

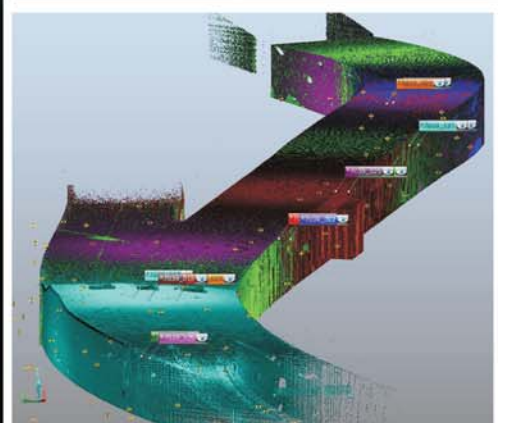
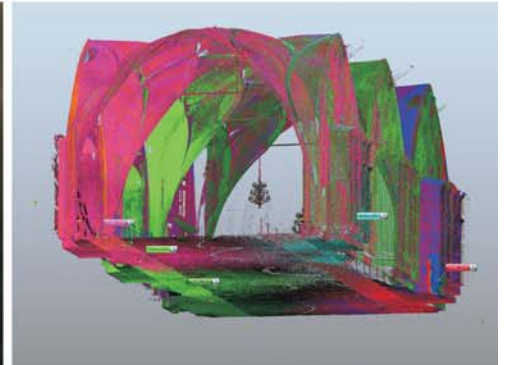
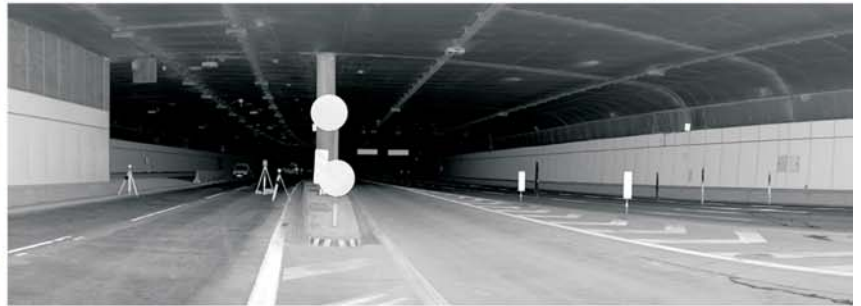
Tu n e l

č. 1
2017

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



We would like to thank our partners for their cooperation
We are looking forward to new tasks and partnerships
Since 1981 competence in surveying services on tunneling construction



Děkujeme našim partnerům za spolupráci
Těšíme se na nové úkoly a nová partnerství
Zkušenosti z oboru tunelového stavitelství od roku 1981



Podzemní stavby (vývoj, výzkum, navrhování, realizace)

Časopis České tunelářské asociace a Slovenskej tunelárskej asociácie ITA-AITES

Založen Ing. Jaroslavem Gránem v roce 1992

OBSAH

Editorial:

Ing. Miroslav Novák, člen redakční rady 1

Úvodníky:

RNDr. Lubomír Klímeček, MBA, ředitel GEOtest, a.s. 2

Ing. Petr Hlaváček, jednatel společnosti Angermeier Engineers, s.r.o. 3

Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Anděl

– geotechnický monitoring Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D.,

Mgr. Lukáš Hubinger, Ing. Radek Klesnil, Mgr. Pavel Vižďa, GEOtest, a.s.,

Ing. Vladimír Nosek, Angermeier Engineers, s.r.o. 4

Tunely Ejpvovice – geotechnický monitoring

Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D., Ing. Ondřej Hort, Mgr. Lukáš Hubinger,

RNDr. Jindra Oberhelová, Mgr. Pavel Vižďa, GEOtest, a.s. 12

Připravované brněnské tunely Ing. David Rupp, GEOtest, a.s. 26

Monitorovací měření na stavbě okružní trasy Metra v Kodani

Dipl.-Ing. Dieter Heinz, SMT Denmark ApS 37

Geodetická odchylka na prorážce podzemních liniových děl

Ing. Petr Hlaváček, Angermeier Engineers, s.r.o. 45

Förfärd Stockholm – projekt FSE210 Bc. Tomáš Němeček,

Ing. Michal Přenosil, Subterra a.s., SBT Sverige AB 62

Sekundární ostění tunelu Považský Chlmec, konstrukční řešení,

provádění a ošetřování Ing. Libor Mařík, HOCHTIEF CZ a.s. 74

Fotoreportáž ze slavnostního otevření dálnice D8 Lovosice – Řehlovice .. 87

Fotoreportáž z výstavby tunela Ovčiarosko 88

Fotoreportáž z výstavby tunelů Poľana a Žilina 89

Ze světa podzemních staveb 92

Zprávy z tunelářských konferencí 95

Aktuality z podzemních staveb v České a Slovenské republice 97

Výročí 104

Z historie podzemních staveb 107

Z činnosti pracovních skupin 110

Zpravodajství České a Slovenské tunelářské asociace ITA-AITES ... 112

Bibliografie 114

REDAKČNÍ RADA/EDITORIAL BOARD

Čeští a slovenští členové / Czech and Slovak members

prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. – Stavební fakulta ČVUT v Praze (předseda/Chairman)

Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. – GEOtest, a.s.

Ing. Miloslav Frankovský – Terraprojekt a.s.

prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D., CEng., MICE – 3G Consulting Engineers s.r.o.

doc. Ing. Vladislav Horák, CSc. – VUT Brno, FAST

doc. RNDr. Eva Hrušková, Ph.D. – VŠB-TU Ostrava

RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. – PUDIS a.s.

Ing. Viktória Chomová – STA

Ing. Jan Korejčík – Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.

Ing. Otakar Krásný – GeoTec-GS, a.s.

Ing. Ján Kušnir – REMING CONSULT a.s.

Ing. Libor Mařík – HOCHTIEF CZ a.s.

Ing. Soňa Masarovičová – ŽU, Stav. fakulta

Ing. Miroslav Novák – METROPROJEKT Praha a.s.

doc. Dr. Ing. Jan Pruška – Stavební fakulta ČVUT v Praze

Ing. Boris Šebesta – Metrostav a.s.

Ing. Michal Šerák – Inženýring dopravních staveb a.s.

doc. Ing. Richard Šňupárek, 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

členské 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 Prušková, Ph.D.

Odborní redaktori: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,

RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský

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

Grafické zpracování: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl

Tisk: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl

Foto na obálce: Tunnel Žilina, zajišťování rážeb pomocí mikropilotového

deštníku a sklolaminátových kotev
(foto Libor Štěrba pro Zakládání staveb, a.s.)

Underground Construction (Development, Research, Design, Realization)

Magazine of the Czech Tunnelling Association and the Slovak Tunnelling Association ITA-AITES

Established by Ing. Jaroslav Grán in 1992

CONTENTS

Editorials:

Ing. Miroslav Novák, a member of the Editorial Board 1

RNDr. Lubomír Klímeček, MBA, Director of GEOtest, a.s. 2

Ing. Petr Hlaváček, Executive Head of Angermeier Engineers, s.r.o. 3

Step-Free Access for Anděl Metro Station – Geotechnical Monitoring

Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D., Mgr. Lukáš Hubinger,

Ing. Radek Klesnil, Mgr. Pavel Vižďa, GEOtest, a.s.,

Ing. Vladimír Nosek, Angermeier Engineers, s.r.o. 4

Ejpvovice Tunnels - Geotechnical Monitoring

Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D., Ing. Ondřej Hort, Mgr. Lukáš Hubinger,

RNDr. Jindra Oberhelová, Mgr. Pavel Vižďa, GEOtest, a.s. 12

Brno Tunnels under Preparation Ing. David Rupp, GEOtest, a.s. ... 26

Monitoring Measurements on the Infrastructure Project

“Cityringen of Copenhagen”

Dipl.-Ing. Dieter Heinz, SMT Denmark ApS 37

Survey Deviation after Breakthrough of Underground Linear Workings

Ing. Petr Hlaváček, Angermeier Engineers, s.r.o. 45

Förfärd Stockholm - FSE210 Project Bc. Tomáš Němeček,

Ing. Michal Přenosil, Subterra a.s., SBT Sverige AB 62

Secondary Lining of the Považský Chlmec Tunnel,

Structural Solution, Construction and Concrete Curing

Ing. Libor Mařík, HOCHTIEF CZ a.s. 74

Picture Report from D8 Lovosice – Řehlovice Motorway Inauguration .. 87

Picture Report from the Construction of the Ovčiarosko Tunnel .. 88

Picture Report from the Construction of the Poľana and Žilina Tunnels .. 89

The World of Underground Constructions 92

News from Tunnelling Conferences 95

Current News from the Czech and Slovak Underground Construction .. 97

Anniversaries 104

From the History of Underground Constructions 107

Czta Working Groups 110

Czech and Slovak Tunneling Association ITA-AITES Report ... 112

Bibliography 114

Ing. Václav Veselý – SG Geotechnika a.s.

Ing. Jan Vintera – Subterra a.s.

Ing. Jaromír Zlámal – POHL CZ, a.s.

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

Zahranční členové / International members

Prof. Georg Anagnostou – ETH Zürich, Switzerland

Dr. Nick Barton – NICK BARTON & ASSOCIATES, Norway

Prof. Adam Bezuijen – GHENT UNIVERSITY, Belgium

Prof. Tarcisio B. Celestino – UNIVERSITY OF SAO PAULO, Brazil

Dr. Vojtech 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 Witte – 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 Prušková, Ph.D.

Technical editors: doc. Dr. Ing. Jan Pruška, Ing. Pavel Šourek,

RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Ing. Jozef Frankovský

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

Graphic designs: H.R.G. spol. s r. o., Litomyšl

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

Cover photo: Žilina tunnel excavation support using canopy tube

pre-support and glass fibre reinforced plastic anchors
(photo courtesy of Libor Štěrba for Zakládání staveb, a.s.)

**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
Ing. Pavel Mařík (†)

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.
Ptašínského 10
602 00 Brno

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

AQUATIS a.s.
Botanická 834/56
656 32 Brno

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

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

Stavební fakulta ČVUT v Praze
Tháškova 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

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

FAKULTA STAVEBNÍ VUT v Brně
Veverí 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

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

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.
Lihovarská 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

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
Čerčanská 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

SG Geotechnika a.s.
Geologická 4/988
152 00 Praha 5

SIKA CZ, s.r.o.
Bystrcká 1132/36
624 00 Brno

SMP CZ, a.s.
Pobřežní 667/78
186 00 Praha 8

SPRÁVA ÚLOŽIŠŤ
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.
Olšanská 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
Přírodovědecká 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.
Tháмова 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 Keleši

Členské organizácie:

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

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

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

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

DPP Žilina s.r.o.
Legionárska 8203
010 01 Žilina

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

GEOSTATIK spol. s r. o.
Kragujevská 11
010 01 Žilina

HOCHTIEF CZ a.s.
org. zložka Slovensko
Miletičova 23
821 09 Bratislava

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

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

Metrostav a.s., org. zložka
Mlynské Nivy 68
821 05 Bratislava

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

Niedax, s.r.o.
Pestovateľská 6
824 04 Bratislava

OBO Bettermann s.r.o.
Viničianska cesta 13
902 01 Pezínok

OHL ŽS, a.s., o.z.
Furmanská 8
841 03 Bratislava 47

PERI, spol. s r. o.
Šamorínska 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

SLOVENSÁ SPRÁVA CIEST
Miletičova ul. 19
826 19 Bratislava

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

Spel SK spol. s r.o.
Františkánska 5
917 01 Trnava

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

Strabag, s.r.o.
Mlynské Nivy 61/A
825 18 Bratislava

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 dobývania ložísk a geotechniky
Katedra geotech. a doprav. staviteľ'stva
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

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

URANPRES, 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
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Milí čtenáři,

první letošní číslo časopisu TUNEL je zaměřeno na geotechnický monitoring podzemních staveb na pražském metru a železničním tunelu Ejpvovice. Další články popisují připravované silniční a tramvajové tunely v Brně, budované automatické metro Cityringen v Kodani a silniční tunelový obchvat Förbifart Stockholm. Ve Slovenské republice se nyní staví řada dálničních tunelů, v tunelu Považský Chlmec na dálnici D3 bylo v minulém roce dokončeno sekundární ostění.

V článku Ing. Tomáše Ebermanna, Ph.D. z firmy GEOTest, a.s. je popisován geotechnický monitoring „Bezbariérového zpřístupnění stanice metra Anděl“. Stavba byla realizována společností SMP CZ, a.s. podle projektu METROPROJEKTU Praha a.s. Při výstavbě metra I.B, jehož součástí je stanice Anděl, původně Moskevská, v roce 1979 až 1985 nebyl řešen bezbariérový přístup osob se sníženou pohyblivostí. V současné době provozovatel DP hl. m. Prahy se postupně snaží tento nedostatek odstranit vybudováním bezbariérových přístupů na nástupiště stanic metra pomocí nových výtahů. Dodatečná instalace v husté městské zástavbě je velmi náročná na provádění podzemních děl a v článku popisovaný geomonitoring je významným bezpečnostním prostředkem ke sledování poklesů ve složitých geologických podmínkách. Výsledky měření ukázaly, že nebyly během ražeb zaznamenány vážné problémy.

V dalším článku Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. z firmy GEOTest, a.s. popisuje geomonitoring při ražbách železničního tunelu Ejpvovice prováděného mechanizovaným ražením – TBM, délka tunelu je 4,2 km. Geologická stavba území trasy tunelu je komplikovaná a místy velmi nepříznivá. Díky kvalitní spolupráci všech účastníků výstavby se daří předcházet nadměrným poklesům i ve velmi komplikovaných partiích tunelové trasy. Nadložení tunelu je geofyzikálně ověřováno před průchodem čelby a po průchodu čelby. Současně při ražbách probíhá hydrogeologický monitoring zahrnující sledování hydrogeologických podmínek ražeb, kontrolu úrovní hladiny podzemní vody a její kvality.

Ing. David Rupp z firmy GEOTest, a.s. nás ve svém článku seznamuje s plánovanou výstavbou tunelů na území města Brna. Jedná se o silniční tunely Červený kopec, Bystrc, Komárovský tunel a tunel Vinohrady. Pro tramvajové tratě se připravuje tunel do Kampusu v Bohunicích a tunel Žabovřesky.

Dipl.-Ing. Dieter Heinz popisuje probíhající rozsáhlou výstavbu nové okružní trasy automatického metra v Kodani – Cityring. Pro ražbu v kodaňských vápencích v hloubce od 15 do 35 m se používají 4 plnoprofilové tunelovací štíty Kawasaki (TBM) současně. Předpokládáné dokončení ražeb bude na konci roku 2017.

V článku Ing. Petra Hlaváčka z firmy Angermeier Engineers s.r.o. se čtenář dozví o potížích a možnostech geodetů, kteří usměrňují ražené tunely. Minimalizace prorážkové odchylky snižuje náklady na výstavbu. Jako příklad z realizovaných staveb je zde uveden železniční tunel Ejpvovice a metro v Helsinkách.

Ve Stockholmu byla zahájena náročná výstavba silničního tunelového obchvatu Förbifart Stockholm, který patří mezi významné infrastrukturní projekty. Obchvat je dlouhý 21 km, z toho je 18 km v tunelech. V článku Bc. Tomáše Němečka z firmy Subterra a.s. jsou popsány jednotlivé fáze výstavby s předpokládaným dokončením v roce 2021.

V čísle 4/2016 byla popsána výstavba dálničních tunelů ve Slovenské republice. Definitivní sekundární ostění tunelu Ovčiarisko na dálnici D3 o celkové délce 2356 m, budované technologií NRTM, je v současné době dokončeno. V článku Ing. Libora Maříka z firmy HOCHTIEF CZ a. s. je popis výstavby sekundárního ostění. V cca 60 % délky ražených úseků tunelu je na základě vyhodnocení geotechnických poměrů použito nevyztužené sekundární ostění.

Na závěr mi dovoluje vyslovit přání, aby se i v České republice zahájily obdobné připravované podzemní stavby například dálničních tunelů na dálnicích D3, D11, D35, v Praze nová trasa metra D a mnoho dalších.

Ing. MIROSLAV NOVÁK, člen redakční rady



Dear readers,

The first this year's issue of TUNEL journal is focused on geotechnical monitoring of underground construction sites on the Prague metro and the Ejpvovice rail tunnel. Other papers describe road and tramway tunnels under preparation in Brno, the Cityringen automated metro line under construction in Copenhagen and the Förbifart Stockholm road bypass with tunnels on it. In Slovakia, there are currently many motorway tunnels under construction; the secondary lining was finished last year in the Považský Chlmec tunnel on the D3 motorway.

Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. from GEOTest, a.s., describes in his paper the geotechnical monitoring of the “Step-free access for Anděl metro station”. The construction was realised by SMP CZ, a.s. according to METROPROJEKT Praha a. s. design. The step-free access for mobility impaired persons was not solved during the construction of the I.B metro line, a part of which was Anděl station (originally Moskevská station), in 1979 through 1985. The metro operator, the Prague Public Transit Company Inc., currently seeks to remove this deficiency by providing step-free accesses to the platforms of the metro stations by building new lifts. The additional installation in high-density urban development areas is highly complicated as far as the work on underground structures is concerned and the geomonitoring described in the paper is an important means of safety for observing settlement values in complex geological conditions. The results of measurements proved that no serious problems were registered during the underground excavation.

In the next paper, Ing. Tomáš Ebermann, Ph.D. from GEOTest a.s. describes geomonitoring during the mechanised excavation of the 4.2km long Ejpvovice railway tunnel using a tunnel boring machine, TBM. The geological structure in the tunnel route area is complicated and locally very unfavourable. Thanks to the good-quality collaboration of all parties to the project, excessive subsidence is successfully prevented even in very complicated parts of the tunnel route. The tunnel overburden is geophysically verified in advance of and after the passage of the excavation face. At the same time, hydrogeological monitoring proceeds during the underground excavation. It comprises the monitoring of hydrogeological conditions of the excavation, checking on water table levels and the quality of groundwater.

Ing. David Rupp from GEOTest, a.s., acquaints us in his paper with the planned development of tunnels in the area of the City of Brno. It comprises the Červený kopec, Bystrc, Komárov and Vinohrady road tunnels. The tunnel to the Campus in Bohunice and the Žabovřesky tunnels are under preparation for tramway lines.

Dipl.-Ing. Dieter Heinz describes the extensive development of the automated metro circle line, Cityring, in Copenhagen. Driving the tunnels through Copenhagen limestone at the depths ranging from 15 to 30m is carried out using 4 Kawasaki tunnel boring machines, TBMs, concurrently. The completion of the drives is expected at the end of 2017.

In the paper by Ing. Petr Hlaváček, Angermeier Engineers, s.r.o., the reader is informed about problems and possibilities of surveyors providing the guidance for driving tunnels. Minimising the breakthrough deviation reduces construction costs. The Ejpvovice railway tunnel and the Helsinki metro tunnels are presented as examples.

In Stockholm, the construction of the road tunnel bypass, the Förbifart Stockholm, commenced. It belongs among important infrastructural projects. The bypass is 21km long, 18km of that length will run through tunnels. In his paper, Bc. Tomáš Němeček from Subterra a.s. describes individual phases of the construction with the expected completion in 2021.

The development of motorway tunnels in the Slovak Republic was described in issue No. 4/2016 of TUNEL journal. The final lining of the 2356m long Ovčiarisko tunnel on the D3 motorway, which was carried out using the NATM, is currently being completed. The paper by Ing. Libor Mařík from HOCHTIEF CZ a. s. contains the description of the construction of the secondary lining. Unreinforced concrete is applied to ca 60% of the length of the mined tunnel sections with respect to the assessment of the geotechnical conditions.

To conclude, allow me to express my wishes that the work on similar underground construction projects currently under preparation, for example the motorway tunnels on the D3, D11, D35, the new metro line D and many others, commence even in the Czech Republic.

Ing. MIROSLAV NOVÁK, Member of Editorial Board



VÁŽENÍ A MILÍ ČTENÁŘI,

jsm velmi rád za příležitost prezentovat naši společnost a připomenout jménem všech spolupracovníků historii firmy a zmínit firemní aktivity v oboru podzemního stavitelství.

Pod značkou GEOtest působíme na trhu už bezmála 50 let. GEOtest vznikl v roce 1968 ze svého předchůdce Geologický průzkum Brno založeného v roce 1958. Jsme zkušená, výlučně česká firma zaměřená na inženýrské činnosti v aplikované geologii. Se svými 150 zaměstnanci, mnoha pobočkami a dceřinými firmami v tuzemsku i zahraničí, kde dnes realizujeme třetinu našich tržeb, patříme k největším geologickým firmám v České republice.

Je až s podivem, jak náš název dobře vystihuje povahu našich činností. S podzemními stavbami je tradičně spojena činnost našich středisek geotechniky, inženýrské geologie, geofyziky, geodézie a mechaniky zemin a hornin. Během desítek minulých let jsme se podíleli na stavbách mnoha dálničních a železničních tunelů, vodovodních přivaděčů, odvodňovacích štol, podzemních kaveren a kolektorů. Dá se říci, že s výjimkou pražského metra se naši pracovníci v minulosti podíleli na řešení téměř všech významných stavebních akcí s podílem podzemních staveb, a to jak ve fázích průzkumů, tak i jejich realizace, byla-li jejich součástí i mechanika hornin.

Především v oboru polního geotechnického zkušebnictví a mechaniky hornin patříme k několika málo firmám, které si udržely a zdokonalily své know-how. Například speciální velkorozměrové zatěžovací a smykové zkoušky jsme v roce 2015 prováděli na portálu budoucího tunelu Žabovřesky na VMO v Brně a aktuálně je provádíme v hloubených šachtách v podzákladí budoucího vodního díla Nové Heřminovy na Bruntálsku. Silným a dynamickým oborem je geotechnický monitoring, který v podobě stavebního, záručního nebo provozního realizujeme na šesti tunelových komplexech. Naší vlajkovou lodí je aktuálně provádění komplexního geotechnického monitoringu na nejdelším železničním tunelu Ejovice, a to s nasazením pokročilých metod a instrumentace včetně vlastního informačního systému monitoringu. Podíleli jsme se i na současném boomu výstavby tunelů na Slovensku – na stavbě dálničního tunelu Považský Chlmec, kde byl našimi pracovníky v rámci stavebního dozoru prováděn geologický a geotechnický dozor při ražbě.

Součástí rozvoje firmy je i aplikovaný výzkum, který řeší specialisté společnosti GEOtest, a.s. aktuálně na sedmi projektech. Z nich lze uvést projekt realizovaný s výzkumným centrem AdMaS při VUT Brno zaměřený na vývoj geotechnického monitoringu, který umožnil vybudování experimentálního polygonu na primárním kolektoru v Brně. Naše ostravské pracoviště zaměřené na geofyzikální metody směřuje své aktivity do výzkumné činnosti v oblasti využití podzemních prostor. V podzemí dolu Rožná I. se účastníme rozsáhlých vědecko-výzkumných aktivit zaměřených na detailní poznání horninového prostředí dotčeného hornickou činností. Prvním velkým úkolem v oblasti podzemních staveb byla účast na pětiletém výzkumném projektu „Stabilita“, jenž byl úspěšně ukončen v roce 2015, a jedním z výstupů byla certifikovaná metodika „Geofyzikální metody pro dokumentaci horninového masivu“. V současnosti se soustředujeme na rozvoj geotechnických a geofyzikálních metod pro získání 2D a 3D obrazu geologické stavby.

Je logickým vyústěním, že naše společnost byla například sponzorem konference PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2016 a naši specialisté se podílejí i na činnosti redakčních rad časopisů TUNEL a GEOTECHNIKA.

Věřím, že uvedený přehled připomenul nemalý podíl společnosti GEOtest, a.s. na českém podzemním stavitelství a děkuji našim obchodním partnerům za spolupráci a důvěru, které si vážíme a která nás zavazuje.



DEAR READERS,

I am very happy for the opportunity to present our company and remind us, on behalf of all collaborators, of the company history and mention the activities of the company in the field of the underground construction industry.

We have been in business under the brand name GEOtest nearly 50 years. GEOtest originated in 1968 from its predecessor, Geological exploration Brno, which was founded in 1958. We are an experienced, exclusively Czech company focused on engineering activities in the field of applied geology. With our employees (150), many branches and daughter firms both domestic and abroad, where we currently earn one third of our revenues, we belong among the largest geological firms in the Czech Republic.

It is still surprising how well our name gives a true picture of the nature of our activities. The activities of our centres of geotechnics, engineering geology, geophysics, technical surveying and soil and rock mechanics are traditionally associated with underground construction. During the past decades we participated in projects for many motorway and railway tunnels, aqueducts, drainage galleries, underground caverns and utility tunnels. It is possible to say that, with the exception of Prague metro, our employees participated in the past in solving nearly all important civil engineering events with a significant proportion of underground construction work, both in the phases of exploration and phases of construction realisation, if soil and rock mechanics was part of them.

It is first of all in the field of in-situ geotechnical testing and ground mechanics where we belong among the several few firms which have retained and improved their know-how. For example, we conducted special large-scale loading and shear tests on the portal of the future Žabovřesky tunnel on the LCCR in Brno in 2015 and currently we are conducting them in shafts sunk under the foundations of the future Nové Heřminovy water reservoir in the region of Bruntál. Geotechnical monitoring, which we carry out on six tunnel complexes in the civil engineering, warranty and operational forms, is another strong and dynamic branch. Our flagship is currently the comprehensive geotechnical monitoring on the longest railway tunnel, Ejovice, where we apply advanced methods and instrumentation, including our own information system of monitoring. We even participated in the current tunnel construction boom in Slovakia- the Považský Chlmec tunnel, where our employees performed geological and geotechnical supervision during the tunnel excavation, within the framework of the construction supervision.

Even the applied research is part of the company development. It is currently being solved on seven projects by specialists of GEOtest, a.s. Of them, it is possible to mention the project being realised jointly with the AdMaS research centre at the Technical University in Brno. The project is focused on the development of geotechnical monitoring which allowed for creating an experimental traverse on the primary utility tunnel in Brno. Our workplace in Ostrava, which is focused on geophysical methods, directs its activities to the field of the use of underground spaces. In the underground spaces of the Rožná I mine we participate in extensive scientific research activities focused on obtaining detailed knowledge of ground environment affected by mining. The first big task in the area of underground construction was to take part in the "Stabilita" five-year research project, which was accomplished in 2015. One of the outputs was the certified methodology "Geophysical Methodology for Documentation of a Ground Massif". Currently we focus ourselves on the development of geotechnical and geophysical methods for obtaining 2D and 3D images of the geological structure.

It is a logical conclusion that our company was, for example, a sponsor of the UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2016 conference and our specialists participate even in the work of editorial boards of TUNEL and GEOTECHNIKA journals.

I believe that the above-mentioned overview reminded the readers of the significant GEOtest, a.s., share of the Czech underground construction industry. Let me thank all our business partners for the collaboration and trust, which we appreciate and which obliges us.

RNDR. LUBOMÍR KLÍMEK, MBA

*ředitel GEOtest, a.s.
Director of GEOtest, a.s.*

MILÍ ČTENÁŘI,

naše společnost je především geodetická, jako taková se ovšem vysoce specializuje na vše, co se týká kompletní geometrie podzemních staveb, především tunelových. O to více si vážíme příležitosti prezentace v tak významném časopisu, jakým časopis Tunel bezesporu je.

Na první tunel jsem se dostal krátce po škole díky tehdy ojedinělé nabídce společnosti ANGERMEIER INGENIEURE GmbH odejít pracovat do zahraničí „na zkušenou“. Tehdy jsem ještě nevěděl, že tato společnost se již od roku 1981 zabývá geodetickým servisem pro výstavbu tunelů, se vším, co k tomu v německém systému výstavby patří, tzn. včetně geotechnických měření deformací. Po přijetí nabídky to netrvalo ani dva dny po mém příjezdu do Německa a už jsem skončil v tunelu. Přitom jsem v práci v nějaké „díře“ neviděl budoucnost, bral jsem ji pouze jako novou zkušenost. Nikdy v životě nezapomenu na svůj úžas, kdy jsem se poprvé postavil na dno kaloty, kam nás museli vyzdvihnout plošinou, a shora jsem sledoval odebrání opěrky: v symfonii hukotu dvou kloubových damprů a jednoho kolového nakladače se odehrávalo představení, ve kterém se ta strojní mechanizace harmonicky pohybovala sem a tam, a do toho mi mizelelo opěrky pod nohama. Pro mne, geodeta, to byl úplně jiný svět a zároveň sen z oblasti sci-fi. Tento zážitek měl jednoznačný vliv na moji další životní cestu, která vedla až k těmto řádkům. Během krátké doby nato vznikla pobočka dnešní Angermeier Engineers, s.r.o., zatímco jsem ještě působil na projektu Engelbergbasistunnel, který dodnes patří k zásadním referenčním projektům společnosti ANGERMEIER INGENIEURE, a kde mi bylo umožněno nahlédnout hodně hluboko do nástrah a možností tunelové výstavby.

Všechny zkušenosti se podařilo zúročit na výstavbě tunelu Mrázovka, kde naše společnost poprvé v České republice plnohodnotně s úspěchem nasadila geodetické optické měření deformací primárního ostění při ražbě. Zároveň jsme položili základ týmu kolegů, kteří jsou také fascinováni tunelovými stavbami. Pracují na stavbách, kde čelí vysoké zodpovědnosti, která navíc není ostatním účastníkům na první pohled zcela zřejmá. Jak popisuje jeden z našich článků, geodeti na stavbě tunelu žijí až do prorážky v nejistotě, protože pouze „odhadují“, kde se s ražbou nacházejí, a přitom právě za to nesou odpovědnost. Traďuje se ve firmě, že jeden kolega zešedivěl poté, co nám bylo v neděli z jedné stavby po prorážce provedené otevřením malého okénka o velikosti čtvrt čtverečního metru ve výšce čtyř metrů nad zemí oznámeno: „Tak to jsme jasně o půl metru vedle“. Po následném měření jsme zjistili prorážkovou odchylku o velikosti 4 mm. Viděl jsem napětí a nervozitu dvou jiných kolegů, těsně před prorážkou Adély a Tondy do stanice Dejvická pražského metra, za jejichž vedení jsme byli na straně investora zodpovědní. Mezi další úspěchy patří účast při výstavbě brněnských Královopolských tunelů, kde jsme mj. prováděli doprovodná měření kompenzačních injektáží s automatickým zjišťováním deformací na více než dvou stovkách bodů v hodinovém taktu v submilimetrové přesnosti! Za zmínku jistě stojí i naše účast na výstavbě tunelu Ejpvovice, kde jsme součástí týmu geotechnického monitoringu a zároveň provádíme kontrolu směrového vedení. Kromě mnoha velkých tunelů nemohu opomenout velké množství podzemních staveb malých profilů, kterých se také účastníme. Velkou výhodou při zvládání našich úkolů je i neustálá spolupráce s kolegy z ANGERMEIER INGENIEURE.

Kromě tunelových staveb se specializujeme na deformační a jiná velmi přesná měření na hranici současných možností inženýrské geodézie. Čím vyšší požadavky na přesnost, čím větší odpovědnost a čím náročnější úkoly, tím lépe pro nás.

Rád bych tímto poděkoval všem svým kolegům za jejich nasazení ve jménu hesla: „vše pro stavbu“. Dále bych chtěl poděkovat všem našim partnerům, kteří se na nás spoléhají při svých realizacích.

**DEAR READERS,**

our company is engaged first of all in surveying, highly specialising itself in all things relating to the complete geometry of underground structures, first and foremost in tunnel structures. The more we appreciate the presentation in such a remarkable journal which TUNEL journal undoubtedly is.

The first tunnel I got to thanks to the unique offer of ANGERMEIER INGENIEURE GmbH, which allowed me shortly after graduating from the university to leave abroad to “gain experience”. At that time I did not know that this company had been involved in survey services for the tunnel construction industry since 1981, carrying out everything that goes with it in the German construction system, i.e. including geotechnical measurements of deformations. After my acceptance of the offer, it took me less than two days after the arrival in Germany to end up in a tunnel. Nevertheless, I saw no future in working in some “hole” and I took it only as new experience. I will never in my life forget my consternation when I stood on the bottom of the top heading, to which they had to lift us by a lifting platform, and observed from above the excavation of the bench: a performance I had never seen before was happening there. In the symphony of the noise made by mechanical equipment consisting of two articulated dumpers and one wheeled loader moving harmonically back and forth, the bench was disappearing under my feet. For me, a surveyor, it was an absolutely new world and, at the same time, a dream from the field of sci-fi. This experience unambiguously influenced my next career which has led me up to these lines. A branch of the current Angermeier Engineers, s. r. o., originated within a short time after the time during which I was still working on the Engelberg Base Tunnel project, where I was allowed to gain insight into the pitfalls and possibilities of the tunnel construction industry. This tunnel still belongs among principal reference projects of ANGERMEIER INGENIEURE.

All experiences could be successfully applied during the construction of the Mrázovka tunnel, where our company successfully applied comprehensive optical surveying measurements of deformations of the primary lining during the course of tunnel excavation. It was applied for the first time in the Czech Republic. At the same time, we laid the foundation of a team of colleagues who were also fascinated by tunnel construction. They work on construction sites where they face great responsibilities, which fact is not entirely obvious to other participants in the construction. As one of our papers published in this TUNEL issue describes, surveyors on tunnel construction sites live in uncertainty until the breakthrough because they only “guess” where the excavation face is located and the responsibility for the location is just theirs. It is said in the company that the hair of one colleague turned grey when he received the following information from a construction site: “So it is clear that we are half a metre off” It was on Sunday, after a breakthrough carried out by opening a small quarter-of-a-square-metre window at the level of four metres above the excavation bottom. After subsequent measurements we determined that the breakthrough deviation amounted to 4mm. I could see the stress and jitters of other colleagues just before Adéla and Tonda TBMs, for the guidance of which we were responsible on behalf of the project owner, broke through into Dejvická station of the Prague metro. Among other successes there is the participation during the construction of the Královo Pole tunnel tubes in Brno, where we carried out, among others, accompanying measurements of compensation grouting with automatic detection of deformations on more than two hundreds of points, at one hour intervals and with sub-millimetre accuracy! Certainly worth mentioning is even our participation in the construction of the Ejpvovice tunnel, where we are a part of the GTM team and, at the same time, check the directional guidance. Apart from many large tunnels I must not forget the great number of small-profile underground structures which we also participate in. A big advantage for coping with our tasks lies in the permanent collaboration with our colleagues from ANGERMEIER INGENIEURE.

In addition to tunnel structures we specialise ourselves in deformational and other high precision measurements conducted at the limits of current possibilities of engineering surveying. The higher requirements for precision the higher responsibility, the more difficult tasks the better for us.

I would like to thank all my colleagues for their efforts made in the name of the motto: “everything for construction”. In addition, I would like to thank all our partners relying on us during their realisations.

ING. PETR HLAVÁČEK

*jednatel společnosti Angermeier Engineers, s.r.o.
Executive Head of Angermeier Engineers, s.r.o.*

BEZBARIÉROVÉ ZPŘÍSTUPNĚNÍ STANICE METRA ANDĚL – GEOTECHNICKÝ MONITORING STEP-FREE ACCESS FOR ANDĚL METRO STATION – GEOTECHNICAL MONITORING

TOMÁŠ EBERMANN, LUKÁŠ HUBINGER, RADEK KLESNIL, VLADIMÍR NOSEK, PAVEL VIŽDA

ABSTRAKT

Článek seznamuje čtenáře s některými zkušenostmi z provádění geotechnického monitoringu stavby „Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Anděl“. Ražby byly zajímavé především díky tomu, že nově ražená přístupová chodba k výtahové šachtě byla vedena těsně nad provozovanými staničními tunely v kontaktu s jejich ostěním. Proto byly deformace ostění staničních tunelů intenzivně geodeticky sledovány. Dále jsou rekapitulovány zkušenosti z geotechnického sledování ražeb, kdy zajímavostí bylo zastižení původního montovaného ostění stanice ve výrubu přístupové štoly. Rovněž jsou shrnuty poznatky z měření deformací nadloží ražených částí stavby, povrchu a zástavby.

ABSTRACT

The paper acquaints the readers with some pieces of experience from the execution of the geotechnical monitoring of the project “Step-free access for Anděl metro station”. The underground excavation operations were interesting first of all thanks to the fact that the newly driven access gallery to the lift shaft was led just above the operating station tunnels, at contact with their linings. This is why the deformations of the lining of the station tunnels were so intensely monitored by surveying. Further on, the experience from the geotechnical observation of the excavation is recapitulated. It was interesting that the original segmental lining of the station was encountered in the excavation of the access gallery. In addition, findings from the measurement of deformations of the overburden of the mined parts of the construction, the surface and buildings are summarised in the paper.

ÚVOD

Tento článek volně navazuje na článek o stavbě „Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Anděl“ (dále jen stavba) [1].

Geotechnický monitoring tvořily především následující činnosti: geotechnický sled ražeb, měření deformací ostění nově budovaných konstrukcí, měření deformací provozované stanice metra Anděl. Součástí monitoringu byla i pasportizace a repasportizace sedmi budov na povrchu (v Bozděchově ulici), stoky v nadloží ražených objektů, tunelů a větrací štoly stanice metra Anděl a sledování jejich deformací během stavby. Dále byly sledovány deformace nadloží ražených objektů a stanice metra Anděl (extenzometry a nivelace povrchu v Bozděchově ulici). Součástí monitoringu byla i kontrola zatížení stávajícího ostění stanice a primárního ostění raženého díla tenzometry a tlakovými snímači. Rovněž byly průběžně kontrolovány seismické a akustické účinky trhačích prací na okolní zástavbu. Situace stavby a sledované objekty jsou uvedeny na obr. 1.

Během stavby nebyly, díky součinnosti všech účastníků výstavby, pozorovány žádné její neočekávané dopady (deformační, seismické či akustické) na okolní zástavbu, provozovanou stanicí metra Anděl nebo stoku v nadloží raženého díla.

POZNATKY Z GEOTECHNICKÉHO SLEDU RAŽEB

Ražba přístupové chodby a hloubení výtahové šachty probíhaly ve složitých geologických poměrech, daných tektonicky porušeným horninovým prostředím a přítomností zvodnělých fluvialních sedimentů a navážek v nadloží.

Hloubení přístupové šachty započalo ve vrstvě antropogenních sedimentů, charakteru balvanitých sutí s kusy cihlového zdiva a bloky opuky. Tyto navážky dosahovaly mocnosti až 4 m a představují zbytky zdiva původní výstavby před demolicí při výstavbě stanice metra v 80. letech minulého století (obr. 2 a 3).

INTRODUCTION

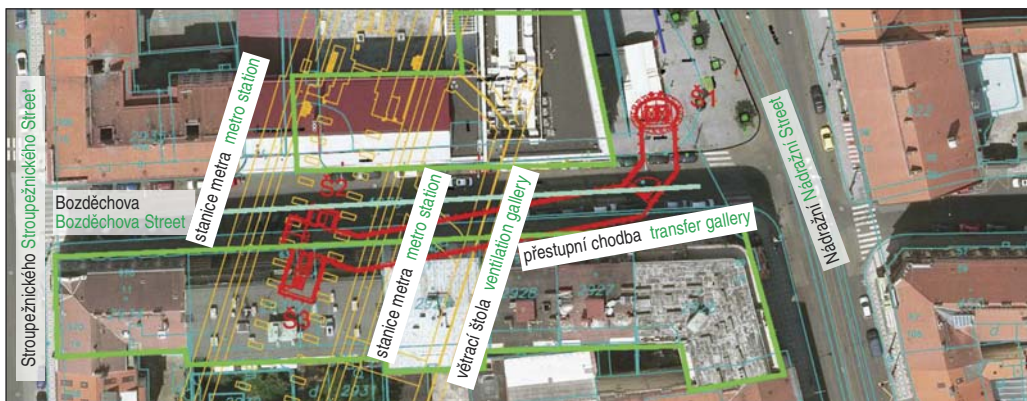
This paper freely follows the paper on the construction of the „Step-free access for Anděl metro station” (hereinafter referred to as the construction) [1].

The geotechnical monitoring comprised first of all the following activities: the geotechnical observation of headings, measurements of deformations of the linings of the newly built structures, measurements of deformations of the operating Anděl station. The condition survey and the condition resurvey of seven surface buildings (in Bozděchova Street), the sewer in the overburden of the mined structures, tunnels and the ventilation duct of Anděl metro station as well as the observation of their deformations during the course of the construction works were also parts of the monitoring. Further on, deformations of the overburden of the mined structures and Anděl metro station were observed (extensometers, surveying of the terrain surface in Bozděchova Street). Checking on the loads acting of the existing lining of the station and the primary lining of the mined working with strain gauges and pressure transducers was also part of the monitoring. Seismic and acoustic effects of blasting operations on buildings existing in the surroundings were also continually checked. The project layout and the observed structures are presented in Fig. 1.

Thanks to the cooperation of all parties to the project, no unexpected impacts (deformational, seismic or acoustic) of the construction works on buildings in the vicinity, the operating Anděl metro station or the sewer in the overburden of the mined working were observed during the works.

KNOWLEDGE FROM GEOTECHNICAL OBSERVATION OF THE EXCAVATION

Driving of the access gallery and sinking of the lift shaft proceeded in complicated geological conditions given by the



METROPROJEKT Praha a.s., GEOTest, a.s.

Obr. 1 Situace stavby a sledované objekty, zeleně zástavba, tyrkysově stoka v Bozděchově ulici, žlutě stanice metra Anďel a obchodní vzduchotechnická štola

Fig. 1 Construction layout plan and the monitored structures; colour marking of existing buildings green, the sewer in Bozděchova Street turquoise, Anďel metro station and the bypassing ventilation gallery yellow

Pod vrstvou navážky byly zastíženy fluvialní sedimenty maninské údolní terasy pleistocenního stáří. Jedná se o říční sedimenty řeky Vltavy charakteru hrubozrnných písků, písků se šterkem a písčitých šterků s valouny o velikosti až 20 cm. Sedimenty jsou vysoce propustné a silně zvodnělé. Hladina podzemní vody byla zastížena v hloubce 10 m a je vázána na kolektor fluvialních sedimentů. Přítoky podzemní vody do stavební jámy byly částečně odcloněny pilotovou stěnou, přesto však bylo nezbytné průběžně vodu odčerpávat. Přítoky podzemní vody do šachty při jejím hloubení byly odhadnuty v řádu jednotek l/s. Fluvialní sedimenty nasedají přímo na skalní podloží a jejich mocnost dosahuje v místě šachty až 11 m (obr. 4).

Po odtěžení šterků bylo v hloubce 15 m zastíženo skalní podloží, které je tvořeno břidlicemi libeňského souvrství ordovického stáří. Libeňské břidlice jsou jílovito-prachovité, černo šedé, slídnaté, tence deskovitě vrstevnaté a lokálně tektonicky porušené.

Na povrchu skalního podloží byla zjištěna jen cca 20 cm mocná vrstva silně až zcela zvětralých břidlic, rozpadlých na drobné střípky stmelené jílovitou zvětralinou. V hloubce 15,2–18,0 m pod povrchem byla zastížena břidlice velmi až mírně zvětralá, většinou tence deskovitě rozpadavá s lokálními rezaťmi povlaky oxidů železa Fe. Lze konstatovat, že polohy velmi a mírně zvětralých břidlic dosahují celkově malých mocností a s přibývajícím hloubkou rychle stoupá pevnost horninového masivu. Od hloubky 18 m k bázi výtahové šachty v hloubce 31 m byla hornina zdravá a vzhledem k rozměrům šachty dostupnou/použitelnou mechanizací již obtížně rozpojitelná. Pevnost zdravých hornin spadá většinou do třídy R4 až R3.



Obr. 2 Zdivo základů staré zástavby zastíženo při hloubení šachty

Fig. 2 Masonry of foundations of old buildings encountered during the shaft sinking work

tectonically faulted rock environment and the presence of water-bearing fluvial sediments and man-made ground in the overburden.

The sinking of the access shaft started in a layer of anthropogenic sediments with the character of bouldery rubble containing pieces of brick walls and cretaceous marl blocks. This man-made ground thickness reached up to 4m. It represents remains of the masonry of the original buildings before the demolition carried out during the course of the construction of the metro station in the 1980s (see Fig. 2 and 3).

Fluvial sediments of the Pleistocene age Maniny flood-plane terrace were encountered under the made-ground layer. They are river sediments of the Vltava River with the character of coarse-grained sand, sand with gravel and sandy gravel containing up to 20cm boulders. The sediments are highly permeable and heavily water-bearing. The water table was encountered at the depth of 10m; it is bound to an aquifer of fluvial sediments. Groundwater inflows into the construction pit were partially screened by a pile wall. Nevertheless, it was continually necessary to extract water. The inflows of groundwater into the shaft during the excavation were assessed in the order of units of L/s. The fluvial sediments are seated directly on the bedrock and their thickness in the location of the shaft reaches up to 11m (see Fig. 4).

After the completion of the excavation of gravel, the bedrock was encountered at the depth of 15m. It is formed by the Libeň Formation shale of the Ordovician age. The Libeň shales are clayey-silty, black-grey, micaceous, thinly tabularly jointed and locally tectonically faulted.

An only ca 20cm thick layer of heavily to completely weathered shale, disintegrated into small shards and containing clayey products of weathering was identified on the bedrock surface. At the depth of 15.2–18.0m under the surface, very to moderately weathered shale, mostly thinly tabularly jointed, with local rusty iron (Fe) oxide coating was encountered. It is possible to state that the layers of very to moderately weathered shales reach generally small thickness and the rock strength rapidly grows with the increasing depth. From the depth of 18m down to the base of the lift shaft at the depth of 31m the rock was fresh and, with respect to the shaft dimensions, already difficult to disintegrate with available/usable mechanical equipment. The strength of fresh rock is mostly categorised as R4 to R3.

The access gallery was subsequently excavated to the side from the shaft bottom. It was ended by opposite-heading excavation stubs. The excavation profile of the access gallery was divided for the purpose of the excavation into top heading and bottom. The top heading excavation was carried out using blasting operations and the bottom excavation was completed only mechanically using an impact breaker.

The top heading excavation proceeded throughout the gallery length through relatively monotonous rock environment formed by fresh, tectonically faulted Libeň shale. The



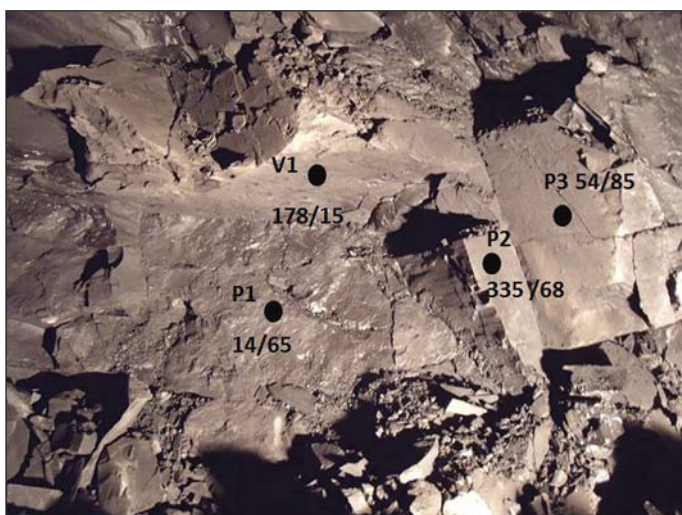
Obr. 3 Hloubení šachty ve štěrčích údolní terasy Vltavy
Fig. 3 Sinking the shaft through gravel of the Vltava River flood-plain terrace

Ze dna vyhloubené šachty pak byla do boku vyražena přístupová chodba zakončená protilehlými rozrážkami. Profil výrubu přístupové chodby byl pro ražbu rozdělen na kalotu a dno. Profil kaloty byl ražen za použití trhacích prací a dobírka dna už jen strojně impaktorem.

Vlastní ražba kaloty probíhala v celé délce v poměrně monotónním horninovém prostředí zdravých tektonicky porušených libeňských břidlic. Vrstevnatost břidlic byla převážně deskovitá až lavicovitá. Lokálně byla hornina až téměř masivní stavby s nezřetelnou vrstevnatostí. Horniny z masivních poloh mají většinou lasturnatý lom a nezřetelnou texturu. Významným znakem libeňských břidlic jsou hojné tektonické ohlazy s horizontálním rýhováním a mezivrstevními skluzy s podrceným kalcitem. Pukliny jsou obvykle uzavřené nebo vyplněné křemennou a kalcitovou výplní až 50 mm mocnou. V některých úsecích bylo pozorováno zvrásnění břidlic. Převládající směr vrstevnatosti je JZ-SV převážně se sklonem k SZ.

Horninový masiv byl v celém rozsahu ražby prostoupen několika systémy puklin, většinou kolmými na vrstevnatost. Zejména v přístropí kaloty přispěly systémy puklin a nepříznivá orientace vrstevnatosti k tvorbě menších nadvýlomů a opadů horninových úlomků a bloků z čelby.

V průběhu ražby bylo zastíženo několik poruchových zón, některé z nich byly predikovány na základě geotechnického průzkumu [2]. V místech poruchových zón byla břidlice lokálně



Obr. 5 Orientace odlučných ploch horninového masivu libeňských břidlic
Fig. 5 Orientation of joint planes in the Libeň Shale rock massif



Obr. 4 Kontakt fluviálních terasových sedimentů se skalním podložím
Fig. 4 The contact of fluvial terrace sediments with bedrock

bedding of the shales was mostly platy to tabular. Locally the rock structure was nearly massive with indistinct bedding. The rock from massive layers displays mostly conchoidal fracture and indistinct texture. A significant feature of the Libeň shale lies in numerous tectonic slickensides with horizontal striations and interlayer slips with crushed calcite. Fissures are usually closed or filled with quartz and calcite filling, with the thickness up to 50mm. Folding of the shale was observed in some sections. The prevailing bedding trend is SW-NE, mostly with the NW dip.

The rock massif was pervaded in the whole extent of the excavation by several systems of cracks, mostly perpendicular to the bedding planes. In particular at the roof of the top heading, the systems of cracks and the unfavourable orientation of bedding contributed to the development of smaller overbreaks and falling of rock fragments and blocks from the excavation face.

Several weakness zones were encountered during the excavation, some of which were predicted on the basis of the geological survey [2]. In some locations of the weakness zones patches or areas of the shale were crushed to small fragments, the rock mass was pervaded with a dense network of discontinuities and numerous slickensides indicating high friction pressures were identified on joint planes. The weakness zones in this case represented the risk of excavation instability and the possibility of increased groundwater inflows. Groundwater was bound to the detected weakness zones, but the rates of the inflow to the excavation face were minimal, in the orders of tenths of L/s. The most extensive weakness zone was encountered, as predicted, in the close vicinity of the overburden of the existing metro station. Its



Obr. 6 Lavicovité až masivní polohy břidlice
Fig. 6 Tabular to massive shale beds

nebo plošně podcenená na drobné úlomky, horninový masiv byl prostoupen hustou sítí diskontinuit a na odlučných plochách byly četné tektonické ohlasy indikující vysoké třecí tlaky. Poruchové zóny zde představovaly riziko nestability výrubu a možných zvýšených přítoků podzemní vody. Na zjištěné poruchové zóny byla vázána podzemní voda, ale pouze jen s minimálními přítoky vody na čelbu v řádech desetin l/s. Nejrozsáhlejší poruchová zóna byla podle předpokladu zastížena v těsné blízkosti nadloží stávající stanice metra a dosahovala nepravé mocnosti v horizontální rovině cca 15 m (obr. 5, 6 a 7).

Celkově byly čelby jednotlivých záběrů stabilní a docházelo pouze k drobným opadům uvolněných horninových bloků a nadvýlomům. Výška skalního nadloží nad raženou štolou se pohybovala v rozmezí 7–10 m. Z hlediska geotechnického hodnocení ražby byla přístupová chodba ražena v technologických třídách NRTM 4, 5a a 5b.



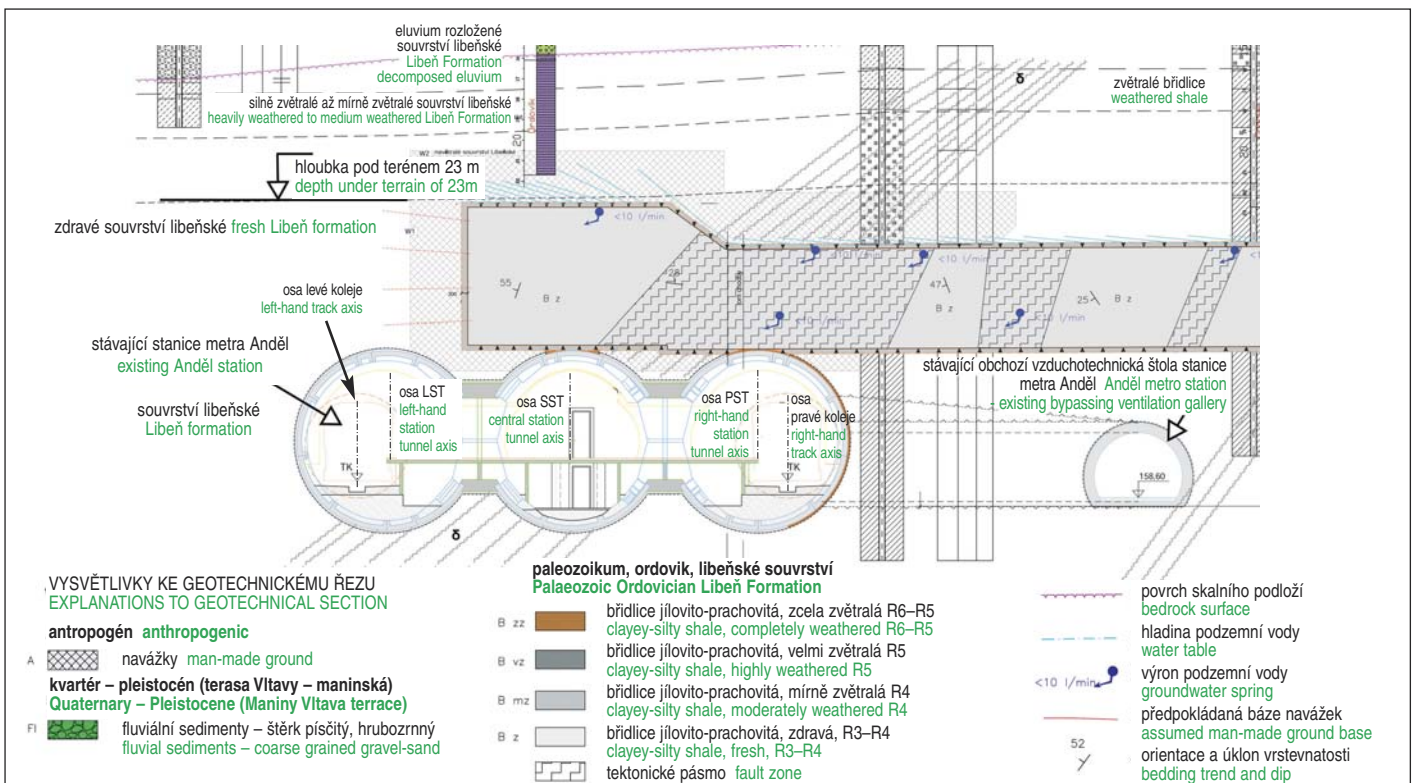
Obr. 7 Tektonické ohlasy na plochách odlučnosti na čelbě
Fig. 7 Tectonic slickensides on joint planes at the excavation face

fake thickness on a horizontal plane reached ca 15m (see Figures 5, 6 and 7).

In general, the faces of individual excavation rounds were stable and only minor falling of loosened rock blocks and overbreaks occurred. The height of the bedrock over the mined gallery varied between 7–10m. From the geotechnical assessment point of view, the gallery was driven through the NATM excavation support classes 4, 5a and 5b.

During the course of the excavation, the rates of the initiation groundwater inflows to the excavation face were minimal. There were only small springs of groundwater from weakness zones and cracks in the rock massif.

One of the outputs of the geotechnical observation of the excavation was the longitudinal geotechnical section a detail of which (the section of the transfer gallery above Anděl metro station) is presented in Fig. 8.



Obr. 8 Výřez podélného geotechnického řezu přestupní chodbou – úsek nad stanicí

Fig. 8 Cutout from the longitudinal geotechnical section through the transfer gallery – the section above the station

V průběhu ražby byly iniciační přítoky podzemní vody na čelbu jen minimální, a jednalo se jen o drobné výrony podzemní vody z poruchových zón a puklin horninového masivu.

Jedním z výstupů geotechnického sledu ražeb byl podélný geotechnický řez, jehož detail (úsek přestupní chodby nad stanicí metra Anděl) je uveden na obr. 8.

Zajímavostí je, že razící práce probíhaly v přímém nadloží traťového tunelu a stanice metra za plného provozu. V kritických místech nad stanicí byl proto redukován objem použitých trhavin a thací práce byly orientovány do vrchní poloviny kaloty. Thací práce byly v prostoru nad stanicí časově směřovány mimo dopravní špičku, aby bylo ovlivnění cestujících co nejmenší. Před několika prvními odpaly bylo hlídkou zhotovitele na nástupišti výstražně voláno „Pálíme!“, ale posléze od toho bylo upuštěno, neboť u části cestujících tím byla vyvolána panika.

V blízkosti stanice byly v profilu výrubu kaloty zastiženy svorníky z historické doby výstavby stanice Anděl a v počvě montované ostění stanice, obr. 9–11.

Za zmínku stojí také mimořádná událost, která se udála během výstavby stanice metra Anděl v roce 1980. Jednalo se o nadvým s propagací do sklepních prostor domu Stroupežnického 493 [2], ke kterému došlo při ražbě středního staničního tunelu (nadvým byl lokalizován asi 50 m od průniku nově ražené přístupové štoly do stanice metra Anděl). Při otevření výrubu nastal podél tektonické poruchy se střípkovitou výplní výval horninového materiálu na celou výšku skalního nadloží (asi 13 m) do výrubu s následnou (během cca 24 hodin) propagací do zvodnělých nadložních písků a štěrků a sklepních prostor domu. Mezi tehdejšími účastníky výstavby se traduje historka, že jedna z obyvatelk domu propad objevila jdouce do své sklepní kóje pro uhlí nebo brambory (zde se svědectví rozcházejí) a ke svému překvapení zjistila, že nemá ani uhlí (případně brambory), ani sklepní kóji. Schematický podélný řez touto mimořádnou událostí je uveden na obr. 12.

SLEDOVÁNÍ DEFORMACÍ OSTĚNÍ STANIČNÍCH TUNELŮ A PŘÍSTUPOVÉ ŠTOLY

Deformace ostění tunelů stanice metra Anděl byly geodeticky sledovány ve třech profilech v každém z tunelů. Během ražeb nad stanicí byla měření prováděna denně. Byla také prověřena



foto Ivan Šálka photo courtesy of Ivan Šálka

Obr. 9 Rozebírání montovaného ostění, nakladač stojí na rubu původního montovaného ostění stanice, klenba montovaného ostění stanice je zespodu podepřena definitivní betonovou konstrukcí nové výtahové šachty

Fig. 9 Dismantling of the segmental lining; the excavator standing on the external surface of the original segmental lining of the station; the vault of the segmental lining of the station is supported from below by the final concrete structure of the new lift shaft

An interesting fact is that the excavation operations proceeded without any restriction on the operation within the direct overburden of the running tunnel and the metro station. For that reason the volume of explosives used in critical locations above the station was reduced and blasting operations were directed to the upper half of the top heading. In terms of time, the blasting operations in the space above the station were directed beyond the rush hours so that the influence on passengers was minimised. Contractor's guard called "Firing" on the platform before several initial firing cases, but later the calling was abandoned because it caused panic in a part of passengers.

Rock bolts from the historic time of Anděl station construction were encountered in the vicinity of the station and the segmental lining of the station was encountered at the bottom (see Figures 9 – 11).

Worth mentioning is also the extraordinary event which took place during the course of the Anděl metro station in 1980. It was an overbreak which propagated itself into the cellars of the building No. 493 on Stroupežnického Street [2]. The overbreak developed during the excavation of the central station tunnel (it was localised approximately 50m from the entry of the newly driven access gallery into the Anděl metro station). At the moment of opening the excavation, the ground material burst into the excavated opening along a tectonic fault filled with shardy rock material throughout the height of the rock overburden (about 13m). Subsequently (during ca 24 hours) the overbreak propagated itself into the overlying water-bearing sands and gravels and the cellar spaces of the building. A story is passed on among the former participants of the construction that one female resident of the building discovered the sinkhole while going to her cellar for coal or potatoes (here the testimonies diverge) and, to her surprise, she discovered that she had neither coal (or potatoes) nor her cellar. A schematic longitudinal section through this extraordinary event is presented in Fig. 12.



foto Ivan Šálka photo courtesy of Ivan Šálka

Obr. 10 Pohled do raženého díla, počva tvořena ostěním stanice, na rubu montovaného ostění patrná původní výplňová injektáž

Fig. 10 A view down the mined working; the bottom is formed by the station lining; the original backgrouting is visible on the external surface of the segmental lining



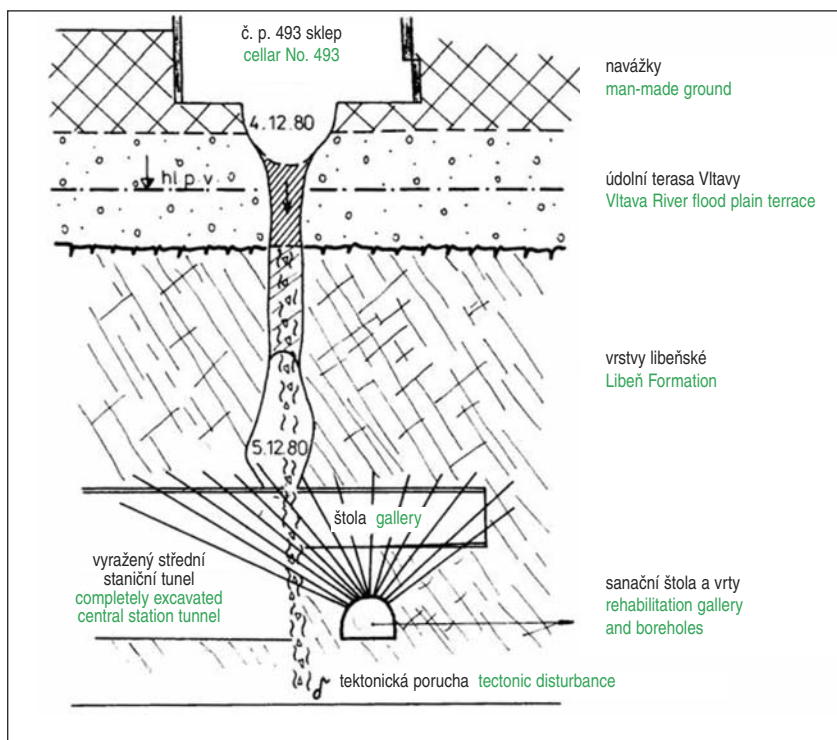
Foto Ivan Šálka photo courtesy of Ivan Šálka

Obr. 11 Pohled do prostoru rozrážky přestupní chodby nad stanicí, v popředí v počvě otvor pro jednu ze šachet s novou betonovou konstrukcí šachty, kolem otvoru v počvě dílce původního montovaného ostění stanice a zbytky původních šroubů spojujících dílce

Fig. 11 A view down the space of the side stub in the transfer gallery above the station; an opening in the bottom for one of the shafts with the new concrete shaft structure in the foreground; segments of the original station lining and remains of original bolts connecting the segments lying around the opening in the bottom

i možnost kontinuálního měření totálními stanicemi, ale tato možnost byla zavržena – v nástupištních tunelech za plného provozu metra nebylo možné spolehlivě zajistit viditelnost odrazných hranolů a ochranu totálních stanic před případnými vandalskými útoky. Ve středním tunelu, uvnitř záboru stavby, nebylo možno zajistit viditelnost odrazných hranolů a ochranu totálních stanic, vzhledem k prováděným stavebním činnostem.

Během ražeb bylo zjištěno, že tuhé montované ostění reagovalo na ražbu posuny v řádu mm směrem k raženému dílu, v důsledku odlehčení (odtěžení) horninového prostředí nad stanicí. Pozorované deformace ostění staničních tunelů stejně jako ostění přístupové štolý dosáhly hodnot do 5 mm.



Zdroj Source [2]

Obr. 12 Schematický podélný řez mimořádnou událostí z roku 1980

Fig. 12 Schematic longitudinal section through the extraordinary event from 1980

MONITORING THE DEFORMATIONS OF LININGS OF THE STATION TUNNELS AND THE ACCESS GALLERY

Deformations of the Anděl metro station lining was monitored by surveying three profiles in each of the tunnels. During the excavation carried out above the station, surveying was carried out daily. Even the possibility of continual surveying using total stations was examined, but this option was discarded – it was not possible in the platform tunnels during full-scale metro operation to reliably secure the visibility of retro-reflective prisms and the protection of total stations against contingent vandalism. In the central tunnel, inside the space acquired for construction, it was impossible to secure the visibility of the retro-reflective prisms and the protection of total stations with respect to the construction activities taking place there.

It was determined during the course of the excavation that the rigid segmental lining responded to the excavation by shifting in the order of unit mm toward the mined working as a consequence of discharging the load (removal) induced by the rock environment above the station. The observed deformations of the station tunnel linings, as well as the lining of the access gallery, reached the values up to 5mm.

The measurements proved that the proposed solution to the excavation on contact with the segmental lining of the station was safe.

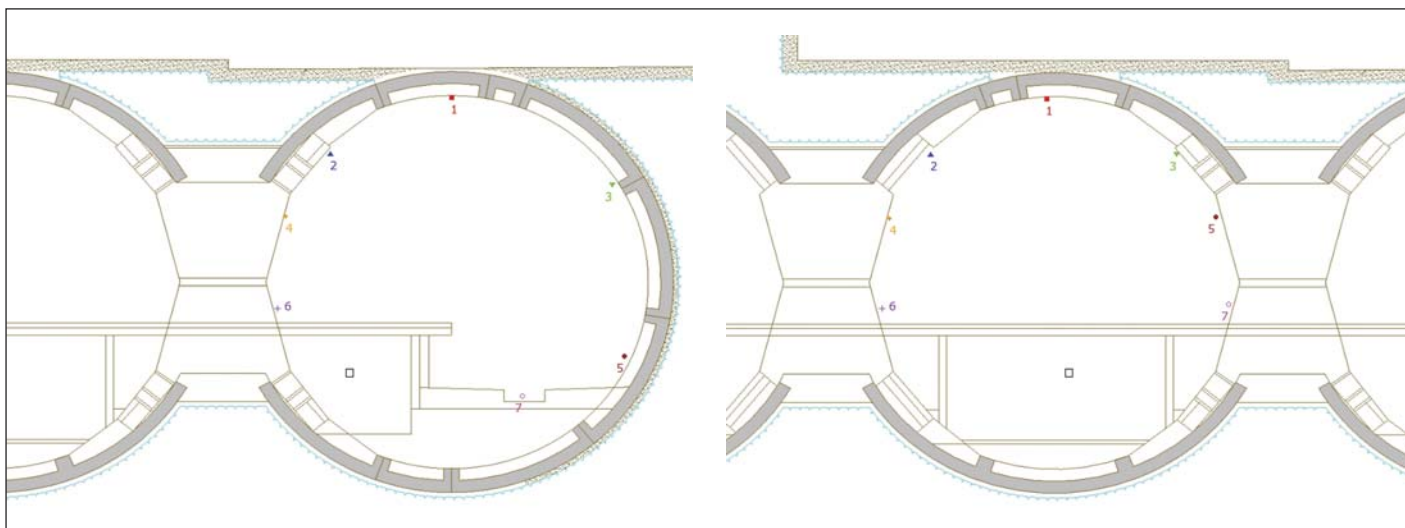
The diagram of the distribution of retro-reflective prisms in a cross-section through the station tunnel is presented in Fig. 13.

DEFORMATIONS OF OVERBURDEN, SURFACE AND EXISTING BUILDINGS

Deformations of the overburden above the transfer gallery and the side excavation stub in the transfer gallery above the Anděl metro station were observed by the extensometer boreholes carried out from Bozděchova Street.

One extensometer (20m long) was installed above the transfer gallery; the measured deformations reached the values in the order of unit mm (settlement of the top heading up to 2mm, the lower anchor just above the transfer gallery excavation 4mm). The other extensometer (19m long) was installed above the side excavation stub above the station. In this case the deformations reached approximately double values in comparison with the first extensometer due to the excavation of the side stub (settlement of the extensometer head up to 2mm, the lower anchor just above the transfer gallery excavation 8mm), see Fig. 14. A bigger problem than the installation of extensometers within the tangle of engineering networks under the Bozděchova Street pavement was the initial resistance of clerical workers of the Municipal District of Prague 5, who resisted approving the requirement for space in the tunnel for the installation of extensometers. The resistance of clerks was overcome thanks to the cooperation of the participants in the construction.

The values of the deformations of the surface of Bozděchova Street and then the buildings observed on Bozděchova Street amounted to 2mm (it is not possible to speak about a settlement trough with respect to the minimum values of settlement).



Obr. 13 Schéma rozmístění odrazných hranolů v příčném řezu staničním tunelem (boční a střední tunel)

Fig. 13 Chart of the distribution of retro-reflective prisms in the cross-section through the station tunnel (a side tunnel and central tunnel)

Měřeními byla prokázána bezpečnost navrženého řešení ražeb v kontaktu s montovaným ostěním stanice.

Schéma rozmístění odrazných hranolů v příčném řezu staničním tunelem je uvedeno na obr. 13.

