensely loved his construction profession and unselfishly shared his experience in carrying out demanding underground structures with collaborators, first of all younger colleagues, for whom he was many times a good tutor.

Along with the demanding working duties, he significantly contributed to raising the Slovak Tunnelling Association, even on the international stage. In 2003 through to 2014, he actively worked in the STA committee. He participated in the organisation of the World Tunnel Congress in Prague 2007 and several conferences Underground Construction Prague.

Even though medical complications turned up during the last years of his life, he did not give up and was still animatedly interested in the development of tunnels, which eventually, after decades of preparations and postponements, commenced in Slovakia.

The people who had the opportunity to know him in the long term will not cease to remember his desire for life, long discussions and, first of all, friendship.

In the person of Ing. Mikuláš Pákh, the Slovak Tunnelling Association loses one of extremely active functionaries to whom it has to thank for all he contributed to fulfilling its mission.

Miky, you will stay in our hearts forever – honour to your memory.

Ing. JURAJ KELEŠI, Ing. VIKTÓRIA CHOMOVÁ

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

POHLEDNICE S TUNELY VE VZDÁLENÝCH KRAJÍCH PICTURE CARDS WITH TUNNELS IN REMOTE REGIONS

This part of the series brings us to remote, even exotic, regions – the Caucasus, South Africa, Central Asia, South and North America, even to the antipodes, New Zealand. We present six picture cards with road tunnels (including one stone protection gallery), three with railway tunnels and one picture card with a canal tunnel.

ÚVOD

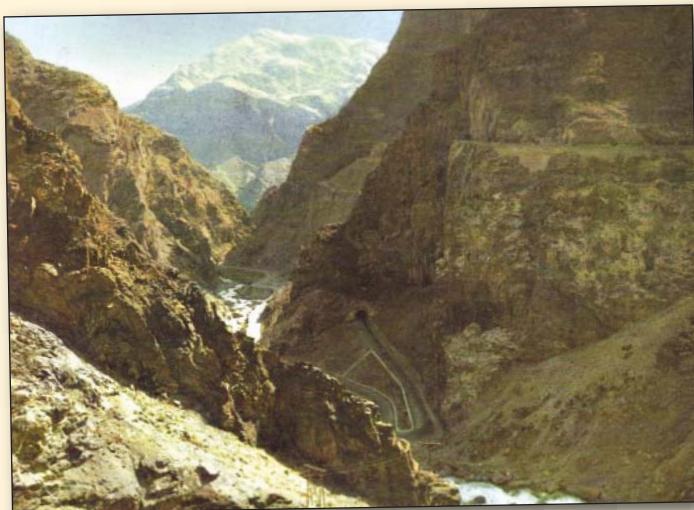
Tento díl seriálu nás přivádí do dalekých až exotických krajů – na Kavkaz, do Jižní Afriky, Střední Asie, Jižní i Severní Ameriky a také až k protinožcům na Nový Zéland. Jedná se o šest pohlednic s tunely silničními (včetně jedné galerie), tři s tunely železničními a jednu pohlednici s tunelem průplavným.

1. AFGHÁNISTÁN – TUNEL V SOUTĚSCÉ ŘEKY KABUL

Približne 100 m dlouhý tunel Mahi-Par Pass na silnici Kábul – Nangarhar (Jalalabad) Highway. Tato silnice, sledující převážně tok řeky Kabul (obr. 1), se řadí mezi 10 nejnebezpečnějších na světě. Jedná se o úsek nacházející se cca 30 km východně (Tangi Gharu Gorge, Mahi-Par Pass) od stejnojmenného hlavního města těžce zkoušené země. [1]

2. BRAZÍLIE – TUNELY NA DÁLNICI ANCHIETA

Dvojice/čtverice dálničních tunelů na Anchieta Highway (Rodovia Anchieta, oficiálně silnice č. SP-150), pojmenované podle jezuitského kněze P. José de Anchieta a spojující São Paulo



Obr. 1 Afghánistán, soutěška řeky Kabul

Kabul photo house – photo by Asefi. 1974. [sbírka autorů]
V rozvětvení soutěsky se tyčí jeden z „malých“ horských štítů jižního Hindúkuše.

Fig. 1 Afghanistan, Kabul Gorge

Kabul photo house – photo by Asefi. 1974. [authors' collection]
One of the „low“ mountain peaks of the southern Hindu Kush towers in the opening of a mountain gorge.

s přístavem Santos na Atlantickém pobřeží. Na 57,6 km dlouhé dálnici se nacházejí celkem 4 tunely (po 2 v každém směru). Jde o tunely TN-1 (270 m) a TN-2 (170 m), resp. TS-1 (230 m) a TS-2 (170 m) – obr. 2. Tunely byly otevřeny v roce 1947. [2]

3. BATUMI – TUNEL ZELENÝ MYS

Gruzínská železniční síť čítá celkem 32 železničních tunelů. Mezi ně náleží i tunel nacházející se 9 km na sever od Batumi (obr. 3). Překonává v délce cca 320 m vrchol Zeleného mysu (Mtsvane Kontskhi) na trati Baku – Tbilisi – Batumi. Trasa, stavěná pro transport ázerbájdžánské ropy do terminálu v batumském přístavu, byla dokončena v druhé etapě výstavby gruzínské železnice roku 1883. V roce 1903 byla v místě zřízena železniční stanice na přístupu do světoznámé botanické zahrady. Tunel, stejně jako celý



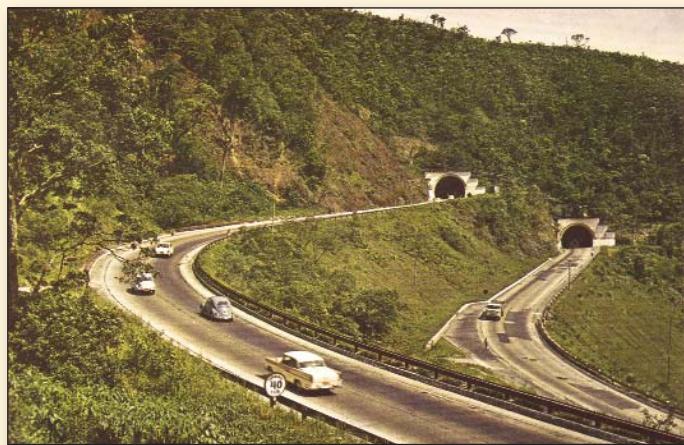
Obr. 3 Batumi, Zelený mys, vjezd do tunelu

Vydavatelství I. M. Čertkova – Batumi. Kolorovaná fotografie. 1900. [sbírka autorů]

Za pozornost stojí jak osoba (strážce tunelu?) sedící na jedné z laviček železniční zastávky (od roku 1903 stanice), tak i potrubí, položené vpravo od kolejíště.