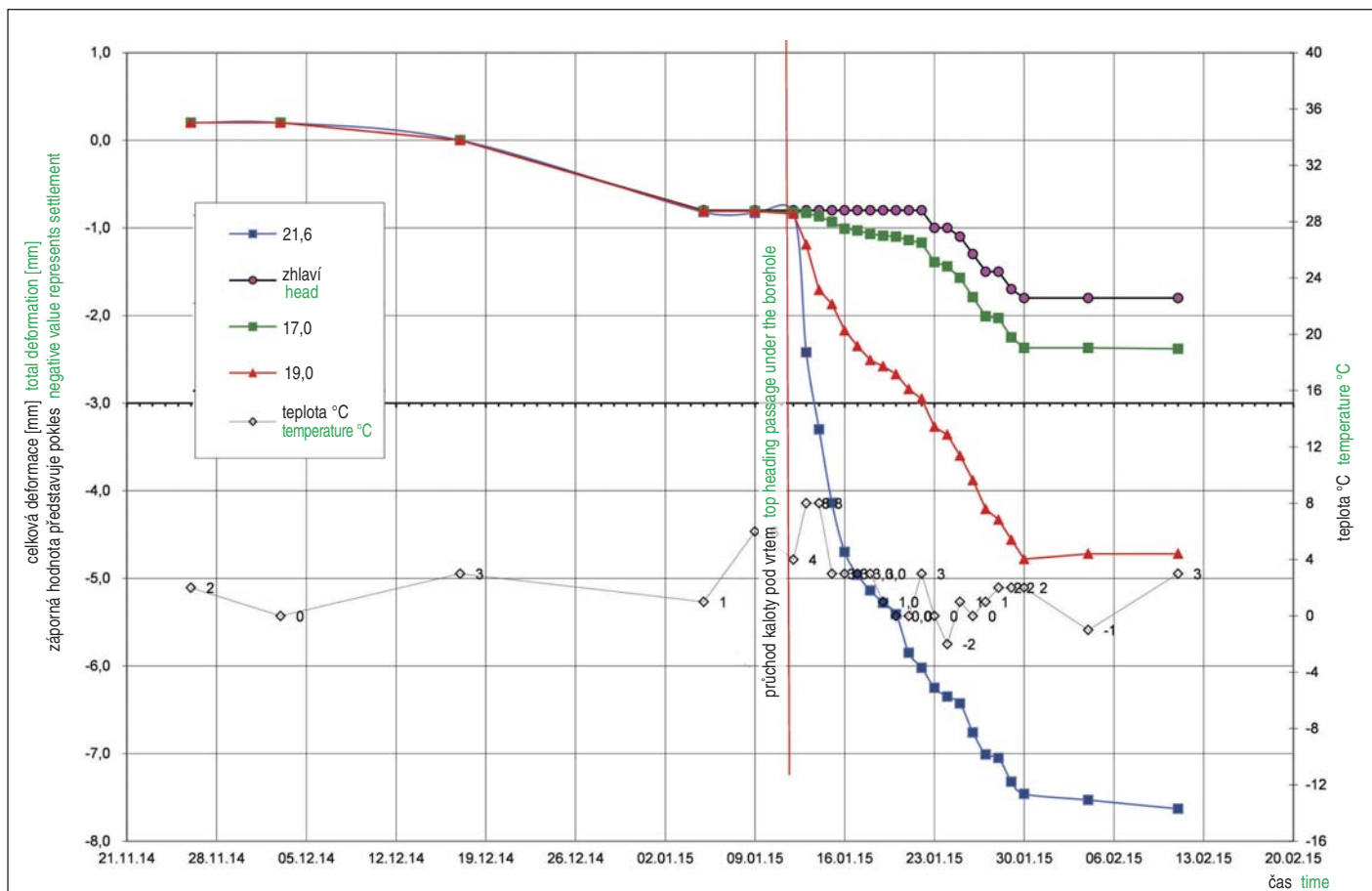
DEFORMACE NADLOŽÍ, POVRCHU A ZÁSTAVBY

Deformace nadloží nad přestupní chodbou a rozrážkou přestupní chodby nad stanicí metra Anděl byly sledovány dvěma extenzometrickými vrty provedenými z Bozděchovy ulice.

From the aspect of the monitoring of deformations, the criteria for warning states specified by the design were not reached.

Even the monitoring of seismic and acoustic effects got by without unexpected results of the response of the structures being observed to the excavation.

Bigger problems were registered from the side of some complainants from the monitored buildings (tenants or owners). For example, the owner of one of the buildings tried to file a failure of the electromagnetic transducer of



Obr. 14 Průběh deformací na extenzometru nad rozrážkou nad stanicí, teplota měřena na povrchu, jedná se o teplotu vzduchu

Fig. 14 The development of deformations on the extensometer above the excavation side stub above the station; the temperature measured on the surface – it is the ambient temperature

Jeden extenzometr (dl. 20 m) byl umístěn nad přestupní chodbou, deformace na něm dosáhly hodnot v řádu mm (zhlaví sedání do 2 mm, spodní kotva těsně nad výrubem přestupní štolky 4 mm). Druhý extenzometr (dl. 19 m) byl umístěn nad rozrážkou nad stanicí. Zde deformace spodní kotvy dosáhly přibližně dvojnásobných hodnot než na prvním extenzometru, kvůli provádění rozrážky (zhlaví sedání do 2 mm, spodní kotva těsně nad výrubem přestupní štolky 8 mm), obr. 14.

Větším problémem než samotná realizace extenzometrů ve spleti inženýrských sítí pod vozovkou Bozděchovy ulice byl počáteční odpor úředníků Městské části Praha 5, kteří se bránili povolit zábor pro provedení extenzometrů. Odpor úředníků byl díky součinnosti účastníků výstavby překonán.

Deformace povrchu Bozděchovy ulice i sledovaných budov v Bozděchově ulici dosahovaly hodnot do 2 mm (vzhledem k minimálním hodnotám sedání nelze hovořit o tvorbě poklesové kotliny).

Z hlediska sledování deformací nebyla dosažena kritéria varovných stavů daná projektem.

Monitoring seismických a akustických účinků se rovněž obešel bez neočekávaných výsledků a reakcí sledovaných konstrukcí na ražby.

Větší problémy byly zaznamenány ze strany některých stěžovatelů (nájemníků nebo vlastníků) ze sledovaných budov. Například vlastník jednoho z objektů se pokoušel na stavbě uplatnit poruchu elektromagnetického snímače výtahu, a to v důsledku provádění trhacích prací. Další vlastník bytu uplatňoval nárok na opravu zvlněné plovoucí podlahy v důsledku provádění trhacích prací, ačkoliv v celém domě nebyly deformace větší než v řádu prvních mm ani rozvoj trhlin zaznamenány. O šetrnosti výstavby k okolnímu horninovému prostředí a zástavbě svědčí i to, že z bohatého zrcadlového vybavení v erotickém masážním salónu v nárožním objektu Bozděchova/Nádražní nebylo žádné zrcadlo poškozeno. Žádné poškození objektu nebylo rovněž zaznamenáno ani v objektu Bozděchova 9, pod kterým byla prováděna rozrážka přestupní chodby nad stanicí, a který byl vlivem stavby (deformačním, akustickým a seismickým) vystaven nejintenzivněji (příklad sledovaných budov v Bozděchově ulici je na obr. 15).

ZÁVĚR

Díky příkladné součinnosti účastníků výstavby nebyly během ražeb zaznamenány vážné geotechnické problémy. Bylo prokázáno, že navržené projekční řešení je použitelné pro bezbariérové zpřístupnění dalších stanic metra s obdobným konstrukčním řešením, za plného provozu s minimálním ovlivněním komfortu cestujících.

*Ing. TOMÁŠ EBERMANN, Ph.D., ebermann@geotest.cz,
Mgr. LUKÁŠ HUBINGER, hubinger@geotest.cz,
Ing. RADEK KLESNIL, klesnil@geotest.cz,
Mgr. PAVEL VIŽĎA, vizda@geotest.cz, GEOTest, a.s.
Ing. VLADIMÍR NOSEK, nosek.vladimir@angermeier.cz,
Angermeier Engineers, s.r.o.*

*Recenzovali Reviewed: Ing. Miroslav Kochánek,
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D.*



*Obr. 15 Příklad sledovaných budov v Bozděchově ulici
Fig. 15 The example of buildings monitored in Bozděchova Street*

a lift caused by blasting operations. Another owner of a flat filed a claim for the repair of a floating floor undulated due to blasting operations, despite the fact that neither deformation values bigger than in the order of first units of millimetres nor the development of cracks were registered in the whole building. The friendliness of the construction work to the surrounding ground mass and buildings is proved even by the fact that no mirror from the rich mirror furnishing in an erotic massage saloon in the Bozděchova/Nádražní street corner building was damaged. No structural damage was even registered in the building No. 9 in Bozděchova Street, under which the side stub was excavated in the transfer gallery above the station and which was exposed to the construction impacts (deformational, acoustic and seismic) most intensely (an example of buildings observed in Bozděchova street is presented in Fig. 15).

CONCLUSION

Thanks to the exemplary cooperation among the parties to the project no more serious geotechnical problems were registered during the course of the excavation. It was proved that the proposed design solution was applicable to the execution of step-free accesses to other metro stations with a similar structural design, without any interruption to the operation and with minimum influencing the passenger comfort.

*Ing. TOMÁŠ EBERMANN, Ph.D.,
ebermann@geotest.cz,
Mgr. LUKÁŠ HUBINGER, hubinger@geotest.cz,
Ing. RADEK KLESNIL, klesnil@geotest.cz,
Mgr. PAVEL VIŽĎA, vizda@geotest.cz,
GEOTest, a.s.
Ing. VLADIMÍR NOSEK,
nosek.vladimir@angermeier.cz,
Angermeier Engineers, s.r.o.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] BURIAN, P., KOCHÁNEK, M. Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Anděl. Tunel, 2015, roč. 24, č. 4, s. 11-23
- [2] VOREL, J. et al. Bezbariérové zpřístupnění stanice metra Anděl, trasa B. Podrobný geotechnický průzkum. PUDIS, a. s., 2013.

TUNELY EJPOVICE – GEOTECHNICKÝ MONITORING

EJPOVICE TUNNELS – GEOTECHNICAL MONITORING

TOMÁŠ EBERMANN, ONDŘEJ HORT, LUKÁŠ HUBINGER, JINDRA OBERHELOVÁ, PAVEL VIŽDA

ABSTRAKT

Článek seznamuje s vybranými dosavadními zkušenostmi z provádění geotechnického monitoringu stavby „Tunely Ejovice“. V době psaní článku je vyražena první tunelová trouba (dl. 4,2 km) a razí se druhá (vyražen 1 km). Stavba je zajímavá především tím, že ražby probíhají ve velmi obtížných a proměnlivých geotechnických podmínkách pomocí přestavitelného tunelovacího stroje. V textu jsou prezentovány poznatky z geotechnického sledu mechanizovaných ražeb, geofyzikálních měření, měření deformací nadloží tunelu a hydrogeologického monitoringu.

ABSTRACT

The paper acquaints readers with selected pieces of existing experience from the implementation of geotechnical monitoring of the “Ejovice tunnel” project works. At the moment of writing the paper the excavation of the first tunnel tube (4.2km long) has been finished and the other tube is being driven (the length of 1km completed). The project is interesting first of all by the fact that the excavation has been passing through very complicated and variable geotechnical conditions using a convertible tunnel boring machine. The text contains knowledge from the geotechnical observation of mechanised excavation, geophysical measurements, measurements of deformations of the tunnel overburden and hydrogeological monitoring.

ÚVOD

Tento článek volně navazuje na článek o výstavbě tunelů Ejovice (dále jen stavba) [1] a vzájemně se doplňuje s článkem kolegů ze společnosti Angermeier Engineers, s.r.o., partnera ve sdružení dodavatele geotechnického monitoringu, o automatickém monitorovacím systému deformací, který bude uveřejněn v některém z dalších čísel časopisu Tunel.

V rámci geotechnického monitoringu jsou prováděny především geotechnický sled ražeb, hydrogeologický monitoring, měření deformací nadloží tunelu (extenzometry a inklinometry) a povrchu.

Dále jsou sledovány hloubené úseky stavby vč. portálů (deformace a kotevní síly), budovy a geofyzikálními metodami je kontrolována homogenita nadloží tunelu.

Článek seznamuje čtenáře s některými poznatky získanými během provádění geotechnického monitoringu stavby.

GEOTECHNICKÝ SLED RAŽEB

V této kapitole jsou shrnuty zkušenosti z ražeb jižní tunelové trouby (dále jen JTT). Její ražba probíhala ve složitých geotechnických podmínkách daných tektonicky porušeným geologickým prostředím s výskytem několika litologických typů hornin rozdílných vlastností a rozdílného stupně zvětrání nebo tektonického porušení. V několika úsecích ražby byl zastižen silně zvodnělý masiv s výraznými přítoky podzemní vody na čelbu (v řádu prvních desítek l/s). Ražba probíhala místy mělce pod povrchem (výška nadloží méně než jeden průměr výrubu, dále jen D) bez skalního nadloží a křížila frekventované komunikace.

Geologická stavba území trasy tunelu je komplikovaná a prochází několika regionálně geologickými jednotkami. Nejstarší a nejrozšířenější jednotkou je svrchní proterozoikum severozápadního křídla Barrandienu zastoupené vulkano-sedimentárním komplexem slabě metamorfovaných hornin. Jedná se o grafitické jílovité břidlice, prachovité břidlice, prachovce a droby. Tyto sedimenty jsou prostoupeny vulkanity – metabazity (spility), které tvoří významné terénní elevace i nahodilá drobná tělesa. V krátkém úseku trasy se vyskytují sedimenty spodního karbonu plzeňské pánve charakteru pískovců až

INTRODUCTION

This paper freely follows the paper on the construction of the Ejovice tunnels (hereinafter referred to as the construction) [1] and is complementary with the paper by colleagues from Angermeier Engineers, s.r.o., the partner in the consortium contracted for the survey monitoring, dealing with the automatic system of monitoring deformations, which will be published in one of the next issues of TUNEL journal.

The following activities are carried out within the framework of the geotechnical monitoring: geotechnical observation of the tunnel excavation, hydrogeological monitoring, measurement of deformations of the tunnel overburden (extensometers and inclinometers) and surveying the terrain surface.

In addition, the cut-and-cover sections of the construction, including portals (deformations and anchoring forces) and buildings, are observed and the homogeneity of the tunnel overburden is checked using geophysical methods.

The paper acquaints readers with some knowledge gained during the implementation of the geotechnical monitoring of the construction.

GEOTECHNICAL OBSERVATION OF THE TUNNEL EXCAVATION

This chapter summarises the experience from the excavation of the southern tunnel tube (hereinafter referred to as the STT). The STT was driven in complicated geological conditions formed by tectonically disturbed geological environment with several lithological types of ground with different properties and different degrees of weathering or tectonic disturbance. A heavily water saturated ground massif with significant inflows of groundwater to the excavation face was encountered in several sections of the excavation. The excavation locally proceeded shallow under the surface (the overburden height less than one excavation diameter, hereinafter referred to as D) with no rock overburden, and crossed busy roads.

The geological structure of the tunnel route area running across several regionally geological units is complicated. The

arkózových pískovců. V nadloží skalního masivu lokálně vystupují jílovité, písčité a šterkovité sedimenty představující relikty neogenní pánve. Kvartérní pokryv je v trase tunelu zastoupen diluviálními, fluviálními i eolitickými sedimenty.

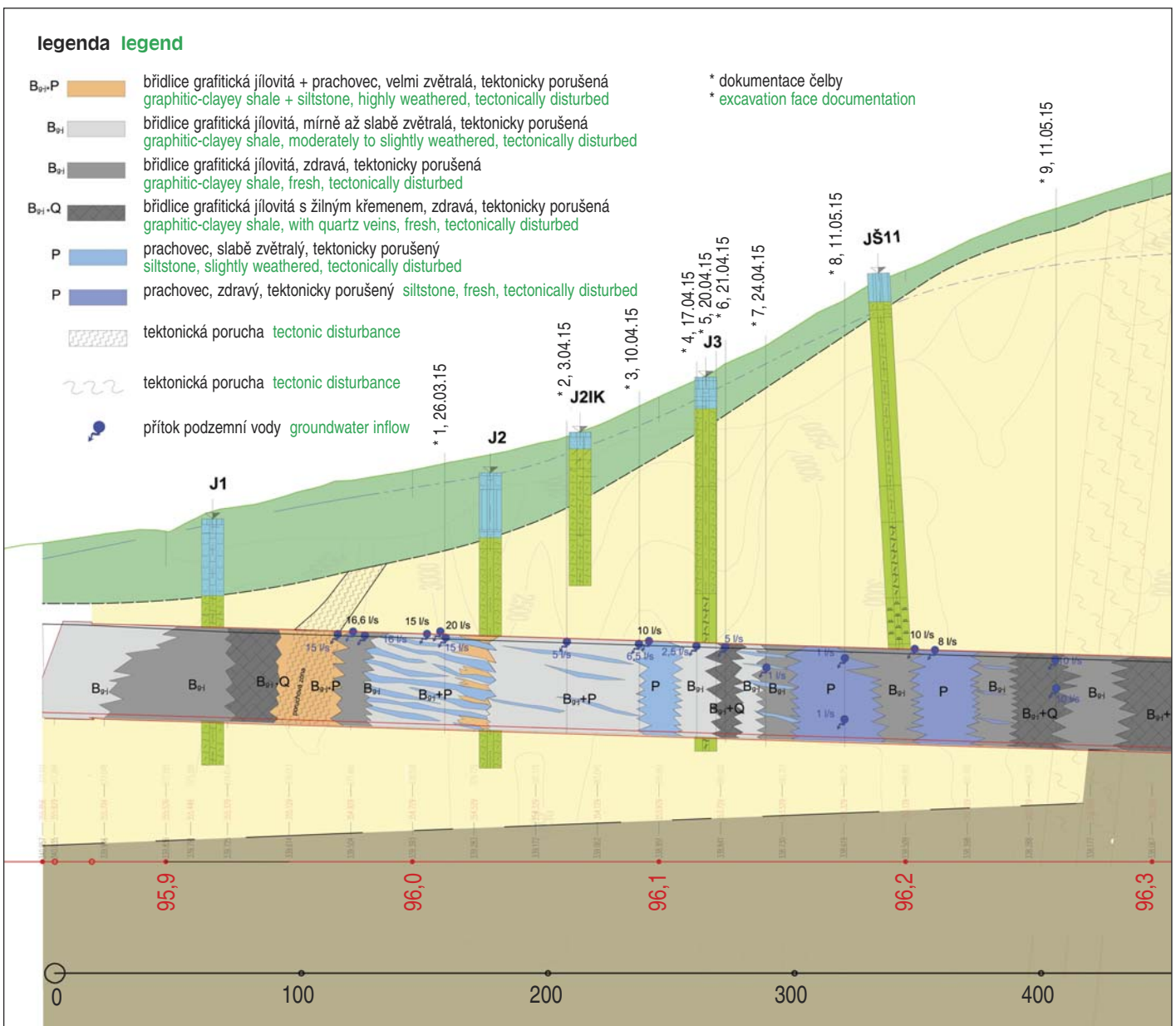
Ražbou JTT byly zastiženy: grafitické jílovité břidlice, prachovité břidlice, břidlice silně prokřemenělé, břidlice s vrstvami prachovce, hydrotermálně alterované břidlice, prachovce, droby, písky, pískovce a spility. Některé z uvedených hornin byly také zastiženy ve všech stupních zvětrání od hornin zcela zdravých až po horniny zcela zvětralé charakteru hlín.

Zhodnocení geotechnických podmínek ražby JTT

Ražba JTT započala na úpatí kopce Homolka. Prvních 250 m ražby byly geotechnické podmínky velmi nepříznivé. Horninové prostředí se skládalo z tektonicky porušených grafitických jílovitých břidlic zastižených v různých stupních zvětrání (od mírně až po velmi zvětralé). Zároveň byly zastiženy polohy prachovců prostupujících v tenkých vrstvách souvrstvím břidlic. Směr vrstevnatosti byl přibližně kolmý k ose tunelu a sklon vrstevních ploch byl u portálu změřen kolem 40°. Ve směru staničení se ale vrstvy sklápějí až do téměř

oldest and most widespread unit is the Upper Proterozoic formation of the north-western wing of the Barrandian syncline represented by the volcano-sedimentary complex of metamorphosed rock types. There are graphitic shale, silty shale, siltstone and greywacke present there. These sediments are pervaded by volcanite rock – metabasite (spilite) forming important terrain elevations as well as random small bodies. Lower Carboniferous sediments of the Plzeň Basin with the character of sandstone to arcose sandstone are encountered in a short section of the route. Clayey, sandy and gravelly sediments representing relics of the Neogene basin locally appear in the rock mass overburden. The Quaternary cover along the tunnel route is represented by diluvial and aeolian sediments.

The following ground types were encountered by the STT excavation: graphitic clayey shale, silty shale, heavily quartziferous shale, shale with siltstone interbeds, hydrothermally altered shale, siltstone, greywacke, sand, sandstone and spilite. Some of the above-mentioned ground types were also encountered at all degrees of weathering, starting from totally fresh up to completely weathered rock with the character of soil.



Obr. 1 Podélný geotechnický řez – úsek prvních 250 m ražeb JTT

Fig. 1 Longitudinal geotechnical section – initial 250m of the STT excavation

subhorizontální pozice (sklon cca do 10°). V počátečním úseku byly výrazné přítoky podzemní vody (v místě tektonických poruch až 20 l/s), které v kombinaci s tektonicky porušenou horninou způsobovaly silně nestabilní výrub, ztěžující až znemožňující údržbu stroje. V několika místech při odtěžování, nebo následném zaplňování komory došlo k lokálním anomálním deformačním projevům ražeb na povrchu. Jedním z výstupů dokumentace skutečně zastižených geotechnických podmínek je podélný geotechnický řez, jehož výřez je uveden na obr. 1.

S postupem ražby hlouběji do kopce Homolka se geotechnické podmínky celkově zlepšovaly. Zastižené horninové prostředí se skládalo z různých litologických typů břidlic a prachovců. Zastoupení břidlic tvoří dominantní podíl masivu a prachovce vystupují spíše podřadně. Ve staničení 97,290 km byly zastiženy prokřemenělé břidlice vyšší pevnosti (R3) se středním až vysokým indexem abrazivity (CAI). V místě poruchových zón jsou však horniny tektonicky porušené, zvrásněné, s tektonickými ohlasy a často doprovázené žilným křemenem (obr. 2 a 3).

Specifický úsek tunelové trasy je oblast nízkého nadloží, nacházející se mezi kopci Homolka a Chlum. Výška nadloží se v tomto úseku pohybuje v rozmezí 21–9 m (tj. 1–2 D) a trasu tunelu navíc křížují místní komunikace i frekventovaná silnice II. třídy č. 233.

V oblasti úseku nízkého nadloží byly při ražbě zastiženy velmi nepříznivé geotechnické podmínky s polohami litologicky proměnlivých typů břidlic, včetně břidlic hydrotermálně alterovaných s porézni strukturou. Ve staničení 97,900–97,960 km byla zastižena poruchová zóna s tektonicky porušenými a zvětřalými horninami a se silným přítokem podzemní



Obr. 2 Tektonicky porušené břidlice s polohami prachovců
Fig. 2 Tectonically disturbed shale with siltstone interbeds in a cutterhead window

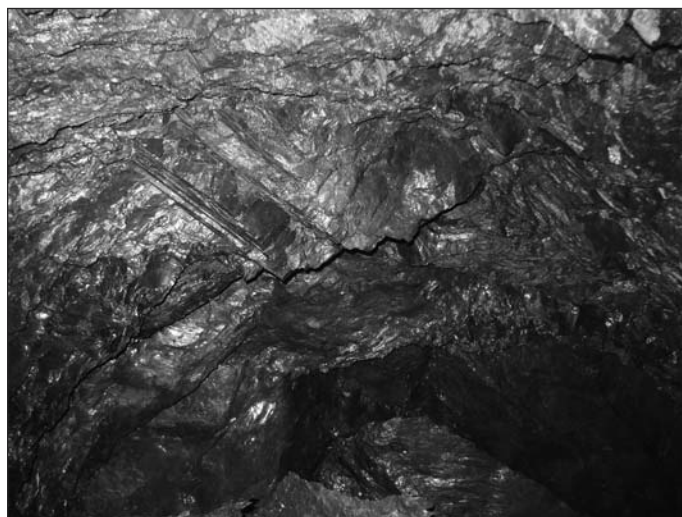
Assessment of geotechnical conditions of the STT excavation

The STT excavation started at the foot of Homolka hill. During the initial 250m of the excavation the geotechnical conditions were very adverse. The ground environment consisted of tectonically disturbed graphitic clayey shale encountered at various degrees of weathering (from moderately to highly weathered). At the same time layers of siltstone pervading in thin layers through series of shale strata were encountered. The bedding trend was approximately perpendicular to the tunnel centre line and the dip of the bedding planes measured at the portal was about 40%. But the beds recline in the direction of chainage up to a nearly sub-horizontal position (dip angle up to ca 10°). In the initial section, there were significant groundwater inflows encountered (in the locations of tectonic disturbances up to 20L/s), causing, in combination with tectonically disturbed rock mass, high instability of the excavation, making the TBM maintenance difficult up to impossible. Local anomalous deformational manifestations of the excavation on the terrain surface appeared at several places during loading the muck or during the subsequent filling of the extraction chamber. One of the outputs of the documentation of actually encountered geotechnical conditions is the longitudinal geotechnical section a detail of which is presented in Fig. 1.

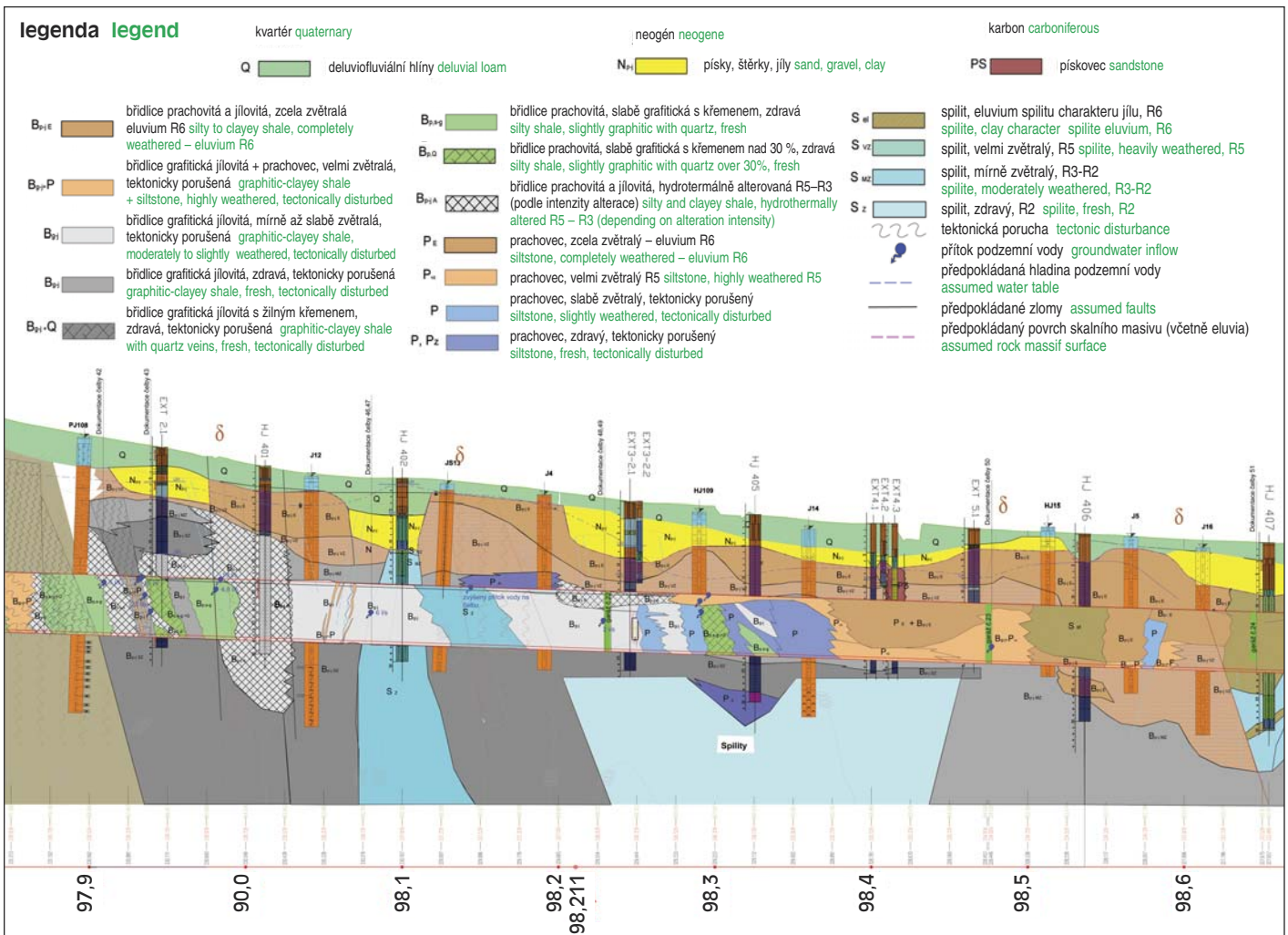
With the excavation proceeding deeper into Homolka hill the geotechnical conditions of the excavation in general improved. The rock environment encountered consisted of various lithological types of shale and siltstone. The representation of shale forms a dominating proportion of the massif and the siltstone proportion is rather minor. At chainage km 97.290, higher strength (R3) quartziferous shale with a medium to high abrasiveness index (CAI) was encountered. However, in the locations of fault zones the rock mass is tectonically disturbed, folded, with tectonic slickensides and is frequently attended by vein quartz (see Figures 2 and 3).

A specific section of the tunnel route is the so-called shallow overburden area between Homolka and Chlum hills. The overburden height in this section varies between 21–9m (i.e. 1–2D) and, in addition, the tunnel route is crossed by local roads and a busy class 2 road No. 233.

Very adverse geotechnical conditions with beds of lithologically variable shale types, including hydrothermally altered



Obr. 3 Tektonicky porušené grafitické jílovité břidlice
Fig. 3 Tectonically disturbed graphitic clayey shale



Obr. 4 Podélný geotechnický řez – úsek nízkého nadloží JTT (část úseku dl. 600 m z celkové délky 1 km)

Fig. 4 Longitudinal geotechnical section – shallow overburden section of the STT (600m long section with the total length of 1km)

vody. Přítoky podzemní vody byly naměřeny až 28 l/s. V tomto úseku bylo horninové prostředí nestabilní a během ražby došlo ke vzniku anomálních deformací s projevy na povrchu. Ve staničení 98,114–98,170 km byla zastížena lokální intruze zdravého spilitu s výrazným prokřemeněním a vysokou pevností horniny R2. Od staničení 98,370 km přecházela ražba do prostředí s dominantním podílem zvětralých hornin (prachovce, břidlice, spility) charakteru zemin (R6). Ve staničení 98,625 km probíhá predikovaný vertikálně ukloněný zlom oddělující masiv břidlic a spilitovou intruzi. Spilit byl zastížen ve zcela zvětralém stavu (R6) a ve směru staničení postupně přecházel do velmi až mírně zvětralého charakteru. Ve staničení 98,726 km byl zastížen strmý pokles povrchu skalního podloží podél zlomu až do úrovně počvy tunelu. Zlom ohraničuje depresi vyplněnou neogenními a karbonskými sedimenty. V úseku staničení 98,726–98,826 km (100 m) ražba probíhala bez skalního nadloží v prostředí písčitých sedimentů (písky, štěrky, zvětralé pískovce) s drobným podílem zvětralých břidlic a spilitů vystupujících ve spodní části výrubu tunelu. V tomto místě zároveň tunel podcházela frekventovanou místní komunikací (ulice Hlavní), která byla během podchodu stroje pod silnicí přemostěna mobilní konstrukcí. I přes nepříznivé podmínky a nízké nadloží se na povrchu komunikace neprojevovaly žádné anomální deformace. Skutečně zastížené geotechnické podmínky v úseku nízkého nadloží JTT jsou dokumentovány v podélném geotechnickém řezu, obr. 4 (část úseku).

shales with a porous structure were encountered in the shallow overburden area. A fault zone with tectonically disturbed and weathered rock types and strong groundwater inflows was encountered at chainage km 97.900–97.960. Groundwater inflow rates up to 28L/s were measured. The rock environment in this section was instable and anomalous deformations manifesting themselves on the terrain surface appeared during the excavation. A local intrusion of distinctly quartziferous fresh spilitite with a high strength R2 was encountered at chainage km 98.114–98.170. From chainage km 98.370, the excavation passes to an environment with a dominant proportion of weathered rock (siltstone, shale, spilitite) with the character of soils (R6). A predicted vertically dipping fault separating the shale massif from the spilitite intrusion is located at chainage km 98.625. Spilitite was encountered in a totally weathered state (R6) and it gradually passed in the direction of chainage into very to moderately weathered conditions. A steep subsidence of the bedrock surface along the fault up to the base of the tunnel excavation was encountered at chainage km 98.726. The fault delimits a depression filled with Neogene and Carboniferous sediments. In the section between chainages km 98.726 and 98.826 (100m) the excavation continued without contact with bedrock, through an environment formed by sandy sediments (sand, gravel, weathered sandstone) with a minor proportion of weathered shale and spilitite emerging at the bottom part of the excavation. In this location the tunnel at the same time



Obr. 5 Spilitový masiv v okně řezné hlavy
Fig. 5 Spilite massif in a cutterhead window

Na úpatí kopce Chlum probíhala ražba v prostředí velmi až mírně zvětralého spilitu pevnosti R4–R3. Ve staničení cca 98,902 km došlo k náhlému přechodu do zdravých a velice pevných šedozelených spilitů, pevnostní třídy R2–R1. Tato neočekávaná skoková změna pravděpodobně souvisela se zastíženou vertikálně ukloněnou zlomovou strukturou. Prudká změna pevnosti horniny způsobila vylámaní obvodových řezných disků razicího stroje. V důsledku absence obvodových disků a vysoké pevnosti horninového prostředí došlo v tomto místě k uvíznutí stroje. Pro provedení údržby stroje, výměnu řezných nástrojů a uvolnění stroje bylo nezbytné zvětšení výrubu ručně, z komory stroje, pomocí trhacích prací. Zbývající úsek ražby probíhal ve zdravých spilitech vysoké pevnosti R2 a R1 (laboratorně ověřeno 108–142 MPa) za zvýšené četnosti kontrol a výměny řezných nástrojů.

Přítoky podzemní vody se pohybovaly v řádu prvních l/min. Z některých odebraných vzorků hornin byly v tomto úseku mikroskopicky určeny i vulkanické žilné horniny ze skupiny lamprofyry (spessartit). Příklad spilitového masivu v okně řezné hlavy je uveden na obr. 5.

Četnost výměny řezných nástrojů přímo souvisela s abrazivitou horninového prostředí. Abrazivita byla průběžně sledována zkouškami abrazivity v laboratoři modifikovaným přístrojem dle metodiky laboratoří Centre d'Études et Recherches des Charbonnages de France (dále jen CERCHAR) [2] (u modifikovaného přístroje se posouvá vzorek horniny, nikoliv zkušební hrot přístroje, jak je tomu u standardního přístroje dle metodiky laboratoří CERCHAR). Zjištěná abrazivita (index CAI) spilitů se pohybovala od abrazivity vysoké (CAI 3,0–3,9) až velmi vysoké (CAI 4,0–4,9). V břidlicích byla abrazivita nejčastěji nízká (CAI 1,0–1,9) až střední (CAI 2,0–2,9). Rozptyl naměřených hodnot abrazivity byl vysoký. Horniny obohacené křemenem vykazovaly celkově vyšší abrazivitu s lokálně až extrémně vysokou abrazivitou (CAI > 5). Naopak břidlice obohacené grafitem nebo porušené tektonikou vykazovaly lokálně velmi nízkou (CAI 0,5–0,9) až neměřitelnou abrazivitu.

Za zmínku stojí i jedna geologická zajímavost s nečekanými dopady do provádění ražeb – ve spilitech byla zjištěna kromě pyritové i pyrotinová mineralizace. Pyrotin je magnetický rudní minerál, chemicky specifikován jako sulfid železnatý. V hornině se vyskytuje ve formě drobných bronzově hnědých, kovově lesklých zrn a žilek. Někdy vytváří lokální shluky a akumulace o velikosti až 15 cm. Na stroji je rubanina na

passed under a busy local road (Hlavní Street), which was bridged by a mobile bridge structure during the passage of the TBM under the road. Despite the adverse conditions and the shallow overburden, no anomalous deformations manifested themselves on the road surface. The actually encountered geotechnical conditions in the shallow overburden section of the STT (part of the section) are documented in the longitudinal geotechnical section in Fig. 4.

At the foot of Chlum hill, the excavation passed through an environment formed by very to slightly weathered spilite with the R4-R3 strength. Approximately at chainage km 98.902 the excavation abruptly passed into fresh and very hard grey-green spilite, strength class R2–R1. This unexpected step change was probably associated with the vertically dipping fault structure encountered. The rapid change in the rock mass strength caused breakage of circumferential disc cutters of the tunnel boring machine. Due to the absence of the disc cutters and the high strength of the rock environment, the TBM got stuck in this location. It was necessary for the purpose of carrying out the machine maintenance, replacing the cutting tools and releasing the machine to enlarge the excavated opening manually, from the TBM extraction chamber, using explosives. The remaining section of the excavation proceeded through fresh spilite with a high strength R2 and R1 (108–142MPa confirmed by laboratory), with the frequency of checks and replacing of cutting tools increased.

Groundwater inflows fluctuated about the order of initial L/minute units. Even volcanic vein rock from the group of lamprophyres (spessartite) was microscopically ascertained in some of the rock mass samples in this section. An example of the spilite rock mass in the cutterhead window is presented in Fig. 5.

The frequency of replacing cutting tools was directly associated with the abrasiveness of the rock mass. The abrasiveness was continually monitored in a laboratory by abrasivity tests using a modified apparatus, using the methodology of the laboratories of the Centre d'Études et Recherches des Charbonnages de France (hereinafter referred to as CERCHAR) [2] (in the case of the modified apparatus the rock sample instead of the tip of the apparatus is shifted as it is in the case of the standard apparatus according to the methodology of CERCHAR laboratories). The determined abrasiveness (CAI index) of the spilite varied from high (CAI 3.0–3.9) up to very high (CAI 4.0–4.9). In shale, abrasiveness was most frequently low (CAI 1.0–1.9) to medium (CAI 2.0–2.9). The variance of the measured values of abrasiveness was high. The rock enriched with quartz exhibited generally higher abrasiveness, locally up to extremely high (CAI > 5). On the contrary, shales enriched with graphite or disturbed by faulting exhibited locally very low (CAI 0.5–0.9) up to immeasurable abrasiveness.

Worth mentioning is also one geologically interesting thing with unexpected consequences for the execution of the excavation work: pyrotin mineralisation was identified in the spilite rock mass in addition to pyrite mineralisation. Pyrotin is a magnetic ore mineral which is chemically specified as ferrous sulphide. In rock it exists in the form of small bronze-brown shiny grains and small veins. Sometimes it forms local clumps and accumulations with the size of up to 15cm. The muck is checked for the presence of steel objects (parts of the TBM, fragments of cutting tools etc.) on the machine, at the beginning of the belt conveyor, by magnetic sensors, which could signal a serious defect of the

začátku dopravníkového pásu kontrolována magnetickými čidly na přítomnost ocelových předmětů (součástí stroje, např. úlomků rezných nástrojů), které by mohly signalizovat vážnou poruchu stroje. Při kontrole rubaniny tak, kvůli nahodilému výskytu magnetického pyrotinového zrudnění v rubanině, docházelo k ovlivnění těchto čidel a k zastavování dopravníkového pásu. V některých úsecích se z těchto důvodů zpomaloval postup ražby. Tento problém byl částečně vyřešen snížením citlivosti čidel a častějšími fyzickými kontrolami rezných nástrojů.

HYDROGEOLOGICKÝ MONITORING

Hydrogeologický monitoring je komplexní souhrn činností, zahrnující sledování hydrogeologických podmínek ražeb, kontrolu úrovní hladiny podzemní vody a její kvality v cca 145 hydrogeologických monitorovacích objektech (zdrojích vody) v okolí stavby (studny u místních obyvatel, pozorovací hydrogeologické vrty a zdroj vody pro průmyslový areál), měření průtoků místních vodotečí a sledování kvality vypouštěné vody ze stavby. Cílem hydrogeologického monitoringu je především kontrola, zda stavba hydrogeologické podmínky ve svém okolí ovlivnila a pokud ano, ovlivnění kvalifikovat a následně kvantifikovat.

Denně se sleduje množství a kvalita vypouštěné vody ze stavby a kvalita vody ve vodárenském zdroji nedaleko stavby (zásobuje zmíněný průmyslový areál).

Měsíčně se sledují úrovně hladiny v cca 145 zdrojích vody (studny a vrty) v okolí stavby (70 objektů je osazeno automatickým záznamovým zařízením, 15 objektů automatickým záznamovým zařízením s dálkovým přenosem dat a zbytek cca 60

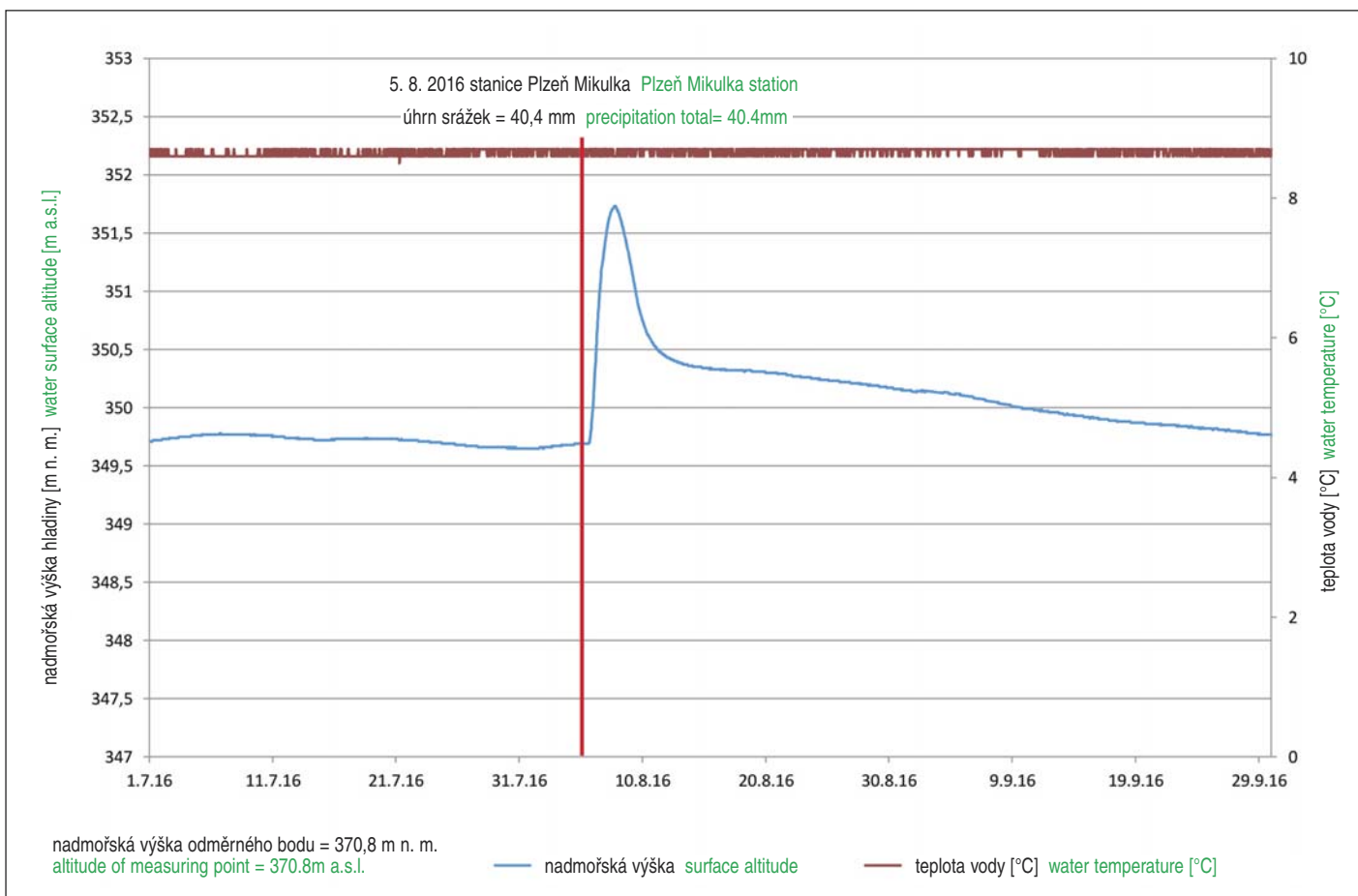
machine. Owing to the random occurrence of the magnetic pyrotine ore mineralisation in the muck during checking of the muck, the sensors were sometimes affected and the conveyor belt was stopped. In some sections the excavation advance rate was reduced for these reasons. This problem was partly solved by reducing the sensitivity of the sensors and more frequent checking of the cutting tools.

HYDROGEOLOGICAL MONITORING

The hydrogeological monitoring is a comprehensive summary of activities comprising the observation of hydrogeological conditions of excavation, observation of water table levels and checks on groundwater quality in ca 145 hydrological monitoring objects (water sources) in the surroundings of the project site (wells owned by local residents, observational hydrogeological boreholes and the source of water for an industrial area), measuring flow rates in local streams and observing the quality of water discharged from the construction site. The objective of the hydrogeological monitoring is first of all to check whether the construction works affected the hydrogeological conditions in the surroundings and, if it is so, to qualify the impact and subsequently quantify it.

The volume and quality of water discharging from the construction site and the quality of water in the water supply source near the construction site (supplying water to the above-mentioned industrial area) are monitored every day.

The water tables are monitored every month in ca 145 water sources (wells and boreholes) in the construction site surroundings (70 objects are equipped with automatic recording devices, 15 objects are provided with automatic recor-



Obr. 6 Změny hladiny podzemní vody ve vrtu HV120
Fig. 6 Changes in water table level in HV120 borehole

objektů je měřeno manuálně; objekty jsou umístěny v trase tunelu i v širším okolí do vzdálenosti přibližně 1,5 km) a dvakrát ročně se na polovině objektů kontroluje kvalita vody. Interakce s místními obyvateli dosud přinesla i několik překvapujících situací, například napadení pracovníků monitoringu psychicky labilní majitelkou studny (monitoring studny byl následně ukončen) a pokousání psem jiné majitelky studny (monitoring tohoto objektu byl rovněž ukončen).

V neposlední řadě jsou v rámci hydrogeologického monitoringu prověřovány stížnosti majitelů zdrojů vody na negativní ovlivnění jejich zdroje vody stavbou (část studní v okolí stavby je pro místní obyvatele jediným zdrojem vody). Od začátku ražeb do doby psaní článku bylo zaznamenáno asi 10 stížností. Dosud nebyla zjištěna příčinná souvislost mezi stavbou a změnou úrovně hladiny nebo kvality vody ve sledovaných hydrogeologických objektech.

Poznatky z provádění hydrogeologického monitoringu ražby JTT

Poznatky ze sledování hydrogeologických podmínek na čelbě byly prezentovány v předchozí části článku.

Pro sledování hladin podzemní vody v hydrogeologických monitorovacích objektech byly objekty rozděleny do asi 10 dílčích oblastí. Dosud bylo zjištěno, že v každé oblasti se hladina podzemní vody chová jinak, a dokonce lze tyto rozdíly najít i v různých částech jedné oblasti. Z pozorovaných změn hladiny podzemní vody v závislosti na výraznějších srážkových úhrnech lze všechny objekty rozdělit podle reakce na srážky na 3 skupiny:

- objekty vázané na přípoверхovou vodu s okamžitou reakcí na srážky;

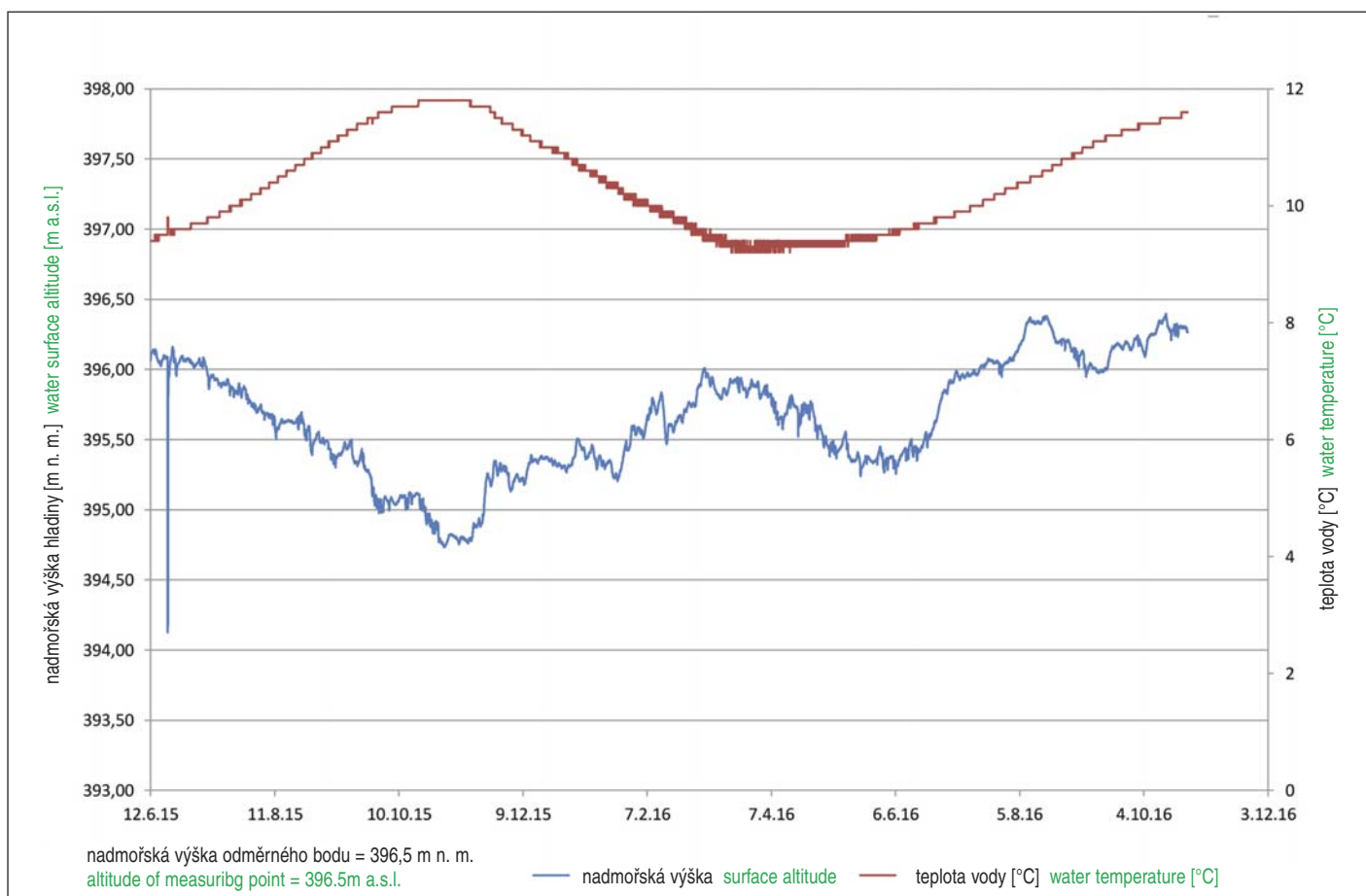
ding devices with remote data transfer and the remaining ca 60 objects are measured manually; the objects are located on the tunnel route and in wider surroundings, up to the distance of approximately 1.5km. The quality of water is checked twice a year approximately on a half of the objects. The interaction with local residents has till now brought even several surprising situations, for example, an assault on monitoring workers by a psychically labile woman, the owner of a well (the monitoring of the well was subsequently terminated) and biting by a dog of another well owning woman (the monitoring of this well was also subsequently terminated).

At last but not least, complaints from owners of water sources about negative effects on their water sources caused by the construction work (part of the wells in the vicinity of the construction site is the only water source for local residents) are examined within the framework of the hydrogeological monitoring. About 10 complaints were registered from the beginning of the excavation until the moment of writing this paper. A causal link between the construction work and a change in the water table level or quality of water in the monitored hydrological objects has not been found yet.

Knowledge gained from the execution of hydrogeological monitoring of the STT excavation

The knowledge from the monitoring of hydrogeological conditions at the excavation face was presented in the previous part of the paper.

The objects were divided approximately to 10 partial groups for the purpose of monitoring water tables in the hydrogeological monitoring objects. So far it has been



Obr. 7 Změny hladiny podzemní vody ve vrtu HV112
Fig. 7 Changes in water table level in HV112 borehole

- objekty částečně vázané na přípovrchovou vodu s pozvolnou reakcí na srážky;
- objekty vázané na hluboký oběh podzemní vody bez zjevného ovlivnění srážkami.

Příkladem objektu s okamžitou reakcí na srážky je například vrt HV120 (vzdálenost od osy JTT 200 m), obr. 6.

K pochopení oběhu podzemní vody a jeho případného ovlivnění stavbou přispívá i záznam teploty vody. Například v jedné z dílčích oblastí (Červený Hrádek) dochází na většině objektů k výrazným výkyvům teploty vody vlivem ročního období. Příkladem je vrt HV112 (vzdálenost od osy JTT 370 m) na obr. 7 (teplota vody reaguje na roční období se zpožděním 2–3 měsíce).

Tato skutečnost ukazuje, že se nejedná o vodu s vyložene hlubokým oběhem ani o vodu přípovrchovou. Voda byla nejspíš infiltrovaná v krátké vzdálenosti v řádu stovek metrů od objektů, ale také může být přiváděna z větší dálky po tektonické linii v horninovém prostředí.

Ze sledovaných objektů je asi 15 vrtů situovaných v těsné blízkosti tunelu. Tyto vrty jsou neovlivněné lidskou činností, jakou je například čerpání vody, které zkrsluje některé naměřené hodnoty. Průběh hladin v těchto vrtech dává nejlepší představu o tom, jaké je neovlivněné pozadí a trend průběhu hladiny podzemní vody v horninovém prostředí a jaký je vliv stavby na hydrogeologický režim. Tyto poznatky pomáhají při posuzování oprávněnosti stížností místních obyvatel na úbytek vody v jejich studních vlivem stavby. Vzhledem k malé vzdálenosti od tunelu se na některých vrtech, respektive na průběhu jejich hladin, rychle a jednoznačně projevil průchod čelby. Například na vrtu HJ109 (ve vzdálenosti 18 m od osy JTT),

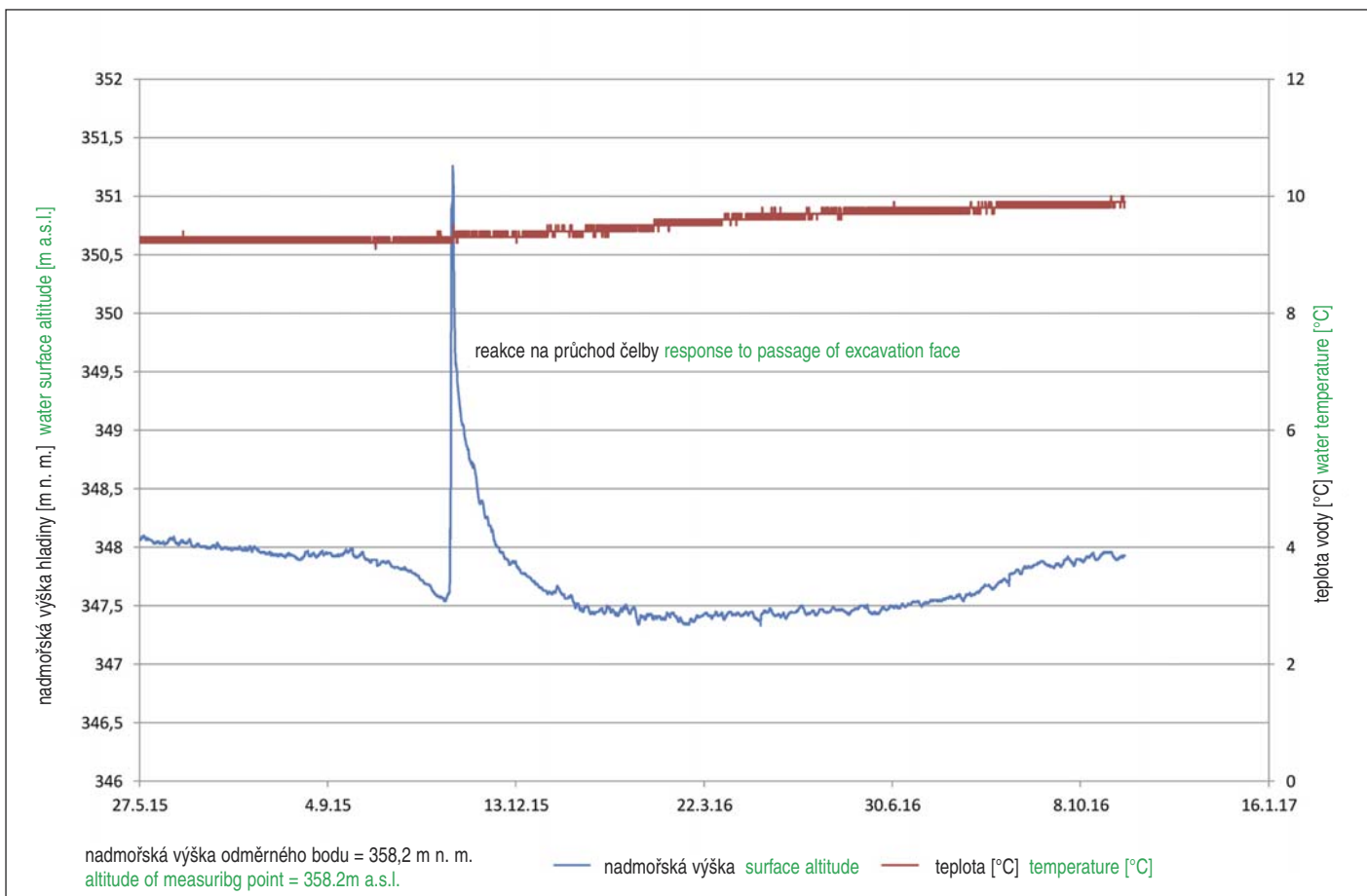
determined that the water table behaves differently in each area and it is even possible to find these differences in different parts of one area. It is possible to divide all objects according to the response to more significant precipitation amount on the basis of the observed changes in the water table levels into 3 groups:

- objects bound to near-surface water with immediate response to precipitation;
- objects partially bound to near-surface water with slow response to precipitation;
- objects bound to the deep circulation of groundwater without obvious affection by precipitation.

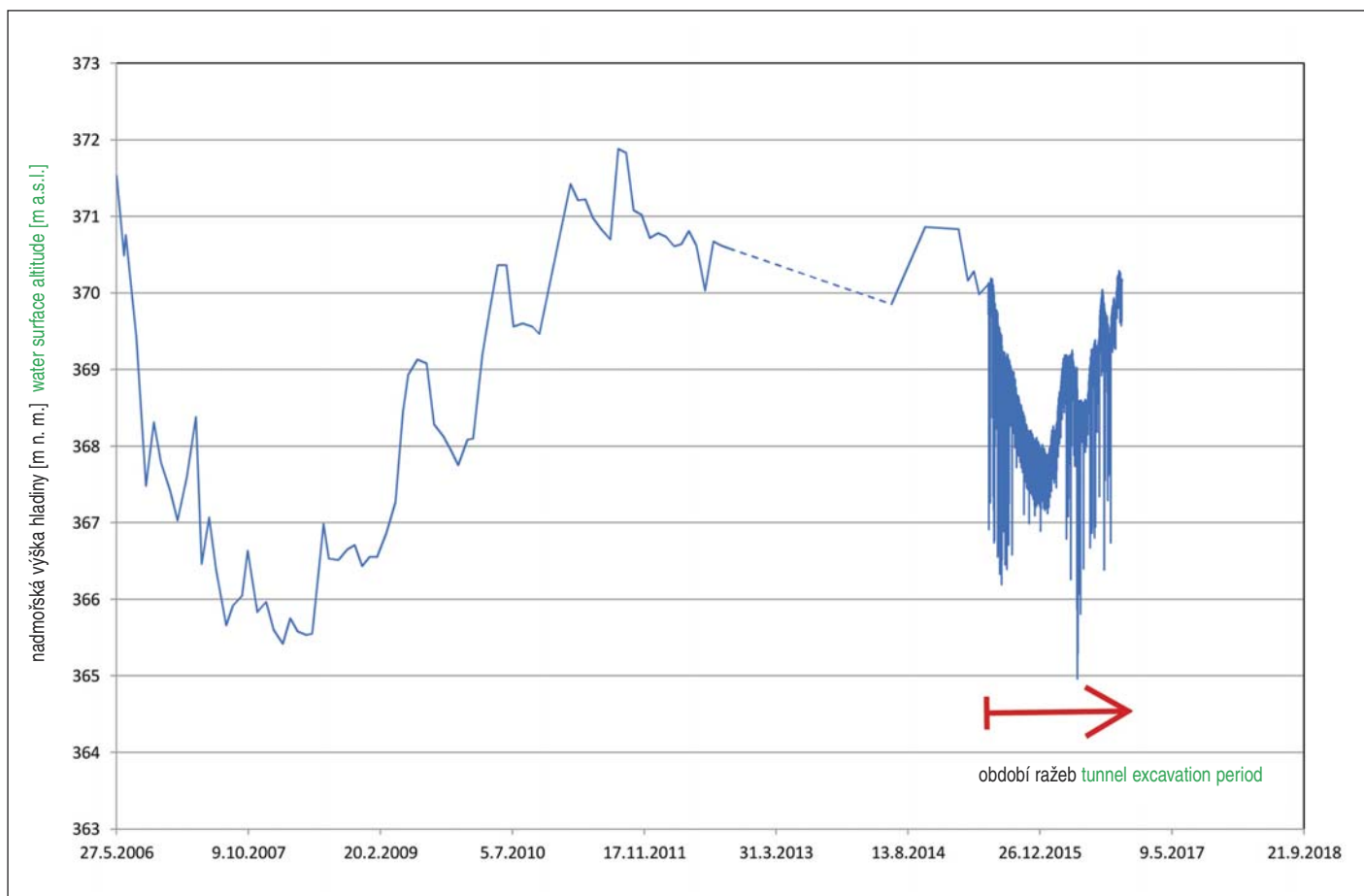
An object with immediate response to precipitation is, for example, the HV120 borehole (the distance from the STT centre line of 200m), see Fig. 6.

Even the recording of water temperature contributes to the understanding of groundwater circulation and its contingent affection by the construction work. For example, significant seasonal fluctuation of water temperature occurs on the majority of objects in one of the partial areas (Červený Hrádek castle). The HV112 (distance from the STT centre line of 370m) in Fig. 7 (water temperature responds to a season with a delay of 2–3 months) is an example.

This fact suggests that this is the case neither of downright deep circulation groundwater nor near-surface water. The water was most likely infiltrated at a short distance in the order of hundreds of metres from the objects, but it also can be carried from a greater distance along a tectonic line existing in the rock environment.



Obr. 8 Změny hladiny podzemní vody ve vrtu HJ109
Fig. 8 Changes in water table level in HJ109 borehole



Obr. 9 Změny hladiny podzemní vody ve studni ID104
Fig. 9 Changes in water table level in ID104 well

obr. 8, je vidět, že hladina reagovala na přibližování se čelby stoupanutím hladiny až do nejvyšší hodnoty v době, kdy čelba byla vrtu nejbližší (hladina stoupla kvůli tlaku v komoře stroje), následně klesala zpátky na zhruba původní úroveň hladiny.

Se sledováním některých vrtů/studní se začalo, díky odborné péči investora, několik let před zahájením stavby. Na těchto objektech lze pozorovat dlouhodobý režim hladiny podzemní vody nezávislý na stavbě. Příkladem je studna v oblasti Zábělá, označena ID104 (vzdálenost od osy JTT 320 m), obr. 9.

DEFORMACE NADLOŽÍ TUNELU

Přestože je prakticky celá trasa tunelů Ejpovice vedena v extravilánu a mechanizovaná ražba ovlivňuje své okolí minimálně, je měření deformací nadloží tunelu v několika oblastech nezbytné. V této kapitole jsou shrnuty především zkušenosti z ražeb JTT.

Úsek nízkého nadloží u vjezdového portálu

Nepříznivé geotechnické poměry této oblasti naznačovala již morfologie terénu. Tzv. vjezdový portál a úvodní úsek ražeb jsou situovány do trychtýřovité svažitého úpatí kopce Homolka tvořeného proterozoickými břidlicemi. Geotechnické podmínky byly popsány výše. Nadloží v úvodním úseku ražeb dosahovalo výšky zpočátku méně než 1 D až 2 D. V oblasti je rovněž ražbou podcházen produktovod společnosti ČEPRO, a. s.

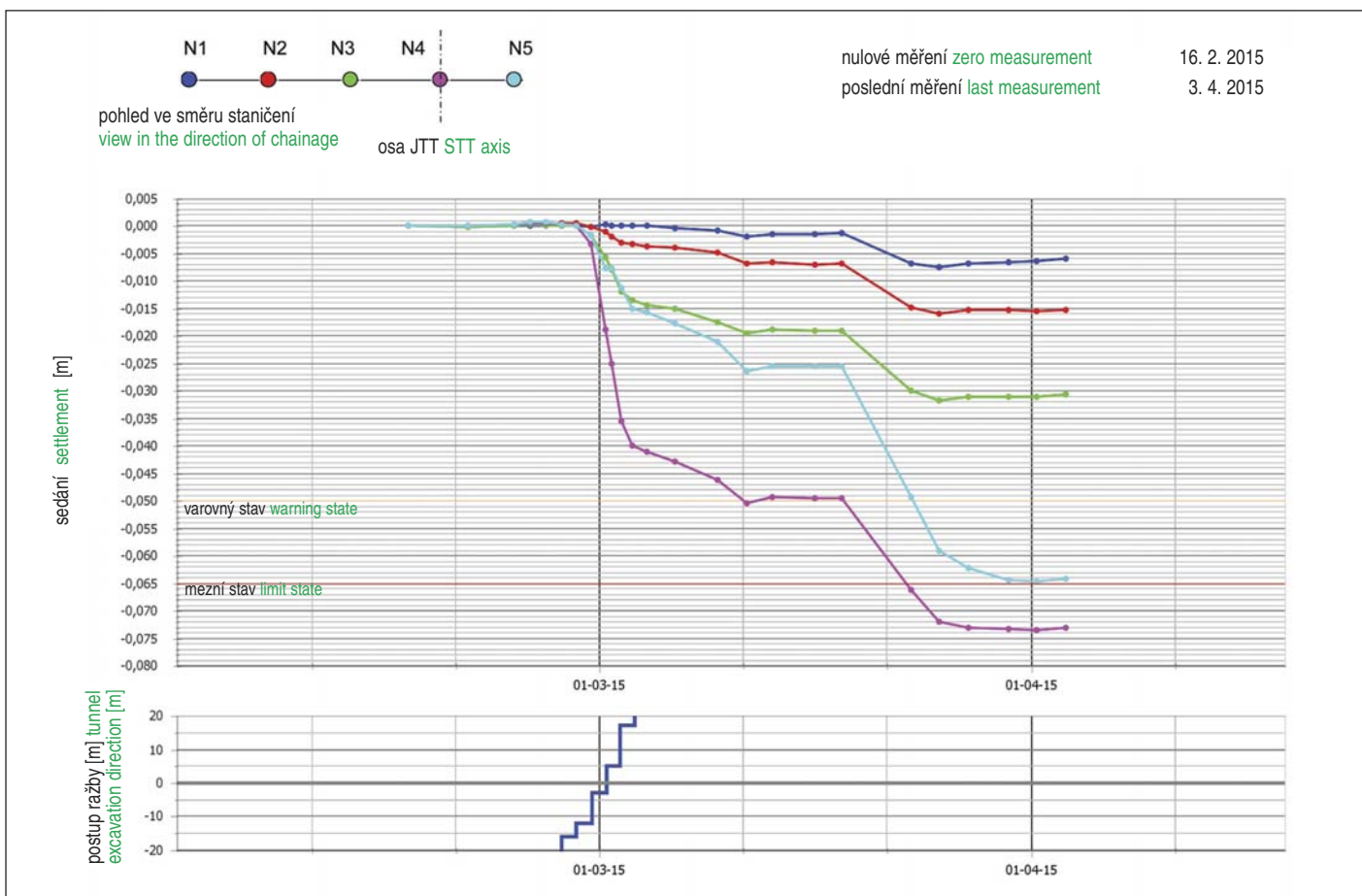
Geodeticky byla oblast sledována tzv. 3D nivelačními body (v terénu stabilizované odrazné hranoly pro trigonometrické měření bez figuranta s nivelační latí), situovanými v osových profilech a ve dvojici příčných profilů, z nichž jeden byl osazen zároveň šesticí extenzometrů (pro ražbu severní tunelové

About 15 of the observed boreholes are located in close proximity to the tunnel. These boreholes are unaffected by human activities, such as, for example, pumping of water distorting the measured values. The course of water levels in these boreholes gives the best idea of the unaffected background and the trend of the course of the water table in the ground environment and about the impact of the construction on the hydrogeological regime. This knowledge helps with assessing the legitimacy of complaints filed by local residents regarding lowering of water surface level in their wells due to the construction work. With respect to the small distance from the tunnel, the passage of the excavation face quickly and unambiguously manifested itself on some boreholes or on the course of water tables in them. For example, it can be seen on borehole HJ109 (at the distance of 18m from the STT centre line), see Fig. 8, that the water table responded to the approaching excavation face by rising the level up to the highest point at the moment when the heading was closest to the borehole. Subsequently it dropped approximately to the original level.

Owing to the professional care of the project owner, the process of monitoring some boreholes/wells started several years before the commencement of the construction works. It is possible to observe the long-term regime of the water table level independent of the construction on those objects. The well in the area of Zábělá marked as ID104 (at the distance of 320m from the STT centre line) is an example, see Fig. 9.

DEFORMATIONS OF THE TUNNEL OVERBURDEN

Despite the fact that virtually the whole alignment of the Ejpovice tunnels is led across a non-build-up area and the



Obr. 10 Sedání nivelačního profilu N-02-1 ve staničení 95,929 km
Fig. 10 Settlement of levelling point N-02-1 at chainage km 95.929

trouby, dále jen STT, byl v tomto úseku doplněn jeden osový extenzometr s kontinuálním měřením).

Sedání v tomto úseku dosahovalo z celé ražby JTT nejvyšších hodnot a lokálně přesahovaly i 70 mm. Tato sedání však nebyla způsobena pouze vlastní ražbou, ale také systematickým odvodňováním masivu, které předcházelo vlastním ražbám a v průběhu ražeb pokračovalo. Sedání terénu se projevovalo především při vysychání jinak značně podmáčeného terénu této oblasti. Terén při odvodňování plošně dosedal i zcela mimo období průchodu ražeb (příkladem je sedání profilu N-02-1 ve staničení 95,929 km, obr. 10).

V tomto období docházelo i ke klesání nejvyšších kotev a zhlaví extenzometrů. Níže (hlouběji) uložené kotvy byly bez ovlivnění (příkladem je osový extenzometr EXT 8.1 ve staničení 95,924 km, obr. 11).

Zajímavě se rovněž projevilo dosednutí terénu vlivem poklesu hladiny podzemní vody na extenzometru ve staničení 95,918 km. Na obr. 12 je vidět, jak se konce měřících tyčí vysunuly ven ze zhlaví extenzometru (spodní kotvy nesedaly, ale terén vč. zhlaví ano).

Lokálně vyšší až anomální deformace způsobovaly i nucené zastávky stroje v nepříznivých geotechnických podmínkách z důvodu nezbytných výměn rezných nástrojů.

Úsek vysokého nadloží v masivu kopce Homolka

Ražba JTT probíhala bez větších potíží v proterozoických břidlicích s výškou nadloží až 6 D. Deformace byly měřeny pouze geodeticky v místech křížení s inženýrskými sítěmi a sedání dosahovala hodnot v řádu prvních mm.

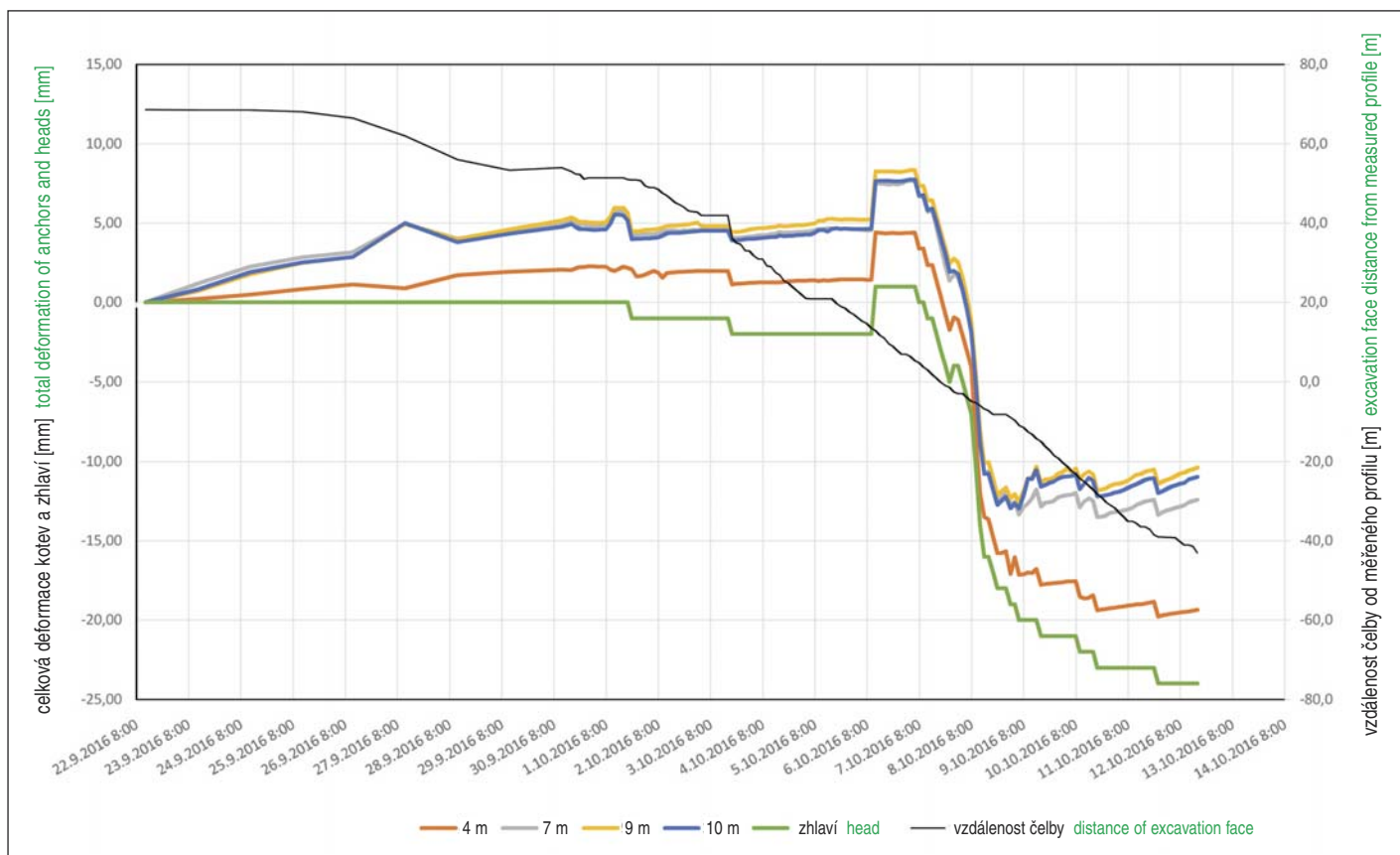
mechanised tunnelling influences its surroundings only minimally, measuring the deformations of the tunnel overburden is necessary in several locations. This chapter first of all summarises the experience gained during the excavation of the STT.

The shallow overburden section at the entrance portal

The existence of unfavourable geotechnical conditions in this area was already indicated by the terrain morphology. The so-called entrance portal and the initial section of the excavation are located on the funnel-like sloping foot of Homolka hill formed by Proterozoic shale. The geotechnical conditions were described above. In the beginning, the height of the overburden in the initial tunnelling section reached less than 1D to 2D. In the area of operations there is in addition a product pipeline owned by ČEPRO, a. s., crossed under by the excavation.

The area was observed by surveying on the so-called 3D survey points (retro-reflective prisms stabilised in terrain for trigonometric surveying without a staff man) located on axial profiles and couples of cross-sectional profiles with additional six extensometers installed in one of them (one continuously measuring axial extensometer was added in this section for the excavation of the northern tunnel tube, hereinafter referred to as the NTT).

Deformations in this sections reached the highest values in the entire STT excavation, locally exceeding even 70mm. This settlement was caused not only by the excavation itself but also by the systematic dewatering of the massif which preceded the tunnel excavation and continued during the excavation. The settlement of terrain surface manifested itself first of all during the process of desiccation of the



Obr. 11 Deformace extenzometru EXT 8.1 ve staničení 95,924 km

Fig. 11 Deformation of EXT 8.1 extensometer at chainage km 95.924

Úsek s nízkým nadložím mezi kopci Homolka a Chlum

Tento úsek již byl zmíněn v části popisující geotechnické podmínky. Je dlouhý asi 1 km a leží mezi kopci Homolka a Chlum. Výška nadloží se pohybuje v rozmezí 1–2 D. Trasa je křížena čtyřmi komunikacemi a řadou důležitých inženýrských sítí (vysokotlaký /VTL/ vodovod DN 400, VTL plynovod DN 80, tlaková kanalizace a další).

Podobně jako v úseku u vjezdového portálu je povrch geodeticky sledován 3D nivelačními body v osových a příčných profilech a extenzometry (s kontinuálním měřením) situovanými v ose tunelů a v příčných profilech. Příčné profily byly většinou osazeny před křížení se sítěmi, nebo komunikacemi.

Při ražbě JTT v tomto úseku se nakonec jako nejkomplicovanější ukázala ražba v oblasti se snižujícím se nadložím na úbočí kopce Homolka. Geotechnické podmínky i chování masivu byly obdobné jako v úseku u vjezdového portálu s vysokými přítoky podzemní vody do výrubu (v řádu prvních desítek l/s). V důsledku těchto nepříznivých podmínek byla pozorována sedání v řádu cm a lokálně, v místě nucených zastávek pro nezbytnou údržbu stroje, anomální deformační projevy ražeb na povrch. V této oblasti byl osový extenzometr EXT 2.1, který dosáhl maximální deformace 55 mm na nejnižší kotvě nad tunelem, přičemž relativní oddálení kotvy od zhlaví dosáhlo 17 mm, obr. 13.

Oproti tomuto úseku probíhaly ražby v další části již bez větších komplikací a bez zvýšených deformací. Sedání v celé zbývající oblasti nepřekračovalo hodnoty do 10 mm a místy docházelo spíše k opačnému jevu, kdy vlivem tlaku v komoře stroje byl pozorován zdvih terénu v řádu prvních mm.

V úseku s nízkým nadložím byla pro operativní řízení parametrů ražeb (především tlaků v komoře) nejdůležitější především nivelační měření osových profilů, s body v rastru po 10 metrech. Na extenzometrech závislost mezi deformacemi a tlaky v komoře podrobně sledována nebyla, protože extenzometrických vrtů nebyl, z tohoto hlediska, dostatečný počet.

otherwise significantly wetted terrain in this area. During the course of the process of dewatering the terrain seated even outside the period of the passage of the excavation face (for example the settlement of the N-02-1 profile at chainage km 95.929, see Fig. 10).

Even the settlement of the highest anchors and extensometer heads occurred in this period. The lower (deeper) installed anchors were not affected (for example the axial extensometer EXT 8.1 at chainage km 95.924, see Fig. 11).

The terrain seating due to dropping of the water table manifested itself in an interesting way also on the extensometer at chainage km 95.918. It can be seen in Fig. 12 how the ends of the measuring rods were shifted from the extensometer head (the lower anchors did not settle but the terrain including the head did).

Locally higher to anomalous deformations were also caused by forced stoppages of the TBM in unfavourable geotechnical conditions because of the necessary replacement of cutting tools.

The high overburden section in the Homolka hill massif

The STT excavation proceeded through Proterozoic shale with the overburden height of up to 6D without more significant complications. Deformations were measured only by surveying in the locations of crossings with utility networks. The settlement reached values in the order of initial millimetres.

The shallow overburden section between Homolka and Chlum hills

This section has already been mentioned in the part describing geotechnical conditions. It is about 1km long and is located between Homolka and Chlum hills. The overburden height varies between 1D and 2D. The route is crossed by four roads and a number of important utility networks (a high-pressure water pipeline DN400, a high-pressure gas main DN80, a pressure sewer etc.).

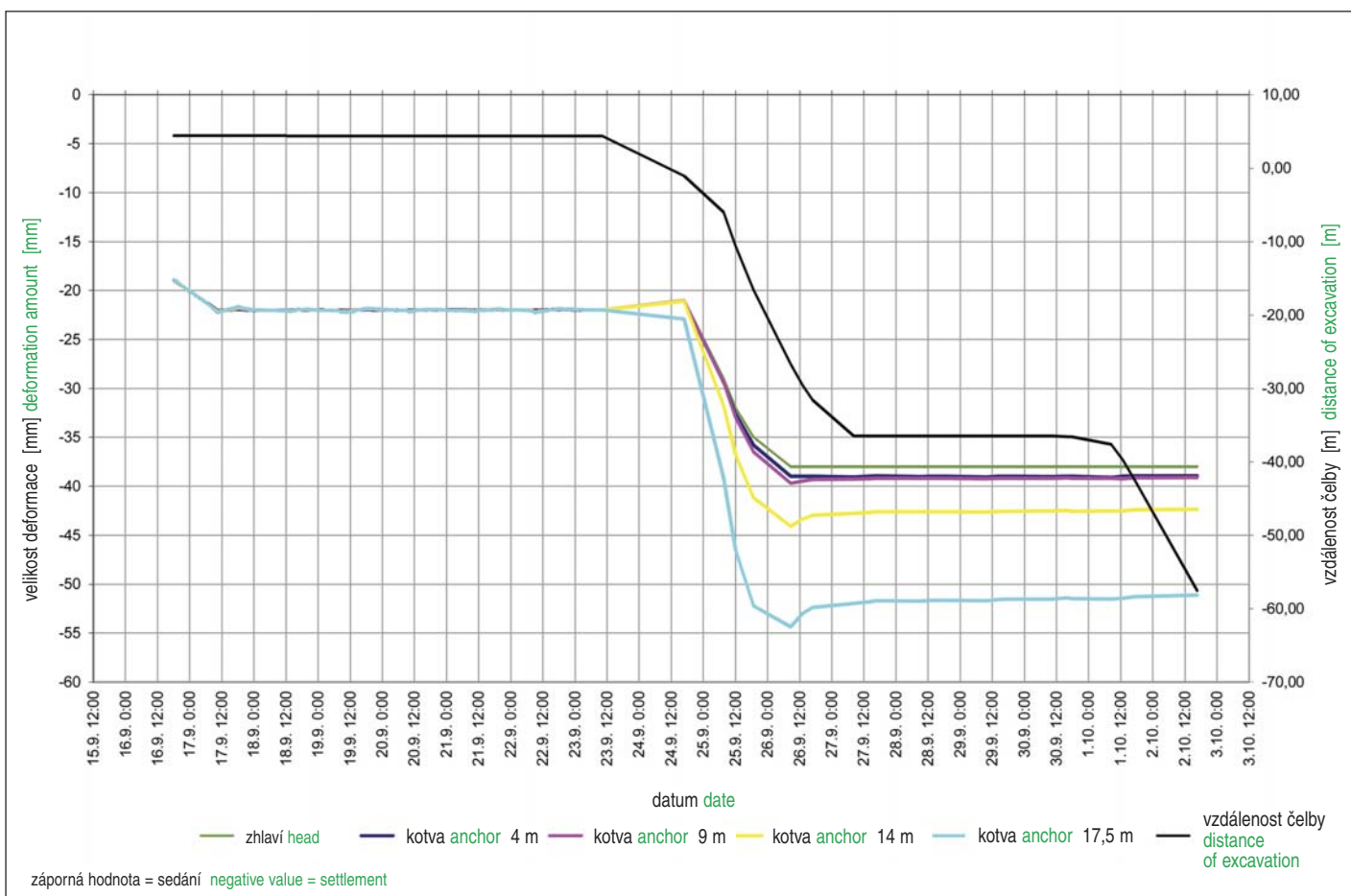


Obr. 12 Detail zhlaví extenzometru ve staničení 95,918 km
Fig. 12 Detail of extensometer head at chainage km 95.918

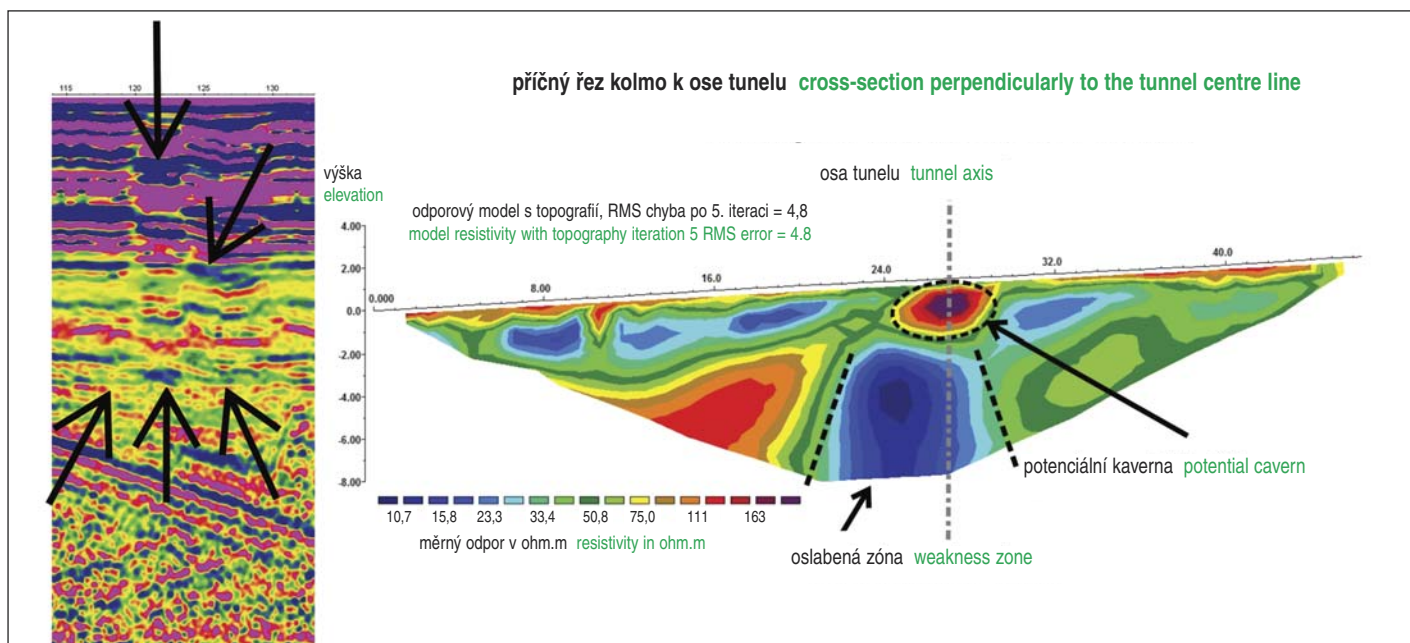
Similarly to the section at the entrance portal, the terrain surface is observed by surveying using 3D levelling points installed in axial and cross-sectional profiles and extensometers (with continuous measurement) located on the tunnel centre line and cross-sectional profiles. The cross-sectional profiles were mostly installed before crossings with utility networks or roads.

During the STT excavation in this section it eventually turned out to be the most complicated in the area with the diminishing height of the overburden on the slope of Homolka hill. The geotechnical conditions and behaviour of the massif were similar to those in the section at the entrance portal, with high rates of groundwater inflows into the excavation (in the order of initial tens of L/s). Due to the unfavourable conditions, settlement values in the order of centimetres were observed and locally, in the locations of forced stoppages necessary for the maintenance of the TBM, even anomalous deformational manifestations of the excavation to the terrain surface. The maximum deformation of 55mm was measured on the lowest anchor by the axial extensometer EXDT 2.1, which was installed in this area. The relative separation of the anchor from the anchor head reached 17mm, see Fig. 13.

Compared to this section, the tunnel excavation in the following part proceeded without bigger complications and without increased deformations. The settlement values in the entire remaining area did not exceed 10mm and even an opposite effect was locally encountered when terrain lifting in the order of initial millimetres due to the pressure in the TBM extraction chamber was observed.



Obr. 13 Deformace extenzometru EXT 2.1 ve staničení 97,945 km
Fig. 13 Deformation of EXT 2.1 extensometer at chainage km 97.945



Obr. 14 Vlevo nehomogenita vrstev v nadloží tunelu detekovaná georadarem (profil v ose JTT), vpravo anomálie v tomtéž místě na výstupu z ERT
 Fig. 14 Pictured left, the inhomogeneity of layers in the tunnel overburden detected with a ground penetrating radar (a profile on the STT centre line), the anomaly in the same location in the ERT output pictured right

Úsek pod kopcem Chlum

Ražby JTT probíhaly v pevných spilitech pod vysokým nadložím v režimu hard rock. Deformace byly sledovány pouze v závěrečném úseku ražeb na úpatí kopce Chlum, těsně před prorážkou do tzv. výjezdového portálu. Sedání dosahovala hodnot do 10 mm.

Inklinometrická měření

Tři inklinometry jsou sledovány za stěnou vjezdového portálu a jeden inklinometr za stěnou výjezdového portálu. Inklinometry přispěly ke kontrole deformací horninového masivu za portálovými stěnami a byly v relaci s deformacemi portálových stěn (pozorovány pohyby stěn do jámy v řádu mm až prvních cm).

Další dva inklinometry jsou osazeny u středové technologické šachty a tunelové propojky č. 6. Při vlastním hloubení šachty nebyly ovlivněny (neboť šachta byla v předstihu zajištěna převrtávanými pilotami). Tyto inklinometry budou sledovány především při ražbě STT, kdy ražba bude těsně míjet šachtu, a při prorážce tunelové propojky č. 6 do STT.

Zkušenosti z dosud provedených ražeb potvrdily nezbytnost automatizovaného (kontinuálního) měření deformací během strojních ražeb. Bez kontinuálního měření deformací nadloží tunelu by nebylo možno při obsluze razicího stroje operativně reagovat na proměnlivé geotechnické podmínky.

GEOFYZIKÁLNÍ OVĚŘOVÁNÍ HOMOGENITY NADLOŽÍ TUNELU

V reakci na zastížené velmi nepříznivé geotechnické podmínky a lokální anomální deformační projevy ražeb JTT na povrch je geofyzikálními metodami (georadarem s anténou 50 MHz a vysílačem s pulzem 5 kV a elektrickou odporovou tomografií, dále jen ERT) kontrolována homogenita nadloží tunelu. Nadloží tunelu je geofyzikálně ověřováno před průchodem čelby a po průchodu čelby (po dokončení sekundární injecktáže prostoru mezi ostěním a horninovým prostředím), a to v úseku pod nízkým nadložím mezi kopci Homolka a Chlum a v úseku nízkého nadloží v oblasti vjezdového portálu.

V místech, kde byly nejprve georadarem zjištěny odchylky mezi oběma etapami měření a kde bylo detekováno možné rozvolnění masivu, je následně provedeno ověření homogenity nadloží pomocí ERT.

In the low overburden section, the most important for operative control of the excavation parameters (mainly pressures in the chamber) was surveying of the axial profiles with the spacing of the survey points of 10 metres. The dependence between deformations and pressures in the chamber was not monitored in detail on extensometers because the number of extensometer boreholes was not sufficient for this purpose.

The section under Chlum hill

The STT tunnel excavation proceeded through fresh spilitite, under a high overburden, in the hard rock regime. Deformations were monitored only in the final section of the excavation at the Chlum foothill, just before the breakthrough to the so-called exit portal. Settlement values amounted up to 10mm.

Inclinometer measurements

Three inclinometers are observed behind the entrance tunnel wall and one inclinometer is behind the wall of the exit portal. The inclinometers contributed to checking the deformations behind the portal walls and were in relation to deformations of the portal walls (the movements of the walls to the observed pit in the order of millimetres up to initial centimetres).

Other two inclinometers are installed at the middle technological shaft and tunnel cross passage No. 6. They were not affected during the sinking of the shaft itself (because the shaft excavation was supported in advance by secant bored piles). Those inclinometers will be monitored first of all during the excavation of the northern tunnel tube (NTT), when the excavation will narrowly pass the shaft, and during the breakthrough of the tunnel cross passage No. 6 to the NTT.

Experience from the until now completed excavation confirmed the necessity for automated (continuous) measuring of deformations during the course of the mechanical tunnelling. It would be impossible for the TBM operator to operatively respond to variable geotechnical conditions without continuous measurements of deformations of the tunnel overburden.

GEOPHYSICAL VERIFICATION OF TUNNEL OVERBURDEN HOMOGENEITY

As a response to the very unfavourable geotechnical conditions and the local anomalous manifestations of the STT



Obr. 15 Místo označeného rozvolnění podloží (nahnutý kolík) na základě geofyzikálního ověření a následný propad před provedením plánované sanace (průměr propadu cca 3 m)

Fig. 15 Location of loosened bedrock marked on the basis of geophysical verification (a slanted peg) and a subsequent sinkhole before the planned rehabilitation (sinkhole diameter of ca 3m)

Při ražbě JTT se ve dvou případech výsledky obou metod velmi dobře shodovaly a naznačovaly možné rozvolnění nadloží tunelu pod povrchem. Na obou místech bylo rozvolnění masivu skutečně potvrzeno. Na jednom místě došlo před provedením sanace k propagaci na povrch, obr. 14 a 15. Druhé místo bylo sanováno odkopem a dosypáním.

Uvedená dvě místa byla jedinými anomáliemi, které byly zjištěny v rámci geofyzikálního ověřování v oblasti celého nízkého nadloží a které byly následně potvrzeny. Objektivně je nutno poznamenat, že geofyzikálním ověřováním byly indikovány i anomálie, které se následně nepotvrdily. I díky geofyzikálnímu ověřování homogenity nadloží tunelu ražba JTT proběhla ve velmi nepříznivých geotechnických podmínkách bezpečně.

ZÁVĚR

Stavba tunelů Ejpvovice probíhá ve velmi složitých a nepříznivých geotechnických podmínkách. Ražby se daří provádět bezpečně bez závažných geotechnických problémů. Děje se to i díky bezvadné součinnosti všech účastníků výstavby a zejména díky investorovi, který, dnes bohužel jako jeden z mála v České republice, disponuje odborně zdatnými pracovníky, kteří vědí, co chtějí, a jsou schopni roli investora plnit se vším, co k tomu patří.

Dosud získané poznatky z ražeb jsou cenné z hlediska provádění tunelů Ejpvovice (zbývá ještě provést tři čtvrtiny STT), ale i vzhledem k dalším připravovaným tunelovým projektům za použití technologie mechanizovaných ražeb.

Ing. TOMÁŠ EBERMANN, Ph.D., ebermann@geotest.cz,
Ing. ONDŘEJ HORT, hort@geotest.cz,
Mgr. LUKÁŠ HUBINGER, hubinger@geotest.cz,
RNDr. JINDRA OBERHELOVÁ, oberhelova@geotest.cz,
Mgr. PAVEL VIŽDA, vizda@geotest.cz
GEOtest, a.s.

Recenzovali Reviewed: Ing. Václav Veselý, Ing. Štefan Ivor

excavation on the terrain surface, the tunnel overburden homogeneity is checked using geophysical methods (ground penetrating radar with a 50MHz and 5kV pulse transmitter and electrical resistivity tomography, hereinafter referred to as the ERT). The tunnel overburden is geophysically verified prior to the passage of the excavation face (after the completion of the secondary backgrouting), in the shallow overburden section between Homolka and Chlum hills and in the shallow overburden in the area of the entrance portal.

The overburden homogeneity is subsequently verified using the ERT in the locations where deviations between two measurement stages were first identified using the ground penetrating radar and where the possible loosening of the massif was detected.

The results of both methods very well agreed with each other during the course of the STT excavation and signalled the possibility of loosening the overburden under the surface. The loosening of the massif was really confirmed in both locations. In one location the tunnel excavation propagated itself up to the surface before the installation of the support, see Figures 14 and 15. The second place was stabilised by cutting the hillside and adding the missing ground fill.

The above-mentioned two locations were the only anomalous cases which were identified within the framework of the geophysical verification in the entire area of shallow overburden and which were subsequently confirmed. It is objectively necessary to note that even such anomalies were identified by the geophysical verification which were not subsequently confirmed. Even thanks to the geophysical verification of the overburden homogeneity the STT excavation through the very adverse geotechnical conditions passed off safely.

CONCLUSION

The construction of the Ejpvovice tunnels has proceeded in very complicated and unfavourable geotechnical conditions. The excavation has been carried out successfully, safely, without serious geotechnical problems. It is so even thanks to the flawless cooperation of all parties to the project and, first of all, thanks to the project owner, who, today unfortunately one of the few in the Czech Republic, employs technically competent staff who know what they want and are capable of fulfilling the role of the project owner with everything that goes with it.

All knowledge obtained so far from the excavation of the Ejpvovice tunnels (three quarters of the NTT excavation remain to be carried out) is valuable, even with respect to other tunnel construction projects under preparation where the mechanised excavation technology (TBMs) to be used.

Ing. TOMÁŠ EBERMANN, Ph.D., ebermann@geotest.cz,
Ing. ONDŘEJ HORT, hort@geotest.cz,
Mgr. LUKÁŠ HUBINGER, hubinger@geotest.cz,
RNDr. JINDRA OBERHELOVÁ, oberhelova@geotest.cz,
Mgr. PAVEL VIŽDA, vizda@geotest.cz
GEOtest, a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ANDĚL, V., HYBSKÝ, P., IVOR, Š., MAJER, M., RÖSSLER, K. Tunel Ejpvovice u Plzně. Tunel, 2016, roč. 25, č. 2, s. 11–23.
- [2] ALBER, M. et al. ISRM Suggested Method for Determining the Abrasivity of Rock by the CERCHAR Abrasivity Test. Rock Mechanics and Rock Engineering, 2013. Springer ISBN 0723-2632.

PŘIPRAVOVANÉ BRNĚNSKÉ TUNELY

BRNO TUNNELS UNDER PREPARATION

DAVID RUPP

ABSTRAKT

Článek je zaměřen na stav tunelové výstavby na území statutárního města Brna, včetně problematiky tunelů, které mají vazbu na postupně budovaný velký městský okruh. Do současnosti bylo úspěšně dokončeno několik významných projektů tunelových staveb, jako jsou tunely Pisárecký, Husovický, galerie/tunel Hlinky a jako poslední zprovozněný Královopolský, který nyní slouží veřejnosti již pátým rokem. Článek nemá ambici podat vyčerpávající informaci o provozovaných a projektovaných tunelových stavbách na území Brna, jejich technických parametrech, průběhu výstavby a geologických podmínkách. Jedná se o výběr několika příkladů tunelových projektů, které by měly v budoucnu zlepšit dopravní situaci v Brně, a to silničního tunelu Vinohrady, tramvajového tunelu Žabovřeského a tramvajového tunelu v městské části Bystrc. Na přípravě těchto staveb se ve fázi jejich přípravy podílela společnost GEOtest, a.s. průzkumnými pracemi, geotechnickým zkušebnictvím a konzultační činností. Zmíněné projekty se nacházejí v různém stupni projekční a investorské přípravy. Článek představuje jejich aktuální stav a vybrané, zejména geologické aspekty, které bude třeba v projektu a při následné výstavbě zohlednit.

ABSTRACT

The paper is focused on the condition of the construction of tunnels in the area of the Statutory City of Brno, including of the problems of tunnels relating to the gradually developing Large City Ring Road (LCRRR). Until now several important tunnel construction projects have been finished, for example the Pisárky and Husovice tunnel, the Hlinky gallery/tunnel and, as the last one opened to traffic, the Královo Pole tunnel, which has been used by the public already for the fifth year in a row. The paper has no ambition to provide comprehensive information about tunnel structures operating and under design in the area of Brno, their technical parameters, the courses of construction and geological conditions. It is a selection of several examples of tunnel construction projects which should improve the transportation situation in Brno in the future, namely the Vinohrady road tunnel, the Žabovřesky tramway tunnel and the tramway tunnel in the municipal district of Bystrc. GEOtest, a.s. participated in the preparation of those projects in the phase of their preparation by survey operations, geotechnical testing and consultancy. Those projects are in various stages of designing and investment preparation. The paper introduces their current condition and selected aspects, in particular geological, which will have to be taken into consideration in the design and during the course of the subsequent construction.

1 ÚVOD

V současnosti není situace v České republice, co se týká aktuálních realizovaných projektů podzemních inženýrských staveb, právě radostná. S výjimkou železničního tunelu raženého u Ejovic na trati č. 170 Praha – Plzeň, který má za úkol napřímení této trati o cca 6 km, neděje se v tunelovém stavitelství nic podstatného.

Situace by se v budoucnosti měla změnit k lepšímu, bohužel nikoliv v Brně. Ve stupni DÚR (dokumentace pro územní rozhodnutí) jsou připravovány tunelové stavby na dálnici D3 Praha – České Budějovice (sedm dálničních tunelů), na dálnici D11 (dva dálniční tunely), na silnici R35 (tři tunely). Pokud bude úspěšně pokračovat příprava realizace nových silničních tunelů na městském a pražském okruhu, na silnici R49 ve Zlínském kraji, městských tramvajových tunelů a úseků pražského metra, které jsou v současnosti investorskými, projekčními a průzkumnými organizacemi v různých projektových stupních připravovány, nevypadá to s výstavbou tunelů v České republice ve střednědobém horizontu zase tak úplně špatně.

2 STAV TUNELOVÉ VÝSTAVBY V BRNĚ

V současnosti provozované brněnské tunely jsou součástí tzv. brněnského velkého městského okruhu (VMO) a Pražské radiály. Trasa VMO je významnou součástí základního komunikačního systému (Z-67) města Brna. Základní komunikační

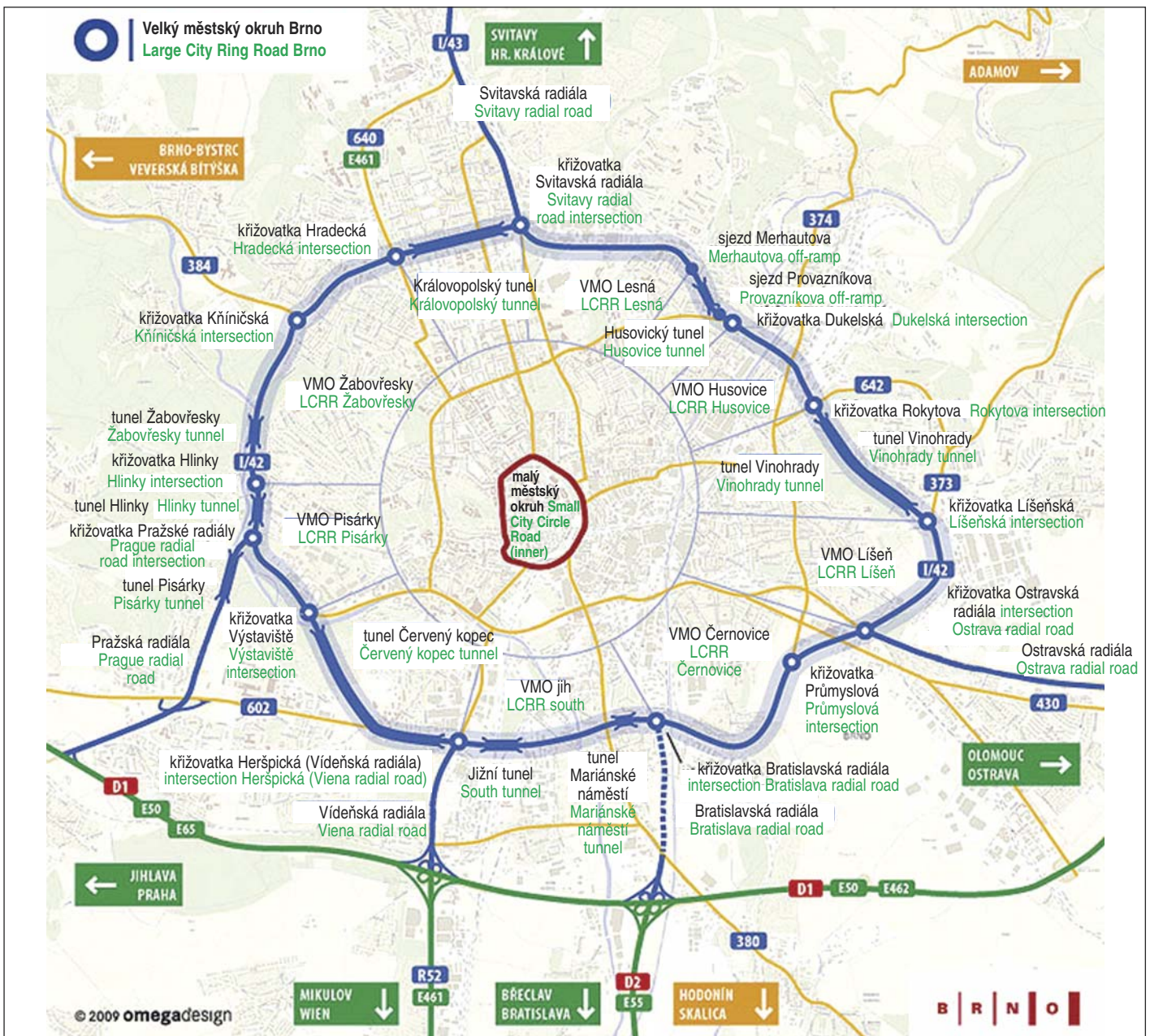
1 INTRODUCTION

At present, the situation in the Czech Republic as far as the currently realised projects of underground civil engineering structures tunnels are concerned, is not very joyful. With the exception of the rail tunnel being driven near Ejovice on the railway line No. 170 Prague – Plzeň, the task of which is to straighten this line and reduce its length by ca 6km, nothing substantial is going on in the sphere of tunnel construction engineering.

The situation should change for the better in the future, unfortunately not in Brno. At the Building Location Permit stage, tunnel construction projects are under preparation for the D3 motorway from Prague to České Budějovice (seven motorway tunnels), for the D11 motorway (two motorway tunnels) and for the R35 road (three tunnels). If the preparation of the realisation of new road tunnels on the Prague City Ring Road (the outer ring) and the Prague City Circle Road (the inner ring), tunnels on the R49 road in the Zlín region, urban tramway tunnels and sections of the Prague metro, which are currently being prepared by investment, designing and exploratory organisations, proceeds successfully, it will not look so bad with the development of tunnels in the Czech Republic in the medium term.

2 STATE OF TUNNEL CONSTRUCTION PROJECTS IN BRNO

The currently operated tunnels in Brno are parts of the so-called Large City Ring Road (LCRR) and the Prague Radial



Obr. 1 Situace Velkého městského okruhu Brno včetně radiál

Fig. 1 Layout of the Large City Ring Road in Brno including radial roads

Omega Design ve spolupráci s městem Brnem Omega Design in collaboration with the City of Brno

systém tvoří velký městský okruh, vnější dopravní polookruh a vnitřní dopravní polookruh spolu se soustavou radiál. Celý systém umožňuje rozvedení městské a příměstské dopravy po Brně. Vzhledem k trvalému nárůstu intenzity automobilové dopravy je kompletní dostavba a zprovoznění velkého městského okruhu nutností. Nebude-li okruh realizován, mohla by doprava ve městě v horizontu několika let zcela zkolabovat. Velký městský okruh o délce více než 20 km se stane nejvýznamnější součástí dopravního systému města Brna a okolí.

Na území statutárního města Brna jsou motoristům v současnosti k dispozici Pisárkový tunel (součást Pražské radiály) a na VMO tunely Hlinky, Královopolský a Husovický. Pro dokončení VMO je projektována výstavba dalších tunelů, a to tunelů Vinohrady v Židenicích, Komárovského a Jižního (Brno Jih), Červený kopec v Bohunicích a Žabovřeského tramvajového tunelu v Žabovřeskách (obr. 1).

Mimo výše zmiňované úseky VMO se ve fázi průzkumné a projekční přípravy nachází tramvajový tunel Bystrc, který se stane součástí prodloužení tramvajové trati směrem do rozvojové

Road. The LCRR route is an important part of the Basic Communication System (Z-67) of the city of Brno. The Basic Communication System is formed by the Large City Ring Road, the outer transportation semicircle road, the inner transportation semicircle road and a system of radial roads. The whole system allows for distributing the urban and suburban traffic within Brno. With respect to the continuing increase in the automobile traffic flow volume, the completion and bringing the Large City Ring Road into service is a necessity. If the ring road is not realised, traffic in the city could completely collapse within a few years. The over 20km long Large City Ring Road will become the most important part of the transportation system of the city of Brno and its surroundings.

Within the area of the Statutory City of Brno there are at the moment the Pisárky tunnel (part of the Prague Radial Road) and the Hlinky, Královo Pole and Husovice tunnels available to motorists on the Large City Ring Road. The development of other tunnels required for the completion of

lokality bydlení „Kamechy“ a ve stupni DÚR je připravován přešpaný tramvajový tunel na prodloužení tramvajové trati do Kampusu v Bohunicích. Ve fázi studií jsou železniční tunely pod Petrovem pro variantu „mírně posunutá poloha hlavního nádraží“.

V dalších kapitolách je věnována pozornost vybraným tunelovým stavbám, kde investorská a projekční příprava postupuje alespoň směrem k realizaci ve střednědobém horizontu a současně se na jejich přípravě společnost GEOtest, a.s. podílí průzkumnými pracemi, geotechnickým zkušebnictvím a konzultační činností.

3 PŘÍKLADY NĚKOLIKA PŘIPRAVOVANÝCH BRNĚNSKÝCH TUNELŮ

3.1 Tunel Vinohrady

Tunel Vinohrady by se měl stát součástí VMO Brno v úseku nazvaném podle městské části Židenice. Plánovaný úsek městského okruhu bude po své realizaci řešením palčivého problému průjezdu předmětnou městskou částí Židenice. Stávající trasování okruhu po ulicích Svatoplukova a Bubeníčкова nepříznivě předěluje tuto původně celistvou rezidenční část Brna. Kapacitně nedostačuje zejména křižovatka na Staré osadě, kde může nastat v plném provozu i hodinové zdržení v dopravní zácpě. Problémy má vyřešit vedení okruhu Vinohradským tunelem, který odlehčí dopravě mezi Husovicemi, Židenicemi, Vinohrady, Líšín, Juliánovem a východním přivaděčem (tzv. výpadovkou na Olomouc).

Pro úsek VMO Židenice je hledána nejvhodnější varianta průchodu pod sídlištěm Vinohrady s dopravním řešením, které umožní navázat na následné mimoúrovňové křížení (MÚK) Líšeňská. V současnosti jsou zvažovány tři varianty vedení trasy. Tzv. červená varianta měří celkem 1,892 km. Součástí této stavby je tunel délky 1490 m, který vede jihozápadním okrajem sídliště Vinohrady. Modrá varianta měří celkem 1,706 km. Součástí této stavby je tunel délky 1520 m, který vede zhruba středem sídliště Vinohrady. Zelená varianta měří celkem cca 1,88 km. Součástí této stavby je tunel délky 1635 m, který prochází pod sídlištěm Vinohrady a současně se vyhýbá zdejšími výškovými budovám a z hlediska budoucí ražby je situován převážně do brněnského masivu (obr. 2).

3.1.1 Geologická prozkoumanost tunelu Vinohrady a zdejší geologické poměry

Průzkumné práce a rešerše archivních geologických údajů provedené do současnosti shromažďují veškeré dostupné informace geologické (včetně strukturních), inženýrsko-geologické, hydrogeologické a geotechnické. A to nejen v oblastech předpokládaného tunelového díla, ale i v širším okolí. Byla rovněž provedena identifikace možných nestabilit a lokalizace případných tektonických oslabení horninového masivu. Zjištěné skutečnosti poslouží pro stanovení rozsahu a zaměření dalších etap průzkumu a zároveň pro volbu optimální varianty trasy v prostoru sídliště Vinohrady, umístění nivelety tunelu v geologickém prostředí a návrh technologie výstavby.

Geologie širší oblasti včetně izolinií povrchu brněnského masivu, předpokladů zlomových linií, relikvů pleistocenní říční sítě v širší oblasti a stratigrafie, byla řešena ve spolupráci s pracovníky brněnské pobočky České geologické služby. Autoři Vít a Tomanová Petrová [6] předpokládají pro zájmovou oblast velmi složitý vývoj v terciéru a kvartéru. Terciérní tok – předchůdce dnešní řeky Svitavy patrně vytvořil v předbadenském období terciéru přes oblast dnešních Vinohrad

the LCRR is under design, namely the Vinohrady tunnel in Židenice, the Komárov and Jižní tunnels (Brno South), Červený Kopec tunnel in Bohunice and Žabovřesky tramway tunnel in Žabovřesky (see Fig. 1).

Apart from the above-mentioned sections of the LCRR, the Bystrc tramway tunnel is at the survey and design preparatory stage. It will become part of the tramway track extension in the direction of the Kamechy development locality. Further, a false tunnel on the tramway track to the Campus in Bohunice is at the Building Location Permit stage. Railway tunnels under Petrov Hill for a variant of “a slightly shifted location of the main railway station” are in the phase of studies.

In the other chapters we dedicate ourselves to selected tunnel construction projects, where the investment and design preparation proceeds at least towards the realisation in the medium term and, at the same time, GEOtest, a.s. participates in their preparation by surveying, geotechnical testing and consultancy.

3 EXAMPLES OF SEVERAL TUNNELS UNDER PREPARATION IN BRNO

3.1 Vinohrady tunnel

The Vinohrady tunnel should become part of the Brno LCRR system in the section named after a region in the municipal district of Židenice. After its completion, the planned section of the LCRR will become the solution to the burning issue of the passage through the municipal district of Židenice. The existing design of the ring road alignment running along Svatoplukova and Bubeníčкова Streets unfavourably divides this originally undivided residential part of Brno. The capacity is insufficient first of all at the Na Staré Osadě intersection, where even an hour-long delay in traffic jam may take place during full traffic. The problems are to be solved by leading the ring road through the Vinohrady tunnel, which will ease the traffic between Husovice, Židenice, Vinohrady, Líšeň, Juliánov and the Eastern Feeder Road (the so-called Radial Road for Olomouc).

For the Židenice LCRR section, the most advantageous variant is being sought for the passage under the Vinohrady residential area with a transportation solution allowing for connecting to the following Líšeňská grade-separated junction. Three variants of the road alignment are currently under consideration. The total length of the so-called Red Variant is 1.892km. Part of this project variant is a 1490m long tunnel running on the south-western edge of the Vinohrady residential area. The Blue Variant is 1.706km long in total. Part of this construction is a 1520m long tunnel running approximately across the centre of the Vinohrady residential area. The Green Variant is ca 1.88km long. Part of this project variant is a 1635m long tunnel running under the Vinohrady residential area and, at the same time, avoiding local high-rise buildings. In terms of the future tunnelling, the tunnel is located mostly in the Brno massif (see Fig. 2).

3.1.1 Geological exploration degree of the Vinohrady tunnel and local geological conditions

The exploration operations and searches of archive geological data carried out till the present gather all geological (including structural), engineering geological, hydrological and geotechnical information available not only in the areas of the assumed working but even in wider surroundings. The



Obr. 2 Situace variant trasování tunelu Vinohrady
Fig. 2 Layout of variants of the Vinohrady tunnel alignment

Sdružení PRAGOPROJEKT, a.s. a AMBERG Engineering Brno, a.s. Consortium of Pragoprojekt and Amberg Engineering Brno

údolí, které bylo v badenu do značné výšky vyplněné sedimenty. Na bázi šlo převážně o tzv. brněnské písky s polohami pískovců, v nadloží pak byla převaha vápnatých jílu (brněnských téglů). Území bylo tektonicky rozlámáno a na vyzvednutých krátech došlo k zařezávání toků do původního reliéfu, často s využitím starších předbadenských údolí. V průběhu spodního pleistocénu (kvartér) došlo především k zařezání toku Svitavy do původního údolí, stále vyplněného badenskými sedimenty, které však současný povrch ještě silně převyšovaly. Tzv. drahanská tektonická fáze způsobila poklesy, v důsledku kterých došlo k akumulaci „mladšího šterkopískového pokryvu“ (tzv. tuřanské terasy) o mocnosti snad až 30 m. V důsledku agradace docházelo k výrazné boční erozi okolních terciérních sedimentů, jimiž bylo údolí prakticky zavaleno. Tento proces byl možná i zásadním důvodem k tomu, proč došlo k migraci toku Svitavy do dnešní odkloněné pozice. Po uložení nejmladších částí tuřanské terasy (patrně již začátkem středního pleistocénu) byl však v okolí ještě dostatečný potenciál miocenního pokryvu k zanesení nevyplněné části údolí formou splachů, ale i fosilních sesuvů, jejichž odlišení je v případě mapování území značně problematické. Zbytek depresí byl zároveň akumulací eolických sedimentů, především spraší.

identification of potential instabilities and the location of contingent tectonic weaknesses in the rock massif were also carried out. The established facts will be used for the determination of the scope and focusing of subsequent exploration stages and, at the same time, for the selection of the optimal variant of the route in the Vinohrady residential area, the location of the tunnel alignment within the geological environment and the design of the construction technology.

The geology of a wider area, including isolines of the Brno massif surface, assumptions of fault lines, relics of Pleistocene river network and a wider area and stratigraphy were solved in collaboration with workers of the Brno-based branch of the Czech Geological Service. The authors, Vít and Tomanová Petrová [6] predict for the area of operations a very complicated development in the Tertiary and Quaternary complexes. The Tertiary predecessor of the current Svitava River probably created a valley across the area of current Vinohrady during the Pre-Baden period of the Tertiary and the valley was filled with sediments up to a significant height during the Baden period. On the base, the sediments were formed mainly by the so-called Brno Sands

3.1.2 Geotechnická rizika spojená s výstavbou tunelu Vinohrady

Geotechnická rizika ražby tunelového díla pod sídlištěm Vinohrady lze definovat v několika bodech:

- Proměnlivost horninového prostředí bude pro průběh ražeb zásadním rizikem. V portálové oblasti na severozápadě je nutné uvažovat s rizikem, že do výrubu mohou v některé z navržených variant zasahovat kvartérní pokryvy a povrchové části granodioritového masivu s přítomností plášťových hornin a nízkou kvalitou masivu danou především alteračními procesy v masivu. V oblasti jihovýchodního portálu, budovaného ve sprašovém souvrství, bude rizikové zejména zajištění zemních těles, zářezů, odřezů a portálové jámy a jejich ovlivnění atmosférickými srážkami, které by mohly výrazně snížit jejich stabilitu.
- Neoproterozoický brněnský masív je v oblastech poruchových pásem (tektonické linie) silně rozpukaný a kvalita horniny zde bude velmi špatná. Je nutné počítat se sníženou stabilitou čelby i boků podzemního díla a se vznikem nadvýlomů. Deprese v povrchu brněnského masivu vyplněná pravděpodobně i redeponovanými neogenními brněnskými písky, pokud bude v červené a modré variantě ražbou zachycena, představuje výrazné riziko v podobě snížené stability výrubu. V případě zvodnění brněnských písků na bázi brněnského masivu nelze vyloučit ani riziko komínování písků do výrubu, tedy riziko mimořádné události.
- Kromě výrazné deprese terciárního paleotoku Svitavy nelze vyloučit ani existenci další očekávané, ale dosud přesněji nelokalizované deprese v jižní polovině trasy, založené na tektonické linii.
- Potenciální nebezpečí spočívají i v tom, že vadná kanalizační nebo vodovodní vedení v oblasti sídliště budou dotovat jak souvrství písků, tak i tektonicky oslabené oblasti brněnského masivu a tím výrazně snižovat stabilitu výrubu. Negativní vliv by měl i případný řízený vsak dešťové vody do štěrkopísčitého podloží v oblasti sídliště nad trasou díla a v jejím okolí.
- Z výsledků průzkumných prací lze konstatovat, že území pro ražbu je budováno horninami s velmi odlišnými geomechanickými vlastnostmi. Jde o proterozoické horniny zastoupené granitoidy v různém stupni tektonického porušení, neogenní jíly s vysokou plasticitou a ulehlými neogenními písky, místy až charakteru pískovce. Hloubka proterozoického skalního podkladu je v rámci zájmového území velmi proměnlivá a pohybuje se v rozmezí 9 až 60 m pod úrovní terénu.

Z výše uvedeného je potom zřejmé, že navržení optimální trasy tunelů bude velmi obtížné, zejména tehdy, pokud bude snaha situovat ražbu především do pevnějších hornin proterozoika.

3.2 Tramvajový tunel Žabovřesky

V letech 2008 a 2015 byly společností GEOtest, a.s. realizovány průzkumné práce pro úsek VMO Brno v městské části Žabovřesky, a to v prostoru od MÚK Hlinky směrem do Králova Pole. Tento úsek je zde zároveň komunikací I/42. Jeho součástí je i tunelové převedení dvoukolejné tramvajové trati.

Stavba je situována do velmi stísněného území, kde je komunikace z jedné strany zásadně vymezena řekou Svatkou a z druhé tramvajovou tratí a Wilsonovým lesem. Byly navrženy čtyři hlavní varianty řešení:

with interlayers of sandstone, whilst limy clays (the so-called Brno Tegel) prevailed in the cover. The area was tectonically broken and streams started to cut into the relief on the uplifted blocks, frequently using the older Pre-Baden valleys. During the course of the Lower Pleistocene period (the Quaternary) the Svitava River flow cut into the original valley, which was still filled with the Baden sediments the height of which still heavily exceeded the current surface. The so-called Drahaný tectonic phase caused settlement resulting into the accumulation of the "younger gravel-sand cover (the so-called Tuřany Terrace) possibly up to 30m thick. Due to the process of aggradation, the surrounding Tertiary sediments were significantly eroded on the sides and virtually filled the whole valley. This process might even be essential for the reason why the Svitava River flow migrated to the current diverted position. After the deposition of the youngest parts of the Tuřany Terrace (probably as early as the beginning of the Middle Pleistocene period) there was a sufficient potential of the Miocene cover in the surroundings for filling the unfilled parts of the valley in the form of runoff sediments, but also of fossil landslides the differentiation of which is significantly problematic in the case of mapping the area. The remaining depressions were flattened by the accumulation of aeolian sediments, mostly loess.

3.1.2 Geotechnical risks associated with the Vinohrady tunnel construction

The geotechnical risks of driving a tunnel under the Vinohrady residential area can be defined in several points:

- The variability of the ground environment will be the fundamental risk for the course of the excavation. In the portal area in the north-west it is necessary to take into consideration the risk that the Quaternary cover and surface parts of the granodiorite massif with the presence of mantle rock types and low quality of the massif given first of all by alteration processes in the massif may intrude into the excavation in some of the proposed variants. In the area of the south-eastern portal, which will be built in a series of loessal layers, risks will exist first of all in the support of ground bodies, cuttings, side-hill cuttings and portal pits and their influencing by atmospheric precipitation, which could significantly reduce their stability.
- The Neo-Proterozoic Brno massif is heavily fractured in the areas of fault zones (tectonic lines) and the quality of rock will be very low there. It is necessary to take into account the reduced quality of the face and sides of the underground working and the development of overbreaks. The depression in the Brno massif surface probably filled even with redeposited Neogene Brno sands, if it is encountered by the tunnel excavation in the red and blue variants, poses a significant risk in the form of reduced excavation stability. In the case of the saturation of the Brno sands on the Brno massif base with water, it is even impossible to exclude caving of the sands into the excavation, i.e. the risk of an extraordinary event.
- Apart from the distinct depression of the Tertiary flow of the Svitava River, it is even impossible to exclude the existence of another anticipated but not more precisely specified yet depression based on a tectonic line in the southern half of the route.
- Potential risks lie even in the fact that defective sewers or water pipelines in the residential area will supply water



Obr. 3 Animace výsledného stavu úseku VMO Žabovřesky s patrným jižním portálem tramvajového tunelu

Fig. 3 Animation of the resultant condition of the Žabovřesky LCRB section with the southern portal of the tramway tunnel shown in it

- převedení tramvajové dopravy do tunelu;
- posunutí koryta řeky Svatky;
- vedení VMO po estakádě;
- vystavění dvoupruhové silniční komunikace nad sebou.

Po veřejném projednání dokumentace EIA byla vybrána varianta, kdy tramvajová trať bude odsunuta do tunelu a současně jedna polovina vozovky bude překryta galerií. Vedle tramvajového tunelu je zde navržen i tzv. ekodukt. Jedná se o krátký tunel překrývající silniční komunikaci městského okruhu, umožňující propojení Wilsonova lesa se Žabovřeskými loukami (obr. 3).

Trasa je vedená raženým tunelem masivem kopce Wilsonova lesa s hloubenými příportálovými úseky, čímž se uvolňuje prostor stávajícího tramvajového tělesa k výstavbě pozemní komunikace VMO. Délka tunelu činí podle stávajícího projektu celkem 501 m. Ražený úsek má délku cca 335 m. Zbylé části tunelu (cca 165 m u severního a 3 m u jižního portálu) budou zřízeny jako přesýpané. Směrově je tunel veden podle trasy koleje do několika protisměrných oblouků. Výškově je tunel navržen do střechovitého sklonu s podélným sklonem 0,5 %. Z hlediska příčného uspořádání odpovídá průjezdný profil dvoukolejnému tramvajovému tunelu odvozenému podle ČSN 28 0318.

3.2.1 Geotechnický průzkum pro Žabovřeský tramvajový tunel

Průzkumné práce pro tramvajový tunel se soustředily na ověření vlastností horninového masivu v prostoru jeho severního a jižního portálu. Celkem bylo pro průzkum tunelové trasy odvrtno 12 vrtů o úhrnné metráži 168,9 m. Mimo to byl proveden vertikální vrt hloubky 70 metrů z úrovně terénu do prostoru jižního portálu. V místě jižního portálu byl rovněž vyhlouben subhorizontální vrt směrem do masivu pro ověření kvality horniny v příportálové části budoucího tunelu.

V oblasti jižního – pisáreckého portálu byly provedeny velkorozměrové polní zkoušky mechaniky hornin ke stanovení geotechnických parametrů skalního masivu. Zkoušky byly uspořádány tak, aby bylo možno stanovit především pevnostní charakteristiky (vrcholovou a reziduální smykovou pevnost a pevnost na mezi kluzu) v předem určené rovině a informativně i deformační vlastnosti horninového masivu. Vzhledem k tomu, že zde nebyla možnost tyto zkoušky realizovat v podzemním průzkumném díle, byly zkoušky prováděny na povrchu

to both the sand courses and the tectonically weakened areas of the Brno massif, thus significantly reducing the excavation stability. Even a contingent controlled seepage of storm water into the gravel-sand the sub-grade in the residential area and above the works alignment and in its surroundings would have a negative influence.

- It is possible to state on the basis of the exploration results that the area for the excavation is built by ground types with very different geomechanical properties, namely Proterozoic rock types represented by granitoids at different degrees of tectonic faulting, Neogene clays with high plasticity and dense Neogene sands locally even with the character of sandstone. The depth of the Proterozoic bedrock in the area of operations is very variable, ranging from 9 to 60m under the surface level.

It is then obvious from the above text that designing the optimal tunnel routes will be very difficult, in particular when there is an effort to locate the excavation first of all into harder Proterozoic rock types.

3.2 Žabovřesky tramway tunnel

In 2008 and 2015, GEOTest, a.s. carried out exploration for the LCRB Brno section in the municipal district of Žabovřesky, namely in the area starting from the Hlinky interchange toward Královo Pole. This section is there at the same time used as the I/42 road. The tunnel for the diversion of a double-rail tramway track is also its part.

The construction is located into a very constricted area, where the route is principally delimited by the Svatka River on one side and the tramway track and Wilson Forest Park on the other side. The following four main variants of the solution were proposed:

- diverting tramway traffic into a tunnel;
- shifting the Svatka river bed;
- leading the LCRB on a viaduct;
- developing a stacked double-lane road.

After the EIA public negotiation was over, the variant was chosen where the tramway track would be shifted to a tunnel and, at the same time, one half of the roadway would be overlaid with a gallery. Apart from the tramway tunnel, even the so-called “ecoduct” is proposed there. It is a short tunnel overlaying the LCRB road, allowing for the connection of the Wilson Forest Park with Žabovřesky meadows (see Fig. 3).

The alignment is led through a tunnel driven through the Wilson Forest hill massif, with cut-and-cover pre-portal sections. In this way the space of the current tramway bed is freed up for the construction of the LCRB underground road. According to the current design, the total tunnel length amounts to 501m. The mined section is ca 335m long. The remaining parts of the tunnel (ca 165m at the northern portal and 3m at the southern portal) will be carried out as false tunnel structures. As far as the horizontal alignment is concerned, the tunnel follows the track alignment with several reverse curves. A roof-like vertical alignment with the longitudinal gradients of 0.5% is designed for the tunnel. Regarding the cross-section configuration, the clearance profile corresponds to a double-rail tramway tunnel design derived from the ČSN 28 0318 standard.

3.2.1 Geotechnical exploration for the Žabovřesky tramway tunnel

The exploratory activities for the tramway tunnel were focused on the verification of the properties of the ground



Obr. 4 Sestava pro provedení velkorozměrové smykové zkoušky bloku horniny v místě jižního portálu tunelu Žabovřesky

Fig. 4 The set for conducting the large-scale shear test on a rock block in the location of the Žabovřesky tunnel portal

v místě bývalého lomu. Plnící smykové zkoušky byly uskutečněny na čtyřech blocích rozměrů 500x500x300 mm namáhaných různou kombinací normálních a tangenciálních sil v předem definované rovině (obr. 4).

Prostor severního portálu byl vzhledem ke staré průmyslové zástavbě až do konce roku 2014 pro provádění průzkumných prací zcela nepřístupný. To dovolilo realizaci pouze omezeného množství sond, a to pro posouzení základových poměrů ostění tubusu přesyané části tunelu. Pro vlastní portál a přilehlou část přesyaného tunelu nemohly být uskutečněny prakticky žádné průzkumné práce. Geotechnický průzkum mohl tedy být realizován až v roce 2015. Průzkum pro severní tunelový portál a přesyanou část zahrnovaly mimo jiné rovněž velkorozměrové terénní smykové zkoušky na čtyřech horninových blocích. Byly rovněž dokumentovány skalní stěny v blízkém okolí i v místě samotného portálu. Pro vytvoření 3D modelu území, včetně závěrné stěny bývalého lomu, bylo využito technologie laserového skeneru. Získané poznatky posloužily k výpočtu stability jednotlivých úseků skalních stěn. V prostoru severního portálu byla rovněž realizována série tří subhorizontálních vrtů délky 40 metrů.

3.2.2 Analýza rizik pro Žabovřeský tramvajový tunel

Jedním z výstupů provedeného geotechnického průzkumu byla riziková analýza vyhotovená expertním týmem GEOtestu pod vedením doc. Rozsypala. Tento dokument definuje a analyzuje rizika výstavby, která mají svůj zdroj ve zbytkových nejistotách o inženýrskogeologických poměrech a podmínkách v předmětné trase tunelu a v důsledcích, které by tyto nejistoty

massif within the space of the northern and southern portals. The total of 12 boreholes at the aggregate length of 168.9m were carried out for the exploration of the tunnel route. In addition, a 70 metre deep vertical hole was bored from the terrain level to the space of the southern portal. A sub-horizontal borehole into the massif was carried out in the location of the southern portal to verify the quality of ground in the portal part of the future tunnel.

Large-scale field tests of rock mechanics designed for the determination of geotechnical parameters of the rock mass were conducted in the area of the southern (Pisárky) portal. The tests were arranged in a system allowing for the determination first of all of the strength-related characteristics (the peak and residual shear strength and the shear yield strength) on a pre-determined plane and, informatively, even the deformational properties of the rock mass. With respect to the fact that conducting the tests in an underground exploratory working was not possible, the tests were carried out at the surface, in the location of a former quarry. Shear field tests were conducted on four 500x500x300mm blocks stressed by various combinations of normal and tangential forces acting on a pre-defined plane (see Fig. 4).

With respect to an old industrial development, the area of the northern portal was completely inaccessible for the execution of the exploratory work until the end of 2014. It allowed for the realisation of an only limited quantity of testing holes required for assessing the foundation conditions of the false tunnel lining. Virtually no exploratory work could be carried out for the portal itself and the adjacent part of the false tunnel. The geotechnical investigation could therefore be realised as late as 2015. The exploration for the northern tunnel portal and the false tunnel part comprised, among other tests, large-scale field shear tests conducted on four rock blocks. Rock walls were also documented nearby the portal and even in the portal location. The 3D model of the area, including the final wall of the former quarry, was created using the laser scanning technology. The gathered knowledge was used for the calculation of the stability of individual sections of the rock walls. In addition, a series of three 40m long sub-horizontal boreholes was carried out in the area of the northern portal.

3.2.2 Risk analysis for the Žabovřesky tramway tunnel

One of the outputs of the completed geotechnical exploration was a risk analysis carried out by GEOtest's expert team led by doc. Ing. Rozsypal. This document defines and analyses the construction risks having their source in residual uncertainties regarding the engineering geological conditions and conditions along the tunnel alignment in question and in the impacts of these uncertainties they could have on the tunnel design and its construction. The likely scenarios of the development and courses of undesirable events were prepared and the assessment of the probability with which the undesirable events may happen was carried out within the framework of the risk analysis. The possible measures not only for reducing the probability of the origination of such phenomena but also for reducing their economic consequences were subsequently proposed. The analysis of geotechnical risks associated with the construction of the Žabovřesky tramway tunnel proved that, taking into consideration the geological conditions encountered, that this engineering intention is viable using standard technical means. The overall level of the geotechnical risk determined

mohly mít pro projekt tunelu a jeho výstavbu. V rámci rizikové analýzy byly vypracovány pravděpodobné scénáře vzniku a průběhu nežádoucích jevů a odhad pravděpodobnosti, s jakou předemné nežádoucí události mohou nastat. Dále byla navržena možná opatření nejen ke snížení pravděpodobnosti vzniku takových jevů, ale i ke snížení jejich ekonomických důsledků. Analýza geotechnických rizik výstavby tramvajového tunelu Žabovřesky prokázala vzhledem k zastíženým geologickým podmínkám i poměrům proveditelnost tohoto inženýrského záměru standardními technickými prostředky. Celková výše geotechnického rizika před zahájením výstavby stanovená na základě analýzy jednotlivých rizik s využitím poznatků z podrobných průzkumů je s využitím klasifikace ITA-AITES odhadovaná na úrovni „střední“, za podmínky dodržování pravidel řízení rizik při výstavbě. Lze však očekávat, že optimální projekční řešení a volba technologie výstavby tunelu v podrobnosti DSP (dokumentace pro stavební povolení) a PDPS (projektová dokumentace pro provádění stavby), které vezmou v úvahu výsledky této rizikové analýzy, výrazně sníží odhadnuté celkové potenciální geotechnické riziko posuzované stavby až na stupeň „mírné“.

3.3 Tramvajový tunel Bystrc

Projektovaný tunel je součástí prodloužení tramvajové trati ze současné tramvajové smyčky Ečerova do rozvojové lokality bydlení „Kamechy“ zasahující do městských částí Bystrc a Žebětín. Projektovaná trasa je až po stávající křižovatku Vejrostova – Teyschlova vedena souběžně s ul. Vejrostovou, kde se směrovým obloukem odklání do oblasti Kamechů. Trať prochází tunelem a dalším směrovým obloukem se přiklání k ul. Hostislavově, kde končí v nově navržené smyčce. Obsluhované území má plochu cca 16 ha, v obytné zóně Kamechy se třemi tisíci obyvateli s docházkovou vzdáleností 300 m. Délka budoucí tramvajové trasy činí 1475 m včetně cca 300 m dlouhého dvoukolejného tunelu. Tunel je vedený v hloubce cca 20 m pod terénem a prochází masivem tvořeným granodioritem pokrytým převážně kvarténními sedimenty.

V roce 2015 byl pro projekční záměr proveden průzkum, který měl za úkol shromáždit údaje o inženýrskogeologických, geotechnických, geofyzikálních a hydrogeologických poměrech zájmového území a poskytnout podklady ke zpracování DÚR. Objektovou skladbu je však nutné s ohledem na stupeň projektové dokumentace považovat zatím za orientační.

3.3.1 Geologické a geotechnické práce pro tramvajový tunel Bystrc

Rozsah průzkumných prací, přestože se jedná jen o předběžnou etapu, zahrnoval pestrou škálu terénních i laboratorních měření a analýz. Byly provedeny jádrové vrty inženýrskogeologické stejně jako hydrogeologické pro sledování oscilace hladiny podzemní vody, dále geofyzikální práce (elektrické a seismické metody) a korozní průzkum s měřeními intenzity bludných proudů na vybraných mostních objektech. Vrty v trase dosahovaly hloubek 6 až 21 metrů, v prostoru projektovaného tunelu až 30 metrů. Byly odebrány vzorky zemin, hornin a vody s následnými laboratorními rozbory. V hydrogeologické části průzkumu byly provedeny hydrodynamické zkoušky ve vrtech a pasportizace existujících vodních zdrojů. Byl rovněž uskutečněn pedologický průzkum. Na základě ověřených skutečností o geologické

prior to the commencement of the construction work on the basis of the analysis of individual risks using the knowledge gained from detailed surveys and using the ITA-AITES classification is assessed to be at the “medium” level under the condition that construction risk rules are adhered to. It is, however, expectable that the optimal design and choice of the tunnel construction technique in the detail of the final design and the design of means and methods which will take into consideration the results of this risk analysis will significantly reduce the guessed overall potential geotechnical risk of the project being assessed, even down to the “moderate” level.

3.3 Bystrc tramway tunnel

The tunnel being under design is part of the tramway track extension from the current Ečerova tramway loop to the Kamechy development locality extending to the municipal districts of Bystrc and Žebětín. The planned alignment is led in parallel to Vejrostova Street up to the existing Vejrostova – Teyschlova crossing, where it deflects through a horizontal curve to the area of Kamechy. The track runs through the tunnel and gets close to Hostislavova Street, where it ends in a newly proposed loop. The area of the serviced territory amounts to 16ha in the Kamechy residential zone with the population of three thousand and the walking distance of 300m. The length of the future tramway line including the ca 300m long double-track tunnel amounts to 1475m. The tunnel is led at the depth of ca 20m under the terrain level and passes through a massif formed granodiorite covered mostly with Quaternary sediments.

In 2015, exploration was carried out for the conceptual design having a task to gather data on engineering geological, geotechnical, geophysical and hydrological conditions within the project area and provide source documents for the execution of the building location permit. However, the list of structures has to be considered as indicative with respect to the degree of the design documentation.