Fig. 3 Batumi, Green Cape tunnel entrance

I. M. Čertkova publishers – Batumi. Coloured picture. 1900. [authors' collection]
Worth noticing is both the person (the tunnel guard?) sitting on one of the benches of the intermediate railway station (a station since 1903) and the pipeline laid on the right side of the railway track.



Obr. 2 Brazílský turismus, obrázek z dálnice Anchieta

Mercator® c. p. 21029 Sao Paulo 17. Cca 1960. [sbírka autorů]

Fig. 2 Brazilian tourism, Partial view of the Anchieta-highway

Mercator® c. p. 21029 Sao Paulo 17. Cca 1960. [authors' collection]

traťový úsek, je jednokolejný, s typicky „ruským“ širokým rozchodem. [3]

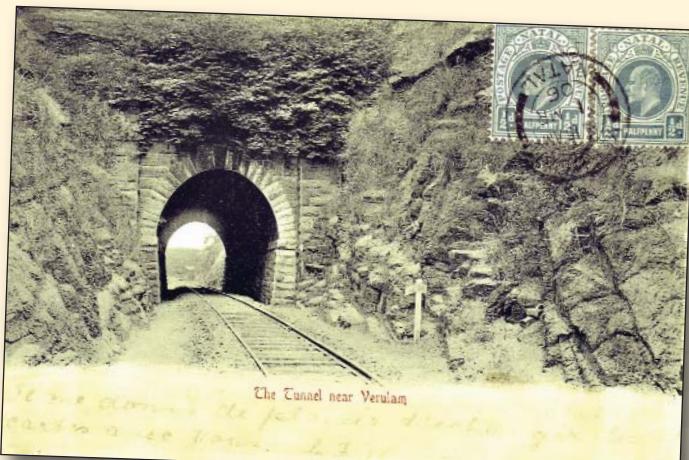
4. JIHOAFRIČKÁ REPUBLIKA – TUNEL U VERULAM

Krátký tunel (velmi přibližným odhadem jen 25 až 30 m) v republice Natal, dnes KwaZulu-Natal (obr. 4). Nacházel se přibližně 25 km severně od Durbanu, na původní železniční trati mezi přístavem Durban a městem Verulam. Jednokolejná železnice, určená především pro dopravu cukru do největšího jihoafrického přístavu při Indickém oceánu, byla otevřena 1. 9. 1879. V současnosti zobrazený tunel již neexistuje; vzal za své při zdvoukolejnění a elektrifikaci této železniční tratě. [4]

5. NOVÝ ZÉLAND – HOMER TUNEL

Automobilový tunel na State Highway 94, která spojuje Milford Sound Te Anau s Queenstownem ve vysokohorské oblasti Jižního ostrova, nazývané Fiordland.

Je trasován v přímé, dokončen byl jako jednoproudý, neobezděný (obr. 5). Tunel se vyznačuje mimořádně vysokým podélným sklonem (cca 1:10). Během stavby bylo třeba zvládat značné



Obr. 4 Tunel v blízkosti Verulam

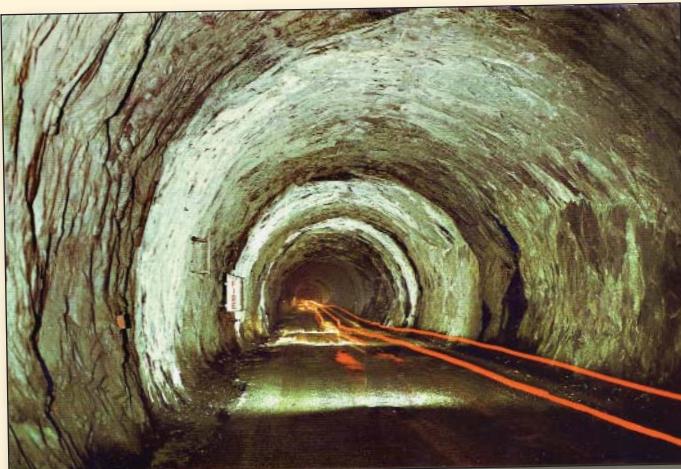
?? 1906. [sbírka autorů]

Jednokolejný tunel, klasického průřezu, s tuhou opěrou. Pohlednice, s poštovními známkami netradičně nalepenými na líci, byla zaslána jen krátce po ukončení Druhé búrské války.

Fig. 4 The Tunnel near Verulam

?? 1906. [authors' collection]

A single-track tunnel with a classical cross-section, with rigid side-walls. This picture card, with postage stamps untraditionally stuck to the front side, was posted only shortly after the end of the Second Boer War.



Obr. 5 Tunel Homer, silnice do Milford Sound, Jižní ostrov, Nový Zéland

Ražba tunelu Homer byla zahájena v roce 1935 v rámci systému veřejných prací. V počátku pracovalo jen pět mužů s lopatami a kolečkem. Jejich počet byl později zvýšen a až v roce 1946 byla práce plně mechanizována. Tunel byl proražen roku 1940 a kompletně dokončen v roce 1953. To vše bylo realizováno v nadmořské výšce 915 m n. m., v oblasti s ročními srážkovými průměry až 6350 mm. Tunel délky 1,22 km klesá o 122 m. Silnice z tunelu do města Milford Sound sestupuje na délce 19,3 km o 700 m.

Photography and Printing by Colourview Publications Ltd. Oamaru. ?? [sbírka autorů]

Na pohlednici je dobře zřetelné, že tunel postrádá obezdívku. Fotografie byla, jak je patrné podle stop reflektorů projíždějícího vozidla, snímána s dlouhou expozičí.

Fig. 5 Homer Tunnel, Road to Milford Sound, South Island, New Zealand
The Homer tunnel was started in 1935 under a Public Works scheme employing five men using shovels and wheelbarrows, this number of men was later increased and mechanization was fully introduced in 1946. The drive was held through in 1940 work was completed in 1953. It was carried out at an elevation of 3000 ft. In an area that averages 250 inches of rainfall per year. The tunnel drops 400 ft. In $\frac{3}{4}$ mile and the road from the tunnel to Milford Sound descends 2300 ft. in 12 miles.