3.3.1 Geological and geotechnical work for the Bystrc tramway tunnel

Despite the fact that the project is only at a preliminary stage, the scope of exploration work comprised a comprehensive range of field and laboratory measurements and analyses. Both engineering geological and hydrogeological cored holes were bored for monitoring the water table oscillation; in addition, geophysical operations (electric and seismic methods) and a corrosion survey with measuring the intensity of stray currents on selected bridge structures were carried out. The boreholes on the alignment reached the depths ranging from 6 to 21 metres, in the area of the tunnel the depth being designed up to 30 metres. Soil, rock and water samples were taken and laboratory tests were conducted on them. Hydrodynamic tests in boreholes and the condition survey of existing water sources were carried out in the hydrogeological part of the exploration. Even the pedological survey was carried out. A longitudinal engineering geological section was carried out on the basis of verified facts regarding the geological structure of the locality (the tramway track including the tunnel section). In addition, cross-sectional and geophysical profiles were carried out on this basis for the purpose of stability analyses in the cuttings and in the vicinity of the future tunnel portal.

Other work comprised a comprehensive assessment of geomechanical properties required for assessing the behaviour of

skladbě lokality byl vyhotovený podélný inženýrskogeologický řez v místě trati včetně její tunelové části a dále příčné a geofyzikální profily pro stabilitní výpočty v tělese zářezů a v blízkosti portálu budoucího tunelu.

Další práce zahrnovaly komplexní zhodnocení geomechanických vlastností pro posouzení chování základové půdy v přirozeném profilu nebo ve zhutněných násypch jak v podzákladí objektů, tak v podloží násypů a rovněž chování hornin ve skalním masivu.

Výsledky geotechnického průzkumu byly členěny podle průběhu nivelety a podle předpokládaných stavebních objektů na: terén, násypy, mostní objekty, opěrné stěny, lávky. Byl komentován možný způsob založení. Pro oblast tunelu byly stanoveny geotechnické parametry horninového masivu, nezbytné pro detailní návrh podzemního díla.

3.3.2 Geologické poměry území tramvajového tunelu Bystře

Území je tvořeno horninami brněnského masivu, který je zde výrazně porušený. Tektonicky zakleslé kry granodioritů a dioritů jsou vyplněny neogenními terciárními sedimenty a překryty kvartérními uloženinami. Dále byly zastíženy elevace metabazitové zóny, vystupující mělce pod povrchem. Skalní horniny podloží jsou v povrchových partiích charakteru eluvia (drobný štěrk až hrubozrnný písek), hlouběji zvětralé, níže pak navětralé, místy a hlavně hlouběji přechází v horniny zdravé. Kvalita horniny stanovená z vyhodnocení indexu RQD v úrovni umístění předpokládaného tunelu je převážně velmi nízká (často nulová) a nízká, méně pak střední (dobrá a výborná jen ojediněle v některých dílčích návrtech).

Stratigraficky podstatně mladší zde zastoupenou předkvartérní jednotkou jsou neogenní spodnobadenské vápnité terciární jíly (tégly). Jedná se o horniny charakteru zemin více či méně vápnité a výrazně plastické.

Kvartérní pokryv je zastoupen sprašemi a sprašovými hlínami, jílovitopísčitymi hlínami, jílovitými písky až jíly. Spraše a sprašové hlíny tvoří nerovnoměrně rozložený pokryv, daný především morfologií terénu (obr. 5).

Z hydrogeologického hlediska převažuje v celé ploše tohoto masivu puklinový kolektor s proměnlivým podílem průlinové porozity v pásmu přípovrchového rozpukání a oslabení hornin. Oběh podzemních vod probíhá převážně v tomto přípovrchovém pásmu. Hlubší oběh je možno očekávat u tektonicky porušeného brněnského masivu především v dosahu propustnějších poruchových zón. Horniny brněnského masivu jsou do značných hloubek, zpravidla několik desítek metrů silně tektonicky porušeny. Tato pásma působí jako drény okolních puklinových systémů a zprostředkovávají tak tranzit podzemní vody do hlubších částí hydrogeologického masivu.

3.3.3 Doporučení pro výstavbu tramvajového tunelu Bystře

Pro návrh způsobu výstavby tramvajového tunelu Bystře je zvažováno několik řešení. Jedná se o ražený tunel, hloubenou stavební jámu s přesypaným tunelem a v analýzách zůstává i otevřený nebo překrytý zářez. Geotechnické podmínky pro jednotlivé varianty tramvajové trasy v tomto úseku jsou považovány za důležité nikoliv však rozhodující.

- Možnost překonání předmětného úseku otevřeným zářezem přináší řadu technických obtíží. Z hlediska zemních prací by sice těžba probíhala v relativně příznivých horninách (zvětralých granodioritech), nicméně vysvahování

subsoil in a natural profile or in compacted embankments, both under foundations of structures and under embankments, and assessing the behaviour of rock in the rock massif.

The results of the geotechnical survey were divided according to the course of the vertical alignment and the assumed civil engineering structures to the following categories: terrain, embankments, bridges, retaining walls and footbridges. Comments were made on the possible foundation method. Geotechnical parameters of the rock mass required for the detailed design of the underground working were determined for the tunnel area.

3.3.2 Geological conditions in the Bystře tramway tunnel area

The area is built by rock types of the Brno massif, which is significantly faulted here. The blocks of granodiorites and diorites tectonically wedged into each other are filled with Neogene Tertiary sediments and overlaid by Quaternary sediments. Further on, elevations of a metabasite zone ascending shallow under the surface were encountered. The bedrock materials have the character of eluvium (small-grain gravel to coarse sand), deeper they are weathered and lower slightly weathered, locally and in particular deeper passing into fresh rock. The rock mass quality determined from the assessment of the RQD index at the level of the expected tunnel is mostly very low (frequently zero) and low, less frequently medium (good and excellent only in some partial core runs).

The Neogene lower-Baden Tertiary limy clay (Tegel) is a stratigraphically substantially younger pre-Quaternary unit which is present in this location. It is a ground with the character of soil, more or less limy and significantly plastic.

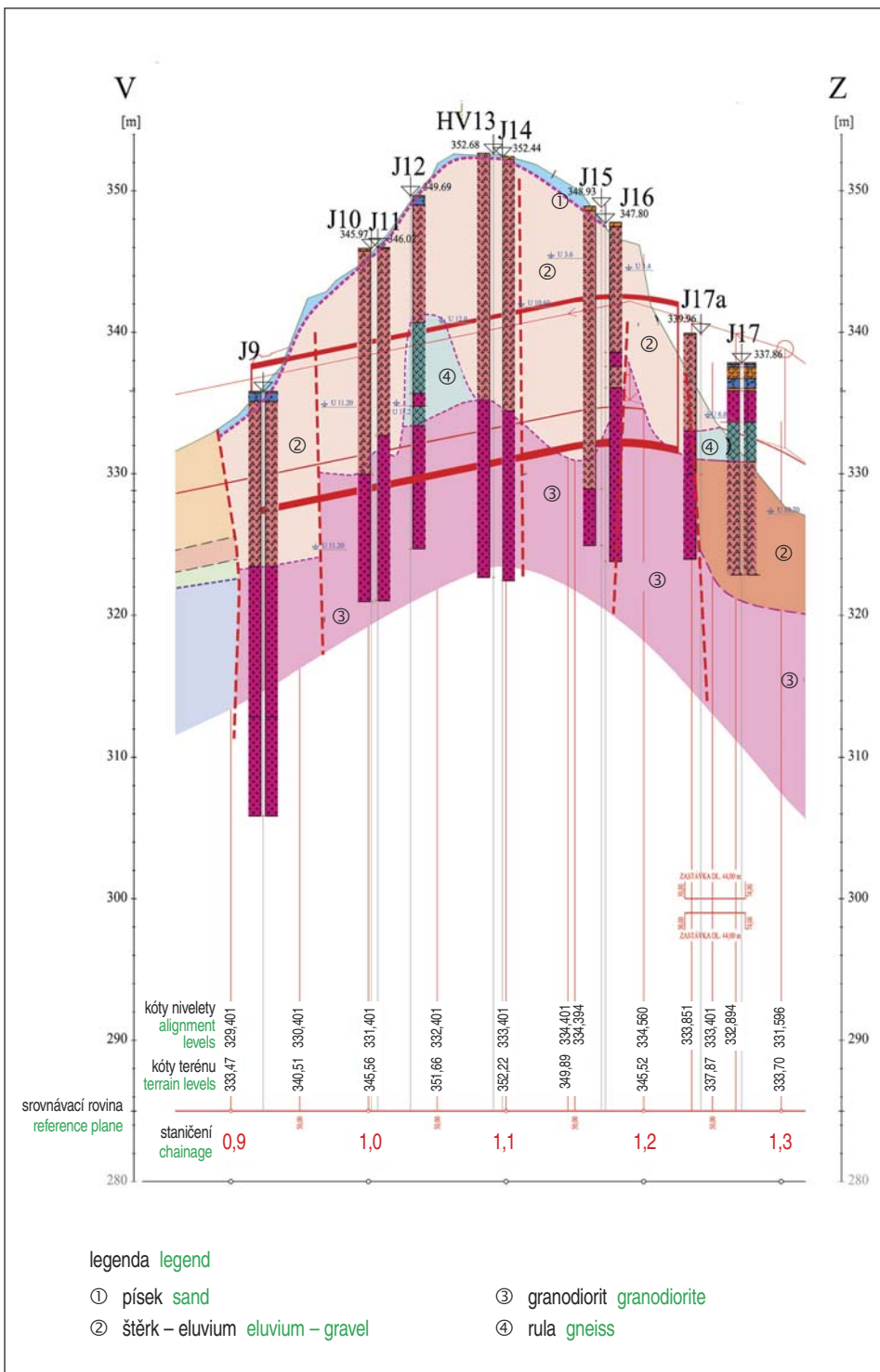
The Quaternary cover is represented by loess, clayey-sandy soils, clayey sands up to clays. Loess and secondary loess form the irregularly distributed cover, which is given first of all by the terrain morphology (see Fig. 5).

From the hydrogeological point of view, a fissure aquifer with a variable proportion of interstitial porosity prevails in the near-surface fracturing and weakening zone within the whole area of this massif. Groundwater circulates mainly within this near-surface zone. Deeper circulation can be expected in the tectonically faulted Brno massif, first of all within the reach of more permeable weakness zones. The Brno massif rock types are heavily tectonically faulted to significant depths, usually of several tens of metres. These zones act as drainage for surrounding fissure systems and mediate the groundwater transit to deeper parts of the hydrogeological massif.

3.3.3 Recommendations for the construction of the Bystře tramway tunnel

Several solutions are under consideration for the proposal of the Bystře tunnel construction. It is a mined tunnel, a construction pit with a false tunnel and even open or covered cutting remains in the analyses. It is considered the geotechnical conditions for individual variants of the tramway track to be important but not crucial.

- The possibility of overcoming the section in question by an open cut brings many technical problems. On the one hand, the excavation would be carried out through relatively favourable geology (weathered granodiorites), but sloping of the trench sides in the concrete morphological conditions, taking into consideration the typical slopes required for the given geological environment, would



Obr. 5 Podélný geologický profil v trase tunelu Bystrc
Fig. 5 Longitudinal geological profile on the Bystrc tunnel route

zářezu v konkrétních morfologických poměrech by při uvažování typických sklonů v daném geologickém prostředí znamenalo, že šířka horních hran zářezu by přesahovala 50 až 60 m, za předpokladu využití max. stoupání nivelety ze zastávky Teyschlova. Zářez by byl zřejmě hlubší než 10 m, což by způsobilo komplikace v podobě zajištění trvalé stability, resp. možné problémy pro hloubené piloty z výskytu pevných bloků dioritů a metabazaltů.

- Varianta přesypaného tunelu je využitelná za předpokladu, že bude možné trasovat niveletu tramvajového tělesa takovým způsobem, aby v předmětném úseku byla situována nejméně cca 14 metrů pod terénem a kalota tunelu

mean that the trench width at the upper edges of the cutting would exceed 50 to 60m under the assumption of the application of the maximum vertical alignment gradient to the section behind Teyschlova tram stop. The cutting would probably be deeper than 10m, which fact would cause complications in the form of securing the permanent stability or potential problems for bored piles due to encountering hard diorite and metabasaltic blocks.

- The false tunnel variant is applicable under the condition that it is possible to lead the tramway track vertical alignment in such a way that in the section in question it is at least 14 metres under the terrain and the tunnel roof is closer than ca 6m to the terrain. The construction of the false tunnel would be associated with similar restrictions as those in the case of the open cut.

- The mined tunnel variant is assessed as optimal for the given geological conditions. A tunnel is more advantageous in terms of energy consumption even with respect to the gradients of the tramway track. It will not be necessary to support the residential block at the end of Teyschlova Street and requirements for land acquisition and diversions of utility networks will be minimised. Diversions of roads will not be necessary. A sequential excavation system with supporting the top heading with canopy tubes, anchors etc. would have to be applied because of the significant weathering of the rock mass. The excavation would be attended by the occurrence of groundwater at the contact of heavily weathered granodiorites with less weathered rock. The NATM offers itself for the mined variant of the tunnel construction in the particular geological conditions.

In the whole tunnelled section the excavation would proceed under the protection of canopy tube pre-support. The expected instability of the excavation face during the course of the excavation would have to be solved by a sequential excavation system with contingent installation of temporary horizontal anchors.

4 CONCLUSIONS

The tunnel construction projects planned for the area of the Statutory City of Brno are at the moment in various phases of preparation. Some projects are only in the phase of studies (e.g. the Červený Kopec and Bystrc road tunnels in one of the variants of the R34 route, the Komárov cut-and-cover tunnel,

by se nacházela blíže k terénu než cca 6 m. Výstavbu přesypaného/hloubeného tunelu by přitom provázela obdobná omezení jako v případě varianty otevřeného zářezu.

- Ražená varianta výstavby tunelu se v daných geologických podmínkách hodnotí jako optimální. Tunel je energeticky výhodnější již s ohledem na stoupání a klesání tramvajové trasy. Nebude potřebné náročně zajišťovat obytný blok na konci ulice Teyschlovy a budou minimalizovány nároky na zábor půdy a přeložky inženýrských sítí. Nebudou nutné přeložky komunikací. Z důvodu značně zvětralého horninového masivu by musel být výrub prováděn jako členěný, se zajištěním přístropí pomocí mikropilotových deštníků, kotev apod. Ražbu by provázal výskyt podzemní vody na styku silně zvětralých a méně zvětralých granodioritů. Pro raženou variantu výstavby tunelu se v daných geologických poměrech nabízí nasazení NRTM. V celém tunelovém úseku by ražba probíhala pod ochranou mikropilotového deštníku. Očekávanou nestabilitu čelby během ražby by bylo nutné řešit členěným výrubem s případnou instalací dočasných horizontálních kotev.

4 ZÁVĚRY

Plánované výstavby tunelů na území statutárního města Brno se v současnosti nacházejí v různých stádiích příprav. Některé projekty jsou pouze ve fázi studií (např. silniční tunely Červený kopec a Bystrc v jedné z variant trasy R43, hloubený Komárovský tunel, přesypaný tunel na VMO pod přesunutým hlavním nádražím). Tramvajový tunel do Kampusu v Bohunicích je ve fázi DÚR, tramvajový tunel Žabovřesky ve fázi DSP. U některých byly již v rámci studií provedeny inženýrskogeologické a geotechnické průzkumy (tunel Vinohrady a tramvajový tunel Kamechy v Bystrci).

Po úspěšném dokončení velmi náročného projektu výstavby Královopolského tunelu v roce 2012, kde se spojovaly problémy mimořádně obtížné geologie v prostředí neogenních jílnů, nízkého nadloží a trasy kompletně procházející pod hustou zástavbou, lze předpokládat, že i další výzvy v podobě plánovaných brněnských tunelů budou úspěšně realizovány. Je však nutné, aby se všichni účastníci procesu projekční a investiční přípravy pokusili vyvinout snahu k minimalizaci zdržení přípravy tunelových projektů jako i celé dopravní infrastruktury na území brněnské aglomerace.

Ing. DAVID RUPP, rupp@geotest.cz, GEOtest, a.s.

*Recenzovali Reviewed: doc. Ing. Vladislav Horák, CSc.,
Ing. Vlastimil Horák*



Obr. 6 Situace se zobrazením projektovaného prodloužení tramvajového úseku a umístění tunelu

Fig. 6 A map containing the extension of the tramway track being designed and the tunnel location

the false tunnel on the LCRR under the shifted main railway station). The tramway tunnel to the Bohunice Campus is in the phase of obtaining the building location permit, the Žabovřesky tramway tunnel is in the final design phase. Engineering geological and geotechnical exploration has already been carried out for some of them within the framework of studies (the Vinohrady tunnel and the Kamechy tramway tunnel in Bystrc).

After the successful completion of the Královo Pole tunnel in 2012, where problems of extraordinarily complicated geology in the environment formed by Neogene clays, shallow overburden and the alignment passing under high-density urban development were encountered, it is possible to assume that even other challenges in the form of the planned Brno tunnels will be successfully overcome. It is, however, necessary that all participants in the process of the design and investment preparation try to make effort to minimise the delay in the preparation of tunnel construction projects and the entire transportation infrastructure in the area of the Brno agglomeration.

Ing. DAVID RUPP, rupp@geotest.cz, GEOtest, a.s.

LITERATURA / REFERENCES

- [1] BAJER, J. Dopravně urbanistická studie prodloužení tramvajové trati Kamechy. Brno, 2005
- [2] HANÁK, J. I/42 Brno VMO, tunel Vinohrady, rešerše. GEOtest, a.s., 2014
- [3] NOVOTNÝ, M. Brno Bystrc – Kamechy, předběžný geotechnický průzkum pro prodloužení tramvajové tratě. Závěrečná zpráva průzkumu. GEOtest, a. s., 2016
- [4] HANÁK, J. Silnice I/42 Brno, VMO Žabovřeska – podrobný inženýrskogeologický průzkum. Závěrečná zpráva průzkumu. GEOtest, a. s., 2008
- [5] RUPP, D. I/42 VMO Žabovřeska I. doplňkový GTP. Závěrečná zpráva průzkumu. GEOtest, a.s., 2015
- [6] VÍT, J., TOMANOVÁ PETROVÁ, P. Narazí tunel Vinohrady na spodnopleistocenní paleoúdlí Svitavy? Geol. výzk. Mor. Slez. Brno, 2014

MONITOROVACÍ MĚŘENÍ NA STAVBĚ OKRUŽNÍ TRASY METRA V KODANI

MONITORING MEASUREMENTS ON THE INFRASTRUCTURE PROJECT "CITYRINGEN OF COPENHAGEN"

DIETER HEINZ

ABSTRAKT

Rostoucí potřeba dopravního systému šetrného k životnímu prostředí v největších evropských metropolích ukládá místním městským a státním úřadům povinnost vytvářet územní plány a postupně je realizovat tak, aby se zajistila dobře fungující infrastruktura schopná vypořádat se s objemem dopravy v každodenním provozu. Provádění tak rozsáhlých městských infrastrukturních staveb je ale vždy spojeno i s ohromnými riziky. Kromě realizovaných budov a tunelů je nutné v průběhu celého období výstavby komplexně monitorovat i okolní zástavbu, částečně z důvodu její velké hustoty, ale také z důvodu existence velmi starých citlivých budov, geotechnických podmínek a v některých místech minimálního nadloží tunelů pod budovami. V tomto článku budou konkrétně představeny různé typy měření geotechnického monitoringu, které se realizují při stavebních pracích na novém okruhu kodaňského Metra (Cityringen Copenhagen). Kromě nasazení systému automatického monitoringu deformací ve 3D a systému hydrostatické nivelace neustále neztrácejí na významu ani ručně prováděná měření, jako je klasická přesná nivelace používaná jako záložní a flexibilní systém. Navíc na takovéto stavbě vedle plánování, instalace a údržby hrají podstatnou a důležitou roli i vizualizace výsledků a automatická hlášení dosažení varovných stavů.

ABSTRACT

The growing demand for an environmentally friendly transport system in the largest European metropolises imposes a duty on the urban local authorities and state's authorities to develop master plans and gradually implement them, in order to provide a well-functioning infrastructure capable of dealing with the traffic volumes on a day to day basis. However, undertaking construction of such large urban infrastructural projects always entails immense risks, too. Most of all, besides the buildings and tunnels that have to be constructed, the neighbouring development must be comprehensively monitored throughout the entire structural work, partly due to the very dense development, but also on account of the very old and sensitive nature of the existing buildings, the ground conditions and the minimal cover between the buildings and the tunnels at certain locations. The various monitoring measurements that have been used for the new construction work on the Copenhagen Metro („Cityringen Copenhagen“) will be specifically presented in this article. Manual measurements such as the classic high precision levelling is still significant for use as a redundant, flexible, measuring system to supplement automatic 3D monitoring of deformations, liquid levelling systems and other types of monitoring measurements. In addition to the planning, installation and maintenance servicing, visualizing the results and automatic announcing of reaching the warning states play a substantial and important role.

Poznámka: česká verze článku vznikla z anglického překladu německého originálu. Proto, a i s přihlédnutím k jiným zvyklostem v provádění geotechnického monitoringu v německy mluvících zemích a Dánska, nemusí všechny použité české odborné výrazy odpovídat standardně používané české terminologii.

1 STAVBA OKRUŽNÍ TRASY METRA V KODANI

Spolu s trasami M1 a M4 kodaňského systému podzemní dráhy Metro, které byly uvedeny do provozu dánskou královnou v roce 2002, je již pět let ve fázi výstavby zcela nová plně automatizovaná okružní trasa metra bez řidiče, složená z tras M3 a M4. Tato okružní trasa (Cityringen) bude uvedena do provozu v létě roku 2019.

Zvláštním znakem této nové okružní trasy je, že celý úsek bude provozován jako podzemní dráha se dvěma souběžnými tunely, každým o průměru 5,5 m. Dále bude nová okružní trasa napojovat kodaňské Metro na kodaňské centrální nádraží (Københavns Hovedbanegård), střed města, dvě stanice ležící na náměstí Kongens Nytorv a u kostela Marmorkirken, stejně jako na parlament u stanice Gammel Strand, stadion a stanici Osterport (Východní nádraží). Jelikož neexistuje kolejové propojení mezi starou a novou trasou metra, musí se vybudovat i nový centrální dispečink a ústřední opravny – Control and Maintenance Centre (dále CMC) [1].

1 METRO PROJECT "CITYRINGEN OF COPENHAGEN"

Alongside the M1 and M2 lines on Copenhagen's subway Metro system which the Queen of Denmark opened in 2002, the construction of a completely new, fully automatic and driverless circular line, comprising of the M3 and M4 lines, has been underway for approximately 5 years. This circular line (Cityringen) subway shall become operational as of summer 2019.

The special features of this new circular line are that the complete section will run as an underground railway tracks in 2 parallel tunnels, each of which has a diameter of 5.5m. Furthermore, the new circular line will link the Copenhagen Metro to the Copenhagen's Central Railway Station (Københavns Hovedbanegård), the town centre, the new stations at Kongens Nytorv and Marmorkirken, as well as the Parliament the Gammel Strand station, the Stadium and the Eastern Railway station. The new circular line will be connected to the existing underground Metro railway system via the transfer stations at Kongens Nytorv and Frederiksberg. There is no railway technical connection available between the old and new underground tracks, therefore, a new Control and Maintenance Centre (CMC) [1] must also be constructed.

Alongside the "Cityringen of Copenhagen" construction, work also began on the first extension northwards in 2015, which is called the "Cityringen Branch off to Nordhavnen".



Obr. 1 Schematická mapa (orientační plán) kodaňské podzemní dráhy Metro
Fig. 1 Map of Copenhagen's underground railway Metro system

Spolu se stavbou kodaňské okružní trasy Metra Cityringen byly v roce 2015 zahájeny i práce na prvním prodloužení směrem na sever „Odbočka trasy Cityringen do stanice Nordhavnen (Severní Nádraží)“. Prodloužená trasa M4 začlení oblast městské zástavby Nordhavn do sítě metra. Další prodloužení, které bude obsahovat pět nových stanic, je plánováno směrem na jih, ke stanici Ny Ellebjerg. Soutěž na výběr zhotovitele stavby tohoto úseku byla vypisována na podzim roku 2016.

Obr. 1 ukazuje stávající systém podzemní dráhy složený z tras M1 a M2 s trasami M3 a M4 nové podzemní dráhy, které se v současnosti budují. Úsek od hlavního železničního nádraží do stanice Ny Ellebjerg je znázorněn čárkovaně (začátek stavby tohoto úseku se plánuje na konec roku 2017).

Nová okružní trasa zahrnuje stavbu 17 nových podzemních stanic a 3 šachet pro výhybky a přestupní stanice, stejně jako stavbu rampy vedoucí z CMC na okružní trasu. Stavební rozměry každé stanice jsou přibližně následující: průměrná délka 80 m a šířka od 20 do 22 m. Tunelové trubky mají průměr 5,5 m a celková délka každé z nich je přibližně 15,5 km plus délka odboček vedoucích do CMC.

Pro ražbu v kodaňských vápencích v hloubce od 15 do 35 m se používají čtyři plnoprofilové tunelovací štíty Kawasaki současně. Ražby byly zahájeny v létě 2013. U všech strojů se jedná o zeminové štíty (earth-pressure balance, EPB). Ražby měly být kompletně dokončeny do začátku roku 2017. Hlavní stavební práce na stanicích a šachtách byly zahájeny v roce 2011 a práce

The extended M4 line will integrate the Nordhavn urban development zone into the underground network. A further extension that will comprise of five new stations is also being planned southwards towards Ny Ellebjerg. The tender process for building contractors for this section was published in autumn 2016.

The diagram on Fig. 1 shows the existing underground Metro, comprising the M1 and M2 lines, with the M3 and M4 lines of the new underground Metro that are being built. The section from the Main Railway Station to Ny Ellebjerg is presented with a dashed line (it is planned to begin the construction of this section at the end of 2017).

The new circular line includes the construction of 17 new underground stations and 3 shafts for switches and cross-over stations, as well as one ramp leading from the CMC to the circular line. The structural dimensions of each station are approximately 80m long and between 20m and 22m wide on average. The tubular tunnels are 5.5m in diameter and they have a total length of about 15.5km per tube, plus the spurs leading to the CMC.

Up to four Kawasaki tunnelling boring machines (also called TBMs) are being used simultaneously for the tunnelling work and they have been boring through Copenhagen's limestone at depths of between 15m and 35m since the summer of 2013. All machines are earth-pressure balancing (EPB) types. The boring work shall be completely finished by the beginning of

na nosných konstrukcích mají být převážně dokončeny do léta 2017.

Smlouva na stavbu nové okružní trasy byla uzavřena s italským sdružením „CMT – COPENHAGEN METRO TEAM I/S“ (dále CMT) v roce 2011. Vedoucím tohoto sdružení, které také zahrnuje firmy TECNIMONT a SELI, je společnost SALINI-IMPREGILO.

Objednatel je zastoupen firmou Metroselskabet I/S, která byla založena speciálně za tímto účelem v roce 2007. Kodaňský městský místní úřad vlastní 50 % této společnosti, dánský stát 41,7 % a místní úřad města Frederiksberg 8,3 %.

Až bude v létě 2019 nová okružní trasa dokončena, bude denně užívána až 240 000 cestujícími, což viditelně zlepší dopravní situaci v Kodani.

2 PROVÁDĚNÍ MONITOROVACÍCH MĚŘENÍ

2.1 Představení firmy SMT Denmark ApS

Provedením všech geodetických a geotechnických činností monitoringu pro dodavatele stavby CMT byla pověřena firma SMT Denmark ApS, která byla založena speciálně pro tuto stavbu. Rakouská firma GEODATA Ziviltechnikergesellschaft mbH a německá firma ANGERMEIER INGENIEURE GmbH vlastní každá 50 % této společnosti. Práce byly zahájeny na podzim roku 2011 a skončí v létě 2017, po dokončení všech nosných konstrukcí a tunelů.

2.2 Požadavky investora

Investor zastupovaný firmou Metroselskabet I/S již vydal velmi podrobné požadavky na monitoring v dokumentaci pro výběr dodavatele. Požadavky uváděly mimo jiné následující body:

- přesná nivelace budov a povrchů;
- automatické monitorovací systémy deformací ve 3D využívající vysoce přesných přístrojů pro kontinuální monitorování budov a objektů;
- dynamometry pro monitoring opěrných zdí (pilotové nebo podzemní stěny);
- strunové tenzometry instalované na nosnících pro monitoring opěrných zdí (pilotové nebo podzemní stěny);
- inklinometry, extenzometry, piezometry a další přístroje umístěné v hornině pro monitorování podloží.

Dále bylo požadováno přenášet všechna relevantní data z plnoprofilových tunelovacích strojů a data monitoringu do centrální databáze a tak je zpřístupnit online všem účastníkům výstavby. Objednatel také vydal velmi podrobné instrukce týkající se databáze stavby, například:

- užívání systému databáze GIS, která je založena na serveru SQL s propojením na všechny společnosti, kanceláře a externí konzultanty zapojené do projektu;
- ukládání všech automatických a ručních měření deformací do této databáze;
- instalování automatického varovného a poplašného systému kdekoli jsou překračovány různé mezní hodnoty;
- zřízení grafického rozhraní s mapou města a zobrazení informací týkajících se stavebních prací (trasy tunelů, půdorysy stanic atd.);
- vizualizování postupu stavby na stanicích a tunelech;
- vydávání instrukcí k četnosti měření, přesnému umístění měřících bodů a čidel a přesnosti měření;
- podávání informací o konkrétních budovách, které se nacházejí v těsné blízkosti nových konstrukcí stavebních jam stanic, nebo pod kterými prochází tunelovací stroje, včetně různých technických dat (jako jsou konstrukce

2017. Main construction work has begun on the stations and shafts in 2011 and the the structure work is intended to be largely completed by the summer of 2017.

The contract for construction the new Circular line was awarded to the Italian joint venture called CMT “COPENHAGEN METRO TEAM I/S” (CMC) in 2011. SALINI-IMPREGILO is the leader of this team, which also comprises of TECNIMONT and SELI.

The client is represented by Metroselskabet I/S, which is a firm that was specially founded for this purpose in 2007 and of which Copenhagen's Urban Local Authority owns 50%, the Danish State owns 41.7% and the Frederiksberg Local Authority owns 8.3%.

Up to 240,000 people will use the new circular line daily when it is completed in the summer of 2019, which will therefore noticeably improve the traffic situation in Copenhagen.

2 TAKING THE MONITORING MEASUREMENTS

2.1 Introduction of SMT Denmark ApS

SMT Denmark ApS has been commissioned by constructor CMT for taking over all geodesic and geotechnical monitoring measurements and was specially founded for this project. The Austrian GEODATA Ziviltechnikergesellschaft mbH and the German ANGERMEIER INGENIEURE GmbH each own 50% of the company. The work was commenced in autumn of 2011 and it shall finish in the summer of 2017 after all of the main structural work and the tunnels have been completed.

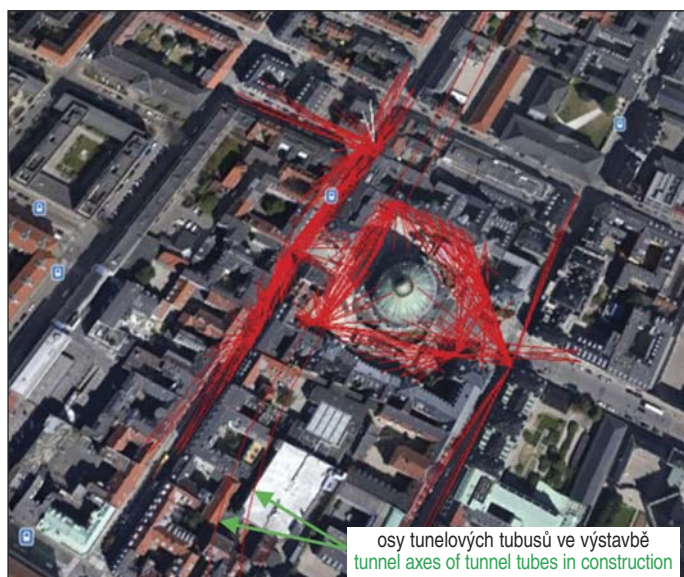
2.2 The Client requirements

The client represented by Metroselskabet I/S had already issued very detailed requirement regarding the monitoring measurement in the tender documents, which mention the following items among other things:

- precise levelling of buildings and surfaces;
- automatic 3D monitoring systems with highly accurate measuring instruments for monitoring the building and objects permanently;
- load cells for monitoring the retaining walls (bored-pile walls or diaphragm walls);
- strain gauges mounted on beams for monitoring the retaining walls (bored-pile walls or diaphragm walls);
- inclinometers, extensometers, piezometers and other instruments placed in the ground for monitoring the subsoil.

Furthermore, it was demanded to transmit all of the relevant data from the tunnel-boring machines, as well as the monitoring data, to the central database and therefore to make it available online for all of the project's participants. The client has issued very detailed instructions about the project's database, for example:

- using a GIS database system that is based on a SQL server with an interface to all companies, offices and external consultants involved on the project;
- storing all of the automatic and manual measurements of deformation in the database;
- installing an automatic warning and alarming system whenever the various threshold values are exceeded;
- setting up a graphic interface with a filed map of the city and a display of information that is relevant for the building work (tunnel alignments, outlines of the stations, etc.);
- visualizing the progress of the construction on the station buildings and tunnelling;
- issuing instructions about the measuring frequencies, the exact position of the measuring points and sensors and the measuring accuracy;



Obr. 2 Situace automatického měření deformací v oblasti kostela Marmorkirken a ulice Store Kongensgade z osmi totálních stanic

Fig. 2 Situation of the automatic measurement of deformations in the area of Marmorkirken church and Store Kongensgade Street with the surveying sights from 8 total stations

budov, rozměry, počet podlaží atd.) a obecná data, jako jsou informace o vlastních, způsobu využití apod.

Tunelový informační systém KRONOS byl schopen komplexně plnit požadavky objednatele. Tento databázový systém byl vyvinut firmou Geodata Ziviltechnikergesellschaft mbH, která ho také provozuje.

2.3 Automatické monitorovací systémy deformací ve 3D

Tyto systémy byly instalovány a uvedeny do provozu v každé ze 17 stanic a 3 šachet, stejně jako na vjezdové rampě do CMC ještě před zahájením hlavních stavebních prací tam, kde může docházet k sedání. Včasná instalace monitorovacích přístrojů umožnila komplexní podchycení všech deformačních změn způsobených v důsledku jakýchkoliv stavebních prací.

Automatické 3D monitorovací systémy byly vybaveny vysoce přesnými totálními stanicemi TM30 – 0.5" firmy Leica Geosystems, potom byly připojeny na počítač přes automatický systém pro řízení a přenos dat (LAN, WLAN nebo UMTS) a následně byla data vložena do databáze KRONOS. Doposud bylo současně nasazeno až sto kusů totálních stanic TM30. Automatické 3D monitorovací systémy byly provozovány buď jako jediná stanice (např. na dvoře za domem), nebo i jako systémy složené až z 8 přístrojů (např. na monitorování kostela Marmorkirken a přilehlých budov). Všechny totální stanice byly řízeny aplikačním systémem „OBSERVER“, který byl vyvinut a udržován během celého projektu firmou ANGERMEIER INGENIEURE GmbH. Kromě provádění vlastních měření systém Observer také umožnil přijímání dalších informací o stavu celého monitorovacího systému, například:

- následné doměření bodů, které nebylo možno měřit v rámci jednoho cyklu měření;
- trvalé měření kompenzátoru totální stanice během cyklu měření;
- přerušení komunikace s totální stanicí;
- kontrola automatického vyrovnání dat s ohledem na přesnost jednotlivých parametrů.

Na obr. 2 je letecký pohled na měřické přímky z totálních stanic v různých místech v blízkosti kostela Marmorkirken.

Po převzetí podkladů k monitoringu se zákresem předpokládaných deformačních zón byla provedena předběžná prohlídka

- filing the information about those specific buildings which are located directly next to the new structures of the station pits, or under which the tunnelling machines pass, including various technical data (like the fabric of the buildings, dimensions, number of stories, etc.) and general data like information about the owners, uses, etc.

The KRONOS tunnel-information system was able to comprehensively fulfil the client's requirements. The KRONOS database system was developed by Geodata Ziviltechnikergesellschaft mbH, which also operates it.

2.3 Automatic 3D monitoring systems

These systems were installed and put into operation in each of the 17 stations and 3 shafts, as well as on the ramped entrance to the CMC for the tunnels, before the main construction works started, where settlements can occur. The monitoring instruments were commissioned on time, which enabled all of displacements that were caused by any construction work to be detected comprehensively.

The automatic 3D monitoring systems have been equipped with Leica Geosystems highly precision TM30 - 0.5" total stations and then were connected to a PC via an automatic system for controlling and data transmission (LAN, WLAN or UMTS) and subsequently upload the data into the project's KRONOS database. Up to one hundred TM30s total stations have been used simultaneously meanwhile. The automatic 3D monitoring systems were operated as a single station (e.g. in backyard) or even as networks with up to 8 devices (e.g. for monitoring the Marmorkirken and the adjacent buildings). The entire total stations were controlled by the "OBSERVER" application system which was developed and maintained during the whole project by ANGERMEIER INGENIEURE GmbH. Besides performing the actual measuring routine the Observer system also enabled additional information about the entire system's conditions to be received, for example:

- subsequently measuring the points that could not be measured within one measuring cycle;
- permanently measuring the total station's compensator during the measuring cycle;
- breakdown of communication to a total station;
- monitoring the automatic adjustment regarding the accuracy of various parameters.

On Fig. 2 is an aerial view of the surveying sights from the total stations at various locations in the vicinity of Marmorkirken.

After hand over of the monitoring design with predicted settlement curves a preliminary site inspection was made; during which the best possible locations were investigated for the total stations in order to be able to optimally monitor all of the buildings which were situated within the zone of settlement. A detailed plan for approval by CMT monitoring department and for validation through the client monitoring department was handed over after finishing the site visit.

The CMT Communication Department made contacts in parallel with the individual owners or administration companies of the buildings in order to obtain the consents for setup brackets on buildings' facades and for connecting the necessary power-supply cables.



Obr. 3 Totální stanice na fasádě budovy
Fig. 3 A total station with its bracket on the building's facade

staveniště; v jejím průběhu byla prozkoumána nejlepší možná místa pro umístění totálních stanic, aby byly schopné optimálně monitorovat všechny budovy, které se v těchto zónách nacházejí. Po návštěvě staveniště byl předán podrobný plán rozmístění prvků systému k odsouhlasení oddělením monitoringu zhotovitele stavby CMT a ke schválení oddělením monitoringu investora.

Odbor komunikace CMT souběžně kontaktoval jednotlivé vlastníky budov nebo společnosti zajišťující jejich správu, aby získal souhlasy pro osazení konzol na fasádách budov a připojení potřebných napájecích kabelů.

Souhlas k postavení měřických pilířů na veřejných plochách vně stavenišť, jako jsou parkovací plochy a chodníky, byly získávány od příslušných odborů kodaňských a frederiksbergských místních úřadů. Potom, co byly všechny tyto souhlasy získány a konzoly instalovány, následovala instalace odrazných hranolových terčů. Tento postup zajišťoval, že byl vždy volný výhled mezi odrazným hranolem a totální stanicí. Zvláštní péče byla věnována zajištění dostatečného počtu referenčních bodů pro každý monitorovací systém vně ovlivněných zón, tak aby byl umožněn spolehlivý výpočet souřadnic při vyrovnání měření za účelem vytvoření stabilní sítě. Kdekoli to bylo zapotřebí, byly automatické monitorovací systémy doplněny dalšími totálními stanicemi. Nakonec byla provedena počáteční měření všech odrazných hranolů a spolu s nastavením automatického systému monitoringu včetně matematického vyrovnání dat a automatickým přenosem dat byla měření zavedena do databáze KRONOS.

Ideální způsob umístění totálních stanic byl buď instalování konzol na fasádách budov nebo postavení měřických pilířů přímo na površích zařízení staveniště nebo na veřejných plochách (obr. 3, 4).

Při tak rozsáhlém projektu s mnoha individuálními staveništi se ukázalo, že rozhodnutí investovat do automobilové zdvihací plošiny bylo velmi praktické a nezbytné. S ohledem na skutečnost, že tato vysokozdvizná plošina byla trvale k dispozici, mohly být prováděny instalace, demontáže a především údržba komponentů systému velmi rychle a s vysokou spolehlivostí. Na instalaci, údržbě a demontáži automatických 3D monitorovacích systémů trvale pracovaly týmy tří až pěti pracovníků. Většinu funkčních poruch bylo možné odstranit dálkově přes ovládací počítače. Teprve poté, co všechny pokusy s dálkovým ovládním selhaly, byl vyslán na příslušné staveniště servisní tým.

V období posledních pěti let bylo instalováno a provozováno přes 250 totálních stanic a kolem 10 000 odrazných hranolů.



Obr. 4 Totální stanice na měřickém pilíři uvnitř staveniště
Fig. 4 A total station on the measuring pillar inside a building site

Consents for erecting the monitoring pillars in public areas outside the construction sites – such as parking spaces or walkways – were obtained from the appropriate departments of Copenhagen's and Frederiksberg's local authorities. All of the consents were obtained and then the monitoring pillars and brackets were installed, followed by the prisms. This work sequence ensured that there was always a line of sight between prism target and total station. Special care was taken to ensure that there were always enough reference points for every monitoring system outside the zones of influence to enable a reliable coordinates calculation in the adjustment, in order to create a robust network. The monitoring systems were supplemented by additional total station locations whenever needed. Finally the initial measurement of all prism targets were taken and the setting up of the automatic 3D monitoring system with adjustment, automatic data-transmission and filed in the KRONOS database.

The ideal way of locating 'total stations' was either to install the brackets on the buildings' facades or to erect the monitoring pillars directly on the surface of the building sites or in the public area (Fig. 3, 4).

Such a large project with many individual construction sites confirmed that the decision to invest in a truck with a lifting platform was very practical and necessary. The lifting platform was permanently available, which speeded up the installations and decommissioning, as well as the maintenance of the system's components in particular; it also ensured high reliability while doing so.

Teams of between 3 and 5 persons were permanently working on the automatic 3D monitoring systems for installation, maintenance and decommissioning. The majority of the

Systémy byly provozovány mezi třemi měsíci na tunelových úsecích a několika léty na staveništích. Mnoho systémů ale bylo v nasazení trvale po dobu pěti let. Práce na jejich demontáži dosud probíhají a očekává se, že budou pokračovat do poloviny roku 2017. Systémy se mohou vypínat a demontovat, pouze pokud již byly oba tunely v dané oblasti dokončeny a nové staniční budovy dospěly do stanovené fáze výstavby, kdy se již neočekávalo žádné sedání.

Automatický monitorovací systém provádí měření zpravidla v jedno- až dvouhodinových intervalech. Intervaly měření byly v obzvláště kritických případech zkracovány až na 10 minut. Při průchodu dvou strojů TBM pod stávající stanicí a pod tunelovým úsekem s provozovanými trasami M1 a M2 byl interval měření dokonce zkrácen na méně než 2 minuty, aby byly kontinuálně získávány informace o možných posunech tunelů. Obr. 5 vyobrazuje graf sedání jednoho ze sledovaných bodů ve stávající stanicí v okamžiku průchodu jednoho TBM. Žluté a červené linie znázorňují stavy pohotovosti (alert) a poplachu (alarm). Zelená kolečka představují jednotlivá měření v dané intenzitě opakování. Z grafu je zřejmý minimální rozptyl naměřených hodnot – měření v tunelech metra mohlo být prováděno s přesností lepší než 0,2 mm ve výškách díky velmi dobrým podmínkám pro měření v podzemí, i přes velmi krátké pravidelné intervaly průjezdů vlaků. Mohla tak být zachycena výsledná hodnota vertikální deformace o velikosti do 1 mm. V této oblasti automatický monitorovací systém ve 3D nahradil původně navržené měření metodou hydrostatické nivelace (viz dále).

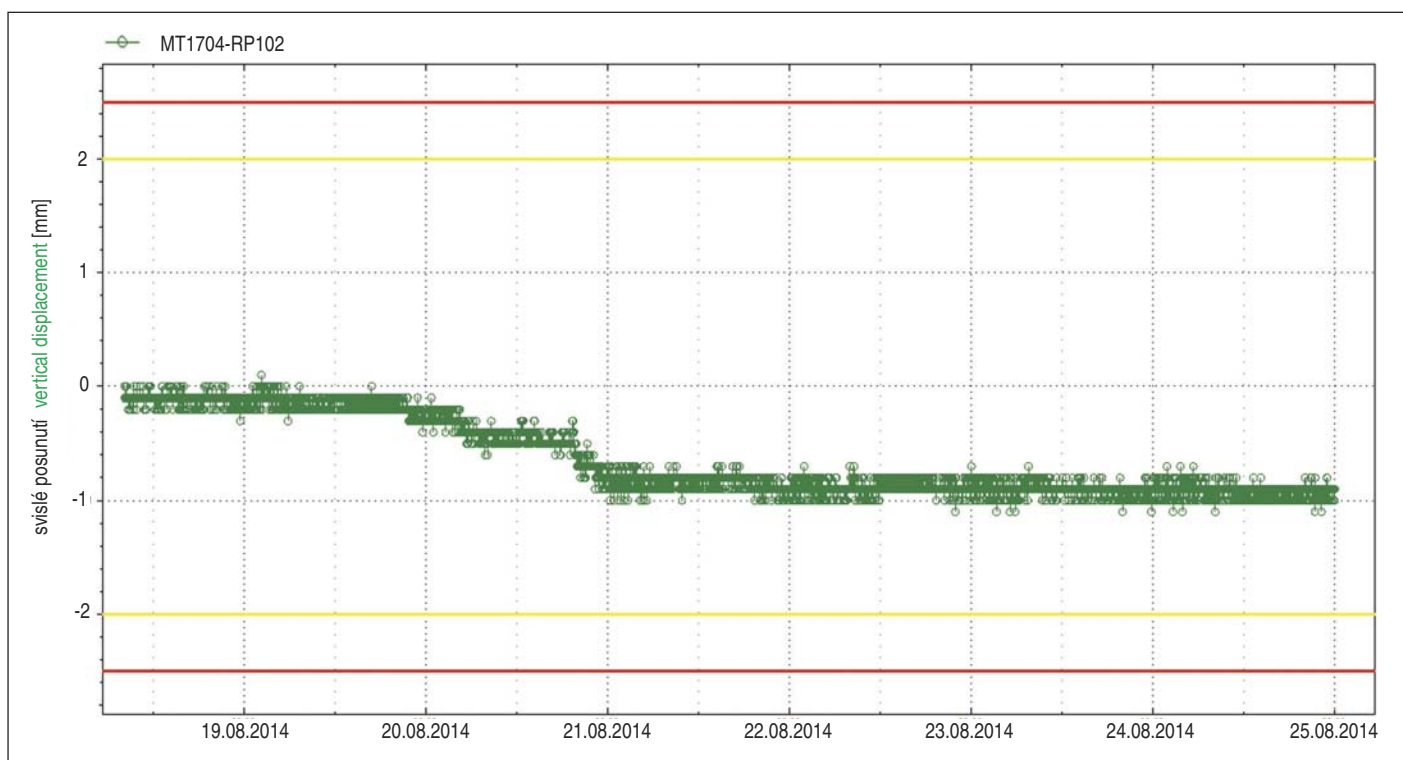
Do konce monitorovacího období v roce 2017 bude provedeno přes 100 milionů měření.

Na všech důležitých budovách, na kterých jsou umístěny odrazné hranoly, byly navíc osazeny i nivelační body za účelem vytvoření doplňujícího monitorovacího systému. Toto dodatečné nezávislé měření umožňuje, aby byly budovy nadále sledovány, kdykoliv je provoz automatického monitorovacího

malfunctions were able to be remedied by via remote access the controlling PCs. In the end, after all of the remote attempts had failed a service team was sent to the appropriate construction site.

Over 250 total stations and about 10.000 prisms were installed and operated during the period of the last five years. The systems were in operation between three months along the tunnel stretches and several years on construction sites while doing so, although many systems have already been in permanent use for five years. The decommissioning work is still ongoing and expected to continue until the middle of 2017. The systems can only be switched off and dismantled when both tunnels have been completed in the specific area and the new station buildings have reached a specific phase of construction, so that no settlements should be expected to take place any longer.

The automatic monitoring system takes measurements at intervals of one to two hours as a rule. The measuring intervals were also reduced down to 10 minutes in particularly critical cases. The measuring interval was even reduced to less than 2 minutes while 2 TBM's passing under existing Metro station and tunnel section with operating M1 and M2 lines, in order to permanently obtain information about possible displacements of the tunnels. Fig. 5 presents a graph of settlement of one of the monitored points in the station at the moment of the passage of one TBM. The yellow and red lines represent the states of alert and alarm. The green circlets represent individual measurements in the particular repetition intensity. The minimum dispersion of the measured values is obvious from the graph - the measurements could be taken within an accuracy better than 0.2mm in height, on account of the very good measuring conditions in the underground existing Metro tunnels despite the very high regular intervals of the trains. The measured vertical displacement could be registered within 1mm. In this area the automatic 3D monitoring



Obr. 5 Sedání stávající stanice Metra a tunelu při průchodu tunelovacího stroje TBM pod nimi

Fig. 5 Settlement of an existing underground Metro station and tunnel while the TBM was passing underneath



Obr. 6 Sanační práce na kupoli kostela Marmorkirken před započatím výstavby
Fig. 6 Rehabilitation work on the Marmorkirken church dome before the project commencement

systému krátce přerušeno, a zároveň bylo schopno potvrdit mnoho případů měřeného nestandardního deformačního chování budov.

V kritičtějším případech byl v budovách kromě automatických monitorovacích systémů a nivelačních bodů také instalován systém hydrostatické nivelace. Tento další monitorovací systém umožňuje provádět vysoce přesná měření uvnitř budov nebo v jejich citlivých částech, kde nebylo možno měřit pomocí automatického monitorovacího systému ve 3D a nivelace, nebo by toto měření bylo příliš nákladné a neekonomické [2].

2.4 Velmi přesná nivelace

Jak již bylo uvedeno, mnoho měření monitoringu se také provádělo pomocí klasické manuální velmi přesné nivelace. Tato metoda byla použita k získání výchozích dat na terénu nebo budovách před zahájením jakýchkoliv stavebních prací. Analýzou takových měření se v určitých oblastech dají zjistit a monitorovat sezonní pohyby nebo dlouhodobé sedání. Na druhou stranu se technika velmi přesné nivelace používala nejen jako záložní systém pro automatické monitorovací systémy 3D, ale i jako jediný systém měření v takových místech, jako jsou například uzavřené dvory a interiéry budov. Kromě toho byla nivelační měření užívána pro doprovodný monitoring při kompenzačních injektážích. Měření se prováděla kontinuálně podle přesně stanovených pravidel pro nivelaci. Kdykoliv byly překročeny mezní hodnoty (např. zdvihnutí o 2 mm), byla kompenzační injektáž okamžitě přerušena, aby podloží mělo čas na konsolidaci a práce mohly pokračovat na jiném místě. V období od roku 2012 do roku 2015 pracovalo v celé městské oblasti Kodaně a Frederiksbergu současně až sedm geodetických skupin.

2.5 Hydrostatická nivelace

Nejcitlivější stavbou, která se musela monitorovat v průběhu celé doby výstavby, byl téměř 250 let starý kostel Marmorkirken (obr. 6). Má mohutnou kupoli s průměrem 45 m a celkovou

system replaced the originally designed measurement using the hydrostatic levelling method (see below).

Over 100 Mio measurements will be taken until the monitoring period ends in 2017.

Levelling bolts were also being installed additionally on all of the relevant buildings where the prisms are located, in order to create a redundant monitoring system. The additional, independent measurement enables the buildings to continue being further observed whenever the automatic 3D monitoring system is briefly interrupted and even a lot of non-standard deformational behaviour of the buildings can be confirmed in this way.

A liquid levelling system was also installed within the buildings in quite critical cases, besides the automatic 3D monitoring systems and levelling bolts. This additional monitoring system allows highly accurate measurements to be taken inside a building or in sensitive parts of them, which were unmeasurable by the automatic 3D monitoring system and levelling, or far too costly to be measured economically [2].

2.4 High precision levelling

Many monitoring measurements were also taken with the classic, manual, high precision-levelling technique, as has been mentioned already. This method was used to obtain baseline data about surfaces or buildings on one hand, before any construction works starts. Seasonable movements or long-term settlements, can be detected and monitored in certain areas by analysing such levelling measurements. On the other hand, the high precision-levelling technique was utilized not only as a redundant system for the automatic 3D monitoring systems but also as the only measuring system in areas like confined backyards and interiors of buildings for example. Apart from that, the levelling measurements have been used for supporting monitoring during the jet-grouting activities. Measurements were permanently taken according to specific levelling rulers and the jet-grouting was stopped immediately whenever the specified threshold values (e.g. 2mm uplift) was exceeded, so the subsoil has time for consolidation and to enable the work to be continued in another place. Up to 7 surveying crew were working simultaneously within the entire urban areas of Copenhagen and Frederiksberg during the main construction phase between 2012 and 2015.

2.5 Liquid level systems (hydrostatic levelling)

The most sensitive structure that had to be monitored during the complete construction period was the Marmorkirken that is almost 250 years old (see Fig. 6). It has a monumental dome of 45m in diameter and a total height of over 80m. The church, which was built in the vicinity of the Royal Amalienborg Castle, characterizes the city's skyline like no other structure and it lies directly next to the new under construction Metro station "Marmorkirken". This building was monitored by taking measurements inside it with liquid level systems, besides the usual monitoring measurements like high precision levelling and automatic 3D system. Before the start of the construction activities at the station in 2012, a total of 4 measuring circuits with a total of 28 individual sensors were installed in the basement and in old heating ducts located circularly under the church's area (see Fig. 7).

Data has been recorded at intervals of two hours since April 2012 and the system provided information continuously via 700.000 measurements and documented the church's behaviour throughout the entire progress of the construction work.

Everything proceeded without problems during the whole

výškou přes 80 m. Kostel, který byl postaven v blízkosti Royal Amalienborg Castle (královský palác Amalienborg), charakterizuje panorama města jako žádná jiná stavba. Leží přímo vedle nově budované stavby stanice metra Marmorkirken. Tento objekt byl v interiéru monitorován měřením hydrostatické nivelace souběžně s dalšími monitorovacími měřeními, jako je velmi přesná nivelace a automatický 3D systém. Ještě před zahájením stavebních prací na stanici v roce 2012 byly v suterénu a ve starých topných kanálech umístěných v kruhovém uspořádání pod kostelem instalovány celkem 4 měřicí okruhy s 28 čidly (obr. 7). Údaje se ve dvouhodinových intervalech zaznamenávají od dubna 2012; systém průběžně poskytoval informace ve formě 700 000 měření a dokumentoval chování kostela po celou dobu výstavby.

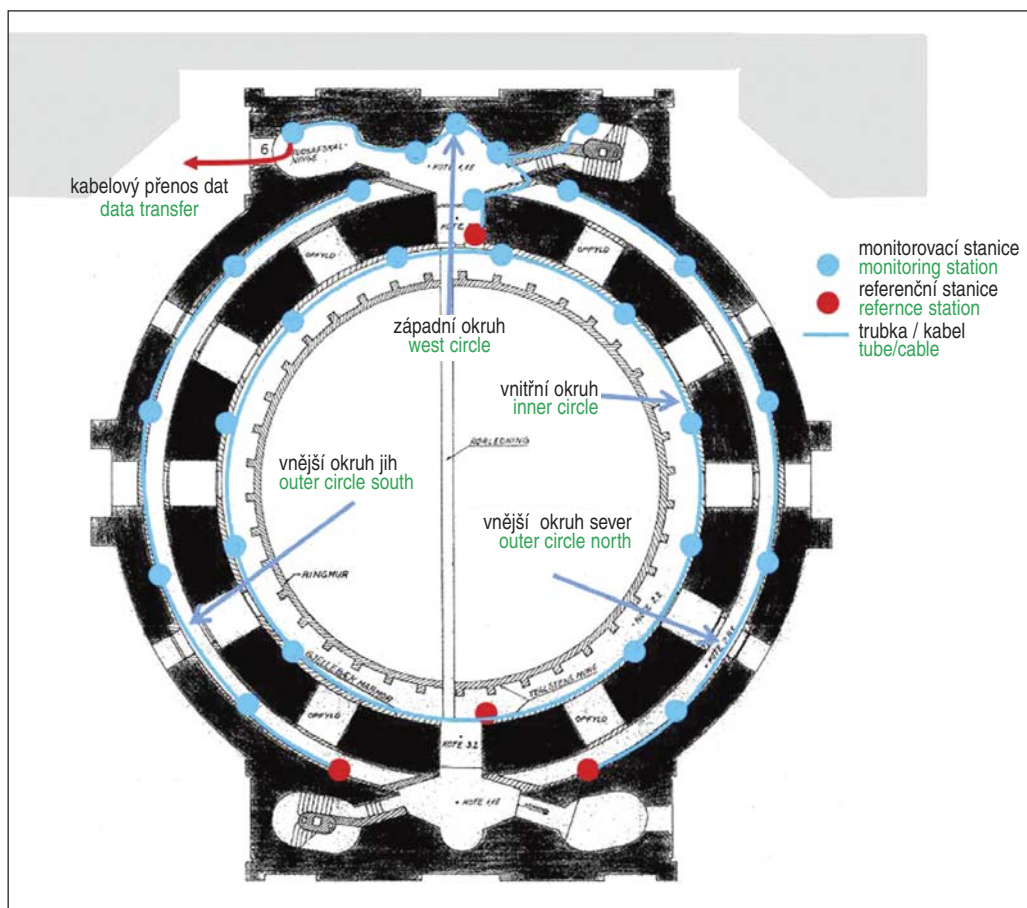
Během celé doby výstavby probíhalo vše bez problémů a všechny druhy monitorovacích systémů, jako je nivelace, automatická 3D měření nebo hydrostatická nivelace, ukazovaly stejné chování objektu. Všechny systémy se vzájemně kontrolovaly a byly používány jako redundantní monitorovací systém.

3 ZÁVĚR

Mamutí projekt monitoringu, jako je tento, může být realizován ke spokojenosti všech účastníků výstavby pomocí dobře organizovaného, motivovaného a zkušeného týmu, který dokáže instalovat a udržovat systémy za podpory přesných kvalitativních a procesních pokynů a provádět každodenní měření s požadovanou přesností. Podporu, která byla poskytována až jednomu stu 3D monitorovacích systémů, bylo nakonec možno realizovat ekonomicky a efektivně také díky průběžnému zlepšování programu OBSERVER vývojovým oddělením společnosti ANGERMEIER INGENIEURE GmbH a používáním lepších a účinnějších komponentů hardware v modulech rozhraní a v ovládacích počítačích.

*Dipl.-Ing. DIETER HEINZ,
dieter.heinz@smt-geomonitoring.dk, SMT Denmark ApS*

*Recenzovali Reviewed: Ing. Jaroslav Zlámal,
Ing. Tomáš Zítka*



*Obr. 7 Umístění čidel uvnitř kostela Marmorkirken
Fig. 7 Positions of the sensors inside the Marmorkirken*

construction phases and all types of monitoring systems like levelling, automatic 3D measurements or the liquid level system shown the same behavior. So all systems control each other and were used as a redundant monitoring system.

3 CONCLUSION

A mammoth monitoring project like this one can be implemented to satisfy all of the project participants with a well-organized, motivated and experienced team that can install and maintain the systems with the support of strict quality and process management instructions and by taking the daily measurements with the required precision. However, the support service that was provided for up to 100 of the 3D monitoring systems could finally be maintained economically and efficiently too, thanks to the continuous improvement of the OBSERVER software by the ANGERMEIER INGENIEURE GmbH development department and also through utilizing better and more efficient hardware components in the interface modules and in the controlling PCs.

*Dipl.-Ing. DIETER HEINZ,
dieter.heinz@smt-geomonitoring.dk, SMT Denmark ApS*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Lehké automatické metro v Kodani jako součást i podmínka rozvoje regionu Øresund. Příloha DP-KONTAKT, 2003, roč. 8, č. 3, www.dpp.cz/download-file/226/03-brezen-2003-priloha.pdf
- [2] HLAVÁČEK, P., HAVEL, P. Doprovodné měření při provádění kompenzační injektáže na projektu Královopolských tunelů VMO Brno. *Tunel*, 2011, roč. 20, č. 1, s. 68-73

GEODETIKÁ ODCHYLKA NA PRORÁŽCE PODZEMNÍCH LINIOVÝCH DĚL

SURVEY DEVIATION AFTER BREAKTHROUGH OF UNDERGROUND LINEAR WORKINGS

PETR HLAVÁČEK

ABSTRAKT

Geodetické práce jsou nezbytnou součástí výstavby podzemních liniových děl a jejich úkolem je mimo jiné, aby se podzemní dílo nacházelo na správném místě a mělo správný tvar. Pro zajištění správného umístění stavby a vedení ražeb správným směrem v souladu s projektovou dokumentací za účelem dosažení nejmenší možné prorážkové odchylky je třeba vytvořit a udržovat základní vytyčovací síť bodů na portálech a provádět usměrňovací měření, při kterých jsou určovány souřadnice bodů pomocné vytyčovací sítě v podzemí. Tato činnost, která patří mezi nejnáročnější geodetické práce prováděné s velmi vysokou přesností, je zatížena objektivními negativními vlivy z nepřesnosti měřického vybavení a z měření prováděného ve fyzikálně nehomogenním prostředí. Článek tyto vlivy popisuje a představuje matematický nástroj, kterým je možné předpovědět velikost prorážkové odchylky již v počátečních fázích výstavby.

ABSTRACT

Surveying is a necessary part of the construction of underground linear workings. Its task is, among other things, to ensure that the underground working is built in a correct place and has a correct geometry. It is necessary for the purpose of ensuring the correct position and correct direction of the tunnel excavation in compliance with design documents so that as small as possible breakthrough deviation is achieved to create and maintain the basic setting out network of points at portals and conduct orientation (guidance) measurements during which coordinates of the points of the auxiliary setting out network in the underground are determined. This activity, which belongs among the most complex survey operations carried out with very high precision, is affected by objective negative effects associated with the precision of measurement equipment and measurement carried out in physically inhomogeneous environment. The paper describes those effects and introduces a mathematical tool, the use of which allows for predicting the breakthrough deviation as early as the initial phases of construction.

1 NEJISTOTY INŽENÝRSKÉ GEODÉZIE

Zeměměřické činnosti, které doprovázejí inženýrskou výstavbu a výstavbu obecně, spadají do oboru geodézie, který se nazývá inženýrská geodézie. Jedním z několika základních postupů používaných v inženýrské geodézii je práce s úhly, resp. směry a délkami, které jsou dále matematicky zpracovávány v euklidovském metrickém dvourozměrném prostoru (klasický pravouhlý souřadnicový systém). Výsledkem potom může být buď jejich zpracování do souřadnic a porovnání se skutečností – kontrolní měření skutečnosti, nebo naopak výpočet těchto hodnot ze souřadnic a vytyčení oněch souřadnic pomocí směrů a délek v terénu. V dnešní době je „matematická“ část zajištěna výpočetními programy, které se rozvíjejí již několik desetiletí, a za poslední dvě dekády neustálé akcelerace elektronizace a vývoje výpočetních komponentů, ze kterých jsou dnes totální stanice vyráběny, se staly běžnou součástí každé kvalitní totální stanice.

Výše popsání postupy se jeví v teoretické rovině jako relativně jednoduché, onu jednoduchost však významně narušují svým vlivem minimálně dvě skutečnosti: nepřesnosti (nejistoty, chyby) dat a věčná snaha o zmírnění jejich vlivu na výsledky našich činností. Nejistoty, se kterými se geodeti potkávají a jejichž vznik se připisuje náhodným jevům, jsou statisticky popsány Gaussovým normálním rozdělením pravděpodobnosti se svými charakteristikami: jedná se především o střední hodnotu a směrodatnou odchylku, která definuje její interval spolehlivosti [1].

1.1 Nejistota podkladu pro měření

V současnosti je geodet bez referenčního bodového pole naprosto „slepý“. Proto má každá stavba k dispozici body

1 UNCERTAINTIES OF ENGINEERING SURVEYING

Land surveying activities attending the civil engineering development and building in general come under the surveying branch called the engineering surveying. One of several basic procedures used in engineering surveying is the work with angles or directions and distances, which are further processed mathematically in the Euclidean metric two-dimensional space (the classical rectangular coordinate system). The result can be either their processing into coordinates and the comparison with the reality – check measurements of reality, or vice versa, the calculation of those values from the coordinates and setting out those coordinates by directions and distances in the field. At present, the “mathematical” part is ensured by mathematical programs, which have been developing already several decades. During the past two decades of continual acceleration of computerisation and development of calculation components from which the total stations are currently manufactured they have become parts of each good-quality total station.

The above described procedures appear, at a theoretical level, to be relatively simple, but the simplicity is significantly disturbed by the influence of minimally two facts: inaccuracies (uncertainties, errors) of data and the eternal effort to mediate their influence on the results of our activities. The uncertainties surveyors encounter and the origination of which is attributed to random events are statistically described by the Gaussian normal probability distribution with its characteristics, namely, in the first place, the mean value and the standard deviation defining its confidence interval [1].

základní vytyčovací síť (dále ZVS) s jejich souřadnicemi. Tyto souřadnice, které jsou pro každou geodetickou činnost zásadním podkladem pro práci, jsou vždy zatíženy určitou nejistotou (přesností) z jejich určení, charakterizovanou jejich směrodatnou polohovou odchylkou. Zde začíná nejistota každého geodeta.

Pokud jsou k dispozici souřadnice „pevného“ bodu se směrodatnou polohovou odchylkou (přesností) o velikosti 5 mm, znamená to, že když kolem pozice tohoto bodu vytvoříme kružnici o poloměru 5 mm (průměr 10 mm), tak tato kružnice definuje plochu, ve které se ten, venku se nacházející, reálný bod může ve skutečnosti teoreticky v souřadnicové soustavě na hladině pravděpodobnosti 68 % nacházet. Jinými slovy to znamená, že jakékoli souřadnice z této kružnice mají na dané hladině pravděpodobnosti pro tento bod stejnou platnost. Pokud chceme zvýšit hladinu pravděpodobnosti na 99,7 %, musíme hodnotu směrodatné polohové odchylky (5 mm) vynásobit koeficientem 3 a získáváme kružnici o poloměru 15 mm a průměru 30 mm.

Hodnotu 5 mm uvádíme jako referenční, protože je možno dosáhnout ji i se středně kvalitním měřickým vybavením a správnými postupy. Pro tunelové stavby je vhodnější hodnota relativní směrodatné polohové odchylky souřadnic bodů ZVS do 3 mm. Tento nepatrný rozdíl 2 mm znamená ve skutečnosti významný nárůst požadavků na vybavení a pečlivost prováděných geodetických prací.

1.2 Nejistota v měřickém vybavení

Všechny měřické přístroje bez ohledu na obor měří s určitou chybou (přesností, nejistotou) a je tomu tak samozřejmě i u geodetického měřického vybavení. I přes velký rozvoj technologií, využívajících laserové skenování nebo příjem satelitního signálu, je dosud nejčastěji používaným geodetickým měřickým vybavením tzv. totální stanice, velmi sofistikované elektrooptické zařízení na měření vzdáleností a vodorovných a výškových směrů, ze kterých je možno dopočítat úhly. Přesnost u totální stanice (obr. 1) je udávána především přesností úhlového měření daného směrodatnou odchylkou měřeného směru a přesností měření délek, definované směrodatnou odchylkou rozdělenou na dvě složky a udávanou tvarem např. 2+1ppm, což znamená, že každou změřenou vzdálenost je třeba zohlednit složkou chyby až do výše 2 mm bez ohledu na její délku a složkou chyby, která je závislá na délce změřené vzdálenosti, zde 1 mm na změřenou délku 1 km. Tyto výrobcem deklarované hodnoty však platí pouze za určitých podmínek, především



Obr. 1 Totální stanice
Fig. 1 Total station

1.1 Uncertainty of the measurement basis data

A surveyor without reference geodetic control is currently totally “blind”. For that reason each construction project has the basic setting-out net (BSN) with the coordinates of points available. These coordinates, which are the basic basis data for the work for any surveying activity, are always affected by certain uncertainty (inaccuracy) following from their determination, which is characterised by their standard positional deviation. This is where the uncertainty of any surveyor begins.

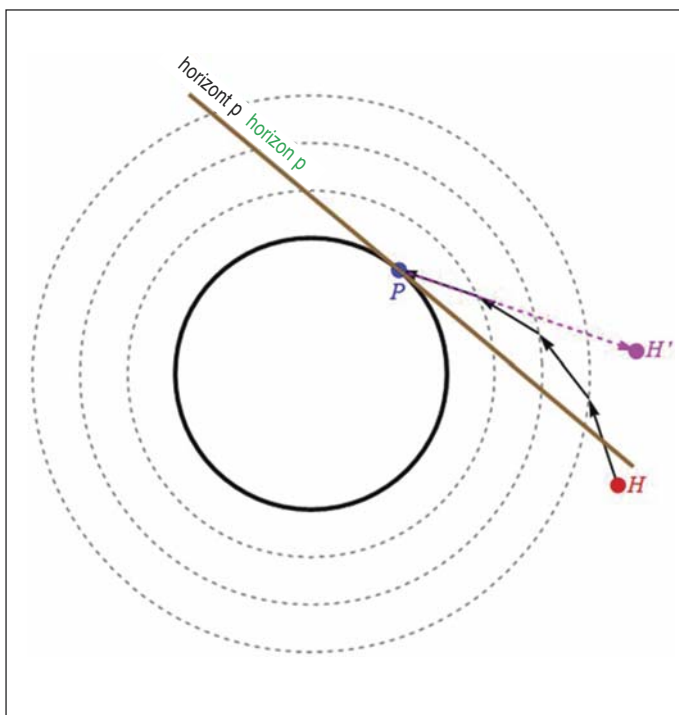
If the standard positional deviation of coordinates of a “fixed” point available is equal to 5mm, it means that if we create a 5mm radius (10mm diameter) circle around the point in situ, this circle defines the area within which this point may in reality theoretically lie at the probability level of 68%. In other words, it means that the applicability of any coordinate within this circle on the probability level determined for this point is the same. If we want to increase the probability level to 99.7%, we have to multiply the standard positional deviation value (5mm) by the coefficient 3 and we will obtain a 15mm radius (30mm-diameter) circle. We present the 5mm value as a reference value because it can be achieved even using medium quality measurement equipment and correct procedures.

For tunnel structures more suitable is the relative standard positional deviation of coordinates of BSN points up to 3mm. This slight 2mm difference means in reality a really significant increase in requirements for the equipment and carefulness of carrying out survey operations.

1.2 Uncertainty in surveying equipment

All measuring apparatuses, irrespective of the measurement branch, measure with a certain error (accuracy, uncertainty) and this fact certainly applies even to survey measurement equipment. Even despite the major development of technologies using laser scanning or satellite signal reception, the so far most frequently used survey measurement equipment is the so-called total station, which is very sophisticated electro-optical equipment for measuring distances and horizontal and vertical directions, from which it is possible to finish the calculation of angles. The accuracy in the case of a total station (see Fig. 1) is determined first of all by the accuracy of measuring of angles defined by the standard deviation of the direction being measured and the accuracy of the measurement of lengths, which is given by the standard deviation divided into two components and presented in the form of, for example, 2+1ppm, which means that an error of up to 2mm has to be taken into account for each of the measured distances, irrespective of its length, as well as the error component depending on the length of the measured distance, here 1mm per the measured length of 1km. However, these values declared by the manufacturer are applicable only under certain conditions, first of all in a homogeneous laboratory optical environment (see below).

The measurement equipment can be purchased at various levels of the accuracy of measured quantities which is guaranteed by the manufacturer. A correlation applies that the more accurate equipment the higher the purchase price. Despite this fact, even with the most accurate equipment, the surveyor has to begin from the theory that no measured value agrees with reality and, as mentioned below, increasing the quantity of



<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/1620-astronomicka-refrakce>

Obr. 2 Princip astronomické refrakce: P – pozorovatel, H – skutečná pozice Slunce, H' – zdánlivá pozice Slunce, černé šipky – lom světelného paprsku
Fig. 2 Astronomic refraction principle: P – observer, H – actual position of the Sun, H' – apparent position of the Sun, black arrows – light beam refraction

pak v homogenním laboratorním optickém prostředí (viz dále).

Měřické vybavení je možné pořídit v různých úrovních přesností měřených veličin, garantovaných výrobcem a platí úměra, že čím přesnější vybavení je, tím je vyšší pořizovací cena. Přesto i s nejpřesnějším vybavením geodet musí vycházet z teorie, že žádná změřená hodnota neodpovídá skutečnosti a jak bude dále zmíněno, přichází na řadu navyšování opakování stejných měření, jehož účelem je hledání co nejlepší aproximace skutečnosti s co nejmenší nejistotou (tedy s co nejvyšší přesností).

1.3 Nejistota z měření ve fyzikálním prostředí

Geodézie využívá pro své účely především zákony optiky. V případě měření úhlů, resp. směrů, je přijímán v totální stanici světelný paprsek (elektromagnetické vlnění vnímatelné lidským okem) vyzářovaný cílem. V případě měření vzdáleností je měřicím zařízením elektromagnetické vlnění vyslané k cíli, tam se odráží a je zpětně přijímáno a vyhodnoceno.

V obou případech se elektromagnetické vlnění pohybuje v optickém prostředí. V něm obecně platí zásada, že se optický paprsek šíří z bodu A do bodu B tou nejrychlejší cestou, která ovšem nemusí být totožná s tou geometricky nejkratší – přímkou. Na trasu nejrychlejší cesty optického paprsku mají významný vliv vlastnosti okolního fyzikálního prostředí – především pak teplota vzduchu a atmosférický tlak.

Při měření úhlů, resp. směrů, se tento vliv projevuje ohnutím světelného paprsku, a tím i určitým „znehodnocením“ měřených hodnot a nazývá se refrakce. Zjednodušeně je možno jej popsat situací, kdy Slunce při jeho východu a západu díky průchodu světelných paprsků několika vrstvami atmosféry o různých fyzikálně-optických vlastnostech na jejich cestě směrem od Slunce k Zemi vnímáme na jiné „výšce“ nad horizontem, než na jaké se ve skutečnosti nachází (což je obvykle níže).

repeated identical measurements comes into consideration. Its purpose is to find the best approximation of the reality, with the smallest uncertainty possible (i.e. with the highest accuracy).

1.3 Uncertainty from measuring in a physical environment

Surveying uses primarily the optical laws for its purposes. In the case of measuring angles respectively directions, a light beam is received in the total station (electromagnetic waves perceivable by a human eye) emitted from the target. In the case of measuring distances, the measurement apparatus sends electromagnetic waves toward the target, where it is reflected. It is received back and assessed.

In both cases the electromagnetic waves move through an optical environment. A principle generally applies in this environment that an optical beam propagates itself from point A to point B along the fastest route, which however does not have to be identical with the geometrically shortest route – a straight line. The fastest route of the optical beam is significantly affected by the properties of the surrounding physical environment – first of all air temperature and atmospheric pressure.

When angles or directions are being measured, this effect manifests itself by bending the light beam, thus even by certain “devaluation” of the measured values. It is called the refraction. In a simplified way it is possible to describe it as a situation where we perceive the Sun during its rising and setting at another “height” above the horizon than at which it is in reality found, usually lower. It is so due to the passage of light beams through several layers of the atmosphere featuring variable physical-optical properties on their way from the Sun to the Earth. If we wanted to determine this “height” from observer’s location, the determination would be “devaluated” by refraction, which is in the case of objects observed outside the atmosphere called atmospheric refraction (see Fig. 2).

Surveyors encounter the common terrestrial refraction, which has one of the greatest negative effects on measurements permanently during the surveys. It is true that its effects can be in certain cases predicted or neglected, but unfortunately, just in the field of engineering surveying used in the construction of tunnels, the refraction is one of the most malicious parameters significantly affecting the uncertainty of results (the magnitude and direction of its influence is nearly impossible to reveal). Yet it is just during the construction of tunnels where we can encounter it more frequently than anywhere else, first of all in winter seasons, when its negative influence is greatest:

- in the areas of tunnel portals when the surveying orientation measurements begin outside, in freezing conditions with the temperature below the freezing point, and end at the excavation face, where the temperature can be even 30°C; the shorter the distance of the face the greater influence of refraction threatens;
- in the areas of cross passages, where various temperature air streams are mixed;
- in the surroundings of any construction equipment emitting heat to its surroundings during the work;
- even in the areas where different temperature air, for example from a damaged ventilation duct, freshly applied shotcrete or newly opened massif (unsupported excavation) is mixed with the warm air stabilised inside the tunnel.

Pokud bychom chtěli tuto „výšku“ určit z místa pozorovatele, došlo by při jejím určení k „znehodnocení“ refrakcí, která se v případě objektů pozorovaných vně atmosféry nazývá atmosférickou (obr. 2).

S běžnou terestrickou refrakcí, která má jeden z největších negativních vlivů na měření, se geodeti při svých měřeních setkávají neustále. Její účinky je sice možno v určitých případech předvídat nebo zanedbat, ale bohužel právě v oblasti inženýrské geodézie provozované při výstavbě tunelů je refrakce jedním z nejzákeřnějších parametrů významně ovlivňujících nejistotu výsledku (velikost i směr jejího vlivu je téměř nemožné odhalit). A přitom právě při výstavbě tunelu se s ní můžeme setkat častěji, než kdekoli jinde, především v zimním období, kdy je její negativní vliv největší:

- v oblasti tunelových portálů, kdy geodetické usměrňovací měření začíná venku v mrazivých podmínkách s teplotou pod bodem mrazu a končí na čelbě, kde může být teplota i přes 30 °C, čím kratší vzdálenost k čelbě, tím větší vliv refrakce hrozí;
- v oblasti propojek, kde se mísí vzdušné proudy různých teplot;
- v okolí každé stavební techniky, která pracuje a přitom vyzařuje do svého okolí teplo;
- i v oblasti, kde se do teplého vzduchu, který je stabilizovaný uvnitř tunelu, mísí vzduch jiné teploty například z poškozené lutny, čerstvě nastříkaného betonu nebo čerstvě otevřeného masivu (nezajištěného výrubu).

Při průchodu optického paprsku popsanými náhlými teplotními změnami vzdušných vrstev dochází k jeho nekontrolovatelnému a případně i několikanásobnému ohnutí. Pro snížení vlivu refrakce je možné použít určité měřické postupy, ovšem velký význam má především zkušenost měřiče. Při činnostech prováděných naší společností jsme se setkali i s ohnutím paprsku o přibližně 8 cm na vzdálenosti cca 100 m.

Pro měření vzdáleností je zase využíván princip měření času mezi vysláním a příjmem zpět odraženého elektromagnetického vlnění, jehož rychlost je ovlivňována právě optickými vlastnostmi prostředí, ve kterém měření probíhá. Platí, že čím hustější prostředí, tím pomalejší je paprsek. O hodnotu vzniklou tímto vlivem je třeba naměřené vzdálenosti korigovat.

Protože při geodetickém měření na místě výstavby není nikdy k dispozici ideální homogenní optické prostředí, ve kterém by nedocházelo k popsaným jevům, výsledkem těchto měření potom bohužel nejsou ideální hodnoty úhlů, resp. směrů a vzdáleností, které jsou potřeba pro další matematická zpracování.

1.4 Celková nejistota inženýrské geodézie při výstavbě podzemních liniových děl

Z uvedeného vyplývá, že výsledek práce geodeta při výstavbě je zatížen nepřesností souřadnic bodů ZVS, nepřesností měřického vybavení deklarovanou výrobcem a ještě k tomu je ovlivněn vlastnostmi okolního fyzikálního prostředí při měření. Vzhledem k těmto negativním vlivům na výsledek měřických prací, se z geodetů stávají především statistici. Proto jsou nutnou součástí inženýrské geodézie znalosti z oblasti, která se zabývá:

- zpracováním dat opakovaných měření stejných, především geometrických prvků;

During the optical beam passage through the above-mentioned abrupt changes in temperature of air layers, uncontrollable or even multiple bending of the optical beam is encountered. It is possible to use certain surveying procedures for reducing the influence of refraction, but first of all the experience of the surveyor is important. During the activities conducted by our company we have encountered the bending of the light beam even by approximately 8cm over the distance of ca 100m.

Distances are measured using the principle of measuring the time between sending of the electromagnetic waves and receiving the rebound waves back. Their velocity is affected right by the optical properties of the environment in which the measurements are conducted. It is true that the denser environment the slower the light beam. The measured distances have to be corrected by the value originating in this way.

Because of the fact that an ideal homogeneous environment where the above-mentioned phenomena do not exist is never available on construction site during the in-situ surveying measurements, those measurements unfortunately result into non-ideal values of angles and distances required for subsequent mathematical processing.

1.4 Overall uncertainty of engineering survey during the implementation of underground linear workings

It follows from the above-mentioned facts that the result of surveyor's work during the process of construction is loaded by the inaccuracy of coordinates of the BSN points and by the declared inaccuracy of the surveying equipment. In addition, the result is affected by the properties of the surrounding physical environment during the survey. With respect to those negative effects on the measurement results, surveyors become first of all statisticians. For that reason the knowledge from the fields dealing with the following activities is a necessary part of engineering surveying:

- processing the data obtained by repeated measurements of identical elements, mainly of geometrical ones;
- processing the data obtained by various measurement procedures leading to the same result – for example the determination of coordinates of one point using several different procedures, which are in addition based on different basis data;
- combining the two above-mentioned procedures.

All of that is used for the minimisation of the negative effects on the result and leads to obtaining a result with the best approximation to the reality and with the lowest possible uncertainty.

Compared to surveyors working on building sites, surveyors participating on an underground working have another great disadvantage: they have no certainty where the excavation is really located until the breakthrough. The only thing they can do until that time is to carry out guidance measurements with the care which will allow them to be sufficiently convinced within the framework of their experience and possibilities that the coordinates of their points of geodetic point field in the underground, thus also the real location of the mined working, are determined with the highest possible probability and the lowest possible uncertainty, in compliance with design documentation.

Taking into consideration the fact surveyors start the measurements from one "fixed" place with some uncertainty (typically for portal BSN) and carry out measurements in the tunnel the results of which are not unambiguously verifiable at the

- zpracováním dat různých postupů měření, vedoucích ke stejnému výsledku – například určení souřadnic jednoho bodu několika různými postupy, navíc i vycházejícími z různých podkladů;
- a kombinací obou výše uvedených postupů.

To vše pak slouží k minimalizování negativních vlivů na výsledek a vede k získání výsledku s tou nejlepší aproximací ke skutečnosti s co nejmenší nejistotou.

Oproti geodetům pracujícím na pozemních stavbách má geodet účastníci se výstavby podzemního díla ještě jednu velkou nevýhodu: až do okamžiku prorážky nemá jistotu, kde se vlastně ražba ve skutečnosti nachází. Jediné, co do té doby může dělat, je provádět její usměrňování s takovou pečlivostí, aby mohl v rámci svých zkušeností a možností být dostatečně přesvědčený o tom, že souřadnice jeho bodového pole v podzemí, a tím i skutečná poloha raženého díla jsou určeny s tou největší možnou pravděpodobností a s nejmenší možnou nejistotou v souladu s projektovou dokumentací.

Vzhledem k tomu, že se svým měřením vychází z jednoho „pevného“ místa s jistou nepřesností (typicky portálové ZVS) a provádí měření do tunelu, jejichž výsledky nejsou na druhém konci až do prorážky jednoznačně ověřitelné, je možno tuto situaci přirovnat k mírně elastické páce (analogie k usměrňovacímu měření od portálu až na čelbu) připevněné elasticky na jednom konci (analogicky body ZVS), přičemž její druhý konec visí volně ve vzduchu. Podle toho, kterým směrem na tuto páku působí nějaká síla, tam se vychýlí. Navíc, čím je páka delší, tím více „bočních sil“ (zde z nepřesnosti měření) na ni může působit.

Výsledný tlak, dohromady se zmíněnými elasticitami, odpovídá postupnému hromadění se nepřesností z podkladu a měření. Tímto jevem se zabývá zákon hromadění směrdatných odchylek, viz kapitola 2.

Jednou z možností, jak snižovat celkovou nejistotu výsledku, bez kterých se geodeti neobejdou, je provádění výše zmíněných opatření: opakování měření stejných prvků, používání různých postupů k získání jednoho výsledku a kombinace obojího. Toto vede k redundanci, neboli k nadbytečnosti dat, která vzniká v okamžiku, kdy je k dispozici více dat, než kolik jich je k danému účelu potřeba. Pro jednoduchost je možno použít pro vysvětlení v dalším textu příjmu, v praxi se však tento konkrétní příklad v podstatě nevyskytuje – pro matematickou definici příjmu jsou nutné souřadnice dvou bodů, každý další bod, který leží na dané přímce, je pro její definici nadbytečný.

Avšak, jak již bylo zmíněno, v geodézii jsou souřadnice definičních bodů příjmu získávány reálným měřením, které je vždy zatíženo určitou nejistotou, která se přenáší na výsledné souřadnice, a tím vzniká nepřesnost výsledku. Pokud je nutné definovat z takto zaměřených bodů příjmu, je naopak vhodné k její co nejpřesnější definici zaměřit více takových bodů, které jsou její součástí. S ohledem na nepřesnost výsledku jejich souřadnic tyto body neleží exaktně na dané přímce a je potřeba nalézt pro ni její nejlepší aproximaci. Čím více nadbytečných bodů je k dispozici, tím vyšší je redundance systému, což vede k lepší aproximaci skutečnosti (pro definici žádané příjmu). Právě proto v geodézii a v inženýrské geodézii obzvláště platí více než jinde úsloví „dvakrát měř a jednou řež“.

Dále platí, že čím přesnější má být výsledek, tím vyšší finanční náklady je potřeba na měření vynaložit. Přestože

other end until the breakthrough, it is possible to compare this situation to a moderately elastic lever (analogy to orientation measurements from the portal up to the excavation face) elastically fixed on one end (the BSN points analogically), while the other end hangs freely in the air. The lever deflects in the direction in which some force acts on it. In addition, the longer lever the higher “lateral forces” (here due to the inaccuracy of measurements) can act on it.

The resultant pressure, together with the above-mentioned elasticity cases, corresponds to gradual propagation of inaccuracies from the basis data and measurements. This phenomenon is dealt with by the Law of Propagation of Standard Deviations, see the next chapter 2.

One of the possibilities how to reduce the overall uncertainty of the result without which surveyors cannot cope is the implementation of the above-mentioned measures: repeating measurements of identical elements, applying different procedures to obtaining one result and combining both options. This system leads to redundancy of data, which originates at the moment when more data than necessary for the particular purpose is available. For simplicity it is possible to use a straight line for explanation in the following text, but in practice this concrete example essentially does not occur – coordinates of two points are necessary for the mathematical definition of the straight line and any other point lying on the particular straight line is redundant for the definition.

But, as mentioned above, in the field of surveying the coordinates of definition points of a straight line are obtained by a real measurement, which is always loaded by some uncertainty, which is transferred on the resultant coordinates; the inaccuracy of the result originates in this way. If it is necessary to define a line on the basis of the points surveyed in this way, it is on the contrary appropriate to survey more such points which are its components to define it as accurately as possible. With respect to the inaccuracy of the resulting coordinates, these points do not lie exactly on the particular straight line and it is necessary to find its best approximation for it. The more redundant points available the higher redundancy of the system. This leads to better approximation to the reality (for the definition of the required straight line). This is why the saying “Measure twice and cut once” is more applicable to surveying and especially engineering surveying than anywhere else.

It further applies that the more accurate the result is to be, the higher financial expenditures have to be invested into the measurement. Despite the fact that costs of the measurement components during the tunnel construction belong among the less important items, surveyors are often forced to additional reducing of costs, without the other parties to the construction realising its significant influence on the surveying accuracy, thus also on the final result of the underground working within the framework of the required geometric tolerances.

The theory of all above-mentioned considerations is applied to analysing the estimation of the deviation at the breakthrough and is put into practice when the BSN points and their coordinates are being established and maintained. Both cases are described below.

In the conclusion of this chapter it is necessary to state that the greatest contribution in the struggle with uncertainty is first of all the experience and quality of surveyors carrying out the guidance measurement, its preparation and assessment.

náklady na měřické složky patří při výstavbě tunelu mezi ty méně významné položky, jsou měřiči často nuceni do dalšího snižování nákladů, aniž by si účastníci stavby uvědomovali jejich významný vliv na přesnost geodetických prací, a tím i na konečný výsledek podzemního díla v rámci požadovaných geometrických tolerancí.

Teorie všech předchozích úvah je uplatňována při provádění analýzy odhadu velikosti odchylky na prorážce a do praxe je tato teorie uváděna při tvorbě a údržbě bodů ZVS a jejich souřadnic. Oba případy jsou dále popsány.

Na závěr kapitoly je třeba uvést, že největším přínosem v boji s celkovou nejistotou je především zkušenost a kvalita geodetů, provádějících usměrňovací měření, jeho přípravu a vyhodnocení.

2 TEORIE – ANALÝZA ODHADU VELIKOSTI ODCHYLKY NA PRORÁŽCE

2.1 Obecný popis

Analýza je geodetickým matematickým nástrojem, kterým je možné dopředu odhadnout velikost odchylky skutečné polohy vyraženého díla od polohy projektované v místě prorážky, způsobené pouze měřickými pracemi za vyloučení vlivu hrubých měřických chyb. K výpočtu se používá matematická simulace prováděných měření v podzemí, vycházejících z bodů ZVS. Jedná se o dokument, který je významný z hlediska geometrického uspořádání budoucího podzemního díla.

Tento dokument má jak informační charakter, tak zároveň může v různých významech sloužit i jako ochrana stran zúčastněných na výstavbě.

Informovat může například investora a dodavatele stavby o tom, jaké jsou reálné možnosti geodetů, nebo může informovat objednatele na různých úrovních (např. investor nebo dodavatel stavby) o skutečnosti, zda jsou vůbec schopni zajistit požadovanou přesnost díla. V neposlední řadě informuje všechny účastníky stavby tunelu o tom, že mohou nastat problémy se skutečným umístěním vyraženého díla v oblasti prorážky.

Jako příklad je možno uvést stavbu prodloužení metra V.A v oblasti ražené pomocí razicích strojů od montážní šachty na Vypichu až do stávající stanice Dejvická. V místě napojení na stávající objekty provozované trasy metra A bylo nutno navázat na přechodovou komoru, která již má své reálné umístění a tvar. V případě minutí této komory v řádu centimetrů by mohly vzniknout vysoké náklady na stavební sanační práce. Tímto byla definována velikost povolené odchylky do 6 cm a analýza odhadu velikosti odchylky na prorážce měla prokázat, zda toho je geodetická složka vůbec schopná a za jakých podmínek.

Jako další příklad poslouží výstavba tunelu Ejpvovice. V jedné z jejích přípravných fází byla předpokládána ražba dvou na sebe navazujících tunelů Chlum a Homolka. Oba tunely se měly potkávat u středové jámy, ze které měly také probíhat ražby. Přístup na ražby z této jámy byl z geodetického hlediska naprosto nevhodný. To bylo prokázáno analýzou odhadu velikosti odchylky na prorážce. Navíc u tunelu Homolka s předpokládanou délkou 2400 m, v jehož případě byla geometrická situace na východním portále výrazně příznivější, analýza doporučila posunout prorážku ze středu tunelu dále od východního portálu směrem ke středové jámě za účelem zmenšení rizika prorážkové odchylky nechtěné velikosti.

2 THEORY – ANALYSIS OF THE ESTIMATION OF THE BREAKTHROUGH DEVIATION

2.1 General description

The analysis is a mathematical surveying tool allowing for estimating in advance the magnitude of the deviation of the actual location of the excavated working from the designed breakthrough location caused only by survey operations, with the influence of gross measurement errors excluded. The calculation is carried out using a mathematical simulation of the measurements carried out in the underground, which are based on the BSN points. It is a document which is important from the aspect of the geometrical configuration of the future underground working.

This document is intended not only for information purposes but can be used in various senses even as the protection of the parties to projects.

It can, for instance, inform the project owner and contractor about the realistic possibility for surveyors, or it can inform clients at various levels (project owner, contractor) about the reality, whether they are even capable of guaranteeing the required accuracy of the work. At last but not least, it informs all participants in the tunnel construction that problems with the actual location of the completed excavation in the area of the breakthrough can be encountered.

It is possible to mention, as an example, the project for the extension of metro line V.A in the area where the tunnel was driven using a TBM from the assembled shaft on Vypich up to the existing Dejvice station. It was necessary in the location of the connection to existing structures of the operating metro line A to continue on to a transition chamber, which already had its real location and geometry. High costs of construction repair work could be incurred in the case of missing this chamber in the order of centimetres. The magnitude of the permitted deviation up to 6cm was defined in this way and the analysis of the estimation of the magnitude of the deviation at the breakthrough was intended to prove whether and under which conditions the surveying unit is capable of achieving it.

The Ejpvovice tunnel project can be used as another example. In one of its preparation phases, it was assumed that two connected tunnels, Chlum and Homolka, would be driven. The two tunnels were to meet at a mid-point construction pit from which the tunnel excavation was to be carried out. The access to the excavation headings proceeding from this pit was, from the surveying point of view, totally unsuitably. This fact was proved by the analysis of the estimation of the magnitude of the deviation at the breakthrough. In addition, in the case of the Homolka tunnel with the assumed length of 2400m, the geometrical situation at the eastern portal was significantly more advantageous. The analysis recommended that the breakthrough location be shifted from the tunnel middle farther from the eastern portal, in the direction of the mid-point pit, so that the risk of the breakthrough deviation of the undesired magnitude was reduced.

The surveying unit uses the analysis as an element protecting against unrealistic accuracy requirements of the project owner, consulting engineer or contractor regarding the directional guidance of the tunnel. In addition, the surveying unit and the construction contractor can protect themselves against the provider of the BSN points coordinates if the provider hands over coordinates of the points with a larger inaccuracy than

Jako ochranný prvek používá analýzu v první řadě geodetická složka před nereálnými požadavky investora, projektanta nebo dodavatele stavby na přesnost směrového vedení tunelu. Dále se můžou geodetická složka a dodavatel stavby chránit před dodavatelem souřadnic bodů ZVS stavby, jestliže tento dodá souřadnice bodů s větší nepřesností, než je požadovaná (a to i v případech zajištění této činnosti investorem).

Výsledkem analýzy by mělo být minimálně doporučení topografického rozmístění bodů ZVS a pomocné sítě v podzemí, přesnosti použitého měřického vybavení a způsobu měření. Analýza odhadu velikosti odchylky na prorážce by měla být v optimálním případě součástí alespoň realizační dokumentace stavby a měla by zohledňovat topografii okolí vstupních objektů tunelu (portálů a šachet) s ohledem na možnost stabilizace pevných bodů ZVS. V ideálním případě by v ní mělo být zohledněno zařízení staveniště (dále ZS) tak, aby nedocházelo k přerušení přímých optických záměr mezi body ZVS nebo dokonce k přímé likvidaci bodů stavbou dalších objektů ZS. Z analýzy také mohou vyplývat problémy geometrické návaznosti v budoucnu skutečně vyraženého tunelového díla na stavební objekty, které s tunelem sousedí (např. mostní konstrukce). Řádným předáním a odsouhlasením tohoto dokumentu se tento stává součástí dokumentace stavby a všichni účastníci by měli vzít jeho obsah na vědomí.

V praxi se tak bohužel většinou neděje. Analýza je obvykle vytvářena až po stabilizaci nevhodně umístěných bodů ZVS a občas dokonce až po určení jejich souřadnic s nedostatečnou přesností.

Analýza odhadu velikosti odchylky na prorážce vychází z následujících podkladů:

- souřadnice bodů ZVS a jejich přesnost daná směrodatnou polohovou odchylkou, které by měly být součástí předávacího protokolu dodavatele souřadnic bodů ZVS – viz kapitola 1.1;
- dosažitelná přesnost měřického vybavení (v uvažovaném případě totální stanice a satelitní přijímače) – viz kapitola 1.2;
- geometrie raženého díla – sem patří jak prvky jako trasa, niveleta, šířka tunelu a počet tubusů, tak i například rozhodnutí o realizaci/nerealizaci propojek souběžně s ražbou hlavních tubusů (propojky jsou/nejsou k dispozici pro usměrňovací měření).

K výpočtu odhadu odchylky je využíván zákon hromadění (přenášení) směrodatných odchylek. Zde tento zákon předpoví dá možnou geometrickou formu obrazce vytvořeného geodetickým usměrňovacím měřením od portálu až na čelbu na základě nepřesnosti vstupních hodnot (daných směrodatnými odchylkami souřadnic bodů ZVS a měřených veličin). Těmi jsou v případě geodetických měření prováděných při usměrňování tunelových ražeb úhly, resp. směry a délky. Zkušený analytik je navíc schopen zohlednit alespoň částečně i vliv vlastností fyzikálního prostředí – viz kapitola 1.3.

Souřadnicím každého nově určovaného bodu analyzované sítě je po výpočtu přiřazena střední elipsa chyb, která definuje plochu, ve které se skutečná poloha bodu může s určitou pravděpodobností nacházet.

2.2 Parametry mají vliv na velikost odchylky

Zásadní vliv na velikost odchylky na prorážce mají situace popsané v následujících bodech:

required (it is so even in the cases where this activity is ensured by the project owner).

The result of the analysis should minimally contain a recommendation for the topographic distribution of the BSN points and the points of auxiliary network in the underground, the accuracy of surveying apparatuses to be used and the measurement method. The analysis of the estimation of the magnitude of the breakthrough deviation should be, in an optimal case, at least part of the design of means and methods and should take into consideration the topography of the surroundings of tunnel entrance structures (portals and shafts) with respect to the possibility of the stabilisation of the BSN fixed points. In an ideal case the construction site facilities (hereinafter referred to as the CSF) should be taken into consideration in the analysis so that interrupting the direct optical sight lines between the BSN points or even direct liquidation of the points by the construction of new CSF objects does not occur. Problems of the geometrical connection of a tunnel really excavated in the future to the structures existing in the tunnel neighbourhood (e.g. bridges) can also follow from the analysis. By proper handover and approval, this document becomes part of the construction documentation and all participants should note its content.

Nevertheless, this mostly does not take place in practice. The analysis is usually created only after the monumentation of improperly located BSN points and, sometimes, even after the determination of their coordinates with an insufficient accuracy.

The analysis of the estimation of the magnitude of the deviation at the breakthrough is based on the following basis data:

- coordinates of BSN points and their accuracy given by the standard positional deviation, which should be part of the handover protocol issued by the supplier of the coordinates of the BSN points – see Chapter 1.1;
- the achievable accuracy of the surveying equipment (in our case total stations and satellite receivers) – see Chapter 1.2;
- the geometry of the mined working – both the elements such as the route, the alignment, the tunnel width and the number of tunnel tubes as well as, for example, the decision on the realisation/non-realisation of cross passages simultaneously with the excavation of the main tunnel tubes (cross passages are/are not available for the guidance measurements), belong here.

The calculation of the estimation of the deviation is carried out applying the Law of Propagation of Standard Deviations. In our case this law predicts the possible geometrical form of the pattern created by the orientation measurement survey from the portal up to the excavation face on the basis of the inaccuracy of input data (given by the standard deviations of coordinates of BSN points and the measured quantities). In the case of survey measurements carried out during the orientation of the tunnel excavation, these quantities comprise angles or directions and lengths. An experienced analyst is in addition can at least partially take into account the influence of the properties of the physical environment – see Chapter 1.3.

A medium ellipse of errors defining the area within which the real position of the point may be found with certain probability, is after the completion of the calculation assigned to the

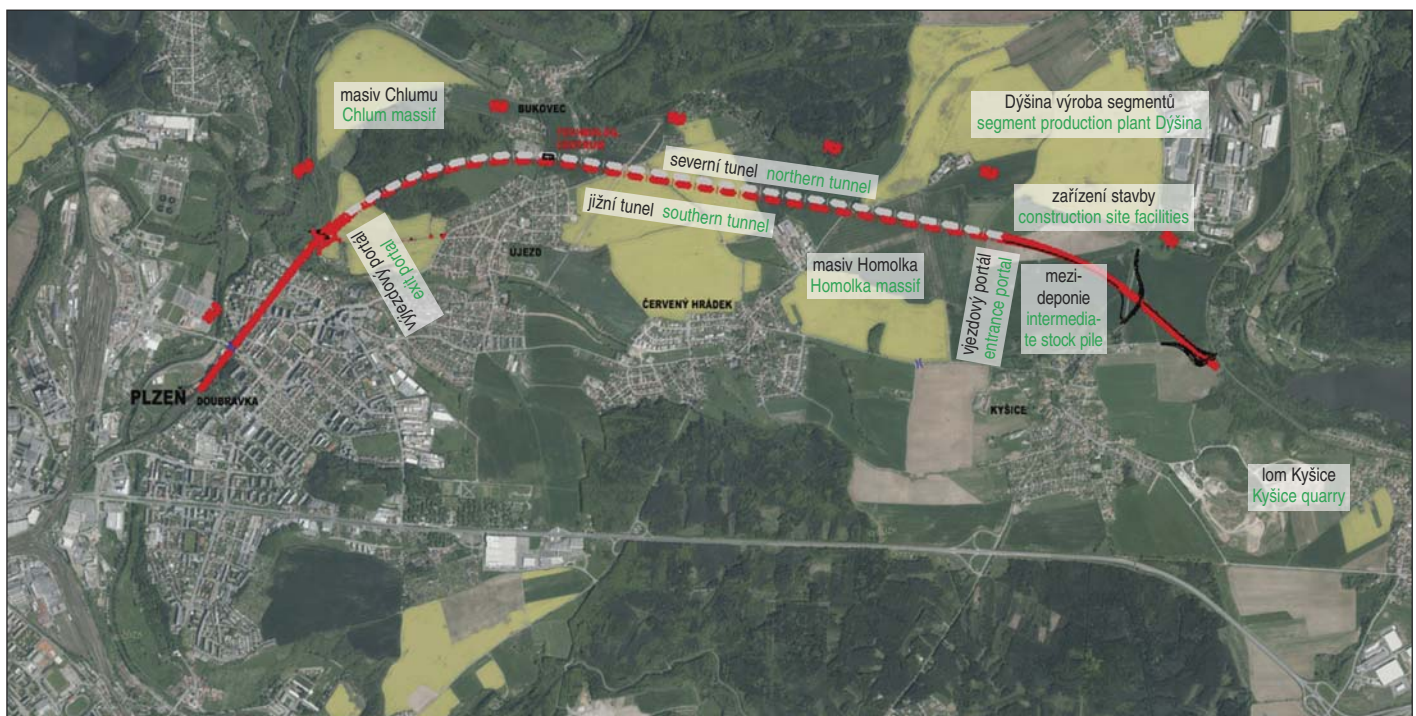
- Prvotní přístup do ražených prostor. Platí, že čím otevřenější je prostor portálu, tím je také větší pravděpodobnost malé odchylky na konci. K dosažení menší odchylky dále přispívá možnost dlouhých orientací před portálem, které budou navíc správně rozloženy vzhledem k trase budoucího tunelu. Naopak odchylku zhoršují přístupy přes šachty (obvykle malých průměrů) a přístupové štoly končící často navíc ve směru kolmém na hlavní tunel (rozdílkový – viz dále). Závažný problém z geodetického hlediska nastal při ražbě tunelu Považský Chlmec v Žilině ve Slovenské republice ze středového portálu. Zde vznikla situace pro geodeta naprosto nevhodná: komplikovaná topografie středového portálu neumožňovala dlouhé orientační záměry, naopak k dispozici byly krátké klikaté polygonové pořady s krátkými stranami a téměř pravými úhly mezi nimi (viz další bod), ze kterých byly prováděny ražby do čtyř směrů, každá o délce několika stovek metrů. Prorážkové odchylky na konci zde byly jednoznačně větší, než by se dalo očekávat u stejné délky ražeb s lepší možností přístupu, naštěstí však byly stále v požadovaných tolerancích.
- Geometrie trasy ražeb. Neoptimálnějším prvkem je trasa v přímé, zde je riziko velké chyby minimální. S každým obloukem a velikostí jeho křivosti stoupá riziko velké odchylky. Pro udržení správného směru ražeb je potom nejméně příznivé, pokud se směr ražby láme například v pravém úhlu (opět rozdílkový). A samozřejmě se velikost odchylky na prorážce přímo úměrně avšak ne lineárně zvětšuje s délkou raženého díla.
- Již popsané směrodatné polohové odchylky (přesnost) souřadnic bodů ZVS. Samozřejmě platí, čím větší je vzájemná relativní přesnost bodů ZVS, tím větší šance má geodet pro dovedení ražby do prorážky s malou chybou. Toto téma bývá často zásadním problémem. Pro dostatečnou přesnost určení souřadnic bodů ZVS je třeba provádět měření s drahým měřicím vybavením a správnými postupy. Praxe však ukazuje, že především používáním levnějšího (a tím méně přesného) vybavení někteří dodavatelé souřadnic bodů ZVS ani nejsou schopni tuto podmínku naplnit.
- Podmínka stejně kvalitního, a tím drahého vybavení je důležitá i pro vlastní geodetická usměrňovací měření v podzemí. Například minimální požadavky na přesnost totálních stanic by měly být 0,3 mgon v úhlech a 1+1ppm v délkách. Další možností, jak může být ovlivněna velikost prorážkové odchylky, je měření azimutů gyroteodolitem, které má tu výhodu, že azimut je pevně definovaný vzhledem k souřadnicové soustavě a je tak možno porovnat azimut změřený mezi dvěma body v podzemí s azimutem spočítaným jako výsledek trigonometrických měření. Nevýhodou gyroteodolitu je jeho nepřesnost, přestože se za poslední dekády zlepšila o řád, a vysoká cena určení azimutu jedné základny v podzemí. Proto je také především u dlouhých nebo geometricky komplikovaných tunelů účelnost tohoto typu měření analýzou potvrzována, případně vyvrácena (viz 2.3.3).
- Opět hraje zásadní roli zkušenost analytika při vytváření forem a tvarů měřených sítí v podzemí a při definování apriorních přesností vstupujících prvků s ohledem na okrajové podmínky tvaru díla (např. geometrii nebo předpoklad vlivu fyzikálního prostředí).

coordinates of each newly determined point of the network being analysed.

2.2 Parameters influencing the deviation magnitude

The situations described in the following items have the fundamental influence on the magnitude of the breakthrough deviation:

- The initial access to the mined spaces. It applies that the more open portal space the larger probability of small deviation at the end. To achieving a smaller deviation further contributes the possibility of long orientation distances in front of the portal, which will be in addition properly distributed in relation of the alignment of the future tunnel. On the contrary, the deviation is worsened by accesses via shafts (usually small-diameter ones) and access galleries frequently ending in the direction perpendicular to the main tunnel tube (tunnel side stubs – see below). A problem significant from the surveying point of view occurred during the excavation of the Považský Chlmec tunnel near Žilina in the Slovak Republic from the mid-point portal. A situation absolutely improper for a surveyor originated there: the complicated topography of the mid-point portal did not allow for long orientation sight lines, just to the contrary, short zigzag traverses with short sides and nearly right angles between them (see the next point) were available. The excavation proceeded from them to four directions. Each of the excavation sections was several hundred metres long. The breakthrough deviations at the end were unambiguously larger than they could be expected in the cases of identical excavation lengths with better access possibilities; fortunately they still complied with the required tolerances.
- Excavation route geometry. The most optimal element is a route on a straight line, where the risk of a large error is minimal. The risk of a large error grows with each curve and the growing magnitude of its curvature degree. The less favourable for maintaining the correct direction of excavation is when the direction of excavation breaks, for instance perpendicularly (again excavation side stubs). Of course, the increase in the magnitude of the deviation at the breakthrough positively correlates, but not linearly, with the length of the mined working.
- The above-mentioned standard positional deviation (accuracy) of coordinates of the BSN points. Of course, it applies that the greater mutual relative accuracy of the BSN points the greater chance for the surveyor of guiding the excavation up to the breakthrough with a small error. This theme is frequently the fundamental problem. It is necessary for the sufficient accuracy of the determination of coordinates of the BSN points to carry out measurements using expensive surveying equipment and correct procedures. However, the practice shows that some providers of coordinates of the BSN points are not able to meet this condition first of all because of using cheaper (thus less accurate) equipment.
- The condition of equal quality, thus expensive equipment is important even for the orientation survey measurements in the underground. For example, the minimum requirements for the accuracy of total stations should be 0.3mgon for angles and 1+1ppm for lengths. Another



Obr. 3 Situace tunelu Ejpvovice
Fig. 3 Ejpvovice tunnel situation

Zdřaj | Source [2]

Jak již bylo napsáno, analýza odhadu velikosti odchylky na prorážce informuje o teoretických možnostech při geodetickém usměrňování ražby na co nejpřesnější provedení ražby do jejího cíle, při vyloučení hrubých chyb, kterých se geodetická služba může dopustit. I velikost této teoretické odchylky podléhá vlivu náhodných chyb, a proto je její hodnota, statisticky viděno, také popsána Gaussovým normálním rozdělením pravděpodobnosti. Hodnota odchylky, která je výsledkem analýzy, tak odpovídá směrodatné odchylce na hladině pravděpodobnosti 68 %. Pouhým vynásobením koeficientem 3 dostáváme hodnotu možné odchylky na hladině pravděpodobnosti 99,7 %. Hodnoty potom definují interval spolehlivosti na příslušné hladině pravděpodobnosti. Tato čísla mohou být poměrně velká (řády centimetrů až decimetrů), přesto ale popisují skutečnost, že se tyto hodnoty na konci ražby mohou vyskytnout, aniž by bylo možno obvinít geodeta z hrubého zanedbání jeho povinností. Při použití správných postupů usměrňování ražby je dosažení původní hodnoty na hladině pravděpodobnosti 68 % velmi reálné.

2.3 Příklady z praxe

2.3.1 Tunel Ejpvovice

Tunel Ejpvovice patří svou délkou 4150 m mezi nejdelší tunely, které kdy byly v České republice raženy. Stavba obsahuje vůbec nejdelší úsek tunelu v České republice, kde směrové a výškové vedení ražeb bylo zajišťováno z jednoho portálu bez dalšího kontrolního připojení na polohovou ZVS (úsek minimálně o délce 2850 m, viz dále). Nároky na přesnost prorážky zvyšuje skutečnost, že se jedná o tunel železniční a navíc ražený pomocí razicího stroje. Z geodetického hlediska má tato metoda tu nevýhodu, že se zjednodušeně řečeno, zároveň s ražbou buduje i definitivní ostění. To znamená, že v okamžiku prorážky je tunel hotový a jedinou finančně vhodnou možností nápravy v případě prorážkové odchylky nechtěné velikosti může být v lepším případě změna trasy budoucích kolejí.

possibility of influencing the magnitude of the breakthrough deviation is to measure azimuths using a gyrotheodolite, the advantage of which is that the azimuth is firmly defined in relation to the coordinate system and it is therefore possible to compare the azimuth measured between two points in the underground with the azimuth calculated as a result of trigonometric measurements. The disadvantages of a gyrotheodolite are its inaccuracy, despite the fact that the accuracy has improved during the past decades by one order, and the high cost of the determination of the azimuth of one base in the underground. For that reason the usefulness of these types of measurement is either confirmed or rebutted by the analysis, first of all regarding long or geometrically complicated tunnels (see 2.3.3).

- The experience of the analyst in creating forms and configurations of the networks measured in the underground and defining apriori accuracies of input elements taking into consideration the boundary conditions of the shape of the workings (e.g. the geometry or assumption of the influence of the physical environment) again plays the crucial role.

As already mentioned above, the analysis of the estimation of the magnitude of the deviation at the breakthrough informs about theoretical possibilities during the orientation survey designed to guide the excavation toward the target as accurately as possible, with the gross errors the survey service may commit excluded. Even the magnitude of this theoretical error is subject to the influence of random errors, therefore its value, viewed statistically, is also described by the Gaussian normal distribution of probability. The deviation value resulting from the analysis therefore corresponds to the standard deviation at the probability level of 68%. We receive the value of the possible deviation at the probability level of 99.7% by simple multiplying by a coefficient equal to 3. Then the values define the interval of reliability at the particular probability level.

Tab. 1 Odhadovaná velikost polohové prorážky za využití možnosti kontroly skrz šachtu VZT (odchyly v příčném a podélném směru)

Table 1 Estimated magnitude of the breakthrough positional (lateral and longitudinal) deviation using the possibility of checking through the ventilation shaft

typ sítě, kontrola skrz VZT network type, checking through ventilation shaft	dQ ₆₈	dS ₆₈	dQ _{99,7}	dS _{99,7}
bez měření azimutu without azimuth measurements	27	9	80	28
s 1 měřenou základnou with 1 measured base	22	8	65	23

Tab. 2 Odhadovaná velikost polohové prorážky bez možnosti využití kontroly skrz šachtu VZT (odchyly v příčném a podélném směru)

Table 2 Estimated magnitude of the breakthrough positional (lateral and longitudinal) deviation without the possibility of the application of checking through the ventilation shaft

typ sítě, bez kontroly skrz VZT network type, without checking through ventilation shaft	dQ ₆₈	dS ₆₈	dQ _{99,7}	dS _{99,7}
bez měření azimutu without azimuth measurements	62	43	185	130
se 2 měřenými základnami with 2 measured bases	53	36	158	107

V obr. 3 je znázorněna situace vedení trasy. Ražba začíná za vjezdovým portálem Rokycany dlouhým přímým úsekem, který přechází do oblouku s poměrně velkou křivostí. Na tunelovém staničení zhruba 2850 m se nachází objekt vzduchotechnické (VZT) šachty, kterým je možné provést kontrolní měření za účelem napojení podzemní sítě bodů na povrchovou ZVS před prorážkou na výjezdovém portále Plzeň, za předpokladu, že bude včas vyražen. I takováto skutečnost by měla být zahrnuta do správně provedené analýzy odhadu velikosti odchyly na prorážce.

Účelem analýzy bylo zjistit reálné možnosti geodetů ražby a tuto informaci předat dále pro naplnění úspěšné realizace celého projektu Modernizace trati Rokycany – Plzeň.

V tab. 1 a 2 jsou vyčísleny výsledné hodnoty odhadované velikosti polohové prorážky v místě portálu Plzeň za předpokladu relativní přesnosti bodů výchozích portálových ZVS lepší než 3 mm. V tab. 1 jsou hodnoty odchylek při využití možnosti geodetické kontroly skrz šachtu VZT. Pro porovnání v tab. 2 jsou uvedeny i hodnoty odchylek bez možnosti využití kontroly skrz šachtu VZT, například z důvodu časového nesouběhu obou ražených stavebních objektů. Hodnoty jsou v mm.

Tabulky obsahují hodnoty dQ a dS (odchyly v příčném a podélném směru s ohledem na trasu) a indexy označují hladinu statistické pravděpodobnosti výskytu.

Z hodnot lze při respektování výsledků na hladině pravděpodobnosti 99,7 % vyčíslit pro příčnou odchylku dQ následující skutečnosti:

- Při možnosti připojení podzemní části ZVS na povrch skrz šachtu VZT proběhne korekce souřadnic bodů podzemní sítě o skutečnou odchylku zde změřenou a je možné na výjezdovém portálu Plzeň dosáhnout chybu na prorážce velikosti $\pm 8,0$ cm.
- Při kontrolním měření azimutů gyroteodolitem o velmi vysoké přesnosti je možno velikosti této chyby ještě zmenšit na $\pm 6,5$ cm. Zlepšení přesnosti je zde pouze v řádu jednotek cm.
- V případě, kdy nebude zachována možnost připojení podzemní části ZVS na povrch skrz šachtu VZT, lze očekávat nárůst chyby na konci tunelu na $\pm 15,8$ cm, a to dokonce

These figures can be relatively large (orders of centimetres up to decimetres), still they describe the reality that these values at the end of the excavation can occur without the possibility of accusing the surveyor of gross negligence. When proper procedures of the guidance of excavation are used, achieving the original value at the probability level of 68% is highly realistic.

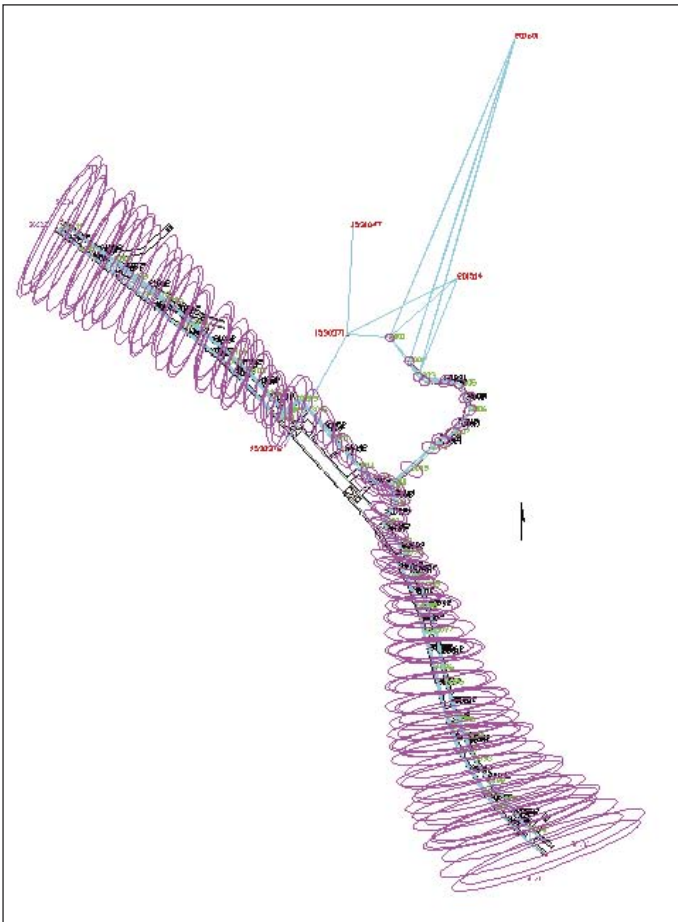
2.3 Examples from practice

2.3.1 Ejpvovice tunnel

The Ejpvovice tunnel with its length of 4150m belongs among the longest tunnels ever driven in the Czech Republic. The project comprises the longest ever tunnel section in the Czech Republic where the horizontal and vertical guidance of the excavation was ensured from one portal without other checking connection to the positional BSN (the section minimally 2850m long, see below). The requirements for the breakthrough accuracy are increased by the fact that it is a railway tunnel and, in addition, a tunnel driven using the TBM method. From the surveying point of view, this method has a disadvantage that, simply said, the final lining is built concurrently with the excavation. It means that the tunnel is finished at the moment of the breakthrough and the only financially suitable opportunity to rectify an undesired magnitude of the breakthrough deviation can be, in the best case, a change in the alignment of the future tracks.

Figure 3 presents the route alignment situation. The tunnel excavation starts behind the Rokycany entrance portal by a long straight section, which passes into a curve with a relatively great curvature. At chainage m ca 2850, there is a ventilation shaft structure, through which it is possible to carry out the checking measurement for the purpose of connecting the underground control network to the surface BSN before the breakthrough at the Plzeň exit portal, under the assumption that it will be carried out on time. Even such the reality should be incorporated into the correctly carried out analysis of the magnitude of the deviation at the breakthrough.

The purpose of the analysis was to determine the realistic possibilities of tunnel excavation surveyors and pass the information on for accomplishing the successful realisation of the entire Modernisation of the Rokycany – Plzeň Railway Line project.



Obr. 4 Situace analýzy Helsinky Länsimetro

Fig. 4 Helsinki Länsimetro analysis situation

za využití kontrolního měření gyroteodolity. Zde dochází až ke dvojnásobnému zhoršení odchylky. Vyloučením azimutálních měření již v daném konkrétním případě dochází pouze k bezvýznamnému nárůstu nepřesnosti na $\pm 18,5$ cm. Tyto hodnoty by již mohly být z různých důvodů nepřijatelné.

Zajímavostí je v tomto konkrétním případě i fakt, že se odchylka ve staničení, která vznikne na konci dlouhého rovného úseku zhruba na úrovni šachty VZT, téměř v plné velikosti projeví po projetí oblouku na výjezdovém portálu jako odchylka příčná.

Při zhoršení relativní přesnosti bodů portálových ZVS na směrodatnou polohovou odchylku horší než 3 mm by došlo k výraznému nárůstu nepřesnosti na prorážce ve všech uvedených příkladech.

Jižní tunelový tubus byl již v době psaní článku proražen a konečná výsledná odchylka na prorážce byla určena hodnotami 22 mm ve směru příčném, 6 mm ve směru podélném (ve staničení) a 5 mm ve výšce. Takto nízké hodnoty byly dosaženy díky možnosti kontroly směru provedené skrz šachtu VZT a především díky vynikající spolupráci mezi geodety dodavatele a investora stavby.

2.3.2 Helsinky Länsimetro

Pro společnost Metrostav a.s. byla vytvářena analýza odhadu velikosti odchylky na prorážce na projektu Länsimetro v Helsinkách. Tento příklad ukazuje projekt, který má velké požadavky na usměrňování ražeb z geodetického hlediska, což s sebou přináší vyšší nároky na geodetickou složku a na její vzájemnou souhru s dodavatelem tunelového díla.

The tables 1 and 2 present the enumeration of the resultant values of the assessed magnitude of the positional deviation in the location of the Plzeň portal under the assumption of the relative accuracy of the initial portal BSN better than 3mm. Table 1 presents the values of deviations when the possibility of carrying out survey checking through the ventilation shaft is used. For comparison, we present even the values of deviations without the possibility of checking through the ventilation shaft, for example because of the nonexistence of the time concurrence of the two mined structures, in Table 2. The values are in mm.

The tables contain the dQ and dS values (deviations in the lateral and longitudinal direction, respectively, with respect to the route) and the indices mark the level of the statistical probability of the occurrence.

The following facts regarding the lateral deviation dQ can be read from the values while respecting the results at the probability level of 99.7%:

- When the connection of the underground part of the BSN to the surface through the ventilation shaft is possible, the coordinates of the underground network points are adjusted for the actually measured deviation value and it is possible to achieve the error at the breakthrough of ± 8.0 cm at the Plzeň exit portal.
- When the checking measurement of azimuths using a high-precision gyrotheodolite is carried out, it is possible to reduce the magnitude of the error further to ± 6.5 cm. The improvement of accuracy is in this case only in the order of several cm.
- When the possibility of the connection of the underground part of the BSN to the surface through the ventilation shaft is not maintained, it is possible to expect an increase in the error at the end of the tunnel up to ± 15.8 cm, even if the checking measurements using a gyrotheodolite is carried out. In this case the deviation is increased even twice. Excluding the azimuth measurements in this concrete case results only to an insignificant increase in the inaccuracy equal to ± 18.5 cm. These values could already be unacceptable for various reasons.

A fact interesting in this concrete case is that the deviation in the chainage which will originate at the end of the long straight section approximately at the level of the ventilation shaft will appear after passing over the curve at the exit portal nearly full-size as a lateral deviation.

If the relative accuracy of the portal BSN points worsens to the standard positional deviation worse than 3mm, the inaccuracy at the breakthrough will increase in all above-mentioned examples.

The southern tunnel tube had already been broken through at the moment of writing this paper and the final resultant deviation at the breakthrough was determined by the values of 22mm in the lateral direction, 6mm in the longitudinal direction (in the chainage) and 5mm in the level. Such the low values were achieved owing to the possibility of checking of the direction carried out through the ventilation shaft and, first of all, thanks to excellent collaboration between surveyors of the contractor and the project owner.

2.3.2 Helsinky Länsimetro

The analysis of the estimation of the magnitude of deviation at the Länsimetro project in Helsinki was created for Metrostav a.s. This example presents a project which poses

Na obr. 4 je zachycena situace bodů a měření tunelové sítě na povrchu a v podzemí a geometrie raženého díla. Ražby jsou započaty přístupovou štolou s poloměrem o velké křivosti. Na jejím konci je rozrážka v pravém úhlu od původního směru ražby oběma směry. V obou směrech je ražba vedena „hrnatým esíčkem“ (dalšími dvěma kolnými zlomy), kde se teprve dostáváme na úroveň hlavních tunelů, které se po určité délce musí napojit na stávající hotové tubusy.

Je vidět zřejmý rozvoj středních chybových elips s postupující vzdáleností od portálu a významné zhoršení přesnosti (skokový nárůst velikosti elips chyb) na ražbách po rozrážce.

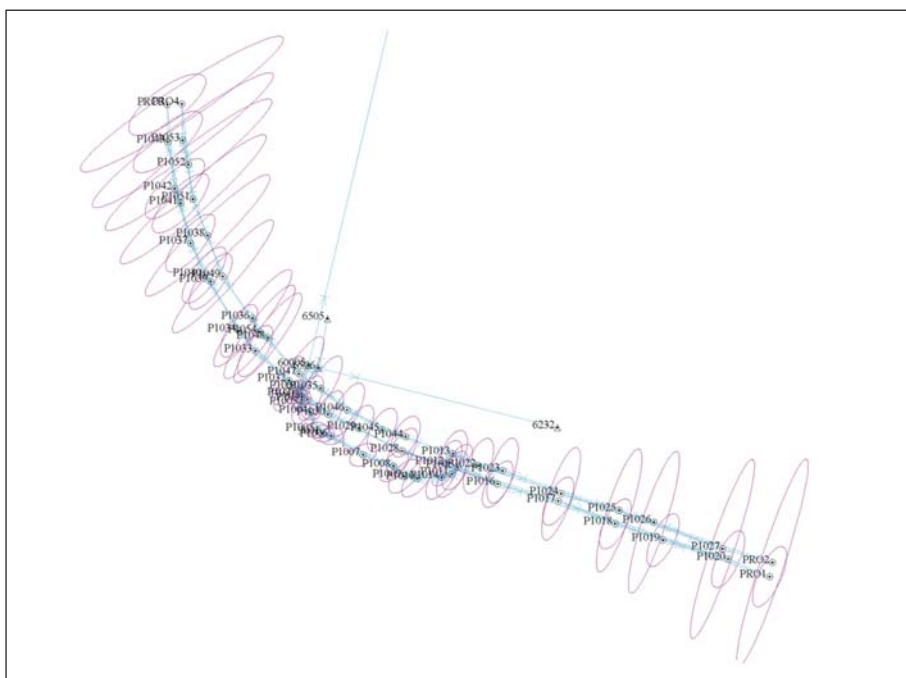
Účelem této analýzy bylo prokázání schopnosti naplnit požadavky investora na přesnost prorážky tunelového díla [3].

2.3.3 Helsinky metro

Opět pro společnost Metrostav a.s. byla vytvářena analýza odhadu velikosti odchylky na prorážce na projektu metro v Helsinkách. Chronologicky byla tato analýza provedena před analýzou z odstavce 2.3.2. Znovu se jedná o příklad, který je z geodetického hlediska velmi náročný na správné usměrňování ražeb.

Podle situace na obr. 5, která je v detailu podrobněji vidět na obr. 6, ražby začínají opět v přístupové štolě, jejíž vstup se nachází nad hlavními tubusy. Dvěma oblouky s poloměrem o velké křivosti se dostáváme k rozrážce, odkud opět v pravém úhlu od původního směru pokračují ražby oběma směry v jednom tubusu a o několik metrů dále potom i v druhém, který je rovnoběžný s prvním. Na koncích bylo opět důležité napojit se na stávající hotové tubusy.

Z tohoto obrázku to není zřejmé, ale situace rozmístění bodů ZVS na povrchu navíc nebyla optimální. Opět je možné vidět rozvoj středních chybových elips s postupující vzdáleností ražby. V tomto konkrétním případě bylo analýzou potvrzeno, že požadovanou přesnost na prorážce je možné dosáhnout pouze za pomoci měření azimutu gyrotheodolitem na základně umístěné v hlavním tunelovém tubusu na rozrážce. Z obrázku je zřejmé porovnání dvou výsledků odhadu



Obr. 5 Situace analýzy Helsinky Metro
Fig. 5 Helsinki Metro analysis situation

great requirements for guidance of the excavation from the surveying point of view, which fact carries higher demands on the surveying unit and its coordination with the tunnel construction contractor.

Figure 4 presents the layout of the points and measurements of the surface and underground network and the geometry of the mined working. The tunnel excavation started by driving an access gallery with a large curvature radius. At its end, there are side stubs heading in both directions at a right angle to the original direction. In both directions the excavation is led along an “angular ess” (other two perpendicular faults), where we get to the correct to the level of the main tunnels, which have to be connected after a certain length to the existing tunnel tubes.

The obvious development of mean error ellipses with the distance from the portal growing and the significant worsening of accuracy (step-wise increase in the sizes of the error ellipses) during the course of the excavation after the completion of the side stubs can be seen.

The purpose of this analysis was to prove the ability to fulfil project owner’s requirements for the tunnel breakthrough accuracy [3].

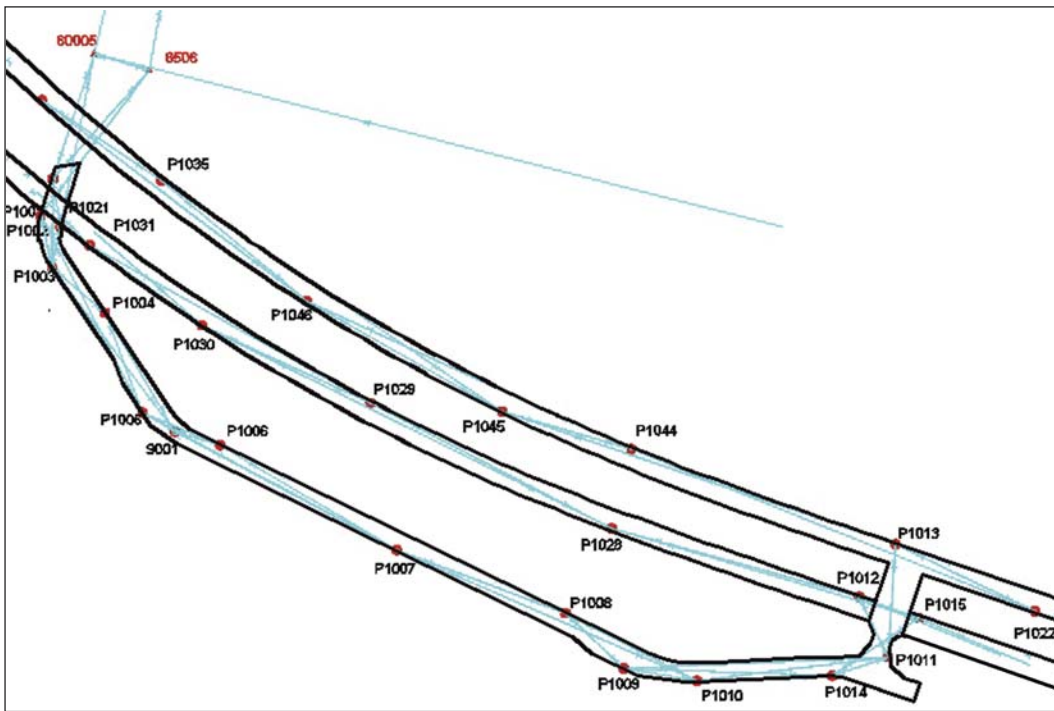
2.3.3 Metro Helsinki

The analysis of estimation of the magnitude of the deviation of the breakthrough on the Helsinki Metro project was carried out again for Metrostav a.s. Chronologically the analysis was carried out prior to the analysis described in paragraph 2.3.2. It is again an example which is, from surveying point of view, very exacting as far as the correct guidance of the excavation is concerned.

According to the situation shown in Fig. 5, which can be seen in greater detail in Fig. 6, the tunnel excavation starts again in the access gallery the entrance to which is located above the main tunnel tubes. We get to the side stubs along two large curvature curves. From this location the excavation proceeds in both directions, again at the right angle, through one tunnel tube and, several metres further, also through the other tunnel tube, which is parallel to the first tube.

It is not obvious from this picture, but the situation of the distribution of the BSN points on the surface was not optimal. It is again possible to see the development of mean error ellipses with the growing distance of the excavation face. In this particular case, it was confirmed by the analysis that the required breakthrough accuracy could be achieved only by measuring the azimuths using the gyrotheodolite on the base located in the main tunnel tube at the side stubs. The comparison of the two results of the estimation of the resultant breakthrough deviation with the input configuration roughly identical is obvious from the picture:

- In the southern tunnel tube, the influence of the measurement at the side stubs using a gyrotheodolite is taken into account – the development of the error ellipses is not at all dramatic;



Obr. 6 Situace analýzy Helsinky Metro – detail přístupu do hlavních tubusů
Fig. 6 Helsinki Metro analysis situation – detail of the access to the main tubes

výsledné prorážkové odchylky při zhruba shodné vstupní konfiguraci:

- v jižním tubusu je započítán vliv měření gyroteodolitem na rozrážce – rozvoj elips chyb není nijak dramatický;
- na druhou stranu v severním tubusu není uvažováno ani měření gyroteodolitem, ani ražba tunelových propojek v průběhu ražeb hlavních tubusů, čímž není umožněno geodetické napojení na přesněji usměrňovaný jižní tubus – výsledné elipsy chyb v severním tubusu jsou tak zřetelně násobně větší.

Z uvedeného příkladu je vidět, že i harmonogram výstavby (například souběžnost ražeb propojek) má vliv na analýzu a naopak, výsledek analýzy může ovlivnit časové návaznosti ražeb.

3 PRAXE – VYTYČOVACÍ SÍŤ NA POVRCHU A V PODZEMÍ A JEJICH ÚDRŽBA

Teorii popsanou v předchozím textu je nutné převést do praxe a v principu je důležité vyhnout se všem nepříznivým okolnostem, popsaným v úvodních odstavcích, aby byla na konci zajištěna co nejmenší prorážková odchylka s co nejmenší nejistotou výsledku. Všechny chyby, kterých se geodetická složka při usměrňování ražeb dopustí, se jasně projeví po prorážce a tato skutečnost je navíc nezávisle kontrolovatelná.

Protože v geodézii finanční náklady přímo úměrně stoupají s požadovanou a prováděnou přesností výsledku, je častou činností odpovědných geodetů hledání kompromisu mezi vyšší vynaložených financí a nasazením měřické techniky, metod měření a vlastního personálu za účelem naplnit požadovanou přesnost co nejlépe v rámci daných finančních možností. Toto je často velice obtížně splnitelný úkol. Například jenom v závislosti na přesnosti deklarované výrobcem je mezi cenami měřického vybavení rozdíl v řádech statisíců korun a samozřejmě od levného vybavení nelze očekávat zázraky v podobě měření se submilimetrovou přesností.

- On the other hand, neither gyrotheodolite measurements nor the excavation of tunnel cross passages during the course of the excavation of the main tunnel tubes are taken into account in the northern tunnel tube. Owing to this fact the survey connection to the more accurately guided southern tunnel tube is impossible and the resultant error ellipses in the northern tunnel tube are obviously several times larger.

It can be seen from the presented example that even a works schedule (for instance the simultaneity of the cross passage drives) influences the analysis and vice versa, the result of the analysis can influence the time sequence of the tunnel excavation.

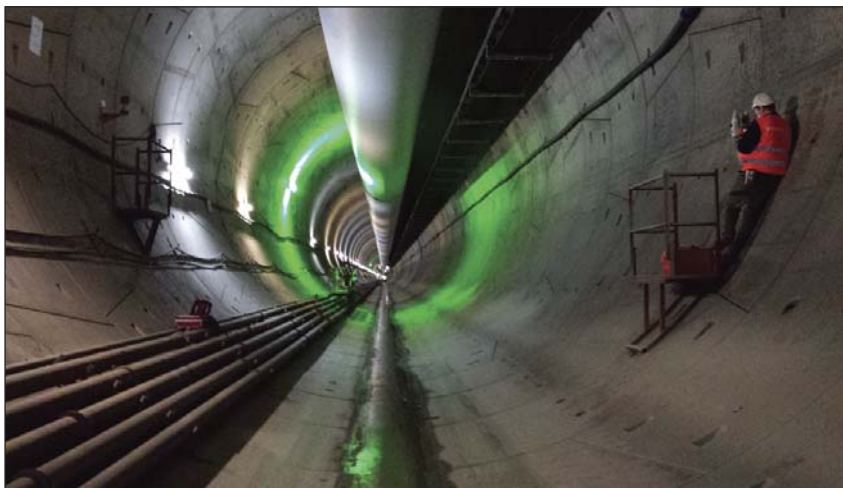
3 PRACTICE – SURFACE AND UNDERGROUND SETTING OUT NETWORKS AND THEIR MAINTENANCE

The theory described in the previous text has to be transferred to practice and it is, in principle, important to avoid all of the unfavourable circumstances described in the introductory paragraphs so that as small as possible breakthrough deviation with as small as possible uncertainty of the result is ensured in the end. All errors the surveying unit commits during the excavation guidance work clearly manifest themselves after the breakthrough and, in addition, this reality can be independently checked.

Because of the fact in the field of engineering survey that financial costs grow in direct proportion with the required and realised accuracy of the result, a frequent activity of responsible surveyors is to seek compromise between the amount of the costs to be incurred and the application of surveying equipment, the measurement methods and own personnel for the purpose of meeting the required accuracy best they can within the framework of the given financial possibilities. It is often a task very hard to fulfil. For example, only the differences between the costs of survey equipment depending on accuracy can amount to the orders of hundreds of thousands Czech crowns and, of course, it is not possible to expect miracles in the form of measurements with millimetre accuracy when cheap equipment is used.

3.1 Basic setting out network

Any construction project, not only the construction of a tunnel, should commence by building BSN points and determining their coordinates, in the case of tunnels ideally according to an in advance carried out analysis of the estimation of the magnitude of the breakthrough deviation. At least some main points of the portal BSNs should be founded using the system of the so-called heavy monumentation with firm centring



Obr. 7 Kontrola usměrňovacího měření – tunel Ejpvovice
Fig. 7 Checking on orientation measurements – Ejpvovice tunnel

3.1 Základní vytyčovací síť

Každá stavba, nejenom tunelová, by měla být započata vybudováním bodů ZVS a určením jejich souřadnic, ideálně podle předem provedené analýzy odhadu velikosti odchylky na prorážce. Alespoň některé hlavní body tunelových portálových ZVS by měly být založeny takzvanou těžkou stabilizací s pevnou centrací, kdy se většinou jedná o dlouhé vrty, nejlépe až do pevného skalního podloží, vystrojené plastovou trubicou vyplněnou betonem a zakončenou ve správné výšce podložkou na nucenou centraci (možností opakovaného připravení geodetické trojnožky pro osazení totální stanice a reflektorů na stejnou polohu). Body takto stabilizované, na z geotechnického hlediska správném místě, by měly zajistit minimální vliv deformací okolí na jejich polohu. Další, doplňkové body by měly být stabilizovány minimálně do nezámrazné hloubky a podložka na nucenou centraci již není nutná.

U tunelových staveb je doporučeno provést těžkou stabilizací minimálně čtyř bodů na každém portálu, ze kterého bude prováděna ražba. Doplňkové body by měly zajistit dostatečně dlouhé orientace. Opět platí, čím delší orientace s dostatečnou přesností, tím větší naděje na malou odchylku na prorážce. Například, pokud máme pro ražbu tunelu o délce cca 400 m možnost orientační přímkou na body vzdálené taktéž 400 m, pravděpodobnost docílení minimální odchylky na prorážce se jenom díky této skutečnosti blíží 100 %.