Photography and Printing by Colourview Publications Ltd. Oamaru. ?? [authors' collection]

It is easy to recognise in the picture card that the tunnel has no lining. As obvious from the traces of the passing vehicle lamps, the picture was taken using long exposure shooting.

přítoky vody. Práce probíhala velmi pomalu, za 2. světové války byla přerušena. Raziči spali ve stanech a nejméně tři z nich zahynuli pod sněhovými lavinami. Roku 1945 zničila sněhová lavina východní portál. Až do rozšíření jeho průřezu šlo o nejdélší tunel na světě vybavený pouze štěrkovou vozovkou.

V roce 2002 vyhořel 150 m od východního portálu turistický autobus. Během neštěstí se dva lidé udusili.

Profil tunelu je sice dostatečný pro autobus, ale je vyloučeno současné míjení dvou vozidel. Při kyvadlovém provozu proto v sezóně vznikají časté fronty při portálech. Čekající vozidla jsou však

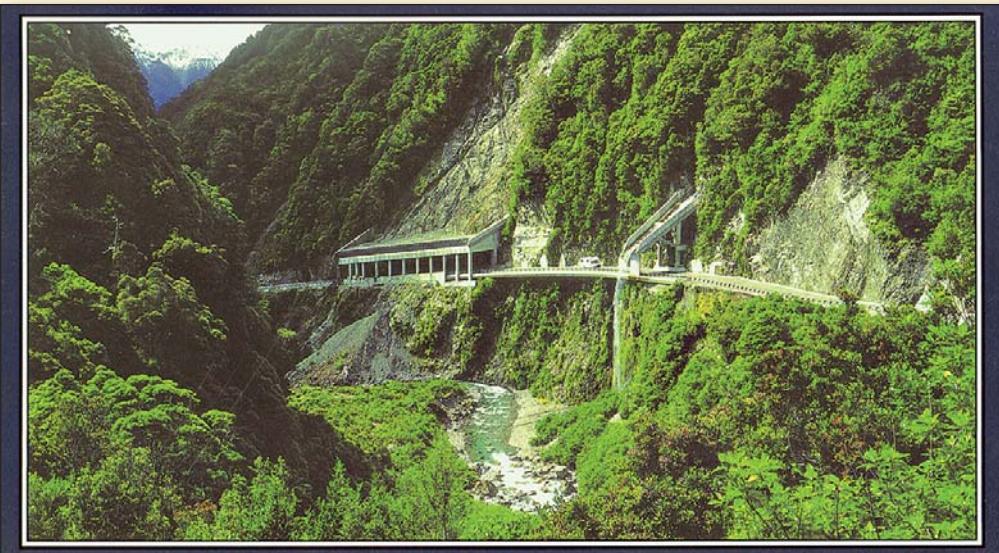
velmi ohrožena pádem lavin. Vzhledem k neustále vzrůstajícímu turistickému ruchu je od roku 2005 zpracován projekt rozšíření tunelu, s odhadovanými náklady 14 až 15 mil. NZ \$. [5]

6. NOVÝ ZÉLAND – GALERIE V SOUTĚSCHE ŘEKY OTIRA

Galerie je jednou ze součástí mostu Otira Viaduct postaveného v roce 1999. Byla zde zřízena pro zachycení a svedení opakování skalního řícení – obr. 6. S tímto problémem se setkali již stavitelé původní silnice v 60. letech 19. století. Nebylo to však řešeno až do zemětřesení roku 1994. To způsobilo skalní sesuv, který zcela přehradil jak silnici, tak i koryto řeky Otira. Při následných rekonstrukcích byla, mimo jiné, zřízena i tato galerie. Její strop byl pokryt deskami z tuhého pěnového materiálu, sloužícího k pohlcení energie dopadajících úlomků horniny. [6]

7. USA – PRŮPLAVNÍ TUNEL LEBANON

Tunel Lebanon, také známý jako Union-kanál tunel, je vůbec nejstarším dopravním tunelem v USA. Překonává hřeben oddělující povodí Quittapahilla Creek (potoku Quittapahilla) a Clark's Run (Clarkovy řeky). Při stavbě již byla hornina rozpojována ručním navrtáváním a střelným prachem – šlo tudíž o velmi ranou podobu metody D & B. Týdenní postupy ražení jsou udávány až 4,6 m. Vnitřní část tunelu zůstala neobezděná, portály a opěrné zdi přístupů byly provedeny z kamenného zdíva – obr. 7. Práce byly zahájeny v květnu 1825 a ukončeny v červnu 1827. Celkové náklady se udávají 30.404,29 US \$. Tunel byl původně dlouhý 222 m. Roku 1858, při rozširování kanálu z 2,6 m na 5,2 m, byla délka snížena na 190 m.



Obr. 6 Soutěska řeky Otira

Vlevo dole se blízko za viaduktem na vyhlídce Candy's Point nachází soutěska řeky Otira. Karavan po průjezdu ochrannou galerií přijíždí k Reidovu vodopádu. Následuje žertovně pojmenovaný Mys (Ostroh?) hladovění. New Zealand Cards®. Photography and design Bob Beresford. P.O. box 33-136, Barrington, Christchurch. 2001. [sbírka autorů]

Příkladnou funkci ochranné konstrukce dokládá kužel horninových úlomků v zaříznutém korytě řeky Otira pod galerií. Strop galerie je pokryt drobnějším uvolněným materiálem, který usměrňuje pád fragmentů do soutěsky.

Reidův vodopád, říoucí se po prudkém svahu hory Mt Philistine, je jedním z mnoha v této oblasti. Přes silnici je sveden ochranným skluzem. [7]

Fig. 6 The Otira Gorge

Looking down The Otira Gorge, from just past the Viaduct at Candy's Point Lookout. A campervan approaches Reid's Fall, after paging under The Rock Shelter. Further down is the cheerfully named Starvation Point. New Zealand Cards@®. Photography and design Bob Beresford. P.O. box 33-136, Barrington, Christchurch. 2001. [authors' collection]

The exemplary function of the protective structure is documented by the cone of rock debris in the incised Otira River bed under the shelter. The roof of the shelter is covered with loose material, which streamlines the fall of fragments down the gorge.