Obdobná situace nastala při usměrňování ražeb železničního tunelu Vepřek/Mlčechvosty, kde výsledná prorážková odchylka měla velikost 4 mm a byla ovlivněna především vlastnostmi fyzikálního prostředí (kapitola 1.3). V prostředí homogenním by mohla být blízká nule.

Bylo zmíněno, že relativní směrodatná odchylka souřadnic bodů ZVS by měla mít na podzemních stavbách lepší hodnotu než 3 mm. Samozřejmě že s narůstající délkou tunelu a tím vzdáleností mezi portálovými ZVS je tuto hodnotu těžší dosáhnout. Setkáváme se i s případy, kdy vybraný dodavatel ZVS toto kritérium není schopen naplnit, a proto je vhodné již při výběru dodavatele požadovat kromě předložení referenčních projektů i přehled měřického vybavení, které by mělo odpovídat deklarovanou přesností požadavkům a potřebám stavby na přesnost souřadnic bodů ZVS.

where long boreholes are mostly carried out, preferably up to the hard bedrock, with a plastic tube filled with concrete in it terminated at a proper level by a forced centring plate (allowing repeated mounting of the centring plate for mounting a total station and reflectors to the identical position). The points monumented in this way in a location correct from the surveying point of view should ensure a minimum impact of deformation of their surroundings on their position. Other supplementary points should be monumented minimally to the frost depth, then the forced centring plate is no more necessary.

In the case of tunnel structures, it is recommended that the heavy monumentation be carried out at least for four points at each portal from which the tunnel will be driven. Supplementary points should provide sufficiently long orientations. It again applies that the longer orientation

with sufficient accuracy the higher hope for a small deviation at the breakthrough. For example, if we can have an orientation line to points at a distance of 400m available for the excavation of ca 400m long tunnel, the probability of achieving a minimum deviation at the breakthrough approximates 100% only thanks to this fact.

A similar situation occurred in the process of guidance of the excavation of the Vepřek/Mlčechvosty rail tunnel, where the resultant breakthrough deviation amounted to 4mm. It was affected first of all by the properties of the physical environment (see Chapter 1.3). It could be near zero in a homogeneous environment.

It has already been mentioned that the value of the relative standard deviation of the BSN points should be better than 3mm on underground construction sites. Of course, this value is harder to achieve with the increasing tunnel length, which means with the increasing distance between portal BSNs. We even encounter cases when the selected provider of the BSN is not able to meet this criterion and it is for that reason advisable already during the selection of the provider to require, apart from submitting reference projects, even a list of surveying equipment the declared accuracy of which should correspond to the requirements and needs of the project regarding the accuracy of coordinates of the BSN points.

3.2 Auxiliary setting out network points in the underground

The network of "fixed" points of the portal BSN is followed by the network of the auxiliary setting out network being created in the underground, the length of which increases with the progress of the excavation. These points have to be successively surveyed point by point as new ones are being added. In this way coordinates relating to the reference portal BSN are assigned to them. These points are subjected to repeated checking measurements starting from the reference portal BSN. During these measurements the identity of the coordinates of the already monumented points of the auxiliary network is checked: in this way it is examined whether an undetected gross error was not present in the previous measurements or whether the position of the point being checked was not changed in the meantime due to deformations of the lining. In addition, coordinates of the newly monumented

3.2 Body pomocné vytyčovací sítě v podzemí

Na síť „pevných“ bodů portálové ZVS navazuje síť bodů pomocné vytyčovací sítě vytvářené v podzemí, která se prodlužuje s postupem ražeb. Tyto body musí být postupně zaměřeny tak, jak přibývají, čímž jsou jim přiřazeny souřadnice, které navazují na referenční portálovou ZVS. Na těchto bodech se provádí opakovaná kontrolní měření, vycházející z referenční portálové ZVS. Při těchto měřeních je překontrolována identita souřadnic již stabilizovaných bodů pomocné sítě: zjišťuje se tak, zda v předchozích měřeních nebyla přítomna neodhalená hrubá chyba, případně zda se poloha kontrolovaného bodu mezitím nezměnila z důvodu deformací ostění. Dále jsou určeny souřadnice nově stabilizovaných bodů, které vznikly s dalším postupem ražby.

Nutnost opakování měření vyplývá z požadavků na minimalizaci všech výše popsaných negativních vlivů. Při technologických ražeb tunelů, kdy je definitivní ostění budováno s velkým odstupem za čelbou (většinou konvenční metody tunelování), je doporučeno tato usměrňovací měření provádět každých 200 m nově provedených ražeb. V případě mechanizovaných ražeb tunelů (především TBM) jsou samozřejmě požadavky na nejistotu výsledku, a tím i na prováděná usměrňovací měření výrazně vyšší. Tomu by měla odpovídat i jejich intenzita a kvalita.

Všechna prováděná opatření mají jediný cíl – eliminovat zde popsané negativní vlivy na měření a umožnit usměrňování ražby s nejmenší nejistotou, to znamená s co největší přesností.

3.3 Provádění měření

Geodetická měření v podzemí, a nejenom ta usměrňovací, mají svá výrazná specifika (obr. 7 a 8). Především měřický personál svá měření provádí v místech s mnohem větším rizikem vzniku úrazu a tuto závažnou skutečnost musí při své činnosti zohlednit. Dále se musí vypořádat s nedostatečným nebo dokonce úplně chybějícím osvětlením, s přítomností prachových částic ve vzduchu, s velmi omezeným prostorem, s ruchem, který vzniká stavební činností ve velmi omezeném prostoru a s dalšími faktory, negativně ovlivňujícími celou jeho činnost.

Při vlastních usměrňovacích měřeních připomeňme ještě nutnost vypořádat se s refrakcí, která je v podzemí přítomna téměř všude, není zjištělná a má na výsledek měření takový dopad, že ho může zcela znehodnotit. Dokonce může nastat i varianta, že tento refrakční vliv nebyl odhalen, a výsledek celého měření je znehodnocený až zavádějící, aniž by tato skutečnost byla měřickým personálem zjištěna.



Obr. 8 Příprava usměrňovacího měření – tunel Považský Chlmec
Fig. 8 Preparation of orientation measurements – Považský Chlmec tunnel

points which originated with the new advance of the excavation are determined.

The necessity of repeating the measurements follows from the requirements for the minimisation of all the negative effects described above. In the cases of tunnel excavation techniques where the final lining is constructed at a great distance behind the excavation face (mainly the conventional tunneling methods) it is recommended that this guidance measurement be carried out every 200m of the newly excavated tunnel. In the case of the mechanised excavation of tunnels (first of all TBMs) the requirements for the uncertainty of the result, thus also for the performance of the guidance measurements, are certainly significantly higher. Their intensity and quality should be adequate to it.

All of the measures being implemented have a single objective – to eliminate the negative impacts on the measurements described in this paper and allow for the guidance of excavation with as low uncertainty as possible, i.e. with the highest accuracy possible.

3.3 Measurement procedures

Survey measurements in the underground, and not only the guidance, have significant specifics of their own (see Figures 7 and 8). It is first of all the surveying team carrying out their measurements in places where the risk of injury is much higher and they have to take this serious fact into consideration during their work. In addition, they have to get over insufficient or even completely missing lighting, the presence of dust particles in the air, a very limited space, the hustle and bustle of construction activities in a very confined space and other factors negatively affecting all of their activities.

Let us remember the necessity of coping with refraction during the guidance measurements themselves. The refraction is present underground nearly everywhere, is undetectable and its effect on the measurement results may even lead to complete destroying them. Even the variant can happen that this refraction influence is not revealed and the result of all measurements is devaluated or even misleading, without detecting this fact by the surveying team.

In this column it would be possible to repeat over and over again that the experience of persons carrying out the measurements is crucial. It is really so. Appropriate surveying equipment can be purchased, it is only the question of funds available. At the same time, an analysis of the estimation of the magnitude of the breakthrough deviation is available, which at the same time provides the guidance – it is possible to read in it at which place, on which neighbouring points and with which accuracy the surveyor should focus the measurements.

An experienced surveyor should, in the first place, be able to take care of the complete surveying equipment set to be functional without errors. To be able to carry out its own measurements well and correctly, he/she has to be sufficiently conscientious and patient, has to know how to organise the entire guidance measurement campaign and keep lots of information concerning measurements in such an order to be applicable in the subsequent phase, has to be capable of understanding the analysis, orientating himself in it and has

V tomto odstavci by bylo možno stále dokola velkými písmeny opakovat, že nejdůležitější je zkušenost personálu, který měření provádí. Je tomu skutečně tak. Vhodné měřické vybavení je možné pořídit, je to pouze otázka množství finančních prostředků. Zároveň je v lepším případě k dispozici analýza odhadu velikosti odchylky na prorážce, která poskytuje zároveň jakýsi návod – je z ní možné vyčíst, na jakém místě, na jaké okolní body a s jakou přesností by měřič měl měřit.

Zkušený geodet by se měl v první řadě umět kompletně postarat o měřické vybavení, aby bylo bezchybně provozuschopné, aby mohl provádět vlastní měření dobře a správně, musí být vybaven dostatečnou pečlivostí a trpělivostí, musí umět celou kampaň usměrňovacího měření zorganizovat a udržet množství informací týkajících se měření v takovém pořádku, aby bylo v další fázi použitelné, musí být schopen rozumět analýze, orientovat se v ní a musí být schopen reagovat na nesrovnalosti, které se samozřejmě vyskytnou při konfrontaci v analýze zachycených teoretických úvah s realitou v terénu, aniž by ohrozil žádanou přesnost výsledku. Vzhledem k tomu, že usměrňovací měření se nejčastěji provádí za plného provozu v tunelu, musí přesto umět zajistit pro měření co nejlepší podmínky, to znamená snížení intenzity stavebního ruchu v místě měření případně jeho odklonění, je-li to možné, například u dvoutubusových tunelů. V ideálním případě by mělo dojít až k zastavení ražeb na dobu nezbytně nutnou pro měření.

3.4 Vyrovnání měření

Z důvodu omezení vlivu všech negativních jevů popsanych v předchozím textu jsou všechna měření prováděna tak, aby celý systém zaměřených prvků měl dostatečnou redundanci. Proto se provádí opakovaná měření směrů a délek na jednom stanovišti a vzájemné vztahy mezi body jsou mezi sebou pevně provázány důkladným měřením všech možných směrů a délek mezi nimi.

Dalším zpracováním těchto měření vzniká soubor dat, který se skládá ze souřadnic referenčních bodů a velkého množství změřených úhlů, resp. směrů a vzdáleností. Každý z těchto prvků má svoji nejistotu (nepřesnost), takže prakticky není možné, aby fungovaly základní geometrické vztahy, které jsou známe. Pokud jsou změřeny všechny vzájemné vztahy mezi třemi body (všechny úhly a vzdálenosti), z důvodu jejich existujících nepřesností není možné, aby například platil axiom, že součet měřených úhlů v tomto trojúhelníku musí být 180 stupňů (200 gonů). V takovém případě je potřeba souřadnice bodů, úhly i vzdálenosti opravit například za podmínky, aby tvar původního obrazce zůstal zachován, ale přitom v něm zároveň fungovaly právě tyto základní matematické vztahy.

Tento matematický postup se v geodézii nazývá vyrovnání měření. V dnešní době osobních počítačů existují geodetické programy, které dokážou relativně rychle provést výpočet celého souboru naměřených dat. Ty kvalitní jsou vysoce specializované a také mají svoji finanční hodnotu.

I přes jejich existenci je zde ovšem neustále nutná přítomnost kvalitního a zkušeného, matematicky erudovaného geodeta. Celý soubor vstupních dat souřadnic pevných bodů a naměřených dat je potřeba připravit pro proces vyrovnání. Po provedení výpočtu je nutné, aby dotýčný geodet porozuměl programovým výstupům, dokázal je interpretovat a nalézt

to be able to respond to the discrepancies which certainly appear when the theoretical contemplations contained in the analysis is confronted with the in-situ reality, without compromising the required accuracy of the result. With respect to the fact that the guidance measurements are most frequently carried out without interruption to the work operations in the tunnel, he/she has to know how to ensure the best conditions for the measurements, which means how to reduce the intensity of construction activities in the location of the measurements or to divert them, if possible, for instance in the case of twin-tube tunnels. In an ideal case, the excavation operations should even be suspended for the time necessary for the measurements.

3.4 Adjustment of measurements

All measurements are carried out in a way guaranteeing that the redundancy of the entire system of measured elements is sufficient so that the influence of all negative effects described in the text above is restricted. For that reason the measurements of directions and lengths from one station are repeated and mutual relationships between the points are firmly interconnected by thorough measurements of all directions and lengths between them possible.

A database consisting of coordinates of reference points and a large amount of measured angles or directions and distances originates by the subsequent processing of those measurements. Each of those elements has its own uncertainty (inaccuracy). For that reason it is practically impossible for the basic geometrical relationships known to us to function. If all interrelationships between three points (all angles and distances) are measured, it is impossible because of their existing inaccuracies that, for example, the axiom that the sum of angles measured in the triangle must be 180 degrees (200 gons) effects. In such a case it is necessary to rectify all coordinates of the points, angles and distances, for example under the condition that the geometry of the original diagram remains preserved and, at the same time, exactly these basic mathematical relationships work in it.

In the field of surveying, this mathematical procedure is called the adjustment of measurements. Nowadays, in the period of personal computers, surveying programs capable of the relatively quick processing (calculating) of the entire file of measured data exist. The good quality ones are highly specialised and have their financial value.

In spite of their existence, the presence of a good quality and experienced and mathematically erudite surveyor is still necessary. The entire input data file concerning the coordinates of fixed points and measured data has to be prepared for the adjusting process. It is necessary for making the calculation that the particular surveyor understands the program outputs, is able to interpret them and find contingent errors and, after excluding or rectifying them, to carry out the subsequent calculation until the moment when the output data set is in good order. Even the decision that the result is in order is in his/her competence and on his/her responsibility, whilst no fixed rules for this decision exist. In addition, there is the possibility for the above-mentioned programs to set various parameters relevant to the calculation

případné chyby a po jejich vyloučení nebo opravě provést další výpočet, a to až do okamžiku, kdy výstupní data jsou v pořádku. I rozhodnutí, že výsledek je v pořádku, je v jeho kompetenci a na jeho zodpovědnost, přičemž pro toto rozhodnutí neexistují pevně daná pravidla. Navíc uvedené programy mají možnosti nastavení různých parametrů relevantních pro výpočet, které sice nebyly zmíněny v tomto textu, ale mají velký vliv na výsledné hodnoty. Různá nastavení těchto parametrů a změny v konfiguraci vstupních hodnot dokážou například na ražbě tunelu o délce 1 kilometru posouvat výsledné souřadnice bodů pomocné sítě vpředu na čelbě v příčném směru o hodnotu ve velikosti v řádu centimetrů.

4 ZÁVĚREM

Usměrnovací měření ražeb tunelů není součástí denní geodetické činnosti prováděné na ražbách v rámci výstavby, a proto je to činnost, kterou nemusí všichni účastníci výstavby, kteří se na čelbách pohybují, běžně vnímat. Velká část této činnosti se navíc odehrává v kancelářských prostorách, dost často dokonce úplně mimo prostory zařízení staveniště.

Článek chtěl ukázat, že tým geodetů, který zajišťuje usměrnování ražeb a snaží se o co nejmenší odchylku na prorážce, je ohrožován ve svém snažení okolnostmi, které nelze plně kontrolovat a eliminovat, pouze je možné cíleně snižovat jejich vliv na nejmenší možnou míru. Z toho důvodu je nutné, aby část členů tohoto týmu byli zkušení pracovníci.

Z toho samého důvodu je v každém případě vítána kontrola usměrnovacích měření nezávislými geodety. Čím větší nároky na minimalizaci prorážkové odchylky (kvůli délce tunelu nebo z jakýchkoli jiných důvodů), tím je tato kontrola důležitější. Taková kontrola je i v zájmu investora, protože ani on není univerzálně chráněn před tlakem vyšších nákladů způsobených tím, že tunel byl vyražen chybou usměrnovacích měření „jinam“, a jsou investoři, kteří si této skutečnosti jsou vědomi.

A ještě jednou z toho samého důvodu je vhodné doporučit vedení tunelové stavby, aby vyšlo v co největší možné míře vstříc svému měřickému oddělení, pokud obdrží požadavek na zajištění co nejlepších podmínek pro provedení kampaně usměrnovacího měření. Odměnou by mohla být malá odchylka na prorážce tunelu, kterého se měření týká, a není cílem tohoto textu analyzovat potíže, které mohou nastat v případě, že odchylka je nepříjemně velká.

V článku popsaná problematika není podrobně probírána v osnovách vzdělávacích institucí, a zkušenosti jsou předávány v rámci firemního interního školicího systému „z generace na generaci“.

*Ing. PETR HLAVÁČEK, hlavacek.petr@angermeier.cz,
Angermeier Engineers, s.r.o.*

*Recenzovali Reviewed: Ing. Karel Křemen,
Ing. Michal Gramblička*

which have not been mentioned in this text but have significant influence on the resultant values. Various settings of these parameters and changes in the configuration of input data are able, for example, to shift the resultant coordinates of the auxiliary network at the excavation face in the transverse direction by a value in the order of centimetres in the case of the excavation of a 1km long tunnel.

4 CONCLUSION

The tunnel excavation guidance measurements are not part of daily surveying activities performed at tunnel excavation within the framework of the construction. For that reason it is an activity all participants to the construction moving on the site do not normally have to perceive. Major part of this activity in addition takes place in office rooms, quite often even completely outside the construction site facilities

The paper wanted to show that a team of surveyors providing the guidance of excavation headings and striving for as small breakthrough deviation as possible is threatened in its efforts by circumstances which cannot be fully controlled and eliminated and it is only possible to purposefully reduce their influence to the lowest possible level. It is for that reason necessary that some of the members of the team are experienced workers.

For the same reason, checking of the guidance measurements by independent surveyors is in any case welcomed. The higher requirements for minimising the breakthrough deviation (because of the tunnel length or for any other reason) the higher importance of this checking. Such the checking is even in the interest of project owners because even they are not universally protected against the pressure of higher costs incurred by the fact that the tunnel was driven to “another point” due to an error in the guidance measurements. There are project owners who are aware of this fact.

And once more for the same reason, it is appropriate to recommend the management of a tunnel construction project that it should meet the needs of the survey department as much as possible if it receives a requirement for ensuring the best possible conditions for conducting the guidance measurement campaign. A small deviation of the breakthrough of the tunnel the survey is related to could be the reward. Analysing the problems which can be encountered in the case the deviation is unacceptably large is not the aim of this text.

The problems described in this paper are not discussed in detail on curriculums of educational institutes. The experience is passed on within the framework of internal corporate training systems “from generation to generation”.

*Ing. PETR HLAVÁČEK, hlavacek.petr@angermeier.cz,
Angermeier Engineers, s.r.o.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] ČSN ISO Pozemní stavby – Postupy měření a vytyčování – Slovník a vysvětlivky
- [2] GRAMBLIČKA M. a kol. Ejpovické tunely: historie projektové přípravy a současnost výstavby. In: Silnice železnice, 2016/1.
- [3] GOTHARD A. Traťové tunely metra a stanice Espoonlahti, Finsko. In: Silnice železnice, 2016/12.

FÖRBIFART STOCKHOLM – PROJEKT FSE210

FÖRBIFART STOCKHOLM – FSE210 PROJECT

TOMÁŠ NĚMEČEK, MICHAL PŘENOSIL

ABSTRAKT

FSE210 (tzn. FÖRBIFART STOCKHOLM ENTREPRENAD 210) je označení projektu, kterým byla zahájena výstavba východního obchvatu hlavního města Švédska, Stockholmu. Tímto projektem se v roce 2014 Subterra a.s. uvedla na švédský trh. V celkovém objemu prací na obchvatu tvoří FSE210 pouze malou část. Trafikverket, jakožto zadavatel, možná z tohoto důvodu a také z důvodu, že se jedná o úvodní projekt, vybral neobvyklou smluvní formu tzv. „Cost&Fee“ s fixní cílovou cenou. To je za předpokladu pouze drobných odchylek od původního projektu funkční, transparentní a férový model. Jak se ale během realizace ukázalo, práce v podzemí je těžko předvídatelná a tak nejen projekt, jak je dále v článku okrajově zmíněno, ale i smlouva prošla mnohými změnami.

ABSTRACT

FSE210 (FÖRBIFART STOCKHOLM ENTREPRENAD 210) is the designation of the project by which the development of the eastern bypass of Stockholm, the capital of Sweden, began. It was the project through which Subterra a.s. a. s. introduced itself onto the Swedish market in 2014. In the total volume of the work on the bypass the FSE210 project forms only a small part. Trafikverket, in the position of the client, might take this fact and the fact that it is an initial project as the reason why it chose an unusual contract form, the so-called „Cost&Fee“ with a fixed target price. Assuming only minor deviations from the preliminary design, this form of contract is functional, transparent and fair. However, as it turned out during the realisation, the work in the underground is hard to predict and the design, as marginally mentioned further in the paper, as well as the contract has undergone numerous changes.

1 ÚVOD

1.1 Účel Förbifart Stockholm

Celá Evropa v posledních letech čelí problémům migrační krize. Švédsko je svým postojem vůči migrantům již historicky jednou z nejvstřícnějších zemí unie, což v kombinaci s celkovou atraktivitou země způsobuje skokový nárůst populace, a to zejména ve velkých městských aglomeracích jako jsou Göteborg, Malmö a Stockholm. Pro představu, podle údajů Migrationsverket (Švédský migrační úřad), očekává stockholmský region do roku 2030 nárůst populace ze současných 2 mil. na 2,4 mil. obyvatel. Bez funkční infrastruktury nebude reálné takovýto přírůstek zvládnout. To je možné pozorovat již dnes, kdy průjezd městem z jihu na sever může trvat až několik hodin.

Rozdělení Stockholmu způsobené nedostatečnou dopravní infrastrukturou je limitem pro další rozvoj města i celé země. Výstavba nových stockholmských staveb doposud probíhala na okrajích města, přičemž jeho hlavní služby a funkce byly soustředěny v jeho centru a toto v podstatě platí pro celý region. S nárůstem populace vyvstala potřeba vytvořit více městských center s jejich rezidenčními částmi, službami i pracovními příležitostmi, a tak bylo vytipováno devět lokalit v regionu s takovým potenciálem (obr. 1). Co však chybí, je propojit tyto regiony a vybudovat efektivní silniční síť a systém hromadné dopravy.

V souvislosti s výše uvedeným roste počet pracovních míst na severu regionu a to způsobuje, že lidé stále častěji cestují přes jezero Mälaren (třetí největší jezero Švédska) rozdělující stockholmský region a Stockholmem pouze projíždějí. Alternativ pro takovou trasu má i tak velké město, jako je Stockholm, velmi málo. Soustředíme-li se na automobilovou dopravu, existují pouze tři, z toho dvě mají na celou situaci minimální vliv. Nejdůležitější z nich tzv. trasa Essingeleden (obr. 2 A) je součástí vnějšího městského okruhu a zároveň

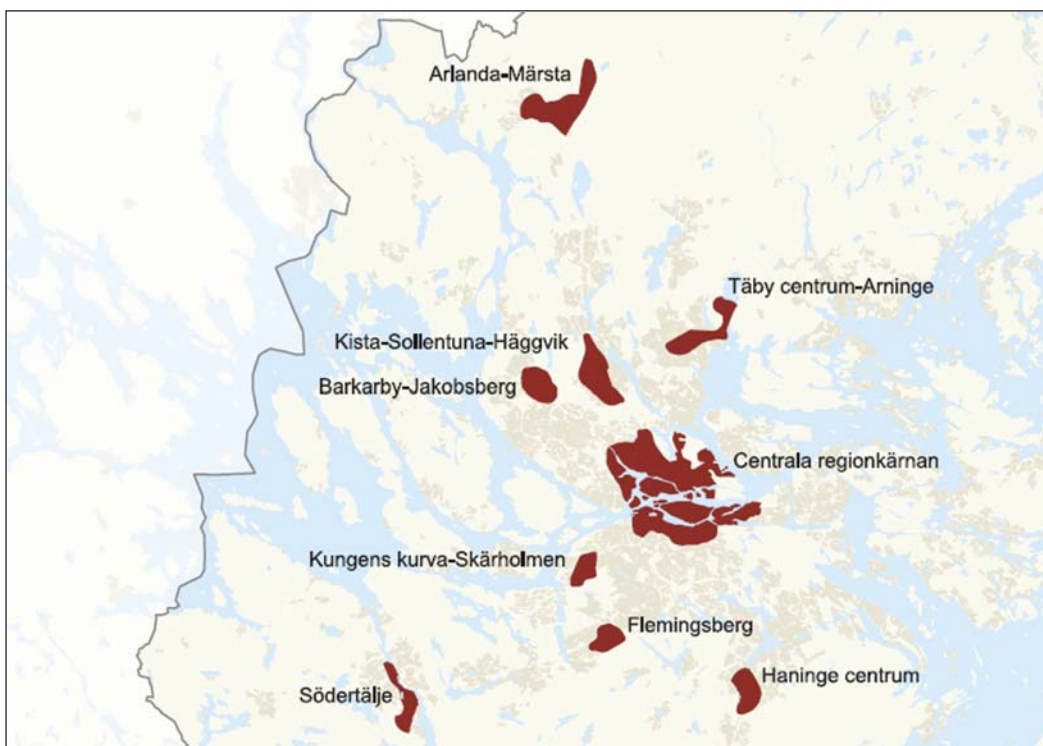
1 INTRODUCTION

1.1 Förbifart Stockholm purpose

In recent years the whole Europe has been facing problems of the migration crisis. Through its approach to migrants, Sweden has historically been one of the most accommodating to migrants in the European Union. This fact, in combination with the overall attractiveness of the country, causes the abrupt increase in population, in particular in large urban agglomerations such as Göteborg, Malmö and Stockholm. Just for idea, according to data published by Migrationsverket (the Swedish migration office) the Stockholm region population is expected to grow from the current 2 million to 2.4 million by 2030. Without a functional infrastructure, such growth cannot be sustained. This fact can be noticed even today, when the way across the city from the south to the north can take up to several hours.

The division of Stockholm due to insufficient transport infrastructure poses a limit for future development of the whole city and the entire country. The development of new Stockholm projects has so far proceeded on the outskirts of the city, whilst the main services and functions were concentrated in its centre. This is in fact applicable to the entire region. The necessity of developing more urban centres with their residential areas, services and employment opportunities emerged with the population growth. For that reason nine localities with such potential (see Fig. 1) were identified in the region. Nevertheless, what is missing is interconnecting those regions and developing an effective road network and a mass transit system.

In connection with the above-mentioned process, the quantity of jobs in the north of the region grows, causing that people travel more and more frequently across Mälaren Lake (the third largest lake in Sweden) dividing the Stockholm



Obr. 1 Vytipované lokality nových městských center ve Stockholmském regionu
Fig. 1 Localities tipped for new urban centres in the Stockholm region

celostátní silnice E4. Dále kapacitně výrazně slabší silnice 73 (obr. 2 B), protínající centrum Stockholmu. A třetí, při níž je nezbytné využít lodní přepravu, vede přes ostrov Eköre (obr. 2 C).

Essingeleden je hlavním článkem severojižního spojení a je situací ve Stockholmu přímo ovlivněna. Její kapacita 80 000 vozidel/den nebyla změněna od roku 1967, kdy byla otevřena. V současné době je její zátěž 160 000 automobilů v typickém pracovním dni. Vjezdy do města jsou v důsledku aut, která pouze projíždějí, přetíženy a celý dopravní systém je náchylný ke kolapsu z důvodu nedostatku alternativních tras. Proto byl Förbifart Stockholm vybrán jako klíčový projekt pro zvýšení kapacity silnic, vedoucích přes jezero Mälaren pro automobilovou, autobusovou i komerční dopravu, což by mělo ulevit tlaku na železniční spojení a zejména na zmiňovanou trasu Essingeleden.

Pilotní studie spojení mezi severní a jižní částí města byla provedena v roce 2001. Závěr této studie potvrdil, že stávající spojení potřebuje nevyhnutelně posílit. Během let 2002 až 2005 se pracovalo na studii proveditelnosti, během níž se porovnávaly tři varianty, řešící dopravní spojení přes jezero Mälaren:

Projekt Förbifart Stockholm – převážně tunelový obchvat, začínající na silnici E4/E20 v jižní části města

region. They only pass through Stockholm. Alternatives to such a route are too few even in such a large city as Stockholm. If we focus ourselves on automobile traffic, there are only three alternatives available, two of which can only minimally influence the whole situation. The most important of them is the so-called Essingeleden route (see Fig. 2A). It is part of the outer city ring road and, at the same time, it is part of the nationwide E4 road. The next one is the 73 road (see Fig. 2B) crossing the Stockholm centre, the capacity of which is significantly lower. The third route, for which it is necessary to use ship transportation, leads across Eköre island (see Fig. 2C).

The Essingeleden route is the main component of the north-south link and is directly affected by the situation in Stockholm. Its capacity of 80,000 vehicles per day has not changed since 1967 when it had been opened to traffic. Currently the traffic volume in a typical working day amounts to 160,000 vehicles. Because of the only transiting vehicles, the entry routes to the city are congested and the entire transportation system is prone to a collapse due to the lack of alternative routes. This is why the Förbifart Stockholm was chosen as a key project for increasing the capacity of roads leading across Mälaren Lake for automobile, bus and commercial transportation. It should relieve



Obr. 2 Existující trasy přes jezero Mälaren (A – Essingeleden, B – silnice 73, C – trasa přes ostrov Eköre)
Fig. 2 Existing routes across Mälaren Lake (A – Essingeleden, B – the 73 road, C – route across Eköre island)

zvané Kungens Kurva, pokračující na sever přes části Sätra, Kungshatt, Lovön, Vinsta, Lunda, Hjulsta a pak dále na E4 směr Häggvik.

Projekt Diagonal Ulvsunda – obchvat vedený blíže městu, začínající na silnici E4/E20 v části Kungens Kurva, pokračující přes Västertrop, Ulvsundaplan, Kvarnbacken, Solvalla, Enköpingsvägen, Kista a napojující se na E4 pod městem Häggvik. Výhodou tohoto řešení bylo napojení na stávající tunelovou stavbu, tvořící jižní obchvat města zvanou Södra Länken.

Kombinační alternativa – pokus o spojení nových silničních projektů a projektů veřejné hromadné dopravy (železnice, tramvajové spoje apod.) se stávající infrastrukturou.

V roce 2006 bylo rozhodnuto realizovat variantu Förbifart Stockholm a po letech plánování, projektování a připomínkování ji v roce 2014 vláda definitivně schválila.

1.2 Základní informace o Förbifart Stockholm

Jedná se o jeden z největších infrastrukturních projektů ve Švédsku, který podle vyjádření zadavatele Trafikverket zároveň patří mezi největší tunelové stavby světa, realizované v městské oblasti. Trasa obchvatu je dlouhá 21 km, z čehož 18 km je vedeno tunely. Dva paralelní tubusy tunelů hlavní trasy obchvatu povedou z městské části Skärholmen pod jezezem Mälaren až do části Lunda, což je trasa dlouhá 16,5 km (33 km ražeb). Součástí tunelů hlavní trasy obchvatu v tomto úseku jsou nájezdové a výjezdové rampy v podobě menších tunelů s profilem okolo 100 m² v celkové délce cca 20 km, dále pak tunelové propojky a pracovní tunely různého účelu. V části Lunda vychází trasa na povrch do křížení Hjulsta, ze kterého pokračuje do dalšího tunelového úseku zvaného Akalla dlouhého 1,8 km. Ten zahrnuje ražbu dvou tubusů tunelů hlavní trasy a menšího přístupového tunelu. Celá trasa obchvatu je znázorněna na podélném řezu trasy (obr. 3).

Zadavatelem je státní organizace Trafikverket (obdobu českého ŘSD), která bude celý projekt realizovat pomocí až dvou desítek hlavních dodavatelů s kontrakty v hodnotě 500 až 3 000 mil. SEK v období následujících deseti let. Práce na ražbách tunelů jsou kritickou částí celého projektu a jejich celkový objem je roven bezmála 6 500 000 m³ vytěžené horniny. Tyto práce jsou rozděleny do osmi dílčích projektů různé velikosti a charakteru (tab. 1 a obr. 4). Obchvat bude v šesti svých místech na povrchu napojen na existující silniční síť, a to skrze nově vybudovaná křížení, mosty, zářezy a hloubené i ražené

the pressure on the railway connection and, in particular, the above-mentioned Essingeleden route.

The pilot study on the connection between the northern and southern parts of the city was carried out in 2001. The conclusion of the study confirmed that the existing connection inevitably needs strengthening. The work on the feasibility study proceeded from 2002 to 2005. Three variants solving the transportation connection across Mälaren Lake were being compared during the work:

The Förbifart Stockholm project – a bypass route mostly running through tunnels, beginning on the E4/E20 road in the southern part of the city called Kungens Kurva, continuing northward across the districts of Sätra, Kungshatt, Lovön, Vinsta, Lunda and Hjulsta and further to the E4 in the direction of Häggvik.

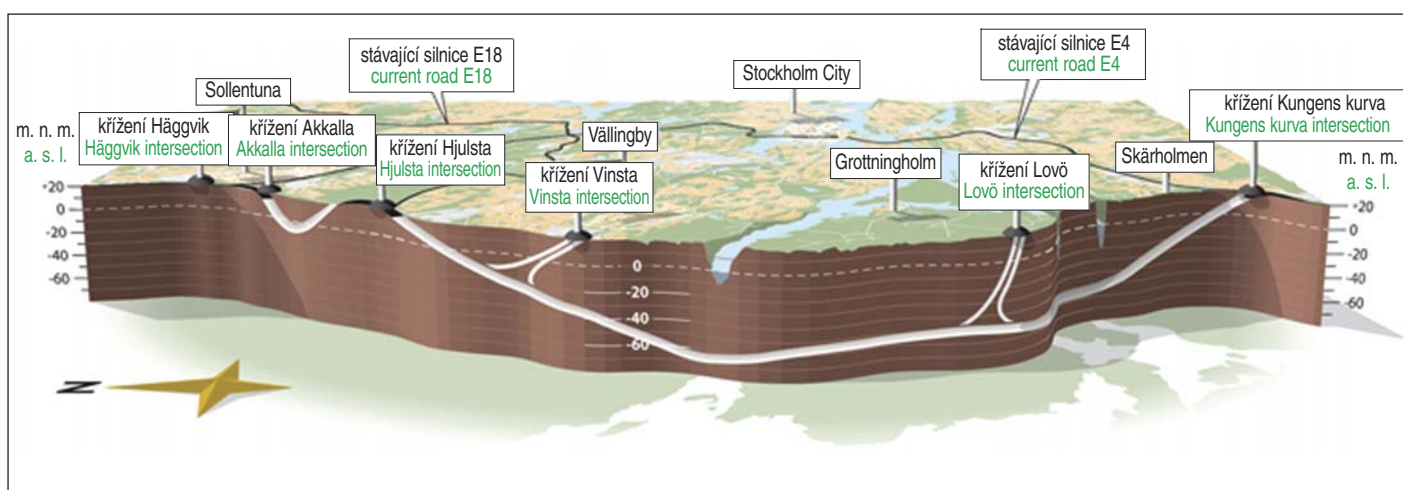
The Diagonal Ulvsunda project – a bypass route running closer to the city, beginning on the E4/E20 road in the Kungens Kurva region, continuing across the regions of Västertrop, Ulvsundaplan, Kvarnbacken, Solvalla, Enköpingsvägen and Kista and connecting to the E4 under the town of Häggvik. The advantage of this solution lied in the connection to Södra Länken, the existing tunnel structure forming the southern bypass of the city.

A combinational alternative – an attempt to combine new road construction projects and public transportation projects (railways, tramway lines etc.) with the existing infrastructure.

The decision to realise the Förbifart Stockholm variant was made in 2006, and was definitively approved by the government in 2014, after years of planning, designing and commenting.

1.2 Basic Information on Förbifart Stockholm

It is one of the largest infrastructure projects in Sweden, which, according to a statement of Trafikverket, the project owner, belongs among the world's largest tunnelling projects executed in an urban area. The bypass length is 21km long and 18km of this length are led through tunnels. Two parallel tunnel tubes of the main bypass route will lead from the Skärholmen district under Mälaren Lake up to the Lunda district. This route is 16.5km long (33km of tunnelling work). The tunnels of the main bypass route in this section even comprise on ramps and off-ramps in the form of smaller tunnels



Obr. 3 Podélný profil trasy obchvatu

Fig. 3 Longitudinal profile of the bypass alignment

Tab. 1 Rozdělení prací na ražbách tunelů obchvatu do jednotlivých projektů
 Table 1 Division of the work on driving the bypass tunnels into individual contracts

označení projektu identification no.	název projektu name	popis description	objem vyražené hor. [m ³] excavated volume [m ³]	doba realizace construction time
FSE209	Bergtunnlar Skärholmen	hlavní tunel a nájezdové rampy main tunnel and approach ramp tunnels	1 400 000	2016–2022
FSE210	Arbetstunnel Skärholmen	pracovní tunely a nájezdové rampy access tunnels and approach ramp tunnels	91 000	2015–2016
FSE302	Bergtunnlar Norra Lovö	přístupový tunel, hlavní tunel access tunnel, main tunnel	1 060 000	2015–2022
FSE308	Bergtunnlar Södra Lovö	přístupový tunel, hlavní tunel a nájezdové rampy access tunnel, main tunnel and ramp tunnels	1 544 000	2015–2022
FSE403	Bergtunnlar Johannelund	hlavní tunel a nájezdové rampy main tunnel and approach ramp tunnels	1 500 000	2015–2022
FSE410	Bergtunnlar Lunda	hlavní tunel main tunnel	416 000	2016–2021
FSE607	Arbetslunnel Akalla	přístupový tunel access tunnels	12 000	2015–2016
FSE613	Bergtunnlar Akalla	hlavní tunel main tunnel	400 000	2017–2021

tunely. Dvě velká křížení vzniknou poblíž E4 na začátku a konci obchvatu v oblastech Kungens kurva a Häggvik, dále pak v oblasti Hjulsta se silnicí E18, se silnicí 275 ve Vinstě a silnicí 261 na ostrově Löve (obr. 3).

Kapacita obchvatu je projektována na 140 000 aut/den ve třech pruzích v každém směru. Doba průjezdu celé trasy je 15 min. Förbifart Stockholm tím přispěje k rozvoji celého regionu, zajistí alternativní spojení přes jezero Mälaren, čímž se zvýší komfort stockholmského automobilového provozu. V neposlední řadě poskytne další možnosti cestování městkou hromadnou dopravou.

1.3 Základní informace o FSE210

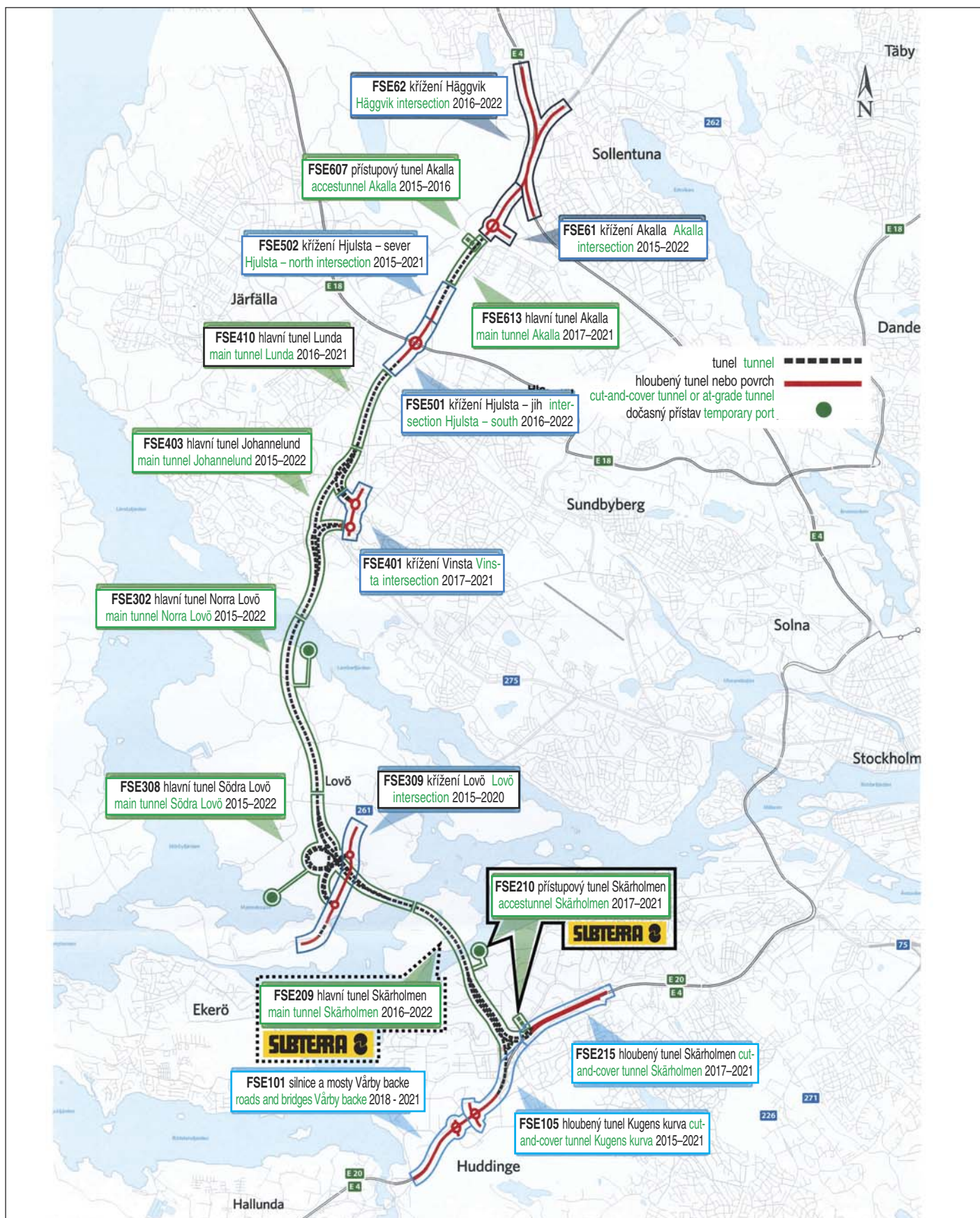
Jak je patrné z obr. 4, dílčí projekt obchvatu značený FSE210 je jedním z prvních na celém Förbifart Stockholm. Tento malý projekt obsahuje ražbu tří přístupových tunelů ve dvou lokalitách, od sebe vzdálených přibližně 3 km, a to v městských částech Sättra a Skärholmen. Součástí projektu je také stavba provizorního přístavu na jezeře Mälaren, poblíž tunelu v Sätře.

Tunel v Sätře (obr. 5), označovaný jako AT292 (Arbets Tunnel 292), je pracovní tunel ústící do středu úvodní čtyřkilometrové části tunelů hlavní trasy, která je náplní navazujícího projektu FSE209. Během realizace obchvatu bude sloužit jako přístupový tunel pro ražbu hlavních tunelů a také skrze něj bude odtěžena značná část rubaniny, která bude dále přepravována po vodě, aby bylo město co nejméně přepravou zatěžováno. Z tohoto důvodu bude v této lokalitě vybudován provizorní přístav a systém pásových dopravníků, začínající na 150 tm tunelu AT292 a končící na plovoucích pontonech přístavu. Lodní přepravou bude převezeno 4,5 milionu tun horniny. Po dokončení ražeb tunelů na hlavní trase obchvatu bude tunel AT292 součástí ventilačního systému a bude v něm vybudována požární stanice.

with the profiles about 100m² at the total length of 20km, tunnel cross passages and various purpose working tunnels. In Lunda, the route emerges to the surface in the Hjulsta intersection, from which it continues into the next 18km long tunnelling section called Akalla. This section comprises driving two main route tunnel tubes and a smaller access tunnel. The whole bypass route is displayed in the longitudinal section in Fig. 3.

Trafikverket government-owned organisation (analogy to the Czech Road and Motorway Directorate) is in the role of the contracting entity. It will manage the entire project using up to twenty main contractors with contract values of SEK 500 to 3000 million during the following ten-year period. The tunnel driving work is the critical part of the whole project and the total volume of excavated ground reaches nearly 6,500,000m³. This work is divided into 8 partial projects with various sizes and characters (see Table 1 and Fig. 4). The bypass will be connected to the existing at grade road network at six points of its route, through newly built intersections, bridges, cuttings and cut-and-cover and excavated tunnels. Two large intersections will originate near the E4 at the beginning and the end of the bypass, in the districts of Kungens Kurva and Häggvik, another one in the district of Hjulsta (an intersection with the E18 road, an intersection with the 275 road in the district of Vinsta and with the 261 road on Löve island (see Fig. 3).

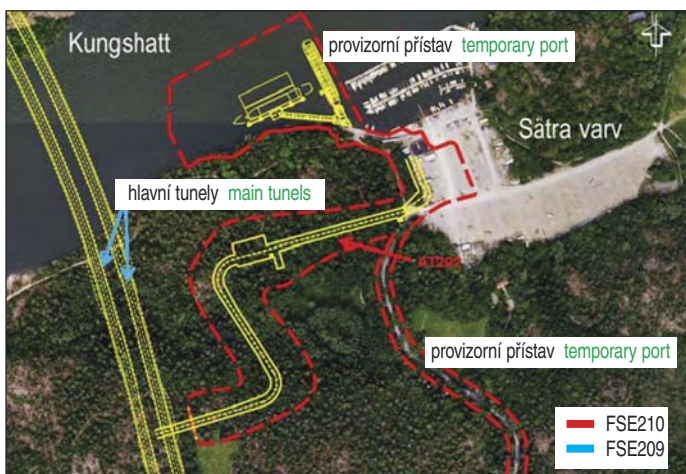
The bypass capacity is designed for 140,000 vehicles per day driving along three lanes in each direction. The time of travel along the whole route amounts to 15 minutes. In this way Förbifart Stockholm will contribute to the development



Obr. 4 Trasa obchvatu s rozdělením do důlčích projektů
 Fig. 4 Bypass alignment division into partial projects

V oblasti Skärholmen (obr. 6) začínají dvě nájezdové rampy RT213 a RT214 (Ramp Tunnel), spojující povrchovou silniční síť s tunely hlavní trasy obchvatu. Jejich ražba měla být převážně součástí projektu FSE209, ale po dohodě s Trafikverket byla část těchto prací zahrnuta do projektu FSE210 z důvodů

of the whole region and will provide an alternative connection across Mälaren Lake, thus increasing the comfort of vehicular traffic in Stockholm. Last but not least, it will provide other opportunities for travelling using the urban mass transit system.



Obr. 5 Situace Sättra
Fig. 5 Sättra map

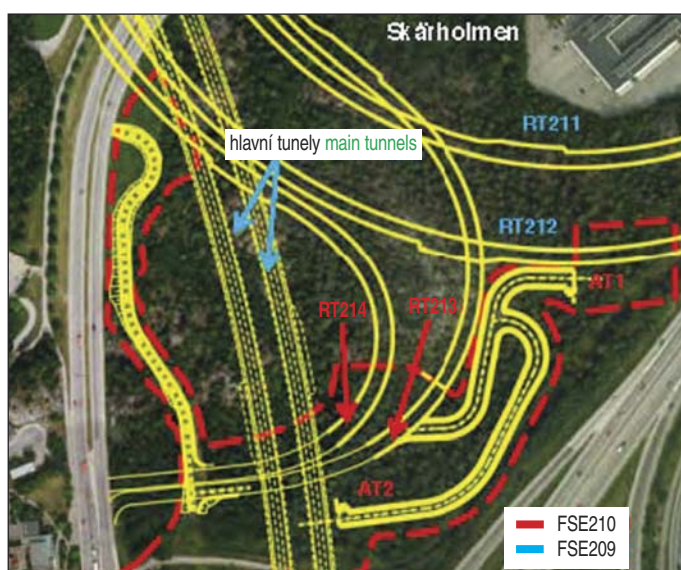
efektivnějšího využití stávajících zdrojů Subterra. Primárním úkolem FSE210 v této lokalitě je vyrazit úvodních 70 m RT213 a z něj navazující pracovní tunely AT1 a AT2. AT1 je pracovní tunel zpřístupňující tunelové rampy RT211 a RT212 (nejsou součástí FSE210), které budou napojovat silnici E4/E20 na tunely hlavní trasy ve směru na centrum Stockholmu. Pracovní tunel AT2 vede z prvního pracovního tunelu do staničení km 10,520 tunelů hlavní trasy obchvatu (ražné tunely hlavní trasy začínají ve staničení km 9,940) a bude tedy sloužit jako další místo, z něhož bude hlavní tunel ražen.

Po úvodním pozastavení projektu v druhé polovině roku 2014, které trvalo 6 měsíců, zahájila Subterra a.s. práce na jaře 2015. Samotné ražby začaly 11. ledna 2016, kdy proběhl první odpal na tunelu RT213 v oblasti Skärholmen. Následoval tunel RT214 a jako poslední, 17. března 2016, byla odstartována ražba tunelu AT292 v Sätře.

2 TECHNICKÝ POPIS STAVBY A ZMĚNY V PROJEKTU

2.1 Lokalita Sättra

Trasa tohoto tunelu je dlouhá 600 m. Úvodních 82 m zabírá hloubený úsek nepravidelného tvaru, jelikož v něm trasa uhýbá směrem doprava ve směru staničení. Za projekt zajištění stěn portálu až po úroveň skalního masivu je zodpovědný



Obr. 6 Situace Skärholmen
Fig. 6 Skärholmen map

1.3 Basic Information on the FSE210

As seen from Fig. 4, the partial bypass project marked FSE210 is one of the first ones on the Förbifart Stockholm. This small contract contains the excavation of three access tunnels in two localities distant approximately 3km from each other, namely in the districts of Sättra and Skärholmen. The construction of a temporary port on Mälaren Lake near the tunnel in Sättra is also part of the project.

The tunnel in Sättra (see Fig. 5), marked as AT292 (Arbets Tunnel 292), is a working tunnel having its mouth in the middle of the initial four kilometre part of the main route tunnels forming the content of the connecting FSE209 project. During the course of the works realisation it will be used as an access tunnel for the excavation of the main tunnels and, at the same time, a significant proportion of muck will be removed through it to be transported on water so that city is burdened by traffic as little as possible. For that reason a temporary port and a system of belt conveyors will be established in this locality. The conveyors will begin at the AT292 tunnel chainage m 150 and will end on floating pontoons in the port. About 4.5 million tonnes of ground/rock will be transported by ships. When the excavation of tunnels on the main route of the bypass is finished, the AT292 tunnel will become part of the ventilation system and a fire station will be built in it.

Two access ramp tunnels RT213 and RT214 begin in the Skärholmen district (see Fig. 6). They connect the at-grade road network with the main bypass tunnels. Driving these tunnels was mostly part of the FSE209 project, but in agreement with Trafikverket, part of this work was incorporated into the FSE210 project for the reasons of the more effective use of Subterra a. s. resources. The primary task of the FSE210 in this locality is to excavate initial 70m of the RT213 and to excavate the following working tunnels AT1 and AT2 from it. The AT1 is a working tunnel providing access to the RT211 and RT212 ramp tunnels (they are not parts of the FSE210 contract), which will connect the E4/E20 road to the main route tunnels in the direction of the Stockholm centre. The AT2 working tunnel leads from the initial working tunnel to the chainage km 10.520 of the main route tunnels on the bypass (the excavated main route tunnels begin at chainage km 9.940), therefore it will be used as another place from which the main tunnel will be driven.

After the initial suspension of the project in the second half of 2014, which lasted 6 months, Subterra a. s. started to work in the spring of 2015. The excavation itself commenced on 11th January 2016, when the initial blast took place on the RT213 in Skärholmen. The excavation of the AT292 tunnel in Sättra started on 17th March 2016 as the last one.

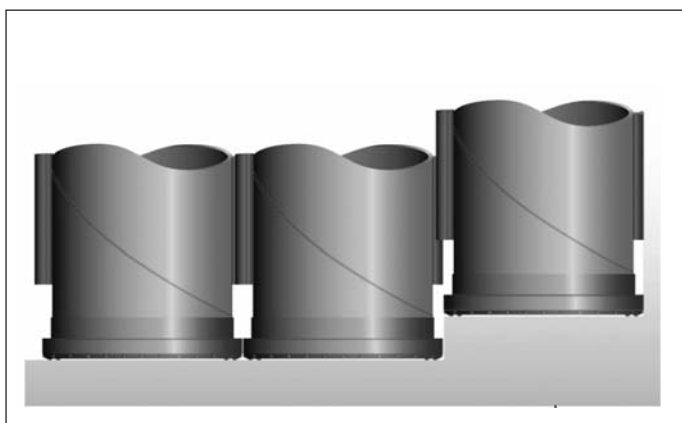
2 TECHNICAL DESCRIPTION OF THE CONSTRUCTION AND DESIGN CHANGES

2.1 Sättra locality

The alignment of this tunnel is 600m long. The initial 82m long section is designed as a cut-and-cover tunnel with the irregular geometry because of the fact that the route turns in it right in the direction of the chainage. Responsible for the design for the stabilisation of portal walls down to the rock mass level is the contractor, whilst the remaining part found in the rock environment is already solved by the design

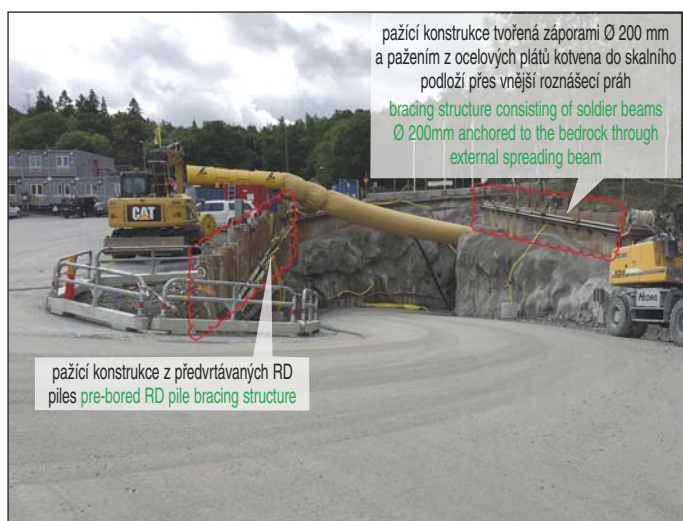
Tab. 2 Základní informace o AT292
Table 2 Basic information on AT292

Sättra AT292		
	ražená část mined tunnel	hloubená část Cut&Cover
délka trasy length	518 m	82 m
teoretický profil tunnel profile	77–93 m ²	–
objem vytěžené horniny excavated volume	46 800 m ³	4 670 m ³



Obr. 7 Těsnicí zámek RD Piles
Fig. 7 RD Piles sealing lock

dodavatel a zbylou část ve skalním prostředí už řeší projektová dokumentace. Subterra a.s. ve spolupráci s místním projektantem zpracovala projekt na zajištění stěn stavební jámy, spočívající v kombinaci dvou řešení. Jelikož se hloubená část nachází v těsné blízkosti jezera Mälaren a dodatečný geologický průzkum prokázal v této oblasti značně rozrušenou propustnou morénovou vrstvu, bylo potřeba co možná nejlépe stavební jámu utěsnit. Mezi staničeními km 0,000 až km 0,044 byla po obvodu instalována pažící konstrukce v podobě předvrtávaných ocelových pilot typu RD Piles (Ruukki's drilled piles) průměru 400 mm, spojených vodotěsným těsnícím zámkem, jak je vidět na obr. 7. Technologie spočívá ve vrtání korunkou o něco větší než je průměr piloty, metodou DTH (Down the Hole), která je vhodná do prostředí skalních hornin, a současném vibrování piloty do vrtu. Zbylá část stavební



Obr. 8 Stavební jáma v Sätře
Fig. 8 Construction pit in Sättra

documentation. Subterra a.s., in collaboration with a local consulting engineer (designer), carried out the design for stabilising the walls of the construction pit. The design lied in a combination of two solutions. Because of the fact that the cut-and-cover part is located in close proximity to Mälaren Lake and a supplementary geological survey proved a significantly disturbed moraine layer in this area, it was necessary to seal the construction pit as best as possible. Bracing structures in the form of 400mm-diameter pre-bored steel piles of the RD Piles type (Ruukki's drilled piles), interconnected by means of a watertight sealing lock, as shown in Fig. 7, were installed around the circumference between chainages km 0.000 and 0.044. The technology lies in drilling with a bit slightly bigger than the diameter of the pile using the Down the Hole method, which is suitable for the environment formed by rock, and concurrent vibrating the pile into the borehole. The remaining part of the construction pit at the soil environment level was stabilised using 200mm-diameter soldier beams embedded in the bedrock along the portal. They were installed at 1.5m spacing. The bracing itself is formed by 5mm thick steel plates welded to the soldier beams. The whole structure is supplemented by anchoring into the bedrock at the level of 0.5m under the upper edge, which is installed through an external spreading beam (see Fig. 8). The remaining levels were excavated in stages by blasting and were stabilised with shotcrete in combination with SN rock bolts.

The following 518m of the alignment are formed by the AT292 mined access tunnel. In this section the alignment descends along with the growing chainage on a 12-percent grade. The tunnel cross-section geometry is rather rectangular with a slightly rounded vault and straight walls. It is 10 to 12m wide and its height on the tunnel axis reaches 8.14m. The theoretical cross-sectional area of the tunnel varies from 77m² to 93m². Part of the AT292 working tunnel is a large chamber between chainages km 0.236 and 0.300 (see Fig. 9), in which a stone crusher and the beginning of the belt conveyor for transporting the excavated material will be placed during the course of the excavation of the main tunnel. At chainage km 0.260 the chamber reaches the maximum dimensions, 47m wide and 14.2m high.

2.2 Skärholmen locality

In this locality, several tunnels are being driven simultaneously from one construction pit. The primary FSE210 contract task lies in the construction of the AT1 and AT2 working tunnels and the initial part of the RT213 ramp tunnel. The length of the ramp will correspond to the length required for the realisation of the excavation to the AT1. All other work on the

Tab. 3 Základní informace o tunelech v oblasti Skärholmen
Table 3 Basic information on tunnels in the region of Skärholmen

Skärholmen – původní zadání earlier placing				
	RT213	AT1	AT2	hloubená část Cut&Cover
délka length	70 m	196 m	250 m	100 m
teoretický profil tunnel profile	77–93 m ²	91 m ²	77–91 m ²	–
objem vytěžené horniny excavated volume	5 410 m ³	17 840 m ³	19 550 m ³	31 000 m ³



Obr. 9 Komora v AT292
Fig. 9 Chamber in the AT292

jámy v úrovni zeminového prostředí byla zajištěna záporami průměru 200 mm vetknutými do skalního podloží po obvodu portálu ve vzdálenosti 1,5 m od sebe. Vlastní pažení tvoří 5 mm silné ocelové pláty navařené na zápor. Celá konstrukce je v úrovni 0,5 m pod horní hranou doplněna kotvením do skalního podloží, provedeného přes vnější roznášecí práh (obr. 8). Zbylé nižší úrovně byly v etážích vyhloubeny s pomocí trhačích prací a byly zajištěny stříkaným betonem v kombinaci s SN kotvami.

Následných 518 m trasy tvoří ražený přístupový tunel AT292. V tomto úseku trasa klesá s narůstajícím staničením ve sklonu

RT213 and RT214 exceeds the framework of the original design.

The cut-and-cover part is a little larger here than in Sätra. The left-hand wall is approximately 100m long and its height reaches 20m. The original design of the stabilisation of the construction pit walls was similar to that in Sätra, but the geological conditions encountered required new measures. The originally braced construction pit is now partially provided with slopes and a loading berm is left along a large part of its left-hand wall.

There will be a cut-and-cover tunnel here in the future, therefore the above-mentioned measures are of a temporary character.

The RT213 access ramp is 1420m long. Up to chainage km 0.205 its alignment runs partly at grade and partly through a cut-and-cover tunnel; the following 1215m run through a mined tunnel. The contract originally comprised only the excavation of initial 70m and, at the moment, the excavation of 190m is assumed. The geometry and dimensions of the tunnel cross-section many times change along the route, but within the scope of the project are similar to those existing in the case of the above-mentioned Sätra.

Because of worsened geology, the A1 working tunnel opening was moved by 30m to the chainage km 0.265 of the RT213 tunnel alignment. The tunnel is led downhill from this location at a gradient of 8–12% and is 196m long. Another point of attack is at chainage km 0.117 of the AT1 alignment. It is designed for the other working tunnel, AT2, which will get

Tab. 4 Ukázka rozdílů mezi prognózou a výstupy z geologického mapování během ražby
Table 4 Example of differences between the prognosis and outputs of geological mapping during the course of the tunnel excavation

RT213				
staničení chainage		popis description	předpokládaná horninová třída forecasted rock class	zastížená horninová třída encountered rock class
od from	do to			
65	100	stavební jáma – zeminové prostředí open cut – soil	–	–
100	200	stavební jáma – skalní prostředí open cut – rock	I	III
200	210	portál portal face	III	V
210	215	tunelová rampa ramp tunnel	II	V
215	245	křížení s AT1 crossing with AT1	III	IV
245	265	tunelová rampa ramp tunnel	II	III

12 %. Profil tunelu má spíše obdélníkový tvar s mírně zakulacenou klenbou a rovnými stěnami. Široký je 10 až 12 m a v ose tunelu dosahuje výšky 8,14 m. Teoretická plocha profilu tunelu je 77 m² až 93 m². Součástí pracovního tunelu AT292 je rozsáhlá komora mezi staničeními km 0,236 až km 0,300 (obr. 9), ve které bude během ražby hlavního tunelu umístěna drtička kamene a začátek pásového dopravníku pro přepravu vytěženého materiálu. Ve staničení km 0,260 dosahuje komora svých maximálních rozměrů, a to 47 m šířky a 14,2 m výšky.

2.2 Lokalita Skärholmen

V této lokalitě se z jedné stavební jámy razí několik tunelů současně. Primárním úkolem projektu FSE210 jsou pracovní tunely AT1 a AT2 a úvodní část tunelové rampy RT213. Ta bude dlouhá pouze tak, aby bylo možné realizovat ražby do AT1. Veškeré další práce na RT213 a RT214 jsou nad rámec původního projektu.

Hloubená část je zde o něco rozlehlejší než v Sätře. Levá stěna je dlouhá cca 100 m a dosahuje výšky 20 m. Původní projekt zajištění stěn stavební jámy byl obdobný jako v Sätře, avšak zastižené geologické podmínky si vyžádaly nová opatření. Původně pažená stavební jáma je nyní částečně svahovaná a podél velké části její levé stěny je ponechána přítěžovací lavice.

V budoucnu zde bude hloubený tunel, a proto jsou výše popsaná opatření dočasného charakteru.

Nájezdová rampa RT213 je dlouhá 1420 m. Její trasa vede až do staničení km 0,205 částečně na povrchu a částečně hloubeným tunelem, dalších 1215 m raženým tunelem. Projekt FSE210 původně zahrnoval ražbu pouze úvodních 70 m, v současné době se předpokládá vyražení 190 m. Tvar i rozměry tunelu se v celé trase mnohokrát mění, ale v rozsahu projektu jsou podobné jako v případě výše popsané Sätře.

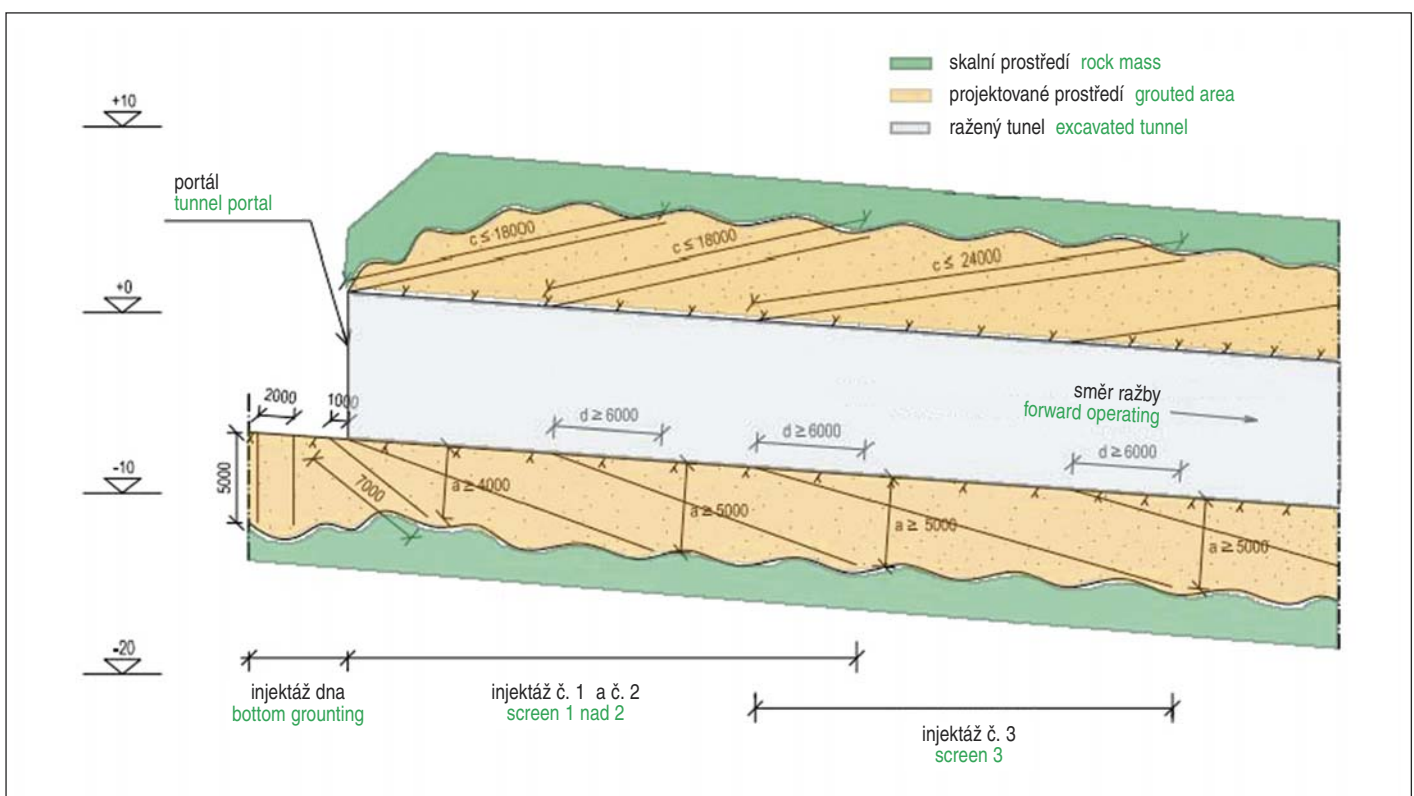
after 250m to the location from which the excavation of the main tunnel will proceed.

3 GEOLOGICAL CONDITIONS

The Stockholm region is located on the edge of the morphological unit called Svekofennium. The dominant rock material in this area is represented by gneiss and fine-grained granite called Stockholm granite. The rock is usually grey and locally up to reddish. The terrain of the region is characterised by numerous elevations and erosion valleys leading mostly in the east-western direction.

The engineering geological survey of the entire bypass was divided into six areas in total. The FSE210 project with its two underground works falls within the partial areas I – Skärholmen and II – Sättra. The survey in these areas was based on the rock formations accessible from the surface, rock furrows, existing underground spaces, cored boreholes and geophysical methods for determining the bedrock level and locating likely weakness zones.

The rock mass was categorised on the basis of the data obtained by the geological survey according to the Q index of ground quality (Barton) and was divided into five quasi homogeneous rock classes. The prognosis of geological conditions in the Skärholmen area predicts mostly classes I and II, i.e. very good and good rock quality. Category III (acceptable rock quality) was predicted only for the portal section and several sections in the RT213 and AT1 tunnels. Category IV was predicted for a 60m long section. The AT292 tunnel in Sättra, with the exception of the portal section, is expected to be found in very good quality rock environment formed by the Stockholm granite environment and sedimentary gneiss, rock class I.



Obr. 10 Schéma těsnící injektáže předpolí výrubu v celém obvodu

Fig. 10 Chart of sealing grouting into the face advance core around the whole circumference

Tab. 5 Klasifikace horniny a vyztužení výrubu podle PD
Table 5 Rock mass classification and excavation reinforcement according to the design

horninová třída rock class	index Q rock quality	kotvy bolts				stříkaný beton vyztužený drátky steel fibre reinforced shotcrete		kategorie vyztužení reinforcement class
		rozmístění [m] spacing [m]		délka [m] length [m]		tloušťka [mm] thickness [mm]		
		kalota roof	opěří wall	kalota roof	opěří wall	kalota roof	opěří wall	
I	Q>10	selektivní selective	selektivní selective	3	3	50	0	I-A
II	4<Q≤10	selektivní selective	selektivní selective	3	3	50	0	II-A
III	1<Q≤4	1,7x1,7	1,7x1,7	3, 4, 5	3, 4, 5	75	50	III-A
IV	0,1<Q≤1	1,5x1,5	1,5x1,5	3, 4, 5, 6	3, 4, 5, 6	75	50	IV-A

Z důvodu zhoršené geologie byla zarážka pracovního tunelu AT1 přemístěna o 30 m do staničení km 0,265 trasy tunelu RT213. Tunel je z tohoto místa veden úpadně ve sklonu 8–12 % a je dlouhý 196 m. V místě km 0,117 trasy AT1 se nachází další rozrážka, a to pro druhý pracovní tunel AT2, který se po 250 m dostane do místa, odkud bude dále probíhat ražba hlavního tunelu.

3 GEOLOGICKÉ POMĚRY

Stockholmský region se nachází na jižním okraji morfologického celku zvaného Svekofennium. Dominantním horninovým materiálem této oblasti jsou ruly a jemně či středně zrnité žuly, zvané stockholmský granit. Hornina je zpravidla šedá a místy až načervenalá. Terén regionu se vyznačuje četnými elevacemi a erozními údolními vedoucími převážně směrem z východu na západ.

Inženýrskogeologický průzkum celého obchvatu byl rozdělen celkem do šesti oblastí. Projekt FSE210 se svými dvěma podzemními díly spadá do dílčí oblasti I – Skärholmen a II – Sättra. Základem průzkumu v těchto oblastech byly skalní útvary přístupné z povrchu, skalní rýhy, existující podzemní prostory, jádrové vrty a geofyzikální metody pro určení úrovně skalního podloží a lokalizaci pravděpodobných míst oslabených zón.

Na základě údajů získaných geologickým průzkumem byl horninový masiv klasifikován podle indexu kvality horniny Q (Barton) a rozdělen do pěti kvazihomogenních horninových tříd. Prognóza geologických poměrů v oblasti Skärholmen predikuje převážně třídu I a II, tzn. velmi dobrou a dobrou kvalitu horniny. Pouze v portálovém úseku a na několika úsecích v tunelech RT213 a AT1 byla předpokládána kategorie III (přijatelná kvalita horniny). Kategorie IV byla predikována v úseku 60 m. Tunel AT292 v Sätře se má, až na portálový úsek, nacházet celý ve velmi kvalitním horninovém prostředí stockholmského granitu a sedimentární ruly v horninové třídě I.

Tato prognóza se skutečně zastiženou horninou zatím často neshodává, příkladem je tabulka 4. V některých oblastech se liší natolik, že neexistuje projektem předepsaná třída zajištění výrubu, jako tomu bylo v úvodu tunelové rampy RT213. Zde se na několika místech přistoupilo k dodatečnému zesílení ostění, pomocí žeber z vyztuženého stříkaného betonu (armovací výztuž v podobě prutů či sítí a stříkaný beton).

For the time being this prognosis often does not agree with the actually encountered ground/rock, as shown as an example in the table below. In some areas it differs so much that an excavation support class prescribed by the design does not exist, as it was at the beginning of the RT213 ramp tunnel. In this case additional reinforcing of the lining was undertaken at several places using reinforced shotcrete ribs (steel rebar or mesh and shotcrete reinforcement).

4 TUNNELLING TECHNOLOGY

The Scandinavian tunnelling method called Drill&Blast with the continual injection of sealing grout into the face advance core was selected for the excavation of all tunnels on the bypass. This method, respectively its advance rate and safety, is well proven in the Stockholm region on many other infrastructure projects.

The tunnel excavation operations were preceded by sealing a 24m long advance core throughout the excavation circumference by means of low-pressure grouting with the pressure varying from 20 to 35bar. These 24m long sealing fans are installed repeatedly every 18m so that 6m overlapping of individual grouting steps develops, as shown in Fig. 10. In the case of the FSE210, microfine cementitious grout is used. The grouting at a common cross-section size of 90m² is carried out through 25–35 boreholes 64mm in diameter; the cement consumption amounts to 1.5–4t, depending on ground mass permeability. The grouting is carried out by means of the Unigrout Smart M2 grouting unit manufactured by Atlas Copco.

Drilling holes for blasting is carried out using a Boomer WE3 C3 three-boom drill rig, also manufactured by Atlas Copco, equipped with a system of controlled drilling according to a pattern shown on the display in the machine cabin and a system of navigation through a total station. The cut is cylindrical and is carried out by four dummy holes 102mm in diameter, which are placed in a vertical or square arrangement. The other boreholes are 48mm in diameter. The rock mass is disintegrated using emulsion explosives mixed from two components at the place of consumption and pumped

4 TECHNOLOGIE RAŽEB

Pro ražbu všech tunelů na obchvatu byla zvolena skandinávská metoda výstavby zvaná Drill&Blast s kontinuální těsnicí injektáží předpolí. Tato metoda, respektive její rychlost a bezpečnost, je ve stockholmském regionu dobře prověřena na mnoha jiných infrastrukturních projektech.

Razicím pracím předchází utěsnění předpolí tunelu v délce 24 m po celém obvodu výrubu pomocí nízkotlaké injektáže, tlakem 20–35 bar. Tyto 24 m dlouhé těsnicí vějíře se opakují každých 18 m, aby vzniklo 6 m překrytí jednotlivých injektáží, tak jak je vidět na obr. 10. V případě FSE210 se jedná o cementovou injektážní směs na bázi mikromletého cementu. Injektáž běžného profilu velikosti 90 m² se provádí prostřednictvím 25–35 vrtů průměru 64 mm, a je spotřebováno 1,5–4 t cementu, v závislosti na permeabilitě masivu. Injektáže jsou prováděny injektážní stanicí Unigrout Smart M2 od Atlas Copco.

Vrtání výtvrů pro trhací práce se provádí kolovým třílafetovým vrtacím vozem Boomer WE3 C3, rovněž od firmy Atlas Copco, s řízeným vrtáním podle schématu, zobrazeného na displeji v kabině stroje a s navigací přes totální stanici. Zálom se vrtá válcový se čtyřmi volnými vrty průměru 102 mm, umístěnými ve vertikálním nebo ve čtvercovém uspořádání. Průměr ostatních vrtů je 48 mm. Pro rozpojování masivu je použita emulzní trhavina, míchaná ze dvou složek na místě spotřeby a strojně čerpaná z nabíjecí plošiny. Rozbušky jsou neelektrické, Indetshock TS, spojované do „bunchů“ 6 g/m bleskovicí Riocord, na kterou je připojena elektrická rozbuška pro roznět. Trhací práce se provádí na plný profil se záběrem 5,9 m, s použitím řízeného výlomu na obrysu. Celkový počet vrtů v jedné čelbě se liší podle velikosti profilu a bývá standardně 170 až 200 ks, celková spotřeba trhaviny na odstřel s délkou záběru 5,9 m bývá v rozmezí 1000 až 1300 kg se specifickou spotřebou trhaviny 2,2 kg/m³. Každý odstřel je před svým provedením evidován v systému NCVIB, který je dálkově napojen na seizmografy, osazené na vytipovaných místech v okolí stavby. Po odstřelu je tak možné zhlédnout vlnový diagram a skutečnou hodnotu zatížení objektu technickou seizmicitou.

Větrání každého z tunelů je zajištěno axiálním ventilátorem Atlas Copco Svedvent AVH125 o průměru 1250 mm, spojeným redukčním dílcem s nevytluženou lůtnou průměru 2000 mm. Ventilátory mají frekvenční měnič, který umožňuje plynulou regulaci otáček a výkonu.

Odvoz rubaniny je na každém tunelu organizován jinak, a to z důvodu nedostatku prostoru pro dočasnou skládku v oblasti Sättry. Rubanina je v tunelu nakládána nakladačem CAT 980H přímo na nákladní vozy, které ji přepravují na skládku odběratele kameniva. V oblasti Skärholmen funguje odvoz mnohem efektivněji, jelikož je zde možné využít dumpery a dočasnou skládku přímo ve stavební jámě.

Před každým novým postupem je nutné obtrhat výrub a odstranit kusy horniny rozvolněné po odpalu. Obtrhání se provádí nahrubo mechanicky pomocí skalního bagru Liebherr A924C, osazeného hydraulickým kladivem Atlas Tex 552. Následuje ruční obtrhání líce výrubu, prováděné z pracovní plošiny a začištění počvy.

Vzhledem ke kvalitě horninového masivu je běžné výrub zajišťovat každých 18 m, což při teoretické zabírce 6 m dovolu- je provést 3 postupy bez zajištění výrubu. Míra zajištění je určena geologem na základě geologického mapování. Projekt udává čtyři vyztužovací kategorie I-A až IV-A, (tab. 5), které jsou voleny geologem na základě klasifikace horniny podle indexu Q a příslušné horninové třídy. Jednotlivé kategorie zajištění předepisují tloušťku a rozsah stříkaného betonu a hustotu sítě kotev

mechanically from a charging platform. Indetshock TS non-electric detonators interconnected into bunches with Riocord detonating cord with an electric firing detonator connected to it are used. The blasting is carried out full-face with the excavation round 5.9m long, using the contour blasting system. The total number of blast holes in one excavation face varies depending on the cross-section size, usually 170 to 200 pieces; total explosive consumption for one blasting event with the round length of 5.9m usually varies from 1000 to 1300kg, with the specific explosive consumption of 2.2kg/m³. Each blasting event is registered before its execution in the NCVIB system, which is remotely connected to seismographs installed at points tipped in the construction site surroundings. The blast-wave diagram and the actual value of the load acting on the building due to technical seismicity can therefore be seen after the blasting.

The ventilation of each of the tunnels is provided by 1250mm-diameter Atlas Copco Svedvent AVH125 axial fans connected to a 1250mm-diameter non-reinforced ventilation duct through a reduction segment. The fans are equipped with frequency converters allowing fluent regulation of revolutions and outputs.

Because of the lack of space for a temporary muck stockpile in the area of Sättra, removing excavation muck is organised differently in each of the tunnels. Muck is loaded in the tunnel using a CAT 980H loader directly on trucks, which transport it to a stockpile owned by the processor of aggregates. The muck removal systems works much more effectively in the Skärholmen area because of the fact that it is possible there to use dumpers and a temporary stockpile directly in the construction pit.

Before each new excavation advance, it is necessary to scale the excavated opening and remove rock blocks loosened after blasting. The rough scaling is carried out mechanically using a Liebherr A924C excavator with an Atlas Tex 552 hydraulic breaker mounted on it. Manual scaling of the excavation surface from a working platform and scaling of the bottom is carried out subsequently.

With respect to the rock mass quality it is common to install the excavation support every 18m, which, at the theoretical excavation round length of 6m, allows to excavate three rounds without supporting the excavation. The support degree is determined by a geologist on the basis of geological mapping. The design specifies four categories of reinforcement, I-A to IV-A (Table 5), which are chosen by the geologist on the basis of the rock mass classification according to the Q index and the respective rock mass class. Individual excavation support categories prescribe the thickness and scope of shotcrete and the density of the grid of 3–6m long rock bolts. The C 35/45 steel fibre reinforced shotcrete with the prescribed 55kg/m³ density of steel fibres is applied using a concrete spraying machine and a Meyco Potenza manipulator. The application is preceded by clearing the surface with high pressure water to remove dust and small fragments. Galvanised SN rock bolts with epoxy coating are mostly used for anchoring the excavation.

dlouhých 3–6 m. Stříkaný drátkobeton třídy C35/45, s předepsaným množstvím drátků 55 kg/m^3 , je aplikován strojem na stříkání betonové směsi a manipulátorem Meyco Potenza. Aplikaci předchází očištění tlakovou vodou pro odstranění prachu a drobných úlomků. Ke kotvení výrubu se používají převážně galvanizované SN kotvy s epoxidovým nátěrem.

5 GEOTECHNICKÝ MONITORING

Původní projektová dokumentace nepožadovala provádění geotechnického monitoringu v žádném z tunelů, pouze geodetické sledování pažicí konstrukce stavební jámy v Sätře. V důsledku zhoršené geologie v tunelech AT292, RT213 a RT214 se přistoupilo ke konvergenčnímu sledování ostění a horninového masivu. Měření je realizováno na stabilizovaných bodech umístěných v ostění, v profilech kolmých na osu tunelu. Každý profil sestává z pěti bodů (tři v kalotě a dva v opěři).

6 ZÁVĚR

Ke konci října 2016 bylo celkem včetně víceprací vyraženo 1,1 km tunelů a vytěženo přes 100 000 m^3 horniny. Průměrný postup na jedné čelbě byl 16 m/týden v plném profilu tunelu. Dále bylo nainstalováno přes 6,5 tis. kotev v celkové délce téměř 29 km a spotřebováno 3 200 m^3 stříkaného betonu. Původní termín ukončení projektu FSE210, 8. ledna 2017, byl posunut na konec ledna 2017 a to z důvodů plynulého navázání na projekt FSE209, který Subterra a.s. po několika měsících průtahů získala. Veškeré ražby v oblasti Skärholmen byly dokončeny v prosinci 2016 a během ledna zde budou probíhat pouze dokončovací práce. V oblasti Sättra se bude razit během celého měsíce ledna, přičemž je plánováno dosáhnout staničení km 0,500. I přesto, že se z objektivních příčin nepodaří dosáhnout konce tunelu v Sätře, je v celkové sumě vyraženo více, než co projekt původně zadával.

Během uplynulých dvou let měla Subterra a.s. možnost se detailně seznámit se skandinávskou tunelářskou praxí pod vedením klienta, kterým je státní organizace Trafikverket. Tunelářská historie je zde velmi dlouhá, což dokazuje odbornost všech, kteří se projektu účastní. Velmi profesionální přístup klienta, který se nesnaží držet dodavatele pod tlakem, ale naopak mu poskytnout všemožnou podporu, ukazuje na značnou vyspělost zdejšího stavebnictví.

Zkušenosti získané na tomto projektu se bude Subterra a.s. snažit využít na dalších tunelových částech Förbirat Stockholm, o kterých se v současné době jedná, a také na jiných projektech ve Švédsku, do jejichž soutěží se v současné době daří kvalifikovat.

*Bc. TOMÁŠ NĚMEČEK, tnemecek@subterra.cz,
Ing. MICHAL PŘENOSIL, mprenosil@subterra.cz,
Subterra a.s., SBT Sverige AB*

*Recenzovali Reviewed: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.,
Ing. Pavel Polák*

5 GEOTECHNICAL MONITORING

The original design did not require geotechnical monitoring to be carried out in either tunnel. It only required survey observation of the structure bracing the construction pit in Sättra. The convergence monitoring of the lining and rock mass was undertaken due to worsened geology in the AT292, RT213 and RT214 tunnels. The measurements are conducted on stabilised points fixed in the lining, in profiles perpendicular to the tunnel centre line. Each profile consists of five points (three in the roof and two in side walls).

6 CONCLUSION

As of the end of October 2016, driving of 1.1km of tunnels had been finished and over 100,000 m^3 of rock had been excavated. The average full-face excavation advance rate at one heading amounted to 16m per week. Further, over 6.5 thousand rock bolts at the aggregate length of nearly 29km were installed and 3200 m^3 of shotcrete were consumed. The original 8th January 2017 deadline for the completion of the FSE210 project was shifted to the end of January 2017. The reason was the need for fluent continuation of the works on the FSE209 project, the contract for which Subterra a.s. was awarded after several months of delays. All tunnel excavation in the Skärholmen area were finished in December 2016 and only finishing operations will take place there during January. In the Sättra region the excavation will continue during the whole January, while it is planned to reach chainage km 0.500. Despite the fact that the effort to reach the end of the tunnel in Sättra will fail for objective reasons, the aggregated excavated length is higher than the project originally required.

During the course of the past years, Subterra a.s. had the opportunity to get acquainted in detail with Scandinavian tunnelling practice under the guidance of government-owned organisation Trafikverket, the project owner. The tunnelling history is here very long, which fact has been proved by the expertise of all participants of the project. The highly professional approach of the project owner, which does not try to keep the contractor under pressure, and just opposite, providing all possible support, proves a significant degree of maturity of the local construction industry.

Subterra a.s. will try to apply the experience gained from this project to other tunnel parts of the Förbirat Stockholm projects which are at the moment being negotiated, even on other projects in Sweden the tenders for which Subterra a.s. has currently been successfully qualifying itself.

*Bc. TOMÁŠ NĚMEČEK, tnemecek@subterra.cz,
Ing. MICHAL PŘENOSIL, mprenosil@subterra.cz,
Subterra a.s., SBT Sverige AB*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Zadávací dokumentace E4 Förbifart Stockholm – FSE210 Arbetstunnlar Skärholmen, stavební projekt, zpracoval ÅF Infrastruktur. Stockholm 2013
- [2] Zadávací dokumentace E4 Förbifart Stockholm – FSE210 Arbetstunnlar Skärholmen, inženýrskogeologický průzkum, zpracoval ÅF Infrastruktur. Stockholm 2013
- [3] Zadávací dokumentace E4 Förbifart Stockholm – FSE209 Huvudtunnlar Skärholmen, stavební projekt, zpracoval ÅF Infrastruktur. Stockholm 2013

SEKUNDÁRNÍ OSTĚNÍ TUNELU POVAŽSKÝ CHLMEC, KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ, PROVÁDĚNÍ A OŠETŘOVÁNÍ

SECONDARY LINING OF THE POVAŽSKÝ CHLMEC TUNNEL, STRUCTURAL SOLUTION, CONSTRUCTION AND CONCRETE CURING

LIBOR MAŘÍK

ABSTRAKT

Koncepce sekundárního ostění musí být jasná ještě před zahájením ražeb. V režimu stavby „navrhni a postav“, kdy projektování realizační dokumentace probíhá s minimálním předstihem před realizací a mnohdy dokonce paralelně, je domyšlení všech detailů a provedení optimalizace řešení sekundárního ostění základním předpokladem technicky i ekonomicky úspěšného provedení díla. Článek popisuje jednotlivé etapy projektování i realizace sekundárního ostění dálničního tunelu Považský Chlmec od volby délky bloku betonáže a optimalizace blokového schématu, přes dimenzování ostění na základě skutečně zastižených geotechnických podmínek, zvláštní případy bednění hloubených tunelů ve střední stavební jámě až po problematiku vlastní betonáže vyztužených i nevyztužených úseků ostění a jeho ošetřování po odbednění. V době psaní článku jsou betonáže definitivního ostění v obou tunelových troubách ukončeny a je možné rekapitulovat.

ABSTRACT

The concept of a secondary lining has to be clear before starting tunnel excavation operations. In the “Design and Build” regime, where the process of designing the construction means and methods takes place in a minimum advance of the realisation and often even in parallel, thorough thinking out of all details and optimising the solution to the secondary lining is a basic condition for technically and economically successful execution of the works. The paper describes individual stages of designing and realising the secondary lining of the Považský Chlmec tunnel, starting from the selection of the concrete casting block length and optimisation of the flow chart to structurally analysing the lining on the basis of actually encountered geotechnical conditions, special cases of formwork for the cut-and-cover tunnels in the mid-point construction pit, up to the problems of casting concrete in the reinforced as well as unreinforced lining sections and curing concrete after stripping of the formwork. At the time of writing this paper the casting of the final lining concrete in both tunnel tubes is already finished and it is possible to recapitulate.

ÚVOD

Základní informace o projektování a výstavbě tunelu Považský Chlmec na dálnici D3 v úseku Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) poskytuje článek uveřejněný v čísle 3/2015 časopisu Tunel. Výstavba tunelu pokračuje podle předpokladů a v době vydání tohoto čísla je v obou tunelových troubách dokončena betonáž sekundárního ostění. Další práce v tunelu již budou spojené s výstavbou kabelovodů, vozovky, chodníků a vnitřního vybavení tunelu. Správná volba typu konstrukce a hospodárný návrh sekundárního ostění ovlivňuje výši investičních nákladů stejně, jako optimalizace postupu ražby tunelu, nebo obecně šířka komunikace a volba příčného řezu tunelu. Proto jsou v článku zmíněny faktory, které přímo nebo nepřímo ovlivňují ekonomiku návrhu sekundárního ostění tunelu a minimalizují rizika při provádění i provozování tunelu.

Vzhledem k režimu výstavby „navrhni a postav“ podle žluté knihy FIDIC je optimalizaci technického řešení jak ve fázi projektu, tak realizace věnována mimořádná pozornost. Sekundární ostění představuje významnou část z celkové ceny díla, přičemž její výši ovlivňuje i rychlost provádění a minimalizace rizik spojených s možnými vadami při výstavbě, které je nutné v záruční době na náklady zhotovitele sanovat. Betonáž prvního bloku ostění byla zahájena 21. 12. 2015, poslední kubík betonu byl do portálového bloku uložen 30. 11. 2016. Betonáž ostění v celkové délce 4435,5 m trvala se dvěma bednicími vozy necelý rok.

OPTIMALIZACE TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ

Realizace sekundárního ostění tunelu přichází v harmonogramu prací na řadu až po vyhloubení a zajištění svahů stavebních

INTRODUCTION

Basic information about designing and realising the construction of the Považský Chlmec tunnel on the D3 motorway in the Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) section is available in a paper published in issue No. 3/2015 of TUNEL journal. The tunnel construction proceeds according to the expectations, at the moment of the publication of this issue the casting of the secondary lining concrete is finished in both tunnel tubes. Other work in the tunnel will already be associated with the construction of cableways, the roadway, walkways and internal equipment of the tunnel. The correct selection of the structure type and economical design of the secondary lining influence the amount of investment costs in the same way as the optimisation of the tunnel excavation procedure or, in general, the roadway width and choice of the tunnel cross-section geometry. For that reason the paper mentions the factors which directly or indirectly influence the economy of the tunnel secondary lining design and minimise the risks encountered during the construction and operation of the tunnel.

With respect to the “Design and Build” construction regime according the FIDIC Yellow Book, the optimisation of the technical solution carried out in the phases of designing as well as realising the structures is paid special attention. The secondary lining represents a significant proportion of the total cost of the works, while its amount is affected even by the speed of the works and the minimisation of the risks associated with potential defects during the course of the construction works which have to be made good during the warranty period at contractor's cost. Casting of the first block of the concrete lining started on 21st December 2015; the last

jam, vyražení tunelu a zajištění jeho stability primárním ostěním a provedením hydroizolační fólie. Projektant realizační dokumentace tunelu musí však myslet při návrhu technického řešení komplexně a sekundárním ostěním se zabývat již na samém počátku projekčních prací. Prvním v pořadí je návrh tvaru příčného řezu tunelu, který vychází z geometrických a geotechnických požadavků. Ke geometrickým požadavkům patří především kategorie tunelu a průjezdný průřez.

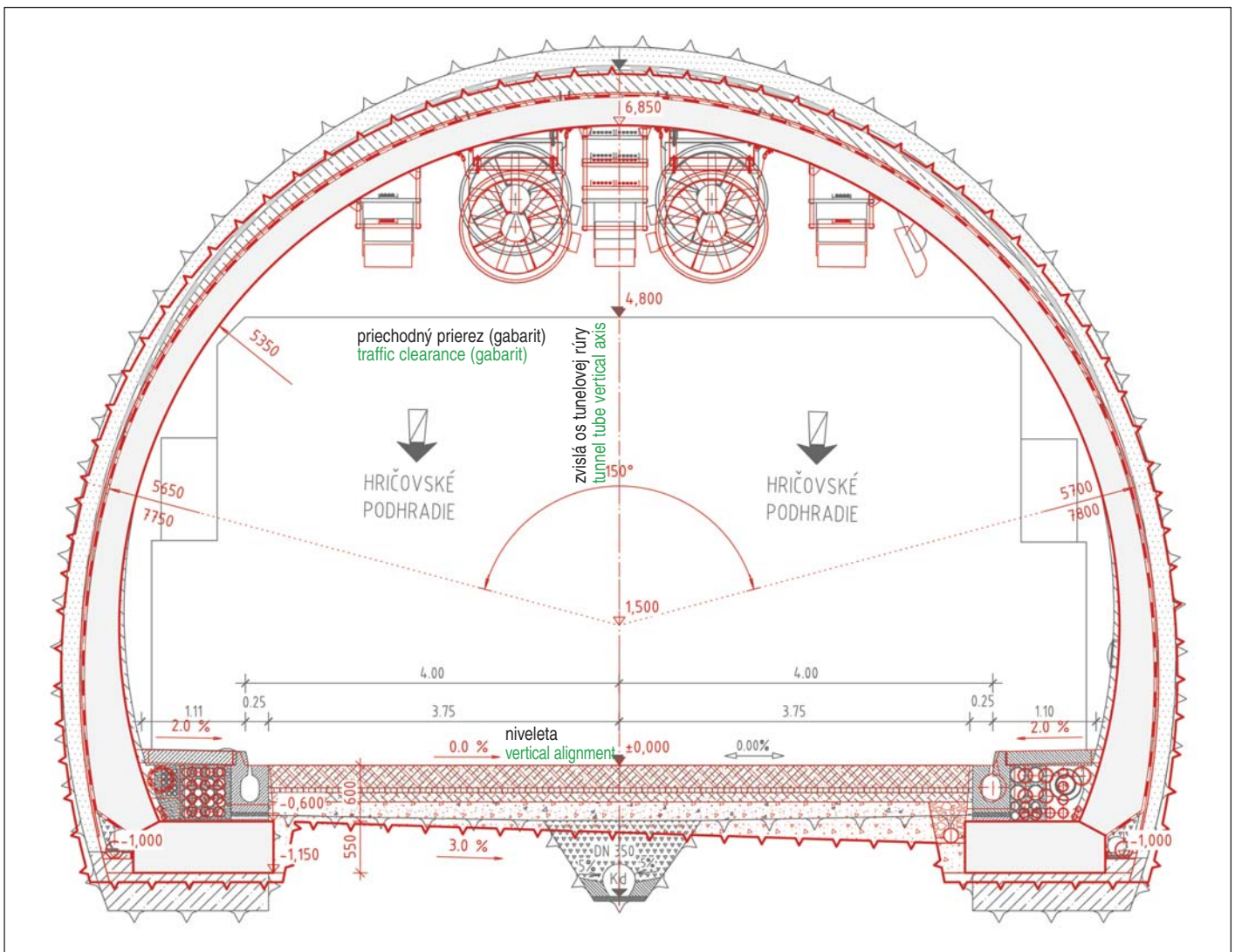
V případě tunelu Považský Chlmec se jedná o kategorii tunelu 2T-8,0 a průjezdný průřez s výškou 4,8 m podle STN 737507. Kategorii tunelu 2T-8,0 se rozumí dvě tunelové trouby s šířkou vozovky mezi obrubníky 8 m, tj. dva jízdní pruhy o šířce 3,75 m a dva vodící proužky o šířce 0,25 m. Společně s minimální šířkou chodníku 1 m jsou celková požadovaná šířka a výška tunelu základními parametry pro návrh příčného řezu tunelu. Líc tunelového ostění je při tomto poměru výšky a šířky ideálně tvořen jedinou kružnicí, neboť právě tvar blízký kruhu ve většině případů nejlépe vzdoruje horninové tlaku, má pozitivní dopad na průběhy vnitřních sil v ostění a přímo souvisí s možnostmi jeho dimenzování. Větší šířka vozovky mezi obrubníky již vede buď k velkému vzepětí klenby v případě kruhového tvaru příčného řezu, nebo ke staticky nevýhodnému zploštění klenby v její horní části. To má v prvním případě za následek zvětšení plochy výrubu, ve druhém

cubic metre of concrete was cast behind the formwork of the portal block on 30th November 2016. The casting of the concrete lining at the total length of 4435.5m using two travelling tunnel formwork units lasted for less than one year.

OPTIMIZATION OF THE TECHNICAL SOLUTION

The construction of the secondary lining takes a turn on the works schedule only after the completion of the excavation of construction pits and stabilisation of their slopes, the completion of the tunnel excavation, stabilisation of the excavation by the primary lining and installation of a waterproofing membrane. Despite this fact, the author of the design of means and methods has to think comprehensively when proposing the technical solution and deal with the secondary lining as early as the beginning of design work. First in line is the proposal for the tunnel cross-sectional geometry, which is based on geometrical and geotechnical requirements. Among the geometrical requirements there are first of all the tunnel category and the clearance profile.

In the case of the Považský Chlmec tunnel it is the 2T-8.0 category and the 4.8m high clearance profile according to the STN 737507 standard. The tunnel category 2T-8.0 means two tunnel tubes with the kerb-to-kerb width of 8m, i.e. two 3.75m wide traffic lanes and two 0.25m wide marginal strips.



Obr. 1 Porovnání původního a optimalizovaného tvaru tunelu
Fig. 1 Comparison of the original and optimised tunnel geometry

případě větší namáhání konstrukce. Společným jmenovatelem obou případů je negativní dopad do ceny díla.

Vzhledem k tomu, že stavba tunelu Považský Chlmec probíhá v režimu „navrhni a postav“ podle žluté knihy FIDIC, došlo v první fázi optimalizace k úpravě tvaru příčného řezu tunelu s cílem minimalizace plochy výrubu a výše uvedenému zaoblení klenby, jak ukazuje obr. 1. Šedý stav představuje tvar tunelu ze zadávací dokumentace, červený stav tvar tunelu po optimalizaci, kdy je líc ostění tvořen jedinou kružnicí o poloměru 5,35 m.

Sekundární ostění se betonuje po blocích betonáže o délce max. 12,5 m. V tunelu se kromě standardních bloků betonáže pouze klenbového tvaru bez zvláštních úprav vyskytují i další typy bloků s výklenky na čišťení drenáže, výklenky požárního hydrantu, výklenky kabin SOS, výklenky s prostupem do tunelových propojek a bloky betonáže v místě nouzových zálivů. Rozmístění těchto prvků v tunelu je svázáno normami a předpisy a vytvoření optimálního blokového schématu minimalizuje rizika provádění i zjednodušuje údržbu za provozu. Pro řidiče znamená snazší orientaci v tunelu v případě mimořádné události. Společnou snahou všech účastníků výstavby je proto minimalizace počtu atypických bloků betonáže.

Pro vzdálenosti výklenků platí následující pravidla:

vzdálenost výklenků na čišťení drenáže	max. 50 m;
vzdálenost výklenků požárního hydrantu	max. 150 m;
vzdálenost výklenků kabin SOS	max. 150 m;
vzdálenost nouzových zálivů	max. 750 m;
vzdálenost tunelových propojek	max. 300 m.

Všechna tato čísla umožňují s výhodou použít blokové schéma s délkou bloku betonáže buď 10 m, nebo 12,5 m. Z hlediska minimalizace počtu do jisté míry rizikových spár mezi bloky betonáže i z hlediska rychlosti výstavby je výhodnější použití bloku betonáže délky 12,5 m. Délka bloku betonáže 10 m se používá zpravidla u ostění z betonu odolného proti průsakům s ohledem na omezení vzniku trhlin v ostění. To však není případ tunelu Považský Chlmec, kde se s ohledem na prognózu geotechnických poměrů spíše očekávalo nasazení nevyztuženého sekundárního ostění.

V první fázi optimalizace došlo ke sloučení výklenku na čišťení boční tunelové drenáže, výklenku požárního hydrantu a kabiny SOS do jednoho bloku betonáže. Další zásadou bylo umístění kabiny SOS vždy proti ústí tunelové propojky a v polovině vzdálenosti mezi propojkami. Řidič tak má jistotu, že v místě úniku do vedlejší tunelové trouby najde i místo s možností nahlášení poruchy vozidla na tunelový dispečink. Díky zvětšení délky bloku betonáže z 10 m na 12,5 m, sjednocení výklenků a optimalizaci jejich vzájemné vzdálenosti se podařilo snížit počet nouzových zálivů ze 3 na 2, zmenšit výrazně počet atypických bloků betonáže s výklenky a sjednotit jejich délku tak, aby kromě portálových bloků betonáže délky 12 m byly všechny ostatní bloky délky 12,5 m. Všechny výklenky, včetně zaústění tunelových propojek, byly situovány v ose bloku betonáže a kolmo na osu tunelu.

NRTM JAKO OBSERVAČNÍ METODA PŘI NÁVRHU SEKUNDÁRNÍHO OSTĚNÍ

Nová rakouská tunelovací metoda (NRTM) je označována jako observační metoda, která umožňuje operativně reagovat postupem ražby a způsobem zajištění stability výrubu na skutečně zastižené geotechnické podmínky. Pokud to správně definované smluvní podmínky dovolují, jsou při ražbě vynakládány jen takové finanční prostředky, které jsou z hlediska zajištění

Together with the minimum width of 1m for the walkway, the total required width and height of the tunnel are the basic parameters for the design of the tunnel cross-section. At this proportion of the height to width, the contour of the inner surface of the tunnel lining is ideally formed by a single circle, because of the fact that a shape approximating a circle in the majority of cases best resists the ground pressure, has a positive impact on the variation of internal forces in the lining and is directly related to the possibilities of designing the dimensions. The greater kerb-to-kerb width results either to a great height of the vault in the case of a circular geometry of the cross-section or to statically disadvantageous flattening of the vault in its upper part. As a consequence, the cross-sectional area of the excavation increases in the first case, whilst the stress in the structure is higher in the latter case. A negative impact on the works cost is a common denominator of both cases.

With respect to the fact that the Považský Chlmec construction is carried out in the Design and Build regime according to the FIDIC Yellow Book, the tunnel cross-section was changed in the first phase of optimisation with the objective to minimise the excavated cross-sectional area and round the vault as mentioned above (see Fig. 1). The grey state represents the tunnel geometry from the tender design, while the red state represents the tunnel geometry after the optimisation, where the internal surface of the lining is formed by a single circle with the radius of 5.35m.

The casting of the lining concrete proceeds in casting blocks with the maximum length of 12.5m. Apart from standard vaulted concrete casting blocks without special modifications, even other types of the blocks exist, namely blocks with recesses for clearing the drainage, recesses for fire hydrants, recesses for SOS cabins, recesses with openings to tunnel cross passages and concrete casting blocks used in the locations of emergency lay-bys. The arrangement of these elements along the tunnel length is determined by standards and regulations and the creation of an optimal scheme minimises the construction risks and simplifies maintenance without interruption to traffic. For drivers it means easier orientation in the tunnel in the case of an extraordinary event. For that reason the minimisation of the number of atypical concrete casting blocks is a common effort of all parties to the construction.

The following rules are applicable to the spacing of recesses:	
spacing of recesses for clearing drainage (manholes)	max. 50m;
spacing of recesses for fire hydrants	max. 150m;
spacing of recesses for SOS cabins	max. 150m;
spacing of emergency lay-bys	max. 750m;
spacing of tunnel cross passages	max. 300m.

All of these figures allow for the advantageous use of a block scheme with the concrete casting block lengths either 10m or 12.5m. From the aspect of the minimisation of the number of the to some extent risky joints between concrete casting blocks and from the aspect of the speed of construction it is more advantageous to use 12.5m long blocks. The 10m length of the concrete casting block is usually applied to lining concrete from the water seepage resistant concrete with respect to the restriction on the creation of cracks in the lining. But this is not the case of the Považský Chlmec tunnel, where the application of unreinforced concrete secondary lining was rather expected with respect to the predicted geotechnical conditions.

bezpečné ražby a při dodržení požadované kvality provádění nezbytně nutné. V průběhu ražeb je prováděn geotechnický monitoring a kromě geotechnických měření je na každé čelbě hodnocena i kvalita horninového masivu. Výsledky geotechnického monitoringu však neslouží pouze pro optimalizaci ražby, ale i jako podklad pro dimenzování sekundárního ostění. Po vyražení tunelu projektant vyhodnotil výsledky geotechnického monitoringu a horninový masiv v ražené části tunelu rozdělil z hlediska dimenzování sekundárního ostění do tří geotechnických typů (kvazihomogenních celků).

V nejhrošších podmínkách především v oblasti západního a východního portálu, nebo v místě tektonické poruchy mezi střední stavební jámou a východním portálem byla použita „těžká výztuž“. V lepších geotechnických podmínkách byla použita „lehká výztuž“ a v místě dobrých geotechnických podmínek bylo použito nevyztužené sekundární ostění. Bez ohledu na geotechnické podmínky byly vždy vyztuženy bloky betonáže v místě napojení tunelových propojek a v místě nouzových závlivů.

Zvláštní případ představují úseky tunelu ražené pod želvou, kde je tloušťka sekundárního ostění zvětšena z 300 mm na min. 400 mm a ostění je vyztužené. S ohledem na skutečně zastížené geotechnické podmínky není nikde v tunelu použit profil se spodní klenbou a tunel je založen na pásech. Pouze jediný blok betonáže v severní tunelové troubě na východním portále, který je zatížen výrazně asymetrickým zatížením, je založen z důvodu nutného rozepření základových pásů na základové desce. NRTM je tak jako observační metoda použita nejen k optimalizaci postupu ražby tunelu a bezpečnému zajištění výrubu primárním ostěním, ale i v oblasti návrhu a dimenzování sekundárního ostění.

PARAMETRY A TYPY KONSTRUKCÍ SEKUNDÁRNÍHO OSTĚNÍ

Z hlediska konstrukčního řešení je monolitické ostění tunelu Považský Chlmec možné rozdělit na ostění hloubených úseků tunelu a úseků ražených buď pomocí NRTM, nebo ražených pod klenbovým zastropením. Tento způsob výstavby je známý jako metoda želva. Zásadní rozdíl v technickém řešení ostění hloubených a ražených tunelů je ve způsobu napojení klenby tunelu na základové pásy a v tloušťce konstrukce. V případě hloubených tunelů je výztuž základových pásů propojena s výztuží klenby, v ražených úsecích tunelu jsou zvlášť vyztuženy základové pásy a zvlášť klenba tunelu s tím, že výztuž není propojena. I v ražených úsecích tunelu s nevyztuženým ostěním klenby jsou základové pásy vždy vyztuženy.

Nepropojování výztuže základových pásů a výztuže klenby tunelu má mnoho výhod. Patří k nim snadné provádění bočních tunelových drenáží i ukončení hydroizolační fólie, snížení rizika poškození hydroizolační fólie o trčící výztuž, snazší montáž výztuže klenby ve vyztužených úsecích tunelu a lepší možnost rektifikace výztuže klenby než v případě provázání s výztuží základového pásu. Na tunelu Považský Chlmec je ostění navrženo ve třech základních tloušťkách. V hloubených úsecích tunelu je teoretická tloušťka konstrukce min. 600 mm, v úsecích ražených pod želvou min. 400 mm a v ražených úsecích tunelu min. 300 mm. Jedná se o tloušťku ostění ve vrcholu klenby, která se směrem k bokům tunelu zvětšuje. Vnitřní líc ostění je ve všech úsecích geometricky shodný. Sekundární ostění tunelu raženého pod želvou na západním portále ukazuje obr. 2.

Ražba tunelu probíhala v geologicky pestrém prostředí od zvětralých pískovců až po velmi pevné slepence. Tomu odpovídal způsob rozpojování horniny a délka záběru. V měkčích,

In the first phase of the optimisation, the recess for clearing the tunnel side drains, the recess for fire hydrant and the SOS cabin were merged into one concrete casting block. Another principle lied in locating the SOS cabin always across the mouth of the tunnel cross passage and in the middle of the distance between cross passages. Thus drivers can be sure that they will find a place where they can report a vehicle defect to the tunnel traffic management centre in the location of the escape exit to the neighbouring tunnel tube. Owing to increasing the concrete casting block length from 10 to 12.5m, merging the recesses and optimising their spacing, the number of emergency lay-bys was successfully reduced from 3 to 2, the number of atypical casting blocks containing recesses was significantly reduced and their length was unified so that, apart from 12m long portal blocks, all other blocks were 12.5m long. All recesses, including the mouths of tunnel cross passages, were located in the middle of the concrete casting block and were positioned perpendicularly to the tunnel centre line.

THE NATM AS THE OBSERVATIONAL METHOD APPLIED TO THE SECONDARY LINING DESIGN

The New Austrian Tunnelling Method (NATM) is described as an observational method allowing for operative responding to actually encountered geotechnical conditions by adjusting the excavation procedure and the system of securing the stability of the excavation. If properly defined contract conditions allow it, only such financial means are expended which are necessary from the aspect of ensuring safe excavation and adhering to the required quality of works. Geotechnical monitoring is carried out during the course of the excavation and, apart from geotechnical measurements, even the rock mass quality is assessed at each heading. However, the results of the geotechnical monitoring are used not only for the optimisation of the excavation procedure, but also as source documents for designing dimensions of the secondary lining. After the completion of the tunnel excavation the designer assessed the geotechnical monitoring results and divided the rock mass in the mined part of the tunnel from the aspect of the structural analysis of the secondary lining into three geotechnical types (quasi-homogeneous units).

“Heavy concrete reinforcement” was applied to the worst conditions, first of all in the area of the western and eastern portals or in the location of the tectonic fault between the mid-point construction pit and the eastern portal. “Lightweight concrete reinforcement” was applied to better geotechnical conditions, whilst unreinforced secondary lining was used in good geotechnical condition locations. Concrete casting blocks in the locations of the connections of tunnel cross passages and in locations of emergency lay-bys were always reinforced, irrespective of geotechnical conditions.

The sections excavated under the “tortoise shell”, where the thickness of the secondary lining is increased from 300mm to the minimum of 400mm and the concrete is reinforced, are special cases. With respect to the actually encountered geotechnical conditions, profiles with an invert are not designed and the tunnel is founded on footings. Only the concrete casting block behind the eastern portal of the northern tunnel tube, which is loaded significantly asymmetrically, is founded on a base slab with respect to the necessity for bracing the footings. The NATM is used as an observational method not



Obr. 2 Sekundární ostění tunelu raženého pod želvou
Fig. 2 Secondary lining of the tunnel excavated under the tortoise shell

tunelovým bagrem snadno rozpojitelých horninách, kde se délka záběru pohybuje do cca 1,5 m, se dařilo poměrně přesně držet projektovaný teoretický tvar výrubu bez větších nadvýrubů. U rozpojování horniny pomocí trhacích prací s délkou záběru přesahující 3 m již docházelo k technologicky i geologicky podmíněným nadvýrubům. Z hlediska rychlosti výstavby i ceny díla je důležité, do jaké míry je nutné takto vzniklé nadvýrubu vyplnit a zda jsou vyplněny dražším a pomaleji aplikovatelným stříkaným betonem, nebo při betonáži sekundárního ostění levnějším monolitickým betonem. Na tuto skutečnost zahraniční předpisy pamatují [2] a podmínka pro povolenou odchylku od projektované tloušťky sekundárního ostění se objevila i v zadávací dokumentaci ve „Zvláštních technicko kvalitativních podmínkách“ (ZTKP). Monolitickým betonem sekundárního ostění tak je možné vyplnit nadvýrubu až do hodnoty 100 % projektované tloušťky sekundárního ostění. V případě teoretické tloušťky ostění 300 mm může mít konstrukce skutečnou tloušťku až 600 mm.

Tunel je izolován pomocí mezilehlé hydroizolační fólie. Protože závazné předpisy [1] i požadavky výrobce hydroizolační fólie předepisují maximální možnou křivost povrchu primárního ostění (poměr průměru nerovnosti k její výšce nesmí být menší než 10:1), tato podmínka zároveň zaručuje, aby se tloušťka sekundárního ostění neměnila skokem. To by mohlo mít negativní vliv na vznik trhlin jak z důvodu nerovnoměrného oteplení při hydrataci betonu, tak z důvodu rozdílné tuhosti konstrukce. V případě nevyztuženého ostění zadávací dokumentace připouští lokální oslabení jeho tloušťky o 50 mm v rozsahu maximálně 5 % povrchu příslušného bloku betonáže.

Ostění hloubených úseků tunelu je s ohledem na zatížení násypem a omezené možnosti bočního rozeprání zásypovým materiálem navrženo z betonu C30/37. Ze statického hlediska by bylo možné v ražených úsecích tunelu ostění navrhnout z betonu C25/30 a ve větší části tunelu to tak skutečně je. Výjimkou jsou příportálové úseky tunelu, ve kterých je zadávacími podmínkami i závaznými předpisy [1] požadováno použití betonu C30/37 XF4. Názor na délku takto exponovaného úseku se v průběhu výstavby měnil. V zadávacích podmínkách byla požadována délka úseku 150 m. Požadavky ZTKP prodloužily délku úseku na 300 m a v revizi TKP26 z roku 2015 se již objevuje délka 600 m od každého portálu. Pro výstavbu tunelu je postupováno podle ZTKP stavby, a to zejména s ohledem na použití nevyztuženého sekundárního ostění, kde by použití betonu C30/37 s vyšším obsahem cementu vedlo ke zvýšení rizika vzniku trhlin.

only for optimising the tunnel excavation procedure and safe support of the excavation by a primary lining, but also in the area of designing the secondary lining and its dimensions.

PARAMETERS AND TYPES OF SECONDARY LINING STRUCTURES

From the structural solution point of view, the cast-in-place lining of the Považský Chlmec can be divided into liners of cut-and-cover tunnel sections and liners of sections excavated using the NATM or excavated under a vaulted roof. The latter construction technique is known as the “Tortoise Shell Method”. The fundamental difference between the technical solution to cut-and-cover and mined tunnels lies in the system of connecting the tunnel vault to the footings and in the thickness of the structure. In the case of cut-and-cover tunnels, the concrete reinforcement of footings is interconnected with the vault reinforcement, whilst in mined tunnel sections the footings and the tunnel vault are reinforced separately, without interconnecting the reinforcement. The concrete of footings is always reinforced, even in mined tunnel sections with unreinforced concrete vaults.

The system where the reinforcement of footings is not interconnected with the reinforcement of tunnel vaults has many advantages. Among them there are the easy execution of tunnel side drains and termination of the waterproofing membrane, as well as the reduction of the risk of damaging the membrane by piercing with sticking up reinforcement bars, easier installation of vault reinforcement in reinforced concrete sections of the tunnel and better possibility of rectifying the vault reinforcement than in the case of the interconnection with the reinforcement of footings. Three basic thicknesses are designed for the Považský tunnel lining. In cut-and-cover sections the minimum theoretical thickness of the structure is 600mm; in sections excavated under the tortoise shell the minimum is 400mm and in mined tunnel sections the minimum is 300mm. It is the thickness of the lining at the crown of the vault, which grows toward the tunnel sides. The contour of the internal surface of the lining is geometrically identical. The secondary lining of the tunnel excavated under the tortoise shell at the western portal is presented in Fig. 2.

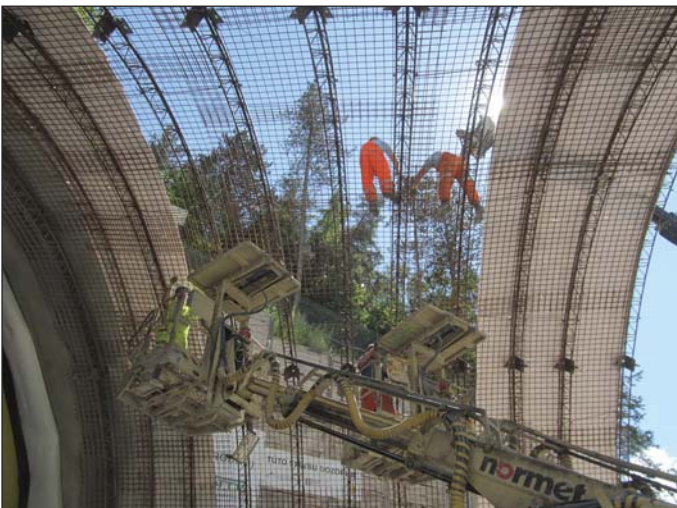
The tunnel excavation proceeded through a geologically variable environment, ranging from weathered sandstone up to very hard conglomerates. The rock disintegration technique and the length of excavation rounds corresponded to this fact. In weaker rock easy to disintegrate by a tunnel excavator, where the excavation round length fluctuates up to ca 1.5m, the designed theoretical excavation contour was maintained without larger overbreaks. In the case of the rock disintegration by means of blasting with the excavation round length exceeding 3m, technologically and geologically conditioned overbreaks already occurred. It is important from the aspect of the construction speed and the cost of the works to which extent it is necessary to fill such overbreaks and whether they are to be filled with more expensive shotcrete, the application of which is slower, or they are to be filled with cheaper cast-in-place concrete during the casting of the secondary lining concrete. Foreign regulations remember this fact [2] and the condition for the permissible deviation from the designed thickness of the secondary lining appeared even in the tender documents in the „Special technical and qualitative specifications“ (STQS). The overbreaks up to the value of 100% of



Obr. 3 Vzdálenost portálů severní trouby ve střední stavební jámě
Fig. 3 The distance between portals in the mid-point construction pit

V oblasti střední stavební jámy přechází obě tunelové trouby z ražených úseků do krátkých hloubených úseků. V případě severní tunelové trouby (STT) odpovídá délka hloubeného úseku jednomu bloku betonáže, tj. 12,5 m, jak ukazuje obr. 3, na kterém je vpravo vidět želva ještě před vybetonováním sekundárního ostění. V jižní tunelové troubě (JTT) odpovídá délka hloubeného úseku třem blokům betonáže, tj. 37,5 m. Vzdálenost portálů JTT ukazuje obr. 4. Do střední stavební jámy je situována tunelová propojka a proti ústí propojky do tunelových trub sružený výklenek požárního hydrantu, kabiny SOS a šachty na čištění boční tunelové drenáže. Z hlediska rubového bednění znamená průnik propojky s tunelovými troubami i sružené výklenky geometricky složitý tvar.

Vzhledem k malé délce hloubených úseků tunelu se zhotovitel rozhodl nevytvořit systémové rubové bednění, jaké je použito na lici ostění ze strany dopravního prostoru tunelu, a použil konstrukci vytvořenou z výztužných rámců, ocelových sítí a stříkaného betonu, která je označována jako „falešné primární ostění“. Fáze výstavby této konstrukce ukazují obr. 5 a 6. Na obr. 5 probíhá montáž výztužných sítí na příhradové nosné rámy a upevňování geotextilie na vnější stranu konstrukce. Obr. 6 ukazuje falešné primární ostění po provedení první vrstvy nástřiku betonu. Tato konstrukce byla použita i pro rubové bednění jediného bloku betonáže hloubeného úseku severní tunelové trouby na západním portále. Jako první jsou postaveny příhradové nosné rámy, které jsou vzájemně zajištěny rozpínkami



Obr. 5 Montáž výztuže falešného primárního ostění
Fig. 5 Installation of the false primary lining concrete reinforcement



Obr. 4 Délka hloubeného úseku jižní trouby ve střední stavební jámě
Fig. 4 The length of the cut-and-cover tunnel section in the mid-point construction pit

the designed thickness of the secondary lining can be filled with cast-in-place secondary lining concrete in this way. In the case of the 300mm theoretical thickness of the lining the actual thickness of the structure can reach up to 600mm.

The tunnel waterproofing is carried out using an intermediate waterproofing membrane. Because binding regulations [1] and waterproofing membrane manufacturer's requirements prescribe the maximum allowable curvature of the primary lining surface (the proportion of an irregularity to its height must not be less than 10:1), this condition at the same time secures that the secondary lining thickness does not change by jump. It could negatively influence the origination of cracks both due to uneven heating during the concrete hydration process and the different stiffness of the structure. In the case of the unreinforced lining the tender design accepts the local reduction of its thickness by 50mm within the maximum extent of 5% of the surface of the respective casting block.

The C30/37 concrete grade is designed for the lining of cut-and-cover sections of the tunnel with respect to the loads generated by embankments and the limited possibilities of bracing the sides with the backfill material. From the structural point of view it would be possible to propose concrete grade C25/30 for mined tunnel sections and it really is so in a larger proportion of the tunnel length. The portal sections of the tunnel where the use of C30/37 XF4 grade concrete is required by the tender conditions and binding regulations [1] are exceptions. The opinion on the length of such an exposed section varied during the construction works. The tender conditions required the section length of 150m. The STQS conditions increased the length of the section to 300m and the length of 600m from each portal appeared in the Technical Specifications from 2015. The length specified in the STQS is applied, first of all with respect to the application of the unreinforced secondary lining concrete, where the application of C30/37 grade concrete with a higher content of cement would lead to increased risk of the creation of cracks.

In the area of the mid-point construction pit both tunnel tubes pass from mined sections to short cut-and-cover sections. In the case of the northern tunnel tube (NTT), the length of the cut-and-cover section corresponds to the length of one concrete casting block, i.e. 12.5m, as shown in Fig. 3, where the tortoise shell can be seen even before the secondary lining concrete was cast. In the southern tunnel tube (STT), the length of the cut-and-cover section corresponds to the length



Obr. 6 První nástřik betonu falešného primárního ostění
Fig. 6 Application of the initial shotcrete layer of the false primary lining

a vnější vrstvou sítí KARI. Na vrstvu sítí se připevní ocelové pletivo B-SYSTÉM, nebo geotextilie, aby bylo možné provést nástřik betonu.

První vrstvou stříkaného betonu se vytvoří skořepina, na kterou se postupně nanášejí další vrstvy stříkaného betonu. Po navázání druhé, vnitřní vrstvy sítí se provede dostřikání konstrukce do projektované tloušťky 300 mm, jak ukazuje obr. 7. Použitím výztužných rámců, sítí a stříkaného betonu se podařilo vymodelovat všechny složité prostupy i výklenky hloubených tunelů. Na vytvořené falešné primární ostění se upevní hydroizolační fólie, smontuje se samonosná výztuž sekundárního ostění a pro bednění líce ostění je použit stejný bednicí vůz, jako v ražených úsecích tunelu. Pohled na falešné primární ostění v místě křížení s tunelovou propojkou ukazuje obr. 8.

Při návrhu technologického postupu prací je nutno zohlednit únosnost falešného primárního ostění na zatížení zásypem i směsí betonu při betonáži ostění tunelu. V případě hloubeného úseku na západním portále byl zásep proveden předcenenou rubaninou z tunelu. Z hlediska únosnosti bylo falešné primární ostění zasypano jen do cca 3 m, horní část klenby falešného primárního ostění bylo nutné vzhledem k zatížení betonovou směsí rozepřít do stěn stavební jámy. Falešné primární ostění na západním portále ukazuje obr. 9, ze kterého je patrná konstrukce ostění, úroveň zásypu i ocelové převázky pro rozepření konstrukce při betonáži sekundárního ostění.

V případě střední stavební jámy se v první fázi rovněž předpokládalo zasypaní rubaninou. Od počátku stavby však vzbuzovala



Obr. 7 Líc falešného primárního ostění po dostřikání betonu
Fig. 7 Internal surface of the false primary lining after completion of spraying concrete

of three concrete casting blocks, i.e. 37.5m. The distance between the STT portals is presented in Fig. 4. A tunnel cross passage is located in the mid-point construction pit and the combined recesses for the fire hydrant, SOS cabin and tunnel side drainage clearing manhole are located across the mouths of the cross passage to the tunnel tubes. From the aspect of the external formwork, the intersection of the cross passage with tunnel tubes and the combined recesses represent a complex geometrical shape.

With respect to the small depth of the cut-and-cover tunnel sections, the contractor decided not to produce the external formwork system which is used for the lining installed from the side of the tunnel roadway space. Instead they used a structure formed from support frames, welded mesh and shotcrete, which is labelled as a “false primary lining”. The phases of the construction of this structure are shown in Figures 5 and 6. The installation of welded mesh on lattice girders and the geotextile is fixed on the external side of the structure in Fig. 5. Fig. 6 presents the false primary lining after the application of the first layer of shotcrete. This structure was used even for the external formwork of the only concrete casting block of the cut-and-cover section of the northern tunnel tube at the western portal. In the first step the lattice girders are erected. They are secured by braces and an external layer of KARI mesh. B-system steel fabric or geotextile is fixed on the mesh layer so that the application of shotcrete is possible.

The initial shotcrete layer creates a shell, which is subsequently, step by step, covered with other layers of shotcrete. When the installation of the second, inner layer of mesh is finished, concrete is sprayed up to the full designed thickness of 300mm, as shown in Fig. 7. All complicated openings and recesses in cut-and-cover tunnels were successfully modelled by using lattice girders, mesh and shotcrete. Subsequently the waterproofing membrane is fixed to the false formwork, the self-supporting reinforcement of the secondary lining is assembled and the same tunnel form traveller is used for forming the inner surface of the lining as that used in the mined tunnel sections. A view of the false primary lining at the intersection with a tunnel cross passage is presented in Fig. 8.

When the method statement for the work is being designed, it is necessary to take into account the load-bearing capacity of the false primary lining loaded by the backfill and concrete mixture during pouring of the tunnel lining concrete. In the



Obr. 8 Falešné primární ostění v místě napojení tunelové propojky
Fig. 8 False primary lining in the location of the connection of the tunnel cross passage



Obr. 9 Zásyp a prvky rozepření před betonáží sekundárního ostění
Fig. 9 Backfill and bracing elements before casting of secondary lining concrete

obavy možnost obtížně odhadnutelných přítoků vody do stavební jámy jednak z údolí nad jámou, jednak z okolních svahů. Hydrotechnické výpočty na normové hodnoty deště prováděné v souvislosti s dimenzováním odvodnění jámy po dobu výstavby tyto obavy potvrdily. Zápavy spojené s přívalovými dešti, které oblast v průběhu výstavby postihly, však ukazovaly, že skutečnost může být ještě mnohem horší než normové výpočty. Vzhledem k deštníkovému systému hydroizolace by nepředstavoval hydrostatický tlak bezprostřední ohrožení statické funkce ostění, došlo by však ke značnému zvýšení přítoků vody do tunelových drenáží s nebezpečím vyluhování jemných částic ze zásypaného materiálu. Proto navrhl projektant realizační dokumentace po dohodě se zhotovitelem zaplavení stavební jámy do výšky vrcholu klenby tunelu popílkem, což oblast hloubených tunelů utěsňuje a prosakující povrchovou vodu převede přes stavební jámu údolím dolů tak, jako před vyhloubením stavební jámy.

Po kladném projednání návrhu se zástupci investora začaly přípravy na zaplavování stavební jámy popílkem. Ještě před zahájením prací se však příroda postarala o reálnou simulaci výše popísaného stavu. Ve stavební jámě bylo provedeno falešné primární ostění a jáma byla pro potřeby zaplavování přehrazena těsnými přepážkami. V tomto okamžiku přišel přívalový déšť a voda stékající údolím i protékající sutovými kužely na svazích okolních hor vyplnila prostor mezi falešným primárním ostěním a svahy stavební jámy zhruba do výšky 4 m, jak ukazuje obr. 10. Pokud by již byly nainstalovány drenáže, proniklo by toto obrovské množství vody do drenážního systému tunelu a odtékalo směrem k západnímu portálu. V případě zasypání stavební jámy vysoce propustnou rubaninou by se tato situace opakovala při každém přívalovém dešti, nebo v období jarního tání. Náhoda ukázala, že myšlenka utěsnění stavební jámy popílkem je správná.



Obr. 10 Zaplavení střední jámy po přívalovém dešti
Fig. 10 Flooding of the mid-point construction pit after torrential rains

case of the cut-and-cover tunnel at the western portal, crushed muck from the tunnel was used for backfilling. With respect to the load-bearing capacity, the false primary lining was backfilled only up to the level of ca 3m and it was necessary, taking into consideration the load induced by the concrete mixture, to brace the upper part of the false primary lining vault against the walls of the construction pit. The false primary lining at the western portal is presented in Fig. 9. The lining structure, the backfill level and the steel walers allowing the bracing of the structure during the casting of the secondary lining concrete.

In the case of the mid-point construction pit, backfilling with muck was also planned for the first phase. However, the possibility of hard-to-guess water inflows to the construction pit from the valley above the pit and from surrounding slopes gave rise to concerns from the beginning of the works. The hydrotechnical calculations using standardised precipitation rate values which were conducted in the context of designing the construction pit drainage during the course of the construction confirmed the concerns. However, the flooding associated with torrential rains which affected the area during the course of the construction indicated that the reality could be much worse than according to standardised calculations. With respect to the umbrella-type waterproofing system, the hydrostatic pressure did not represent a major threat to the structural function of the lining, but the water inflows to tunnel drainage would significantly grow, with the danger of leaching of fine particles from the backfill material. For that reason the author of the design of means and methods, in agreement with the contractor, proposed flooding of the construction pit with fly ash up to the level of the top of the tunnel vault. This measure would seal the area of the cut-and-cover tunnels and would transfer the seeping surface water over the construction pit, down the valley, as it flew before the excavation of the construction pit.

After a positive discussion of the proposal with representatives of the project owner, preparations for flooding the construction pit with fly ash commenced. But the nature took care of the real simulation of the above-mentioned state even before the commencement of the work. The false primary lining was completed in the construction pit and sealed bulkheads were carried out in the pit for the needs of flooding. At this moment a torrential rain arrived and water flowing down the valley and through talus cones on the slopes of surrounding mountains filled the space between the false primary lining and the slopes of the construction pit approximately up to the level of 4m, as shown in Fig. 10. If the installation of the drains had been finished, this huge amount of water would have got into the tunnel drainage system and would have been drained away toward the western portal. In the case of filling the construction pit with the highly permeable muck, this situation would be repeated during each torrential rain or during the spring thawing period. An accident showed that the idea of sealing the construction pit with fly ash was good.

It was necessary for the determination of the time schedule for flooding to know the fly ash strength build-up rate because the false primary lining structure was not able to transfer the hydrostatic pressure without taking the gradual setting of individual fly ash layers into account. When the proposal was being prepared, it was based on the assumption that the fly ash would reach the strength of 0.3MPa and

Pro stanovení časového postupu zaplavování bylo nutné znát náběh pevnosti popílku v čase, protože zatížení hydrostatickým tlakem bez zohlednění postupného tuhnutí jednotlivých vrstev popílku nebyla konstrukce falešného primárního ostění schopna přenést. Při návrhu se vycházelo z předpokladu, že popílek dosáhne po dvou dnech pevnosti 0,3 MPa a po 28 dnech 3 MPa. Za těchto předpokladů byla předepsána maximální rychlost zaplavování jámy 0,5 m/den. Případnou nesymetrii zaplavování mezi pravou a levou částí konstrukce připouštěl technologický postup prací max. 0,5 m. Statickým výpočtem bylo dále prokázáno, že s ohledem na zatížení betonovou směsí ostění hloubených tunelů je jámu nutno zaplavit a tím falešné primární ostění podepřít min. do výšky 5,5 m nad jejím dnem. Pracovní fáze postupného zaplavování stavební jámy popílkem ukazují obr. 11 a 12. Po vybetonování ostění hloubených tunelů zaplavování pokračovalo min. do úrovně vrcholu klenby dálničních tunelů.

ZPŮSOB VYZTUŽOVÁNÍ A BETONÁŽ OSTĚNÍ

Kromě atypických portálových bloků betonáže jsou všechny bloky tunelu betonovány do posuvného bednění délky 12,5 m. Návrh správné receptury betonu je prvním krokem k úspěchu a musí odpovídat specifikům tunelového ostění. Jiné nároky



Obr. 11 První fáze zaplavování střední jámy popílkem
Fig. 11 First phase of flooding of the mid-point construction trench with fly ash

3MPa after two days and 28 days, respectively. Under these assumptions, the maximum rate of 0.5m per day was prescribed for flooding the pit. The method statement permitted the maximum contingent asymmetry between flooding of the right-hand and left-hand parts of the structure of 0.5m. It was further proved by a structural analysis that, with respect to the loads on the lining of the cut-and-cover tunnels by concrete mixture, it was necessary to flood the construction pit up to the level of 2.5m above the bottom, thus to support the false primary lining. The working phases of the gradual flooding of the construction pit with fly ash are presented in Figures 11 and 12. When the casting of the lining concrete of the cut-and-cover tunnels was finished, the process of flooding continued minimally up to the level of the top of the vault of the motorway tunnels.

CONCRETE REINFORCEMENT SYSTEM AND CASTING OF LINING CONCRETE

With the exception of atypical concrete casting portal blocks, the concrete of all tunnel blocks is poured behind 12.5m long traveller formwork. A proposal for a correct concrete formulae is the first step to success. It has to correspond to the tunnel lining specifics. Other requirements are imposed on concrete for cut-and-cover tunnels, other ones on reinforced concrete liners, other on unreinforced linings of mined tunnels. An important role in this field is played by the build-up of strength during the initial phase after casting the concrete and the development of hydration heat. Portal concrete casting blocks are not at all supported after stripping of the formwork and the concrete is always reinforced. The design prescribed the stripping strength of 10MPa at the top of the vault so that the self-supporting capacity of the structure is guaranteed and the bond between concrete and steel is not corrupted or excessive deformations do not develop.

A better situation from the aspect of boundary conditions can be expected in the case of cut-and-cover tunnels where concrete is cast behind a false primary lining which is braced by muck backfill or even flooded with fly ash. In this way of bracing the cut-and-cover tunnels are already approaching the boundary conditions in the mined sections of the tunnel, where the lining vault is “inserted” into the primary lining, respectively into the excavated opening, along the entire circumference. According to the conditions of the tender design, the casting of secondary lining concrete is permitted at the moment when the rate of the primary lining deformations does not exceed 2mm per month. The stripping strength of 6MPa at the top of the vault is prescribed for the reinforced concrete lining of mined tunnel sections, whilst the minimum stripping strength of 4.5MPa had to be applied according to the TKP26/2015 specifications to unreinforced concrete linings despite the fact that the project STQS permitted the stripping strength of 3MPa. According the Austrian regulation [2] this value is already identified as risky from the aspect of the creation of cracks. It recommends the strength value within the interval between 2MPa up to 3MPa.

The secondary lining concrete casting rate varies between 4 to 5 blocks per week (7 days), i.e. 50m to 62.5m of the tunnel. The most complicated element of the formwork is a special extension of the traveller form in the location of an emergency lay-by. This so-called “backpack” is assembled in the



Obr. 12 Zaplavení falešného ostění pod vrchol klenby tunelové propojky
Fig. 12 Flooding the false lining under the top of the tunnel cross passage vault

jsou kladeny na beton hloubených tunelů, jiné na vyztužené, jiné na nevyztužené ostění ražených tunelů. Významnou roli přitom hraje nárůst pevnosti v počáteční fázi po betonáži a vývin hydratačního tepla. Portálové bloky betonáže nejsou po odbednění ničím podepřeny a jsou vždy vyztuženy. Aby byla po odbednění zaručena samonosnost konstrukce a nedošlo vlivem deformace k porušení soudržnosti mezi betonem a ocelí nebo nedošlo k nadměrné deformaci, byla projektem stanovena odbedňovací pevnost ve vrcholu klenby na 10 MPa.

Lepší situaci z hlediska okrajových podmínek lze očekávat u hloubených tunelů betonovaných do falešného primárního ostění rozepřeného zásypem z rubaniny nebo dokonce zaplaveného popílkem. Tímto způsobem rozepření se již konstrukce hloubených tunelů blíží okrajovým podmínkám v ražených úsecích tunelu, kdy je klenba ostění po celém obvodu uložena do primárního ostění, resp. do výrubu. Betonáž sekundárního ostění smí být podle požadavků zadávacích podmínek zahájena v okamžiku, kdy rychlost deformace primárního ostění nepřekročí 2 mm/měsíc. Pro vyztužené ostění ražených úseků tunelu je předepsána odbedňovací pevnost ve vrcholu klenby 6 MPa, pro nevyztužené ostění bylo nutné podle TKP26/2015 použít odbedňovací pevnost min. 4,5 MPa, ačkoli ZTKP stavby připouštěly odbedňovací pevnost min. 3 MPa. Podle rakouského předpisu [2] je tato hodnota již označena jako riziková z hlediska vzniku trhlin a doporučuje hodnotu pevnosti v intervalu mezi 2 MPa až max. 3 MPa.

Rychlost betonáže sekundárního ostění se pohybuje 4 až 5 bloků za týden (7 dní), což představuje 50 m až 62,5 m tunelu. Nejkomplikovanějším prvkem bednění je speciální nástavba bednicího vozu v místě nouzového zálivu. Tento tzv. „ruksak“ je v zálivu smontován po montáži samonosné výztuže a po příjezdu bednicího vozu do zálivu je k němu připevněn. Nouzový záliv šířky 14,5 m a výšky téměř 9 m je v místě zaústění tunelové propojky nejnáročnějším místem jak z hlediska bednění, tak i z hlediska montáže výztuže. Do něj se v ose bloku betonáže zaústí tunelová propojka o šířce 6 m a výšce 5,2 m. Na obr. 13 je samonosná výztuž nouzového zálivu se zaústěním do tunelové propojky a vynecháním výztuže v místě čela bloku betonáže. Vpravo stojí nástavec bednicího vozu pro bednění zálivu.

Zvláštní kapitolou v postupu betonáže ostění jsou chráničky, které slouží pro vedení kabelů k jednotlivým prvkům technologického vybavení tunelu. Chráničky jsou nejvýše v trojicích vedeny z kabelových šachet umístěných pod tunelovým chodníkem do ostění bočních stěn tunelu. Chráničky jsou ve vyztužených úsecích tunelu upevněny na výztuž ostění. V nevyztužených úsecích tunelu jsou upevněny k speciálně instalovaným ocelovým rámcům. Alternativně je možné chráničky umístit do „rukávů“

emergency lay-by after the installation of the self-supporting reinforcement and is mounted on the traveller formwork after its arrival. The 14.5m high and nearly 9m wide emergency lay-by at the mouth of the tunnel cross passage is the most complicated place both from the aspect of formwork and from the aspect of the installation of concrete reinforcement. The 6m wide and 5.2m high mouth of the tunnel cross passage is connected to the lay-by on the block axis. The self-supporting reinforcement of the emergency lay-by with the connection to the tunnel cross passage and the reinforcement omitted in the location of the casting block stop end is presented in Fig. 13. The traveller lay-by formwork extension piece stands on the right side.

A special chapter in the lining concrete casting procedure is dedicated to protective pipes used for cable lines leading to individual elements of the tunnel equipment. The protective pipes are led at the most in triads from cable shafts placed under the surface of tunnel walkways and run in the lining around the whole circumference of the tunnel. In the reinforced concrete tunnel sections the protective pipes are fixed to the lining concrete reinforcement. In unreinforced concrete tunnel sections they are fixed to specially installed steel frames. It is alternatively possible to place the protective pipes into waterproofing membrane “sleeves” torched on the tunnel waterproofing layer. In this way the quantity of concrete reinforcement is further minimised.