Reid's Fall, sluicing down the steep slope of Mt Philistine, is one of many in this area. It crosses the road on a protective shoot. [7]

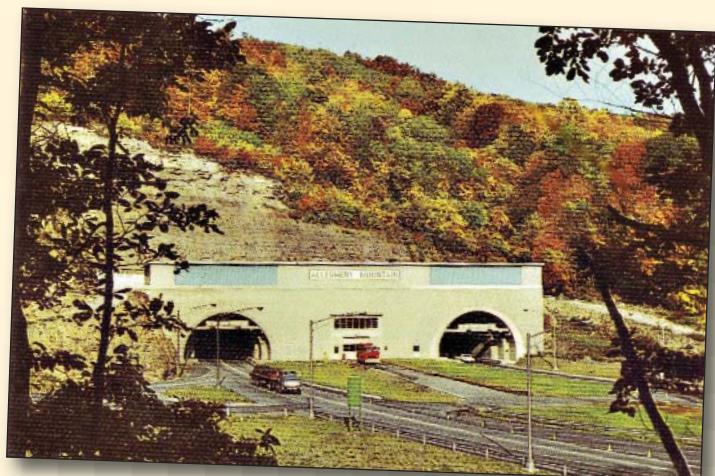


Obr. 7 Nejstarší tunel v USA Lebanon, Pennsylvania
C. E. Whelock & Co., Peoria, Ill. and Leipzig. Kolorovaná fotografie. Okolo 1900. [sbírka autorů]

Na snímku z přelomu IX. a XX. stol. je jižní portál tunelu. Patrné je silné poškození portálového zdiva a také částečné zřícení opěrných zdí přístupu. V současné době je příslušenství tunelu kompletně zrestaurované a upravený okolní terén je porostlý stromy.

Fig. 7 The oldest Tunnel in the U. S. Lebanon, Pa
C. E. Whelock & Co., Peoria, Ill. and Leipzig. Coloured picture. Around 1900. [authors' collection]

There is the tunnel portal South in the picture from the turn of the 19th and 20th century. The heavily damaged portal masonry and the partial collapse of the retaining walls at the access are obvious. At the moment, the tunnel accessories are completely restored and the surrounding finished terrain is overgrown with trees.



Obr. 8 Allegheny tunel

Silnice Pennsylvania otevírá cestujícím krásu svých hor nově vybudovaným tunelem a zrychluje cestování.

Published by Pennsylvania Beauty Views, 109 W. Caracas Ave., Hershey, Penn. Color by Mike Roberts, Berkeley, Calif. 94710. Okolo 1970? [sbírka autorů]

Na pohlednici jsou východní tunelové portály.

Fig. 8 The Allegheny tunnel on the Pennsylvania

The Pennsylvania Turnpike oves traveler's beauty in its mountains as well as faster traveling, features in the newly constructed tunnel facilities.

Published by Pennsylvania Beauty Views, 109 W. Caracas Ave., Hershey, Penn. Coloured by Mike Roberts, Berkeley, Calif. 94710. Around 1970? [author's collection]

There are the eastern tunnel portals in the picture.

Uzavření dopravy na Union kanálu (tedy i tunelu) v roce 1885 zapříčinily jeho nákladné opravy, trvalé problémy s vodou, a především dokončení železnice roku 1857.

Již od roku 1930 je snaha tunel obnovit. V roce 1950, resp. 1992 (severní strana), byl tunel včetně přilehlých pozemků vykoupen. Rekonstrukce proběhla 1998–2000 (severní strana 2005–2006). Roku 1994 byl tunel zařazen mezi Národní kulturní památky. [8, 9]

8. USA – TUNEL ALLEGHENY

Původně byl tento tunel zamýšlen jako železniční, k realizaci železnice však nedošlo. Důležitá silniční trasa prochází tunely délky 1850 m pod stejnojmennými horami. Západní tunel byl stavěn v letech 1938 až 1940, s jedním jízdním pruhem pro každý směr. Velké zvýšení provozu si vyžádalo roku 1965 otevření 2. (východního) tunelu. Souběžně s tím byl starší tunel rekonstruován. V každém směru mají tunelové trouby po dvou jízdních pruzích – obr. 8. V letech 1987–1988 byly tunely zásadně rehabilitovány. V letech 1995–1996 byl zjištěn jejich zhoršující se stav. To vedlo k vypracování 6 alternativ řešení (úpravy trasy, nové tunely, rekonstrukce původních etc.). V současné době jsou tyto možnosti hodnoceny. Dnešní dopravní zatížení činí cca 11 mil. automobilů/rok. [10, 11]

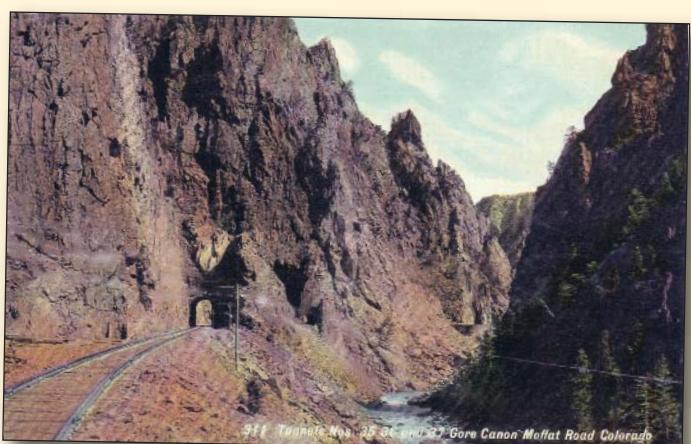
9. USA – TUNELY NA MOFFATOVĚ ŽELEZNICI

Tunely na železnici pojmenované po podnikateli Davidu Moffatovi. Jeho záměrem bylo spojit Denver (Colorado) a Salt Lake City (Utah) železnicí pojmenovanou původně NW & P Railway, později Denver & Salt Lake. Za jeho života zůstal tento velkorysý plán torzem.

Bezejmenné tunely na prezentované pohlednici (obr. 9) jsou označeny čísly 35, 36 a 37. Pomáhají převést železnici asi 5 km dlouhým a 300 m hlubokým kaňonem Gore. Ten se nachází na horním toku řeky Colorado, v jihozápadní části Grand County, zhruba v centrální části státu Colorado. Tunely byly proraženy

v roce 1907. Délka celého traťového úseku Gore je udávána 2050 m, tunely č. 35 a 36 jsou dlouhé 70 m, tunel č. 37 jen 41 m. Tunely byly patrně původně neobezděně, dnes jsou, stejně jako jejich portály, opatřené kamennou vyzdívou.

Vzhledem k nestabilní povaze horninového masivu v kaňonu jsou zde skalní řícení běžná. Byly proto zřízeny elektrické poplachové ploty. Pokud by padající horninový úlomek zavadil o nastražené dráty, alarm automaticky zastaví provoz. Vedle toho vlaky kaňonem projíždí sníženou rychlosí 20 až 25 mil/hod (cca 32 až 40 km/hod). [12]



Obr. 9 311 Tunely číslo 35, 36 a 37 Goreho kaňonu Moffatova železnice Colorado

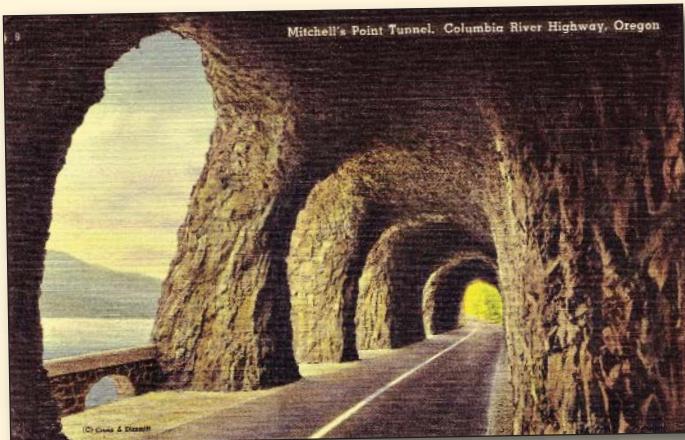
Thayer Publishing co. Denver. 1910. [sbírka autorů]

Gore Canon – správně Gore Canyon! Jeden z mnoha kaňonů řeky Colorado. Divoký vodní tok zde klesá cca o 90 m; byl poprvé splut na raftu až roku 1970.

Fig. 9 311 Tunnels Nos. 35, 36 and 37 on Gore Canyon Moffat Railroad, Colorado

Thayer Publishing co. Denver. 1910. [authors' collection]

Gore Canon – correctly Gore Canyon! One of many Colorado River canyons. The wild water stream descends 90 metres; the first raft flew down the river only in 1970.



Obr. 10 Tunel Mitchellův ostroh, Silnice řeky Columbia, Oregon
Mitchellův tunel má pět bočních oken, ze kterých je krásný výhled na mohutnou řeku Columbiu.
© Cross & Dimmitt. Angelus Commercial Studio, Portland, Oregon. Okolo 1920? [sbírka autorů]
Fig. 10 Mitchell Point Tunnel, Columbia River Highway, Oregon
Mitchell Tunnel has five side openings or windows out of which a beautiful view of the mighty Columbia River may be obtained.
© Cross & Dimmitt. Angelus Commercial Studio, Portland, Oregon. Around 1920? [author's collection]

10. USA – TUNEL V MITCHELLOVĚ OSTROHU

Tunel (z dnešního pohledu spíše galerie) ve státě Oregon, ve skalním ostrohu, pojmenovaném podle trapera a lovce Mitchella. Byl vybudován roku 1915. Ražba probíhala v pevných bazaltech metodou D & B, bez obezdívky. Byl 119 m dlouhý, 5,5 m široký a 5,8 m vysoký (podle standardu 1915). K řece Columbia bylo otevřeno pět mohutných klenutých oken 6,1 x 9,15 m, při tl. stěny 1,8 m (obr. 10).

Již ve 30. letech 20. stol. byl nutností kyvadlový provoz. Nicméně až do konce roku 1954 tudy byla vedena hlavní silnice. Následně byl tunel nahrazen silnicí při patě Mitchell Point (Route

30). Všechn pět charakteristických oken tunelu bylo zazděno a tunel byl zaplněn horninovým materiélem. Až do roku 1966 tak zůstal tunel uzavřený. Poté byl, v souvislosti s rozšířením silnice Interstate 84, zcela zničen. Jako relikt po něm zůstaly jen úzké římsy/lavičky původních západních a východních přístupů, 60 m nad dnešní komunikací.

Z historických důvodů dnes uvažuje Oregonský výbor dopravy o obnovení tunelu. [13, 14]

ZÁVĚR

Jak je patrné, i v pro nás až velmi vzdálených zemích se nachází či nacházely zajímavé liniové podzemní stavby. O některých těchto tunelech bylo velmi obtížné získat nejen relevantní, ale často vůbec nějaké údaje, a to i v dnešní „informační“ společnosti. Stále je překvapující, že se tyto podzemní stavby staly námětem i tak běžného předmětu, jakým je pohlednice. A je současně také velmi inspirativní, že řada z těch starších tunelů (především v USA), která byla ve své době předmětem obdivu, se dnes (jak odlišně vzhledem ke stavu v ČR) stává památkou technické historie a věcí přímé památkové ochrany.

**doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.,
Ing. TOMÁŠ VRÁNA**

Poděkování: Příspěvek byl vypracován s finanční pomocí EU „OP Výzkum a vývoj pro inovace“, projekt reg. č. CZ.1.05/2.1.-00/03.0097, v rámci činnosti regionálního centra AdMaS „Pokročilé stavební materiály, konstrukce a technologie“ a programu Centra kompetence Technologické agentury České republiky (TAČR) v rámci projektu Centrum pro efektivní a udržitelnou dopravní infrastrukturu (CESTI), číslo projektu TE01020168.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Mahi-Par pass, Kabul-Jalalabad highway [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <<https://twitter.com/bsarwary/status/578159621749231616>>
- [2] Lista de túneis do Brasil [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <http://pt.wikipedia.org/wiki/Lista_de_t%C3%A9neis_no_Brasil#T.C3.BAneis_rodovi.C3.A1rios_5>
- [3] Georgian Railways [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <http://en.wikipedia.org/wiki/Georgian_Railways>
- [4] South African History on Line [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <<http://www.sahistory.org.za/natal-train>>
- [5] Homer Tunnel [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <http://en.wikipedia.org/wiki/Homer_Tunnel>
- [6] Otira Gorge Rock Shelter [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <<http://www.arthurspass.com/index.php?page=14>>
- [7] South Island Waterfalls [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <<http://cr01.info/waterfalls/sthiswaterfalls/sthiswaterfalls.html>>
- [8] Lebanon County Historical Society [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <<http://lebanoncountyhistoricalsociety.org/canal-tunnel>>
- [9] Union Canal (Pennsylvania) [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <http://en.wikipedia.org/wiki/Union_Canal_%28Pennsylvania%29>
- [10] Allegheny Mountain Tunnel [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <http://en.wikipedia.org/wiki/Allegheny_Mountain_Tunnel>
- [11] Allegheny Tunnel Transportation Improvement Project [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <[https://www.patpconstruction.com/allegtunn\(description.html](https://www.patpconstruction.com/allegtunn(description.html)>
- [12] Moffat – Dotsero [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <<http://www.daeunert.com/Mile-By-Mile/Moffat-Dotsero/moffat-dotsero.html>>
- [13] Mitchell Point Tunnel [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <http://en.wikipedia.org/wiki/Mitchell_Point_Tunnel>
- [14] Historic Columbia River Highway [online]. 2015 [cit. 2015-6-3]. Dostupné na internetu <http://www.columbiariverhighway.com/HABS_HAER/mitchells_point_tunnel.htm>



UNDERGROUND
CONSTRUCTION

23-25 MAY 2016
PRAGUE

EETC 2016
PODZEMNÍ STAVBY / UNDERGROUND CONSTRUCTION

13. MEZINÁRODNÍ KONFERENCE / 13TH INTERNATIONAL CONFERENCE

PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2016 / UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2016

3. VÝCHODOEVROPSKÁ TUNELÁŘSKÁ KONFERENCE / 3RD EASTERN EUROPEAN TUNELLING CONFERENCE

EETC 2016

23.-25. KVĚTNA 2016 | PRAHA, ČESKÁ REPUBLIKA / 23-25 MAY 2016 | PRAGUE, CZECH REPUBLIC



ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TUNNELS
ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN
AITES ITA
INTERNATIONAL TUNNELLING
AND UNDERGROUND SPACE
ASSOCIATION

ČESKÁ TUNELÁŘSKÁ
ASOCIAČE
ITA-AITES
CZECH TUNNELLING
ASSOCIATION
ITA-AITES

www.ps2016.cz
ps2016@guarant.cz



TUNELY A PODZEMNÉ STAVBY 2015 TUNNELS AND UNDERGROUND CONSTRUCTION 2015

Konferencia s medzinárodnou účasťou / Conference with International Attendance

11.-13. 11. 2015, hotel Holiday Inn, Žilina

www.tps2015.sk, tps2015@guarant.sk



ASSOCIATION
INTERNATIONALE DES TUNNELS
ET DE L'ESPACE SOUTERRAIN
AITES ITA
INTERNATIONAL TUNNELLING
AND UNDERGROUND SPACE
ASSOCIATION



ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORT

www.ita-aites.cz

ODBORNÝ ZÁJEZD CZTA ITA-AITES ITA-AITES CZTA TECHNICAL TRIP

This year, the ITA-AITES Czech Tunnelling Association again organised the traditional technical trip. It consisted of three excursions to tunnel construction sites in Slovakia. This year the excursions were took place atypically during the pre-holiday period, from 18th to 20th June. The trip was attended by 25 persons from individual member organisations of the association. They visited, step by step, the Považský Chlmec, Žilina and Ovčiarsko tunnels.

Česká tunelářská asociace ITA-AITES uspořádala letos opět tradiční odborný zájezd, jehož náplň tvořily celkem tři exkurze na tunelové stavby na Slovensku ražené pomocí NRTM. Tento rok se konal netypicky v předprázdninovém období od 18. do 20. června. Zúčastnilo se jej 25 lidí z jednotlivých členovských organizací asociace.

První exkurze se konala ihned po příjezdu na Slovensko ve čtvrtek 18. června na stavbu tunelu Považský Chlmec. Jedná se o dvoutroubový dálniční tunel, který je součástí úseku D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno). Délka tunelu je projektovaná na 2250 m a termín uvedení do provozu se předpokládá v červnu 2017. Jeho západní portál navazuje na mostní estakádu přes vodní nádrž Hričov délky 1493 m. Trasa za východním portálem pokračuje směrově rozděleným mostem přes řeku Kysucu.

Prohlídka byla zahájena na zařízení staveniště u středové stavební jámy. Nejprve stavbyvedoucí Ing. Viktor Petrás ze společnosti HOCHTIEF CZ a. s. podal základní informace o stavbě, pak násleovala vlastní prohlídka všech čtyř čeleb ražených ze středové jámy. Napojitý časový harmonogram výstavby si vyžádal otevření až celkem osmi čeleb, což je u tunelu délky něco málo přes dva kilometry netypické. Nyní probíhají ražby na šesti čelbách, dvě čelby budou otevřeny po dokončení stavební jámy na východním portále. Toto s sebou

nese samozřejmě další výzvy a rizika spojená nejen s vysokou akumulací pracovníků i mechanizmů na staveništi, (portály severní tunelové trouby jsou ve středové stavební jámě od sebe vzdáleny jen 12 m), ale i další problémy s nedostatkem pracovníků i stavebních strojů, protože na Slovensku je v současnosti velký boom v oblasti podzemního stavitelství. Potom se již všichni přesunuli k západnímu portálu, kde si prohlédli další část stavby. Exkurze byla zakončena v budově ředitelství stavby, kde se účastníkům věnoval výrobní ředitel „Združenia Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno)“ Ing. Antonín Petko a sdělil jim mnoho dalších údajů a zodpověděl jejich otázky. Více informací o této stavbě lze nalézt v článcích tohoto čísla časopisu Tunel, odbornému zájezdu je také věnována fotoreportáž.

Po skončení první exkurze se již účastníci přesunuli do Žiliny, kde bylo zajištěno ubytování a pak se uskutečnilo jednání redakční rady, na kterém se projednávala příprava tohoto čísla Tunelu, které je z velké části právě věnováno tunelovým stavbám na Slovensku.

Druhý den byly naplánovány exkurze dvě, nejprve na tunel Žilina a pak na tunel Ovčiarsko. Tyto tunely se nacházejí na nově budovaném úseku D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. Tunel Ovčiarsko má délku 2367 m, tunel Žilina je kratší, bude dlouhý 651 m. Bohužel od rána nepřálo počasí, silné deště komplikovaly nejen dopravu autobusem po staveništích, ale i vlastní prohlídky. Při exkurzích na oba tunely se účastníkům věnoval Ing. Stanislav Sibert, člen ředitelství stavby D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka.

Exkurze na Tunelu Žilina byla zahájena u západních portálů opět seznámením se základními daty o stavbě. Pak už se všichni přesunuli k portálům a prohlédli si obě čelby. Měli možnost přesvědčit se o opravdu komplikovaných geologických podmírkách na staveništi, které tolik působí zhotovitelům potíže.



Obr. 1 Tunel Považský Chlmec, středová jáma, jižní tunelová trouba
Fig. 1 The Považský Chlmec tunnel, central portal, southern tunnel tube



Obr. 2 Tunel Považský Chlmec, středová jáma, severní tunelová trouba
Fig. 2 The Považský Chlmec tunnel, central portal, northern tunnel tube

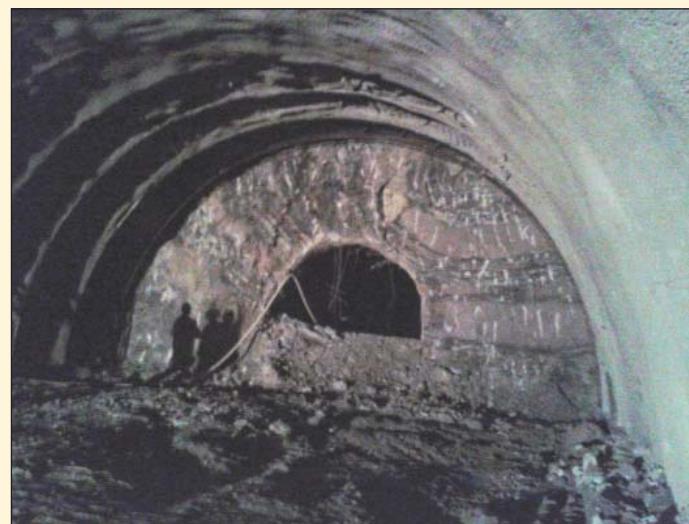


Obr. 3 Čelba tunelu Žilina
Fig. 3 The Žilina tunnel face

Skutečně zastižené geotechnické podmínky si vynutily použití speciálních opatření pro zajištění stability díla. Čelba kaloty je zajišťována sklolaminátovými kotvami délky 16 m až 20 m v počtu až 70 ks. Obvod kaloty je stabilizován po obvodu jehlováním. Ražba probíhá tunelovým bagrem s horizontálním členěním na kalotu, opěří a dno. Zabořování celého tunelu až o 18 cm vyžaduje rychlé uzavírání profilu spodní klenbou. Vzhledem k povětrnostním podmínkám si účastníci exkurze prohlédli východní portály tunelů pouze z autobusu. V současné době probíhá jejich hloubení a zajištění stability svahů stavební jámy.

Další část pátečního programu pokračovala na tunelu Ovčiarsko délky 2367 m. Exkurze byla zahájena u západních portálů opět podáním stručných informací od zástupců dodavatelské firmy Uranpres, která provádí ražbu. Poté již bylo možno absolvovat prohlídku tunelové trouby, ve které právě neprobíhalo odtežování rubaniny. Úsekem vyraženým již v kalotě i opěří došli účastníci exkurze do místa první tunelové propojky. V průběhu prohlídky zástupci zhotovitele odpovídali na technické dotazy. Téměř polovině účastníků byla umožněna i prohlídka jeden kilometr vzdálené čelby, na kterou byli postupně odvezeni osobním automobilem. Čelba kaloty je typickou ukázkou ražby tunelu ve flyšovém souvrství. V profilu kaloty byla vidět i průzkumná stola.

Díky hladkému průběhu pátečních exkurzí zbyl čas i na návštěvu hradu Strečno, který se tyčí nad řekou Váh.



Obr. 4 Tunel Ovčiarsko, čelba s průzkumnou štolou
Fig. 4 The Ovčiarsko tunnel, the face with the exploratory gallery



Obr. 5 Začátek navazující estakády u západního portálu tunelu Ovčiarsko
Fig. 5 The beginning of the elevated highway near the Ovčiarsko tunnel portal

Přestože se letos účastnilo málo zájemců, ohlasy některých z nich svědčí o tom, že exkurze na stavby slovenských tunelů byly pro ně přínosem.

Velký dík za zajištění prohlídek patří společnostem HOCHTIEF CZ a. s., Metrostav a. s., dále pracovníkům, kteří exkurze na místě prováděli. Vlastní zajištění exkurzí měl na starosti Ing. David Cyroň a Ing. Libor Mařík.

**Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,
CzTA ITA-AITES, z. s.**

VALNÉ SHROMÁŽDĚNÍ CZTA ITA-AITES GENERAL ASSEMBLY OF THE ITA-AITES CZTA

The General Assembly of the ITA-AITES Czech Tunnelling Association was held on Wednesday the 10th June 2015 at Olšanka hotel, Táboritská 23, Prague 3. Important representatives of the Czech underground construction industry were appreciated at the beginning of the negotiations. The General Assembly awarded commemorative medals for contribution to the Czech underground construction industry to doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. and Ing. Jiří Růžička. The third medal was awarded in memoriam to RNDr. Otakar Tesař, DrSc. In his report on the CzTA activities from the previous General Assembly held on the 4th June 2014,

Ing. Hrdina stated that the association activities successfully continued in the full scope. Last year, the preparations of the 13th international conference Underground Construction Prague 2016 got fully underway. In addition, the attendees were acquainted with the main activities of the association planned for 2015, with the publication of TUNEL journal, holding the Tunnel Afternoons and a technical excursion among them. Doc. Hruběšová informed the General Assembly attendees about the results of the student competition. Ing. Vrána from the Brno University of Technology, Faculty of Civil Engineering with his diploma thesis titled *The design*

for a secondary urban utility tunnel with stress put on protection against infiltration of groundwater was placed first. Ing. Baránek from the Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering, with the topic *Hosín tunnel design* was placed second. The third place belongs to Ing. Holiš from the VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, who processed the topic of his diploma thesis *Experimental determination of resistance of encapsulated rock bolts*. Ing. Butovič informed about the continuation of the preparation of the UC 2016 conference. The 13th conference will be held at Clarion hotel, Prague, from 23rd through to 25th May 2016 and will be connected with the 3rd East European Tunnel Conference 2016 (EETC 2016).

Valné shromáždění České tunelářské asociace ITA-AITES se konalo ve středu 10. června 2015 v hotelu Olšanka, Táboritská 23, Praha 3. Jednání zahájil a řídil předseda CzTA Ing. Ivan Hrdina.

Mezi prvními body valného shromáždění bylo zařazeno ocenění významných představitelů českého podzemního stavitelství. Na návrh předsednictva byly valným shromážděním uděleny pamětní medaile CzTA. Předseda CzTA Ing. Hrdina předal pamětní medaili doc. Ing. Vladislavu Horákovi, CSc. a Ing. Jiřímu Růžičkovi. Třetí medaile byla udělena in memoriam RNDr. Otakaru Tesařovi, DrSc., převzala ji paní Tesařová.

Ve zprávě o činnosti CzTA od minulého valného shromáždění konaného dne 4. června 2014 Ing. Hrdina konstatoval, že se podařilo i přes nelehkou ekonomickou situaci pokračovat v plné šíři v aktivitách asociace (vydávání časopisu Tunel, pořádání Tunelářských odpolední a odborného zájezdu). V minulém roce se již také naplno rozběhla příprava 13. ročníku mezinárodní konference Podzemní stavby Praha 2016. Také ocenil téměř nezměněnou členskou základnu a to, že členové asociace její činnost nadále podporují v nezmenšené míře.

Ze zprávy o hospodaření asociace, kterou přednesl Ing. Václav Soukup, vyplynulo, že v roce 2014 byl výsledek hospodaření asociace velmi příznivý, podařilo se dosáhnout zisku, což bylo způsobeno nejen úsporami, ale i uhraněním nedobytných pohledávek z minulých let. Pro zachování celkové šíře aktivit asociace navrhlo předsednictvo rozpočet na rok 2015 se ztrátou 124,99 tis. Kč, která bude čerpána z rezervy tvořené ziskem konference PS 2013.

Dále byli přítomní seznámeni s hlavními aktivitami asociace plánovanými na rok 2015, kam opět patří vydávání časopisu Tunel, pořádání Tunelářských odpolední a odborného zájezdu.

Pak pokračovala doc. Hrubešová, která seznámila účastníky valného shromáždění s výsledkem studentské soutěže. Komise pro vyhodnocení studentské soutěže o nejlepší diplomovou práci z oblasti podzemních staveb za rok 2014 vybrala následující práce. Na prvním místě se umístil Ing. Tomáš Vrána s diplomovou prací na téma *Návrh sekundárního městského kolektoru s důrazem na ochranu před průnikem podzemní vody z VUT FAST*. Druhé místo obsadil Ing. Tomáš Baránek s tématem *Návrh tunelu Hosín z ČVUT v Praze FSV*. Třetí místo patří Ing. Jaroslavu Holišovi, který v rámci své diplomové práce zpracoval téma *Experimentální stanovení únosnosti tmelených svorníků*. Studia absolvoval na VŠB TU FAST. Oceněným poblahopřál a předal odměnu předseda CzTA Ing. Hrdina.



Předseda CzTA Ing. Ivan Hrdina předává pamětní medaili doc. Ing. Vladislavu Horákovi, CSc.

Ing. Ivan Hrdina, the chairman of the CzTA, is handing over the CzTA medal to doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.

Poté vystoupil Ing. Alexandr Butovič, Ph.D., předseda přípravného výboru konference PS 2016, aby informoval o pokračování přípravy této konference. Připomněl, že se 13. ročník bude konat 23.–25. května 2016 v hotelu Clarion v Praze a bude spojen s 3. Východoevropskou tunelářskou konferencí 2016 (EETC 2016). Seznámil přítomné se složením přípravného výboru a vědecké rady, s termíny spojenými s konferencí. Konference má samostatné webové stránky www.pspraha.cz a www.ucprague.com. Dále oznámil rozdělení do sekcí, uvedl podporující organizace a stav sponzoringu. Vyzval zástupce členských organizací k podpoře konference vysláním účastníků i sponzoringem.

K bodu činnost příbuzných společností si Ing. Smolík připravil informace o činnosti sekce Tunely České silniční společnosti.

Před závěrem jednání informoval předseda CzTA Ing. Ivan Hrdina o nedávno proběhlém WTC 2015, které se konalo v chorvatském Dubrovniku. O slovo se přihlásil Ing. Martin Srb, který uvedl některé postřehy, které nepřispěly k dobrému jménu světového tunelářského kongresu.

Valné shromáždění přijalo nakonec toto usnesení:

1. Valné shromáždění schvaluje zprávu předsedy o činnosti asociace v období od minulého valného shromáždění, které se konalo 4. června 2014.
2. Valné shromáždění schvaluje hospodaření asociace za rok 2014 a návrh rozpočtu na rok 2015.
3. Valné shromáždění vzalo kladně na vědomí hlavní aktivity CzTA v roce 2015:
 - pořádání Tunelářských odpolední a odborného zájezdu;
 - ediční plán časopisu Tunel;
 - přípravu mezinárodní konference PS 2016.

V rámci odborného programu, který následoval po ukončení jednání valného shromáždění, přednesl Ing. Václav Soukup informaci o zahraničních aktivitách skupiny Metrostav a. s.

Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D.,
pruskova@ita-aites.cz,
CzTA ITA-AITES, z. s.

BEZPEČNÝ, IZOLUJÍCÍ, EFEKTIVNÍ, SPOLEHLIVÝ, TRVANLIVÝ, VÝKONNÝ, UDRŽITELNÝ,
FLEXIBILNÍ, PEVNÝ, REALIZOVATELNÝ, INOVATIVNÝ, NEPROPUSTNÝ, ODOLÁVAJÍCÍ VNĚJŠÍM Vlivům
TĚSNÝ, EKONOMICKÝ, STABILIZUJÍCÍ, ZPEVNŇUJÍCÍ



PRO KAŽDOU STAVBU UMÍME VYTVOŘIT ŘEŠENÍ

Hlavními prioritami společnosti BASF při stavbě tunelů jsou bezpečnost a efektivita. To však vyžaduje specializovanou inženýrskou podporu, aplikační know-how a znalost nejmodernější chemie. BASF umí naplnit vaše potřeby díky našim Master Builders Solutions. Potřebujete-li rešit stabilizaci a zpevnění horninového podloží, efektivitu ražby razicím štítem TBM nebo hydroizolace, naše špičkové znalosti a zkušenosti z celého světa v oblasti stříkaného betonu, injektáží, technologie TBM a stříkaných membrán vám pomohou stavět váš tunel bezpečně a úsporně.

Více informací naleznete na www.master-builders-solutions.bASF.cz

150 let

BASF

We create chemistry

- **Výstavba a rekonštrukcia podzemných stavieb**

(cestné, diaľničné, železničné tunely, podzemné hydroelektrárne, prieskumné a únikové štôlne, podzemné objekty pre vodohospodárske stavby, veľkopriestorové podzemné diela a iné)

- **Výstavba a rekonštrukcia inžinierskych stavieb**

(kanalizácie, ČOV, vodovody, vodojemy, revitalizácie verejných priestranstiev a námestí, skládky TKO, protipovodňové ochranné opatrenia a iné)



Cestný tunel Solbakk, Nórsko



Cestný tunel Nordnes, Nórsko



Diaľničný tunel P. Chlmeč, Slovensko



Hydroelektráreň Nant de Drance, Švajčiarsko



Diaľničný tunel Küchen, Nemecko



Železničný tunel de Champel, Švajčiarsko



Diaľničný tunel Frankenhein, Nemecko

Naše stavby menia váš svet ...