UNREINFORCED CONCRETE LINING, DESIGN AND CONTRACTUAL RELATIONSHIPS

Unreinforced concrete secondary lining has a long tradition in Slovakia. It was already used at the first motorway tunnel driven using the NATM, the 4975m long Branisko tunnel, which was opened to traffic in 2003. The geotechnical conditions encountered along the route of both tunnel tubes allowed for using unreinforced concrete linings even in the Považský Chlmec tunnel, in sections featuring minimum deformations and good quality ground conditions. The condition survey of each excavation face was carried out in each excavation round during the course of the tunnel excavation, with drawing the dips of geological layers and their interfaces, describing water inflows and their yields and describing the quality of the ground mass encountered. In the NTT and STT, 894 headings and even 1112 headings, respectively, were documented in this way in the top heading. According to the tunnel chainage, the corresponding condition survey was assigned to the secondary lining concrete casting blocks and



Obr. 13 Samonosná výztuž a bednění nouzového zálivu
Fig. 13 Self-supporting reinforcement and formwork of an emergency lay-by

z hydroizolační fólie natavené na tunelovou izolaci. Tím se dále minimalizuje množství výztuže v ostění.

NEVYZTUŽENÉ OSTĚNÍ, PROJEKT, PROVÁDĚNÍ A SMLUVNÍ VZTAHY

Nevyztužené sekundární ostění má na Slovensku dlouholetou tradici a bylo použito již na prvním dálničním tunelu raženém pomocí NRTM, tunelu Branisko délky 4975 m, uvedeném do provozu v roce 2003. Geotechnické poměry zastížené v trase obou tunelových trub umožnily i v tunelu Považský Chlmec v úsecích s minimálními deformacemi výrubu a kvalitním horninovým prostředím použití nevyztuženého ostění. Při ražbě tunelu byla v každém záběru prováděna pasportizace čelby se zakreslením sklonů geologických vrstev a rozhraní, popisem přítoků vody a jejich vydatnosti a popisem kvality zastížených hornin. V severní tunelové troubě bylo tímto způsobem v kalotě tunelu zdokumentováno 894 čeleb, v jižní tunelové troubě dokonce 1112 čeleb. Podle tunelového staničení byla odpovídající pasportizace čeleb přiřazena blokům betonáže sekundárního ostění a ražená část tunelu rozdělena na kvaziisohomogenní celky.

O použití nevyztuženého ostění rozhodl projektant realizační dokumentace na základě vyhodnocení kvality masivu v daném bloku betonáže, podle výsledků měření deformace výrubu a výsledků statických výpočtů. V jižní tunelové troubě s délkou raženého úseku 2120,5 m je nevyztužené ostění použito v celkové délce 1262,5 m (59,5 %), v severní tunelové troubě s délkou raženého úseku 2200 m je nevyztužené ostění použito v celkové délce 1325 m (60,2 %).

Na rozdíl od železobetonu, kde je možné vznik trhlin regulovat způsobem vyztužení průřezu, jsou u prostého betonu nástroje k omezení vzniku i vývoje šířky trhlin značně omezené. Jedná se o vhodný návrh betonové směsi, správný technologický postup provádění a vhodně zvolený okamžik odbednění a ošetřování betonu po odbednění. Návrh betonové směsi je značně závislý na možnosti využití místních zdrojů a vyladění receptury po stránce reakce cementu a chemických přísad. V případě betonu pevnostní třídy C25/30 XF2 se podařilo Ing. Mikovi z firmy Beton Bohemia nalézt recepturu s požadovaným hydratačním teplem i nárůstem pevnosti betonu v počáteční fázi po betonáži. V případě betonu C30/37 XF4, který je předepsán do vzdálenosti 300 m od portálu, byla situace vzhledem k nutnému množství cementu složitější.

Opatřením k omezení vzniku trhlin byla věnována pozornost zejména ve fázi po odbednění při ošetřování konstrukce proti tepelnému šoku a vysychání. Jako zásadní se ukázalo rozhodnutí zhotovitele použít pro omezení tepelného šoku ošetřovací vůz délky 25 m (dva bloky betonáže), který je tažen bezprostředně za bednicím vozem a chrání konstrukci v okamžiku, kdy hydratační teplo dosahuje maximálních hodnot. Ošetřovací vůz tvoří ocelová konstrukce, na kterou je připevněna tepelně izolační fólie. Na

the mined tunnel section was divided into quasi-homogeneous units.

The author of the design of means and methods decided on the use of the unreinforced concrete lining on the basis of the assessment of ground mass quality in particular concrete casting blocks, according to the results of measurements of deformations of the excavated opening and results of structural analyses. In the STT, where the mined section is 2120.5m long, the unreinforced concrete lining is used at the total length of 1262.5m (59.5 %), in the NTT, where the mined section is 2200m long, the unreinforced concrete lining is applied to the total length of 1325m (60.2 %).

In contrast with reinforced concrete, where the origination of cracks can be regulated by the design of the cross-section reinforcement, the tools for restricting the origination and development of the width of cracks are significantly limited. They comprise an appropriate design of concrete mixture, a correct technological procedure of works, an appropriately chosen moment of stripping and curing the concrete after stripping. The concrete mixture design is significantly dependent on the possibility of using local sources and tuning the formulae from the aspect of the reaction of cement and chemical agents. In the case of the C25/30 XF2 concrete grade, Ing. Míka from Beton Bohemia managed to find formulae with required hydration heat and concrete strength build-up in the initial phase after casting the concrete. In the case of the C30/37 XF4 concrete grade, which is prescribed up to the distance of 300m from the portal, the situation was more complicated due to the necessary amount of cement.

Measures designed to restrict the origination of cracks were paid attention mainly in the phase after stripping the formwork, during curing of the concrete structure designed to prevent thermal shocks and drying out. Contractor's decision to use a 25m long concrete curing travelling scaffold which was towed immediately behind the traveller formwork and protected the structure at the moment when the heat of hydration reached maximum values, turned out to be crucial. The concrete curing travelling scaffold is formed by a steel structure with a thermally insulating membrane attached to it. At the beginning, in the middle and at the end of the scaffold there are inflatable collars installed around the whole circumference (see Fig. 14). When the curing scaffold setting is finished, the collars are inflated, thus the space between the thermally insulating membrane and the tunnel lining is sealed. The microclimate created in this way protects the structure against rapid cooling and drying out. Taking into consideration the fact that one concrete casting cycle from setting the travelling formwork into position through casting concrete, the required strength build-up and formwork stripping takes ca 30-35 hours, each concrete casting block is protected for 60 to 70 hours after stripping.

Even though unreinforced linings have already been used in Slovakia in several tunnels, no rules exist yet to define the conditions when the structure is handed by the contractor over to the client as far as the origination and development of cracks is concerned. With respect to the fact that the measures designed to restrict them are limited, their origination is, for the above-mentioned reasons, virtually unavoidable. Their existence is in the majority of the cases without negative impacts on the load-carrying capacity or the utility function of the lining. Defining the rules for the structure handover/takeover represents rather making administrative



Obr. 14 Ošetřovací vůz pro snížení teplotního šoku
Fig. 14 Concrete curing travelling scaffold for reducing the thermal shock

začátku, v prostředku a na konci vozu jsou po celém obvodu nainstalovány nafukovací manžety, jak ukazuje obr. 14. Po ustavení ošetřovacího vozu jsou manžety nafouknuty, a tak utěsněn prostor mezi tepelně izolační fólií a ostěním tunelu. Vzniklé mikroklima chrání konstrukci jak před rychlým ochlazením, tak před vysycháním. Vzhledem k tomu, že jeden cyklus betonáže od ustavení bednicího vozu přes betonáž, požadovaný náběh pevnosti a odbednění trvá cca 30–35 hodin, je každý blok betonáže chráněn 60 až 70 hodin po odbednění.

I když je nevyztužené ostění na Slovensku použito již na na více tunelech, neexistovala až do konce roku 2016 pravidla, která by definovala podmínky při převzetí konstrukce mezi objednatel a zhotovitelem z hlediska vzniku a rozvoje šířky trhlin. Vzhledem k tomu, že opatření k jejich omezení mají své limity, jejich vznik je z dříve uvedených důvodů prakticky nevyhnutelný a jejich existence je v převážné většině případů bez negativního dopadu na nosnou či užitnou funkci ostění, představuje definování pravidel pro předání/převzetí konstrukce spíše administrativní zprůhlednění vztahů ve výstavbě. Kritéria pro přípustnou šířku trhliny nevyztuženého ostění lze najít i v zahraničních směrnících pro projektování a provádění tunelů [3], [4], [6], [7], [8], [9]. Zadavatel těmito kritérii deklaruje, že mu je problematika vzniku trhlin známá a jejich existenci v definovaném rozsahu připouští. Zhotovitel tím bere na vědomí, že je povinen v možné míře vznik a vývoj trhlin pomocí opatření při výstavbě omezit a v případě jejich nadlimitního množství či šíře provede na své náklady jejich sanaci.

V České republice tato diskuse proběhla v souvislosti s prováděním nevyztuženého ostění na tunelu Libouchec na dálnici D8, který byl uveden do provozu v roce 2006. Kritéria vzniku a vývoje trhlin nevyztuženého ostění, která tehdy vznikla jako konsenzus projektanta realizační dokumentace a zástupců ŘSD ČR, byla v obdobném znění implementována do revize technicko-kvalitativních podmínek TKP18 Beton pro konstrukce z ledna 2016 [5].

ZÁVĚR

Sekundární ostění tunelu Považský Chlmec je navrženo na základě vyhodnocení informací o geotechnických poměrech v trase tunelu získaných po jeho vyražení. Šířkové uspořádání tunelu kategorie T2-8 s šířkou komunikace 8 m, optimalizace tvaru tunelu provedená v počátečních projekčních pracích a s ní spojené příznivější namáhání tunelového ostění zvýšilo šanci na použití nevyztuženého ostění, které je v tunelu nasazeno na 60 % délky jeho ražených úseků. I přes velké obavy zástupců stavebního dozoru ze

relationships in construction more transparent. Criteria for the allowable width of a crack in an unreinforced concrete lining can be found even in foreign directives on designing and constructing tunnels [3], [4], [6], [7], [8], [9]. Through these criteria the contracting entities declare that the problems of the origination of cracks are known to them and their existence within the defined scope is acceptable for them. By accepting the criteria the contractors note that they are obliged to restrict the origination and development of cracks during the course of the construction to the extent possible and, in the case of their amount or width exceeding the limits, to repair them at their own cost.

In the Czech Republic this discussion took place in the context of the construction of the unreinforced concrete lining in the Libouchec tunnel on the D8 motorway, which was opened to traffic in 2006. The criteria for the origination and development of cracks in unreinforced concrete liners originated then as a consensus between the author of the design of means and methods and representatives of the Road and Motorway Directorate of the Czech Republic. They were implemented in similar wording into the review of technical and quality specification TKP18 for structural concrete from January 2016 [5].

CONCLUSION

The Považský Chlmec tunnel secondary lining is designed on the basis of the assessed information on geotechnical conditions along the tunnel route gathered after the completion of the tunnel excavation. The tunnel roadway configuration T2-8 with the roadway width of 8m, the optimisation of the tunnel cross-sectional geometry carried out at the beginning of the work on the design and the more favourable stressing of the tunnel lining associated with it increased the chances of using the unreinforced concrete lining, which has been implemented to 60% of the length of the tunnel length. Despite the great concern of representatives of the Engineer of the formation of cracks in the unreinforced lining, cracks in the lining have been successfully virtually eliminated during the initial months after casting the concrete owing to the correctly designed concrete formulae and adherence to the construction procedure.

The cracks in the lining may have even a structural cause. The secondary lining concrete is cast after the stabilisation of the deformations of the primary lining. The tunnel lining is designed for the rock pressure which is currently transferred by the primary lining and which would start to act on the lining in the case of the degradation of the primary lining and anchors reinforcing the rock ring in the excavation surroundings. The primary lining quality tests conducted on samples taken from linings of Austrian tunnels in the context of the construction of second tunnel tubes show that sprayed concrete is in very good condition even after 30 years after the tunnel opening to traffic [10] and the primary lining is still capable of transferring rock pressures. It is therefore a question when the secondary lining will really be loaded by the combinations of the loads assumed in structural analyses.

After the optimisation of the technical solution the number of concrete casting blocks in the STT was reduced from 222 to 175 and in the NTT from 229 to 180. The number of emergency lay-bys was reduced from three to two. The experience of HOCHTIEF CZ a. s. with constructing tunnels abroad

vzniku trhlin v nevyztuženém ostění se daří díky správně navržené receptuře betonu a dodržování technologického postupu výstavby trhliny v ostění v prvních měsících po betonáži prakticky eliminovat.

Trhliny v ostění mohou mít i statickou příčinu. Betonáž probíhá po ustálení deformací primárního ostění. Ostění tunelu je dimenzováno na horninový tlak, který je v současné době přenášen primárním ostěním a který by na ostění dolehl v případě degradace primárního ostění i kotev vyztužujících nosný horninový prstenec v okolí výrubu. Zkoušky kvality primárního ostění prováděné na vzorcích odebraných z ostění rakouských tunelů v souvislosti s výstavbou druhých tunelových trub ukazují, že stříkaný beton je i po 30 letech po uvedení tunelu do provozu ve velmi dobré kondici [10] a primární ostění je schopné horninový tlak přenášet. Je proto otázkou, kdy bude sekundární ostění skutečně zatíženo kombinacemi zatížení předpokládanými ve statickém výpočtu.

Po optimalizaci technického řešení se oproti zadávací dokumentaci snížil počet bloků betonáže v JTT z 222 ks na 175 ks a v STT z 229 ks na 180 ks. Počet nouzových zálivů se snížil ze tří na dva. Při výstavbě jsou uplatňovány zkušenosti firmy HOCHTIEF CZ a. s. s prováděním tunelů v zahraničí a při návrhu technologických postupů projektant i zhotovitel spolupracují se specialisty z mateřské firmy v SRN.

Tunel Považský Chlmec realizuje pro investora NDS a. s. firma HOCHTIEF CZ a. s.. Geotechnický monitoring po dobu výstavby provádí firma ARCADIS CZ a.s., stavební dozor investora zajišťuje sdružení firem EUTECH&ESP&MULLER&API-D3. Geodetické práce při ražbě i betonáži sekundárního ostění provádí firma Angermeier Engineers, s.r.o. a návrh betonové směsi i konzultace při realizaci poskytuje firma BETON Bohemia ZL s. r. o. Realizační dokumentaci zpracovává projekční složka firmy HOCHTIEF CZ a. s. Funkci geotechnického dozoru na stavbě během ražeb prováděla firma 3G Consulting Engineers s.r.o. Pohled přes portálový blok směrem k estakádě přes Hričovskou vodní nádrž (obr. 15) ukazuje náročnost staveb na úseku dálnice D3 Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) a je symbolickým příslibem zdárného dokončení díla.

*Ing. LIBOR MAŘÍK, Libor.Marik@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s.*

*Recenzovali Reviewed: prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.,
prof. Ing. Matouš Hilar, MSc., Ph.D.*



*Obr. 15 Portál tunelu a návaznost na estakádu přes Hričovskou vodní nádrž
Fig. 15 The tunnel portal and continuation to the viaduct over Hričov water reservoir*

was applied during the construction and the designer and the contractor collaborate with specialists from the mother company in the FRG.

The Považský Chlmec tunnel is realised by HOCHTIEF CZ a. s. for the project owner, NDS a. s. (National Motorway Company). Geotechnical monitoring during the construction works is carried out by ARCADIS CZ a.s., client's site supervision is ensured by a consortium of companies EUTECH&ESP&MULLER&API-D3. Surveying is carried out during the excavation and casting of secondary lining concrete by Angermeier Engineers, s.r.o. and concrete mixture is designed and consultancy during the realisation is provided by BETON Bohemia ZL s. r. o. The design of means and methods is carried out by the designing organisational unit of HOCHTIEF CZ a. s. The function of geotechnical supervision on the site during the tunnel excavation was performed by 3G Consulting Engineers s.r.o. A view through the portal block toward the viaduct over Hričov water reservoir (see Fig. 15) documents the demands of structures on the Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) section of the D3 motorway and is a symbolic promise of the successful completion of the works.

*Ing. LIBOR MAŘÍK, Libor.Marik@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] Technicko-kvalitatívne podmienky MDVRR SR, TKP časť 26 Tunely, 07/2015
- [2] Richtlinie Innenschalenbeton, Österreichische Bautechnik Vereinigung, 12/2012
- [3] Richtlinie 853 – Eisenbahntunnel planen, bauen und instand halten, DB Netz AG, 01/2013
- [4] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING, Teil 5 Tunnelbau, Abschnitt 1 Geschlossene Bauweise. Bundesanstalt für Bauwesen, 12/2014
- [5] Technické kvalitatívne podmienky staveb pozemných komunikácií, Kapitola 18 Betonové konstrukce a mosty. Ministerstvo dopravy, odbor pozemných komunikácií, leden 2016
- [6] Richtlinie Bewertung und Behebung von Fehlstellen bei Tunnelinnenschalen. Österreichische Vereinigung für Beton- und Bautechnik, April 2009
- [7] Empfehlungen zu Ausführung und Einsatz unbewehrter Tunnelinnenschalen, Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen (DAUB) – Arbeitskreis „Unbewehrte Tunnelinnenschalen“ – Stand: 24. April 2007
- [8] Kriterien für die Anwendung von unbewehrten Innenschalen für Straßentunnel, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brücken- und Ingenieurbau, Heft B92, April 2013
- [9] PÖTTLER, R. Die unbewehrte Innenschale im Felstunnelbau – Standsicherheit und Verformung im Rissbereich. *Beton- und Stahlbetonbau*, Juni 1993
- [10] VOGEL, F., SOVJÁK, R., HOLČAPEK, O., MAŘÍK, L., ŠACH, J. Experimental Study of Primary Lining Tunnel Concrete after Thirty Years of Operation. *Applied Mechanics and Materials*. Vol. 732, pp. 403-406, Feb. 2015

FOTOREPORTÁŽ ZE SLAVNOSTNÍHO OTEVŘENÍ DÁLNIČE D8 LOVOSICE – ŘEHLOVICE

PICTURE REPORT FROM D8 LOVOSICE – ŘEHLOVICE MOTORWAY INAUGURATION



Obr. 1 Slavnostní přestřižení pásy
Fig. 1 Ribbon cutting ceremony



Obr. 2 Pozvaná veřejnost při prohlídce díla
Fig. 2 The invited public during the visit to site



Obr. 3 Dokončený tunel Radejčín
Fig. 3 Completed Radejčín tunnel



Obr. 4 Pohled na portály tunelů Prackovice a Radejčín propojené mostem
Fig. 4 Views of the Prackovice and Radejčín tunnel portals interconnected by the bridge



Obr. 5 Pražský portál tunelu Radejčín
Fig. 5 Prague portal of the Radejčín tunnel



Obr. 6 Pohled na část dokončeného díla
Fig. 6 A view of the completed working

FOTOREPORTÁŽ Z VÝSTAVBY TUNELA OVČIARSKO

PICTURE REPORT FROM THE CONSTRUCTION OF THE OVČIARSKO TUNNEL



Obr. 1 Armatúra hornej klenby
Fig. 1 Upper vault concrete reinforcement



Obr. 2 Armovanie priečného prepojenia PPI
Fig. 2 Cross passage PPI – installation of concrete reinforcement



Obr. 3 Betonáž hĺbenej časti spodnej klenby (južná tunelová rúra)
Fig. 3 Casting of the cut-and-cover part of the concrete invert (southern tunnel tube)



Obr. 4 Hydroizolácie hornej klenby
Fig. 4 Waterproofing of the upper vault



Obr. 5 Montáž armatúry hornej klenby
Fig. 5 Installation of concrete reinforcement of the upper vault



Obr. 6 SOS výklenok
Fig. 6 SOS niche

FOTOREPORTÁŽ Z VÝSTAVBY TUNELOV POĽANA A ŽILINA

PICTURE REPORT FROM THE CONSTRUCTION OF THE POĽANA AND ŽILINA TUNNELS



Obr. 1 Tunel Poľana – pohľad na východný portál
Fig. 1 Poľana tunnel – a view of the eastern portal



Obr. 2 Tunel Poľana – pohľad na západný portál
Fig. 2 Poľana tunnel – a view of the western portal



Obr. 3 Tunel Žilina – pohľad na východný portál
Fig. 3 Žilina tunnel – a view of the eastern portal



Obr. 4 Tunel Žilina – slávnostná prerážka južnej tunelovej rúry dňa 5. 12. 2016

Fig. 4 Žilina tunnel – southern tunnel tube breakthrough celebration on 5th December 2016



Obr. 5 Tunel Žilina, južná tunelová rúra – profilovanie tunela
Fig. 5 Žilina tunnel, southern tunnel tube – tunnel excavation profiling



Obr. 6 Tunel Žilina, južná tunelová rúra – sekundárne ostenie (armovanie spodnej klenby)

Fig. 6 Žilina tunnel, southern tunnel tube – secondary lining (placing the invert concrete reinforcement)

SŽDC V DATECH

1. ledna 2003 od 1. ledna 2004	Vznik Správy železniční dopravní cesty Investorsko-inženýrská činnost pro železniční projekty (přechod stavebních správ ČD pod SŽDC)
od 1. května 2004 od 1. července 2008 od 1. září 2011	Přidělování kapacity dopravní cesty Provozování dráhy (mj. sestavování a vydávání jízdních řádů) Obsluha dráhy a řízení železničního provozu (SŽDC se stává plnohodnotným manažerem železniční infrastruktury v ČR)
od 1. července 2016	Správa nádražních budov převzatých v rámci prodeje části závodu od ČD

SŽDC ZAJIŠŤUJE

- provozování železniční dopravní cesty,
- provozuschopnost železniční dopravní cesty,
- rozvoj a modernizaci železniční dopravní cesty,
- údržbu a opravy železniční dopravní cesty,
- přípravu podkladů pro sjednávání závazků veřejné služby,
- kontrolu užívání železniční dopravní cesty, provozu a provozuschopnosti dráhy.

ŽELEZNIČNÍ SÍŤ SŽDC

Délka tratí celkem	9 463 km
Délka elektrizovaných tratí	3 217 km
Délka tratí normálního rozchodu	9 440 km
Délka úzkorozchodných tratí	23 km
Délka jednokolejných tratí	7 497 km
Počet výhybkových jednotek	23 278
Počet mostů	6 799
Počet tunelů	164
Celková délka mostů	153 670 m
Celková délka tunelů	45 745 m
Počet železničních přejezdů	7 961



Správa železniční dopravní cesty, státní organizace
Dlážděná 1003/7
110 00 Praha 1
tel.: +420 222 335 911
http://www.szdc.cz
e-mail: info@szdc.cz

Modernizace trati Rokycany–Plzeň

Stavba je součástí modernizace 3. tranzitního železničního koridoru – západní část. Účelem modernizace je především dosažení vyšších technických parametrů trati, včetně zkrácení jízdní doby vlaků, zvýšení bezpečnosti železničního provozu a zvýšení komfortu pro cestující.

Navrženým směrovým a výškovým vedením trasy a z toho vyplývajícími stavebními úpravami se současná trať mezi Rokycany a Plzní tak pomocí tunelu zkrátí z původní délky 20,2 km o více než šest kilometrů. Jízdní doba pro vlaky s naklápěcí skříňi s rychlostmi až 160 km/hod. sníží na polovinu z dnešních 20 minut. Prioritním cílem koridorových staveb na úseku z Prahy do Plzně je dosáhnout jízdní doby pod jednu hodinu z hl. n. v Praze na hl. n. v Plzni a též v opačném směru. V úseku Rokycany–Plzeň se předpokládá oproti současnému stavu časová úspora cca 9 minut.

Stěžejní záležitostí je výstavba tunelu Ejovice, který je tvořen dvěma jednokolejnými tunelovými troubami (severní a jižní), propojených spojovacími chodbami. Tunel vede pod terénními útvary Homolka a Chlum a jeho délka od východního (vjezdového) portálu k západnímu (výjezdovému) činí zhruba 4 150 m. V únoru 2015 byly zahájeny ražby pomocí razicího stroje TBM S-799 – „Viktorie“, jenž má průměr rezné hlavy téměř 10 metrů. Měří přes 114 metrů a váží přibližně 1800 tun. První, jižní tunelová trouba byla prorazena v červnu 2016, poté byl stroj demontován a ve vjezdovém portálu znovu zkompletován. Ražby severní tunelové roury začaly v září 2016. Tunely budou vybaveny pevnou jízdní dráhou, pro niž se nyní v jižní troubě provádí podkladní betonáž.

Modernizace se dotýká všech železničních zařízení, postaveny či rekonstruovány byly mosty a propustky, vystaveny protihlukové stěny, nová nástupiště mají bezbariérový přístup a jsou opatřena pruhy pro slabozraké. Stanice a zastávky budou vybaveny novým osvětlením a informačním zařízení pro cestující. Pro zajištění plynulosti a bezpečnosti železničního provozu bylo vybudováno nové staniční a traťové zabezpečovací zařízení s možností dálkového ovládní a tomu odpovídající výstavba sdělovacího a přenosového zařízení. Provoz bude v budoucnu řídit dispečer z centrálního pracoviště v Praze.



Operační program
Doprava



Evropské unie
Investice do vaší budoucnosti
Fond soudržnosti



Ministerstvo dopravy



Objednatel Správa železniční dopravní cesty, státní organizace, zastoupená Stavební správou západ

Zhotovitel Sdružení MTS + SBT – MTÚ Rokycany – Plzeň (Metrostav a.s. – Subterra a.s.)

Projektant SUDOP PRAHA a.s.

Technický dozor investora na stavbě Sdružení Inženýring dopravních staveb a.s. – SATRA spol. s r.o.

Zhotovitel geotechnického monitoringu Sdružení GEOTest, a.s. – Angermeier Engineers, s.r.o.

Stavba je spolufinancována Evropskou unií z Fondu soudržnosti v rámci Operačního programu doprava ve výši 76,44 % ze způsobilých nákladů stavby, což činí v maximální míře 3 419 440 199 Kč. Národní spolufinancování je zajištěno z prostředků Státního fondu dopravní infrastruktury.



TUNEL ŽILINA NA DÁLNICI D1,
ZAJIŠTĚNÍ RÁŽEB TUNELU, 2016



TUNELY EJPOVICE NA ŽELEZNIČNÍ TRATI
PRAHA–PLZEŇ, ZAJIŠTĚNÍ PORTÁLŮ TUNELŮ, 2016



METRO TRASY B, STANICE ANDĚL,
VÝTAHOVÁ ŠACHTA, 2014

ZAKLÁDÁNÍ STAVEB, A. S.
K JEZU 1
143 01 PRAHA 4
WWW.ZAKLADANI.CZ

AZCONSULT®

1992 - 2017



25 LET V OBORU:

- Geotechniky a inženýrské geologie
- Geotechnického monitoringu
- Hydrogeologie a vodního hospodářství
- Ochrany životního prostředí
- Projektování geotechnických staveb
- Projektování vodohospodářských a dopravních staveb



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

www.azconsult.cz
tel: 475240888 email: azconsult@azconsult.cz



Spôľahlivosť



Zodpovednosť



Skúsenosť



Odbornosť



Stavebný dozor pre projekt
Diaľnica D1 Lietavská Lúčka – Višňové
– Dubná Skala

Verejné obstarávanie

Inžinierska a projekčná činnosť

Stavebný dozor

Partner pre vaše stavby

ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

MOZAIKA ZE SVĚTA

■ Tunel Küblis otevřen

V červnu 2016 byl po osmi letech výstavby otevřen 3350 m dlouhý silniční obchvat městečka Küblis, jehož součástí je 2255 m dlouhý obousměrný tunel. Jde o významné opatření, které zlepší příjezd z údolí Rýna do švýcarských alpských středisek Kloster a Davos.

Ražby tunelu probíhaly od roku 2008 do března 2013. Tunel byl ražen konvenčně s výjimkou hloubených úseků u portálů celkové délky 265 m a úseku, kde trasa tunelu kříží erozní rýhu vytvořenou místní vodotečí. Rýha je zaplněna nesoudržným materiálem a nadloží tunelu zde klesá až na 5 m. Prostor ražby zde byl zabezpečen dvěma řadami pilot, na kterých byla uložena monolitická železobetonová deska, pod kterou pak probíhala ražba.

Ve vzdálenosti 30 m od hlavního tunelu byla souběžně vyražena úniková štola délky 2015 m, její ražba v křížení s erozní rýhou byla zabezpečena stejným způsobem jako u hlavního tunelu.

■ Poslední prorážka na první etapě tunelů metra v Dohá

První etapa metra v hlavním městě Kataru Dohá zahrnuje 111 km tunelů a jejich ražba byla zakončena poslední prorážkou dne 25. září 2016 na červené trase. Celkový počet prorážek na třech současně budovaných trasách (zelená, žlutá, červená) tak dosáhl počtu 76. Ražby probíhaly od srpna 2014 do září 2016 a bylo při nich nasazeno 21 tunelovacích strojů dodaných

firmou Herrenknecht. V Guinnessově knize rekordů mohlo být zapsáno, že největší počet strojů současně na stavbě pracujících byl 20 a během jednoho týdne vyrazily až 2,5 km tunelů metra.

Uvedení do provozu první etapy se plánuje v roce 2020.

■ ITA-AITES WG 19: Konvenční tunelování

Dvě upozornění týkající se výše uvedené ITA pracovní skupiny: především z funkce dlouholetého vedoucího (animateura) této skupiny odstoupil Dipl.-Ing. Heinz Ehrbar, jeho pozici zaujal Mr. Nasri Munfah z USA.

Dále – ITA WG 19 vydala v dubnu 2016 společně s ITA WG 14 (Mechanizované tunelování) svoji třetí publikaci v posledních deseti letech: *Recommendations on the Development Process for Mined Tunnelling (Doporučení pro uplatnění metod ražby tunelů)*. Dokument je zpracován s ohledem na investory, kteří nemají hlubší zkušenosti s přípravou a prováděním tunelových staveb. Ukazuje jim, jak multidisciplinární je problematika přípravy podzemních staveb a jak může být nevhodně ovlivněna rozhodnutími přijatými v počáteční fázi přípravy stavby, kdy ještě chybí řada důležitých údajů o prostoru, ve kterém bude podzemní stavba umístěna.

■ Světlá barva povrchu vozovky v tunelu zvyšuje bezpečnost

V Lucemburku byly v minulém roce dva městské tunely vybaveny výrazně světlým povrchem vozovky, což vedle zvýšení bezpečnosti provozu také vede k úsporám elektrické energie

potřebné pro tunelové osvětlení. V tunelu Grouft délky 3 km bylo během čtyř dní položeno 59 tis. m² vrstvy světlého asfaltu tl. 3 cm a v tunelu Stafelter bylo během dvou dnů položeno 30 tis. m².

Základním materiálem pro světluou vrstvu je určitý druh křemence rozdrobený a vytříděný do zrnitosti 5/8 mm. Ten tvoří 58 % směsi, do které se dále přidává světlý písek a titanová běloba coby pigment (kysličník titaničitý).

Pokládka probíhá za použití běžných finišerů, válců a dalších nástrojů či zařízení, přičemž všechno včetně obuvi pracovníků musí být pečlivě před použitím vyčištěno.

Při použití tmavé živice se efekt bílé vozovky projevuje až po několika měsících provozu, protože povrchová vrstva musí být obroušena provozem automobilů. Proto jako pojivo byl vybrán bezbarvý materiál na bázi pryskyřice.

■ Rekonstrukce ostění tunelu Zuben v sedle Grimsel

Na komunikaci přes sedlo Grimsel ve výšce přes 2100 m n. m., kde se stýkají švýcarské kantony Bern a Valis, byl v šedesátých letech 20. století postaven tunel Zuben. Jeho betonové ostění bylo již značně poškozené, a proto se přistoupilo k zásadní rekonstrukci, při které se použil vlákny vyztužený beton, z větší části stříkaný.

Nejprve byly odstraněny degradované části starého ostění, jehož výztuž byla očištěna a ošetřena nebo v případě nutnosti nahrazena výztuží novou. Současně byla instalována nová vodonepropustná membrána.

Pro výztuž stříkaného betonu byla použita syntetická vlákna, která jsou rezistentní proti účinkům podzemní vody obsahující soli. Vlastnosti použitých vláken byly podrobeny komplexním zkouškám, které prokázaly odolnost proti koroznímu namáhání, kterému bude nové ostění tunelu vystaveno. Použita byla také samozhutnitelná betonová směs vyztužená vlákny průměru pouze 0,5 mm, kterou bylo možné čerpat za tunelové bednění pro vytvoření lícové vrstvy ostění minimální tloušťky 6 cm.

■ Opět rekord firmy Herrenknecht

Firma Herrenknecht pokračuje v konstrukci tunelovacích strojů rekordních průměrů řezné hlavy. Po EPBS o průměru 15,62 m, který byl nasazen na tunelu Sparvo na dálnici mezi Florencií a Bolognou, byl na konci srpna 2016 italským investorem převzat ve Schwanau stroj o průměru 15,87 m, který by měl během tří let vyrazit 7528 m dlouhý tunel Santa Lucia v Apeninách poblíž Florencie.

Tunel patří mezi 44 nových tunelů, které budou součástí nové trasy dálnice A1. Ta zkrátí jízdní dobu mezi Florencií a Bolognou o 30 % a s jejím otevřením se počítá v roce 2019.

■ Izrael staví „protitunelovou“ stěnu

Izrael chce zabránit, aby Hamás ohrožoval izraelské území pomocí tunelů budovaných pod společnou hranicí. Proto se rozhodl, že vybuduje podél ní 59 km dlouhou betonovou podzemní stěnu hlubokou několik desítek metrů. Stěna bude vybavena senzory schopnými detekovat případnou ražbu nových tunelů.

■ Letitý TBM tunelovací stroj firmy Robbins stále pracuje

Začátkem září 2016 zahájil TBM o profilu 6,2 m vyrobený firmou Robbins v roce 1980 ražbu prvního 8,5 km dlouhého úseku nové sítě kmenových stok v podloží města Indianapolis v USA. Celkově se bude ve vápencích a dolomitech razit 28 km tunelů.

Poprvé byl stroj nasazen v roce 1980 na stavbě metra v New Yorku, pak pracoval například v Massachuttes nebo v Kanadě. Až TBM dokončí současný projekt v Indianapolis, což se předpokládá v roce 2024, bude mít za sebou ražbu celkem 51 km tunelů ve skalních horninách.

V období od prvního nasazení bylo TBM samozřejmě několikrát rekonstruováno a modernizováno.

■ Postup ražby železničního tunelu Rastatt u Karlsruhe

Jak jsme informovali v Tunelu č. 3/2016, ražba prvního ze dvou jednokolejných železničních tunelů Rastatt byla zahájena koncem května 2016. Tunely se razí ve velmi nepříznivých podmínkách nejen geotechnických, ale i místních – podchází se zástavba, dálnice, železniční trať i přírodní rezervace.

V polovině září bylo na prvním tunelu vyraženo 1000 m z celkové délky 4270 m při průměrném denním výkonu 11 m.

Po startu stroj prošel blokem zeminy zpevněné tryskovou injektáží a pak po 100 m úspěšně podtuneloval dálnici č. 36. Od TM 380 do TM 580 zdárně podešel prostor přírodní rezervace Federbach, kterou tvoří terénní deprese s hladinou podzemní vody většinou v úrovni terénu. Nadloží tunelu zde klesá až na 4,2 m. V tomto úseku byla ražba chráněna „střechou“ vytvořenou zmrazením zeminy. Vrty pro zmrazování byly prováděny z povrchu nad osou tunelu. Vrty byly vedeny šikmo na obě strany pod úklonem asi 45°, takže výsledné zabezpečení nadloží tunelu má tvar sedlové střechy.

Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ,
mila_novotny@volny.cz

TUNEL KARL-FRIEDRICH-STRASSE V KARLSRUHE – RAŽBA TUNELU V PŘETLAKU KARL-FRIEDRICH-STRASSE TUNNEL IN KARLSRUHE – COMPRESSED AIR TUNNELLING

The work on the project to relocate tramway routes in the central part of the city has been underway since 2010. The construction has been realised by BeMo Tunnelling GmbH. The works completion is planned for the end of 2017; the project owner is Karlsruher Schieneninfrastruktur GmbH (KASIG). The project comprises seven underground stops, eight at-grade stops and 4.6km of mostly double-track tunnels. Of the total length of the tunnelling work, 2050m have been finished under Kaiserstraße Street using a 9.3m-diameter TBM and a segmental lining system. The remaining sections are being realised as cut-and-cover structures, with one exception – the tunnel under Karl-Friedrich-Straße Street. The profile of the mined tunnel is irregular (a funnel). The purpose is to provide the expansion of the profile allowing

the entrance to Marktplatz station. It will be a cut-and-cover station of the underground tramway under the central historic square in Karlsruhe. The whole length of the mined section amounts to 250m. The excavation is being carried out through saturated gravel-sand; the overburden is a mere 3.50m high. A masonry sewer 1.6m high runs along the length of ca 150m at a minimum distance above the tunnel top heading crown. The tunnel excavation is carried out using the NATM. With respect to the above-mentioned extreme conditions, the compressed air tunnelling system is applied during the excavation of the top heading (0.9bar) and during the excavation of the bottom (1.25bar). The whole working forms one caisson/pressurised section throughout its length. The purpose of creating the overpressure is, apart



Obr. 1 Tunel Karl-Friedrich-Strasse v Karlsruhe
Fig. 1 Karl-Friedrich-Strasse Tunnel in Karlsruhe

from other things, even to prevent, respectively control the groundwater ingress into the excavation. On the other hand, it is necessary to maintain capillary water in the surrounding gravel-sand massif so that its load-carrying capacity is not reduced. Apart from BeMo miners, even a mining crew and a technical supervision team from Subterra a.s. participate in the tunnel excavation. The end of the tunnel excavation activities is planned for the end of March 2017. The installation of the secondary lining in this section is planned to commence from April 2017.

V Karlsruhe probíhá od roku 2010 výstavba přeložení tramvajových tras v centrální části města do podzemí. Stavbu realizuje firma BeMo Tunnelling GmbH. Ukončení projektu je plánováno ke konci roku 2017, investorem stavby je Karlsruher Schieneninfrastruktur GmbH (KASIG).

Stavba je tvořena celkem sedmi podzemními a osmi nadzemními zastávkami a 4,6 km převážně dvoukolejných tunelů. Z celkové délky ražeb bylo již 2050 m pod ulicí Kaiserstraße dokončeno za pomoci TBM o průměru 9,3 m při použití ostění z tubingů. Zbývající úseky jsou realizovány jako hloubené s jednou výjimkou.

Tuto výjimku tvoří tunel pod ulicí Karl-Friedrich-Straße, kde kvůli místním podmínkám není možná realizace hloubeného tunelu a tunel se aktuálně razí v přetlaku za použití NRTM. Profil raženého tunelu je nepravidelný (trychtýř) – jedná se o rozšíření pro vjezd do stanice Marktplatz, což bude hloubená stanice podzemní tramvaje pod centrálním historickým náměstím v Karlsruhe. Ražený tunel se z jedné strany téměř dotýká základů historické budovy hotelu Kaiserhof a z druhé strany základů budovy policejního ředitelství spolkové země Bádensko-Württembersko. Délka celé ražené části je 250 m, ražba je prováděna ve zvodněných štěrkopiscích, výška nadloží je pouhých 3,50 m. S minimálním odstupem od vrcholu kaloty tunelu je v délce cca 150 m uložen zděný kanalizační řád o výšce 1,6 m (obr. 1).

Ražba za použití NRTM probíhá kvůli těmto extrémním podmínkám v přetlaku, při ražbě kaloty s hodnotou 0,9 bar a při ražbě dna s hodnotou 1,25 bar. Celé dílo je tak v celé své délce jeden kesonový/přetlakový úsek. Účelem vytvoření přetlaku je mimo jiné i zabránění, resp. kontrola vnikání vody do díla, zároveň je ale nutno zachovat kapilární vodu v okolním štěrkopískovém masivu tak, aby nedošlo ke ztrátě jeho únosnosti.

Ražba je prováděna pod ochranným pilotovým deštníkem z injektovaných ocelových pilot délky 19 m a průměru 14 cm. Ražba probíhá strojně a je dělená při postupu na levou kalotu, levou spodní lávku, zpětný zásyp levé spodní lávky, pravou kalotu a pravou spodní lávku. Délka záběrů je 1 m. Čelba je kotvena 11 m dlouhými IBO kotvami, které jsou vždy po odtěžení záběru kráceny a znovu aktivovány, případně doplněny o další kotvy. Min. tloušťka primárního ostění ze stříkaného betonu a dvou vrstev KARI sítě je 40 cm. Z důvodu vysokého požárního nebezpečí pracoviště v přetlaku nejsou povoleny ani dieselové motory a veškerá mechanizace má pohon výhradně na elektrický proud.

Vedle razičů z BeMo se na ražbách v přetlaku podílí i osádka razičů a technický dozor ze společnosti Subterra a.s. Konec ražeb je plánován na konec března 2017, od dubna 2017 je následně v tomto úseku plánována realizace sekundárního ostění.

Ing. JIŘÍ PATZÁK, Subterra a.s., Divize 1

OFICIÁLNÍ ŠVÝCARSKÁ PAMĚTNÍ MINCE NA ZAHÁJENÍ PROVOZU GOTTHARDSKÝM BÁZOVÝM TUNELEM OFFICIAL SWISS COMMEMORATIVE COIN DEDICATED TO THE INAUGURATION OF THE GOTTHARD BASE TUNNEL

The Swiss mint in Bern strikes every year a small amount of official commemorative coins with carefully selected themes. On the basis of this principle, it was not possible to disregard such an important event as the inauguration of the Gotthard Base Tunnel in 2016. On the obverse of this coin in silver, there is the northern portal of the tunnel (Erstfeld) with a train exiting from it, whilst the southern portal (Bodio), again with an exiting train, is depicted on the golden coin. The nominal value, the year of issue and the name and symbol of the Swiss Confederation are imprinted on the reverse of both coins.

Každým rokem vyrazí Švýcarská mincovna v Bernu malé množství oficiálních pamětních mincí s pečlivě vybranými náměty. Na základě této zásady nebylo možné pominout tak



Obr. 1 Švýcarská pamětní mince
Fig. 1 Swiss commemorative coin

významnou událost, jakou bylo uvedení Gotthardského bázevního tunelu do provozu v roce 2016. Mince vyražené k této příležitosti mají následující parametry:

design:	Fredy Trümpi, Binz
datum vydání:	28. ledna 2016 (Ag) 26. května 2016 (Au)
nominál:	20 švýcarských franků (Ag) 50 švýcarských franků (Au)
materiál:	Ag 835 Au 900
hmotnost:	20 g (Ag) 11,29 g (Au)
průměr:	33 mm (Ag) 29 mm (Au)
množství:	30 000 ks + 5 000 ks ve špičkové (proof) kvalitě v etui (Ag) 4 500 ks proof (Au)

Na aversu Ag mince je zobrazen severní portál tunelu (Erstfeld) s vyjíždějící vlakovou soupravou, u Au mince je to jižní portál (Bodio) opět s vyjíždějící soupravou. Na reverzu je u obou mincí vyražena nominální hodnota, rok vydání a název a symbol Švýcarské konfederace.

Mimořádný zájem o nejdelší světovou podzemní stavbu vedl k tomu, že se po edici těchto mincí (s cenami: Ag – 30 SFR, proof 60 SFR, Au – 580 SFR) v pravém slova smyslu „jen zaprášilo“ – vydání je v současnosti již zcela roze-bráno.

Zdroj: https://www.swissmintshop.admin.ch/cshop_smt/b2c/start.do

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
Ing. VLASTIMIL HORÁK

ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ / NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCES

44. ROČNÍK KONFERENCE ZAKLÁDÁNÍ STAVEB BRNO 2016 44TH ANNUAL FOUNDATIONS BRNO 2016 CONFERENCE

The Foundations Brno 2016 conference was held in Brno on 14th – 15th November 2016. The conference is organised annually by the Czech Geotechnical Society of the Czech Institution of Structural and Civil Engineers. The technical programme was divided into five thematic circles: Geotechnical investigation, Ground improvement for Earth structures, Ground improvement for Foundation structures, Ground improvement for Underground structures and Significant geotechnical structures realised in the Czech Republic and abroad. Invited lecture presented Dr. Ana Petkovšek from Univerzity in Lublan with the topic „*Mechanically Treated Soils: Test Method Validity and Reliability*“. A large number of interesting lectures and themes could be heard in each section. The results of two competitions were traditionally announced during the course of the conference. Prof. Zdeněk Bažant award for the contribution to the development of geotechnics was presented to Jan Faltýnek and Jaroslav Beňo. The student competition of diploma and bachelor theses, which was organised by FINE and Mott MacDonald CZ, was won by Tomáš Philipp and Tomáš Urbánek.

Ve dnech 14.–15. listopadu 2016 se v brněnském hotelu Voroněž uskutečnila konference Zakládání staveb Brno 2016, kterou každoročně pořádá Česká geotechnická společnost ČGTS.

Odborný program byl rozdělen na pět tematických okruhů: *Geotechnický průzkum, Zemní konstrukce, Základové konstrukce, Podzemní konstrukce a Významné geotechnické konstrukce*. V každé sekci bylo k vidění velké množství zajímavých přednášek a témat. Kompletní představení příspěvků by vydalo na dlouhý článek, ze kterého by si stejně každý vybral jen krátkou část, která ho zajímá. Proto čtenáře se zájmem o podrobné informace odkazujeme na internetové stránky pořadatele www.cgts.cz, kde lze nalézt seznam příspěvků včetně sborníku.

Vyzvané přednášky se letos úspěšně zhostila Dr. Ana Petkovšek z univerzity v Lublani na téma „*Mechanically*



Konference Zakládání staveb Brno 2016
Foundations Brno 2016 Conference

Treated Soils: Test Method Validity and Reliability“. Účastníky konference podrobně seznámila s výzkumem porovnání efektu různých metod mechanického zlepšování kypřících zemin pro budování násypů kolem řeky Sávy v oblasti hydroelektrárny Brežice ve Slovinsku.

Součástí konference je i společenský večer, který každoročně zakončuje její první den. Letos se konal ve vinárně U královny Elišky. Uvolněná atmosféra opět vybízela k přátelskému posezení a nejen odborným diskusím mezi kolegy z oboru.

Během konference byly tradičně vyhlášeny i dvě soutěže. Cenu prof. Zdeňka J. Bažanta za přínos k rozvoji geotechniky, která je určená absolventům a studentům doktorského studia, získali Ing. Jan Faltýnek a Ing. Jaroslav Beňo, Ph.D. Studentskou soutěž diplomových a bakalářských prací organizovanou společností FINE a Mott MacDonald CZ, spol. s r.o. vyhráli Ing. Tomáš Philipp a Bc. Tomáš Urbánek.

Ing. JAN KOREJČÍK, Jan.Korejcik@mottmac.com,
Mott MacDonald CZ, spol. s r.o.

TUNELÁŘSKÉ ODPOLEDNE 2/2016

TUNNEL AFTERNOON 2/2016

The Tunnel Afternoon 2/2016 on *Railway tunnels, the present and future* was held on 9th November 2016. Eight lectures dedicated to the history of the construction of railway tunnels and the current condition of the tunnels were delivered during the seminar. In addition, railway tunnel construction projects in various preparation phases were introduced.

Dne 9. listopadu se konalo Tunelářské odpoledne 2/2016 na téma *Železniční tunely, současnost a budoucnost*. Zahájil jej předseda České tunelářské asociace Ing. Ivan Hrdina. Během semináře zaznělo celkem osm přednášek, které se věnovaly jak minulosti výstavby železničních tunelů, tak jejich současnému stavu. Dále byly představeny projekty železničních tunelů v různé fázi přípravy.

Jako první vystoupil Ing. Michal Gramblička (SUDOP PRAHA a. s.), který také celé Tunelářské odpoledne organizoval. Jeho přednáška s názvem *Stručná historie výstavby železničních tratí na území Čech a Moravy a důležité milníky jejich rozvoje* se týkala historie železniční dopravy na našem území. Připomněl, že první tratí na území Česka byla koněspřežná železnice Linec – České Budějovice, zkušebně uvedena do provozu v září 1827. Další rozvoj se již ubíral směrem k parostrojní železnici, kdy v roce 1839 byly zprovozněny první dva úseky – Vídeň – Břeclav a Břeclav – Brno. Tato síť byla postupně rozšiřována a její součástí se stalo mnoho tunelů. Dalším milníkem byl rok 1855. Po vydání koncesního zákona započalo budování tratí soukromými těžařskými společnostmi, které značně stávající železniční síť rozšířilo. V roce 1906 a 1909 došlo k zestátnění soukromých drah a k další výstavbě (např. první elektrifikovaná netramvajová trať Tábor – Bechyně). Pro období první republiky je typické propojování směrem na Slovensko. Za druhé světové války dráhy výrazně sloužily vojenským účelům. Po druhé světové válce opět nastalo rozšiřování tratí, naopak v 70. letech minulého století lze na některých místních drahách spíš hovořit o jejich útlumu.

Následovala přednáška prof. Ing. Jiřího Bartáka, DrSc. (FSV ČVUT Praha) *Popis nepoužívanějších „klasických“ metod výstavby tunelů*. Posluchači si mohli osvěžit své znalosti v oblasti historických i současných tunelovacích metod i jednotlivých tunelovacích soustav. Pan profesor uvedl i příklady tunelů vztahujících se vždy k jednotlivým metodám.

KONFERENCE BETONÁŘSKÉ DNY 2016 V LITOMYŠLI
CONCRETE DAYS 2016 CONFERENCE IN LITOMYŠL

The 23rd annual conference Concrete Days 2016, which is organised by the Czech Concrete Society of the Czech Institution of Structural and Civil Engineers, traditionally included the tunnels and underground construction section into the programme. The tunnel-relating block of lectures contained, among others, even an invited foreign lecture by Dipl.-Ing. Dr. mont. Robert Galler from the Montan university in Leoben, Austria, on the theme *“Dimensioning of tunnel linings based on the results of flat jack tests”* The selection of the other lectures mirrored the state of the construction industry in the Czech Republic, where the majority of the new construction of bridges or tunnels related to projects realised in Slovakia or other European countries.

Ing. Bohuslav Stečinský (SŽDC, s. o.) připravil přednášku *Železniční tunely v současné síti SŽDC, s. o.* Připomněl vývoj železniční sítě a počty tunelů v jednotlivých obdobích – od 17 tunelů v roce 1850, až po 162 tunelů v roce 2016. V současné době je jeden tunel ve výstavbě (Ejpvický) a v pokročilejším stadiu přípravy se nachází dalších sedm projektů tunelů.

Po přestávce vystoupili Ing. Jaroslav Lacina (AMBERG Engineering Brno, a. s.) a Ing. Martin Zlámál Ph.D. (VUT Brno FAST) s tématem *Sanace tunelů – technologie a materiály, spárovací hmoty pro ostění*. Seznámili posluchače s technologiemi a materiály používanými pro rekonstrukce tunelů (spárovací hmoty) a uvedli jejich praktické využití.

Ing. Jaroslav Lacina v druhé části hovořil o rekonstrukci Bohuslavického a Sedlejevického tunelu, o sanaci jejich zdiva a také zmínil netypický příklad rekonstrukce, kdy pro drenáž za rubem nové opěry byla použita sláma.

Ing. Michal Gramblička pokračoval s tématem *Rekonstrukce tunelů*, kdy na trati Stříbro – Planá byly rekonstruovány tunely Pavlovický a Ošelínský. Dále zmínil rekonstrukci Rigelského tunelu na trati Liberec – Černousy, kde se vyskytly problémy s podzemní vodou, a proto bylo přistoupeno k sanaci odvodňovacích systémů nejkritičtějších tunelů na této trati.

Ing. Bohuslav Stečinský spolu s Ing. Grambličkou připravili téma *Výstavba železničních tunelů ražených NRTM a tunelovacími stroji*. Na promítnuté mapě tranzitních železničních koridorů si mohli posluchači prohlédnout aktuální a připravované stavby železničních tunelů. Největší pozornost byla věnována výstavbě Ejpvického tunelu.

Poslední společně připravená přednáška Ing. Michala Grambličky a Ing. Jiřího Velebila (SUDOP Praha a. s.) měla téma *Příprava vysokorychlostních tratí v ČR z pohledu tunelů*, odprezentoval ji Ing. Gramblička. Tyto tratě jsou vedeny přes celé území ČR a jsou navrhovány v několika variantách s různým množstvím tunelů, v současné době je vše ve fázi projektové přípravy.

Celkem se Tunelářského odpoledne zúčastnilo přes 110 osob. Jednotlivé prezentace jsou umístěny na webových stránkách CzTA www.ita-aites.cz.

Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D., CzTA ITA-AITES, z. s.

Již 23. ročník konference Betonářské dny 2016, kterou pořádá Česká betonářská společnost ČSSI, zařadil do svého programu tradičně sekci tunelů a podzemních staveb. Pořadatelé zvolili pro konání konference osvědčenou lokalitu v areálu zámku Litomyšl. Tunelový blok přednášek obsahoval kromě čtyř základních přednášek i vyzvanou zahraniční přednášku prof. Dipl.-Ing. Dr. mont. Roberta Gallera z Montan univerzity v rakouském Leobenu (obr. 1). Tématem přednášky s názvem *„Dimenzování tunelových ostění na základě výsledků Flat Jack testu“* bylo seznámení účastníků konference s posledními výsledky měření napjatosti sekundárního ostění dálničních tunelů uvedených do provozu před 30 až 40 lety. V rámci výstavby druhých tunelových trub probíhá v Rakousku rozsáhlý výzkum

zaměřený na životnost primárního ostění, hydroizolačních fólií i kotev vyztužujících horninový prstenec v okolí výrubu. Díky výstavbě tunelových propojek mezi nově raženými a již provozovanými tunely je možné odebrat vzorky materiálů primárního ostění a laboratorně zkoumat jejich kvalitu. V případě tunelu Bosruck na dálnici A9 dokonce došlo v rámci rekonstrukce staré tunelové trouby k jejímu přerubání v úseku poškozeném horninovým tlakem. K ověření únosnosti primárního ostění jsou prováděny speciální testy měření napjatosti sekundárního ostění. Podle výsledků výzkumu pravděpodobně v Rakousku dojde ke změně přístupu k dimenzování sekundárního ostění a v návrzích bude zohledněna i dlouhodobá únosnost primárního ostění.

První přednáška s názvem „*Tunel Považský Chlmec – projekt a realizace definitivního ostění*“ Ing. Maříka z firmy HOCHTIEF CZ a. s. informovala o optimalizaci a principech návrhu sekundárního ostění tunelu Považský Chlmec na dálnici D3 na Slovensku. Dimenzování ostění probíhalo na základě výsledků geomonitoringu prováděného při ražbě a v 60 % délky ražených úseků tunelu bylo použito nevyztužené ostění. Příspěvek pojednával i o přípravě a realizaci sekundárního ostění a porovnával předpoklady projektu se skutečností.

Druhou přednášku s názvem „*Hloubené části tunelu Šibenik na dálnici D1, Slovensko*“ přednesl Ing. Bulejko z firmy ABM Mosty a týkala se možnosti použití prefabrikovaných dílců pro výstavbu hloubených úseků dálničních tunelů. Konstrukce hloubených částí nového tunelu Šibenik poblíž města Levoča je první realizací dálničního tunelu na Slovensku z prefabrikovaného klenbového systému. Příspěvek uváděl obecné informace o tunelu a detailněji se pak zabýval především realizací hloubených částí tunelu Šibenik z prefabrikátů. Stavba tunelu stejně jako celého úseku D1 Jánovce – Jablonov probíhala v režimu Žlutého FIDIC, tedy stylem „navrhni a postav“, který v České republice není pro tento typ staveb obvyklý.

Třetí příspěvek s názvem „*Aplikace betonu vyztuženého rozptýlenou výztuží, experimenty a modely*“ Ing. Vítka z firmy Metrostav a.s. již nepřímo pojednával o problematice spojené s železničním tunelem Ejpvovice. Beton s rozptýlenou ocelovou výztuží kromě podružných konstrukcí (zejména podlah) nachází uplatnění i v nosných konstrukcích a s výhodou jej lze využít pro segmenty tunelového ostění. Pro efektivní navrhování konstrukcí je potřebné sestavit dostatečně výstižný numerický model. Nově sestavený algoritmus modeluje beton s rozptýlenou výztuží jako dvoufázové prostředí, do něhož vstupují charakteristiky betonu a rozptýlené výztuže odděleně. Materiálové



foto / photo courtesy of Milan Senko

Obr. 1 Prof. Robert Galler přednáší na Betonářských dnech 2016

Fig. 1 Professor Robert Galler delivering his lecture at the Concrete Days 2016 conference

charakteristiky pro numerický model lze získat z experimentu. Vhodný je zejména test vytahování drátku z betonové matrice – tzv. pull-out test. V rámci výzkumu popsáném v příspěvku byly realizovány experimenty s drátky zabetonovanými na různou hloubku a rovněž s různým odklonem. Realizované experimenty, které jsou velmi ojedinělé, přinesly zajímavé výsledky, jež se využijí jako vstup do dvoufázového numerického modelu.

V poslední přednášce „*Zkušenosti z výroby prefabrikovaných vláknobetonových tunelových segmentů pro Ejpvovické tunely*“ Ing. Staše a Schneidera se zástupci firmy Metrostav a.s. podělili s účastníky konference o zkušenostech s prefabrikovanými segmenty tunelového ostění poprvé v České republice vyztuženými pomocí rozptýlené výztuže. Přednáška ukázala a popsala specifika výroby prefabrikovaných dílců ostění, se kterými se musel zhotovitel během téměř tříleté výroby vypořádat.

Skladba přednášek nejen v tunelové sekci konference zrcadlí stav stavebnictví v České republice. Převážná většina prezentovaných novostaveb mostů či tunelů se týkala staveb realizovaných na Slovensku, nebo v dalších státech Evropy. Tak nezbyvá než doufat, že profese spojené s výstavbou dopravní infrastruktury v dalších letech přežijí i díky stavbám realizovaným v naší republice a čeští odborníci nebudou odkázáni pouze na získání práce v zahraničí.

Ing. LIBOR MAŘÍK, marik@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s.

AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICĚ CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION

ČESKÁ REPUBLIKA

MODERNIZACE TRATI ROKYCANY – PLZEŇ

Od poslední zmínky o ražbách Ejpvovických tunelů urazila „Viktorka“ slušný kus cesty ke svému cíli. Ode dne 27. 9. 2016, kdy byly plně zahájeny ražby severní tunelové trouby, zvládla do konce ledna 2017 již překonat metu ve vzdálenosti 1500 metrů. Po překonání úvodní geologicky komplikovanější části se tunelovací stroj rozjel k úctyhodným výkonům, které v mnoha případech přesahovaly hranici 30 metrů za den. Doposud nejvyšší dosažený denní postup byl pak dokonce 38 metrů. S přihlédnutím k plánovaným přestávkám, kdy se většinou jednalo

THE CZECH REPUBLIC

MODERNISATION OF ROKYCANY – PLZEŇ RAILWAY TRACK SECTION

Since the previous mention of the excavation of the Ejpvovice tunnels, “Viktorka” TBM has covered a decent part of its way to the aim. Since 27th September 2016, when the excavation of the northern tunnel tube fully started, the TBM managed to overcome the target distance of 1500 metres by the end of January 2016. After overcoming the initial geologically more complicated part, the tunnel boring machine started moving to reach respectable excavation rates, which

o kontrolu řezné hlavy a řezných nástrojů nebo nastavování médií a dopravníkového pasu, tak dosahovaly měsíční průměrné výkony hodnot okolo 400 metrů.

Momentálně čeká raziče nejrizikovější úsek ražeb s velmi nízkým nadložím v geologické depresi mezi kopci Homolka a Chlum.

V průběhu prosince byla také zahájena betonáž dna v jižní již vyražené tunelové troubě a v průběhu února letošního roku bude zahájena také ražba propojek mezi severní a jižní tunelovou troubou.

DÁLNIČNÍ D8 – 0805 LOVOSICE – ŘEHLOVICE

Dne 16. prosince obdržel stavebník Ředitelství silnic a dálnic ČR od Městského úřadu Lovosice, odbor stavebního úřadu a územního plánování a od Ministerstva dopravy, odbor infrastruktury a územního plánu rozhodnutí o povolení předčasného užívání stavby dálnice D8 – 0805 Lovosice – Řehlovice. Následující den, 17. 12. 2016, byla stavba slavnostně otevřena a uvedena do provozu za účasti prezidenta ČR Miloše Zemana, ministra financí Andreje Babiše, ministra dopravy Dana Ťoka, ministra životního prostředí Richarda Brabce, hejtmána Ústeckého kraje Oldřicha Bubeníčka a dalších politiků.

Zprovozněním poslední části stavby délky 16,4 km je tak již k dispozici pro motoristickou veřejnost celá dálnice Praha – státní hranice ČR/SRN v celkové délce 92 km. Součástí stavby dálnice jsou i dva dálniční tunely Prackovice (270 m) a Radejčín (pravá tunelová trouba 620 m, levá trouba 600 m). Cestu z Prahy do Drážďan tak lze nyní po dálnici absolvovat za normálního provozu již za hodinu a půl.

Před vlastním uvedením do předčasného užívání byly v tunelech provedeny technické prohlídky jednotlivých stavebních objektů a technologických provozních souborů tunelů, proběhlo taktické cvičení základních složek integrovaného záchranného systému s vyhlášením prvního poplachu IZS. Dotčeným orgánům byla předložena požadovaná dokumentace, kde se jednalo hlavně o požárně-bezpečnostní řešení stavby, posouzení požárního nebezpečí, dokumentace zdolání požáru a doklady požárně-bezpečnostních zařízení ve smyslu požadavků vyhlášky č. 246/2001. Úspěšně proběhly i individuální, provozní a komplexní zkoušky technologického vybavení a hlavní tunelové prohlídky v obou tunelech. Zhotovitel také předal objednateli souhrnné závěrečné zprávy zhotovitele o jakosti všech stavebních a provozních objektů.

V den uvedení dálnice do provozu byl tak zahájen zkušební provoz v tunelech s veřejností, který bude trvat 12 měsíců. Byla ustanovena technická rada a řídicí pracovní skupina zkušebního provozu v tunelech. Cílem zkušebního provozu bude ověření správné funkce bezpečnostních a požárních systémů a získávání dat pro jejich finální parametrizaci.

Závěrem tak můžeme již jenom nové dálnici a jejím uživatelům popřát mnoho pokud možno bez nehod ujetých kilometrů.

*Ing. BORIS ŠEBESTA, boris.sebesta@metrostav.cz,
Metrostav a.s.*

PRŮZKUMNÁ ŠTOLA PRO RADLICKOU RADIÁLU JZM-SMÍCHOV, ROZŠÍŘENÍ DO JTT

Práce na Radlické radiále, která spojí Pražský a Městský silniční okruh, pokračují. K dosud vyražené průzkumné štole, součástí komplexního inženýrskogeologického průzkumu, přibude dalších 180 metrů.

many times exceeded the bound of 30 metres per day. The until now highest daily excavation rate of 38 metres was even achieved. Taking into consideration the planned interruptions mostly required for the inspection of the cutterhead and cutting tools or extension of media lines and the conveyor belt, the average monthly advance rates amounted approximately to 400 metres.

At the moment the miners are awaited by the most risky excavation section with very low overburden in the geological depression between Homolka and Chlum hills.

In addition, the bottom concrete casting commenced during December in the southern tunnel tube, where the excavation has already been finished, and the excavation of cross passages between the northern tube and southern tunnel tube will start this year in February.

D8 MOTORWAY – CONSTRUCTION LOT 805: LOVOSICE – ŘEHLOVICE

On 16th December 2016, the Road and Motorway Directorate, the developer, received the decision to authorise the early use of the D8 motorway construction lot 805 Lovosice – Řehlovice. The decision was issued by the Building Control and Land-Use Planning Department of the Municipal Office in Lovosice and by the Department of Infrastructure and Land-Use Plan of the Ministry of Transport. Next day, the 17th December 2016, the celebration of the motorway section opening and bringing into service was held in the presence of Miloš Zeman, the President of the Czech Republic, Andrej Babiš, the Minister of Finance, Dan Ťok, the Minister of Transport, Richard Brabec, the Minister of Environment, Oldřich Bubeníček, the president of the regional council of Ústí nad Labem and other politicians.

By bringing the last 16.4km long part of the motorway into service, the entire motorway from Prague to the state border between the CR and the FRG at the total length of 92km became available for the motoring public. The motorway construction project even contains two motorway tunnels, the Prackovice (270m) and the Radejčín (the right-hand tunnel tube 620m, the left-hand tube 600m). Now it is possible during normal traffic to complete a journey from Prague to Dresden even in an hour and a half.

Prior to the opening for early use, technical inspections of individual construction objects and tunnel equipment complexes were carried out in the tunnels, a tactical exercise of fundamental components of the integrated rescue system (IRS) took place and the first IRS alarm was raised. The affected administration bodies received the required documents, first of all the tunnel fire safety design, the fire danger assessment, documents on fighting the testing fire and the fire-safety equipment documents in the meaning of the requirements of the Regulation No. 246/2001. Even the individual, operational and comprehensive tests of the tunnel equipment and the main tunnel inspections passed off successfully. In addition, the contractor handed over to the project owner contractor's reports on the quality of all construction and operating objects.

The trial operation with the public began on the day of bringing the motorway into service. It will last 12 months. A technical council and a working group for managing the trial operation in the tunnels were established. The objective of the trial operation will be to verify the correct function of



Obr. 1 Průzkumná štola pro Radlickou radiálu
Fig. 1 Exploratory gallery for Radlice radial road

První etapa inženýrskogeologického průzkumu začala v květnu 2015 a skončila závěrem loňského roku. Společnost Subterra a.s. realizovala v oblasti Zlíchova těžní šachtu a z ní vyrazila štolu s délkou 850 metrů, jež vede převážně v budoucí trase severní trouby tunelu Radlická radiála.

Současná etapa, která se nyní provádí, zahrnuje rozšíření zhruba 14 m dlouhého úseku původní štoly, následnou novou ražbu o délce 180 metrů v trase budoucí jižní tunelové trouby a rovněž 90metrový průzkumný vrt z povrchu. Nová štola je vedena šikmo ve směru od jižního k severnímu tubusu dovrčně tak, aby veškeré podzemní vody prosakující do díla volně odtékaly.

Celý projekt, jehož investorem je hlavní město Praha, se dělí do dvou částí. Na stavební práce, které byly zahájeny pracovníky Subterra a.s. v říjnu 2016 a aktuálně bylo k 17. 1. 2017 vyraženo 160 m včetně rozšíření původní štoly, a na souběžnou průzkumnou činnost dodavatele PUDIS a.s., která bude pokračovat ještě dva měsíce po dokončení ražeb. Následně bude dílo provozováno až do rozhodnutí o jeho likvidaci.

Ražba s využitím observace probíhá Novou rakouskou tunelovací metodou. Hornina je rozpojována pomocí trhacích prací, primární ostění tvoří příhradové výztužné rámy s KARI sítěmi a stříkaný beton (obr. 1). Nedílnou součástí postupu prací jsou dvacetimetrové jádrové předvrty, jejichž účelem je zvýšení bezpečnosti při ražbě štoly procházející oblastí s vysokým rizikem výskytu krasových jevů.

Ražbu průzkumné štoly provázejí hornické tradice. Na bezpečnost pracovníků dohlíží soška svaté Barbory a počátkem listopadu dostala stavba, jež se nachází v oblasti přírodní památky Ctirad, rovněž své jméno – Šárka.

Ing. JAN VINTERA, JVintera@subterra.cz, Subterra a.s.

KOLEKTOR HLÁVKŮV MOST

Výstavbou kolektoru „Hlávkův most“ dojde k dalšímu významnému rozšíření pražské kolektorové sítě. Jedná se o kolektor 2. kategorie, který umožní provedení jednorázové definitivní přeložky všech inženýrských sítí vedených v tělese Hlávkového mostu tak, aby nebyla ovlivněna jeho konstrukce. Stavba se nachází v oblasti Hlávkového mostu, částečně zasahuje na jeho těšnovské a holešovické předmostí. Výstavbou nového kolektoru dojde k propojení dvou stávajících provozovaných kolektorů, kterými jsou kolektor „Nábřeží Ludvíka Svobody“ a kolektor „Severní předmostí Hlávkového mostu“, kterými již dnes procházejí některé sítě směřující na Hlávkův most. Ražba kolektoru bude prováděna ze šachet označených J101 až J104 s cílem minimálně ovlivnit povrch území. Vstupní šachta J101 je situována v oblasti objektu Ministerstva zemědělství na Těšnově (obr. 2). Na šachtu J101 v podzemí navazuje technická

safety and fire-protection systems and to gather data for their final parameterisation.

To conclude, we can only wish the new motorway and its users many kilometres travelled, if possible, without accidents.

Ing. BORIS ŠEBESTA, boris.sebesta@metrostav.cz,
Metrostav a.s.

EXPLORATORY GALLERY FOR RADLICE RADIAL ROAD IN THE SOUTH-WESTERN SATELLITE TOWN; EXPANSION TO STT

The work on the Radlice Radial Road, which will interconnect the Prague City Ring Road (outer circle) and the City Circle Road (inner circle) continues. Other 180 metres will be added to the completed exploratory gallery, which is part of the comprehensive engineering geological survey.

The first stage of the engineering geological survey started in May 2015 and ended at the end of the past year. Subterra a.s. realised a hoisting shaft in the area of Zlíchovo and drove an 850m long gallery from it, which leads mostly along the future alignment of the northern tube of the Radlice Radial Route tunnel.

The currently performed stage comprises the expansion of the roughly 14m long section of the original gallery, the subsequent 180 metres long new excavation along the alignment of the future southern tunnel tube and also a 90m deep exploratory hole bored from the surface. The new gallery leads obliquely in the direction from the southern tube toward the northern tube, inclined upwards so that all groundwater seeping into the excavation can freely flow away.

The entire project, the investor for which is the City of Prague, is divided into two parts. The construction work which was started by employees of Subterra a.s. in October 2016 (as of 17th January 2017, 160m of the excavation including the expansion of the original gallery have been finished) and the parallel exploratory work of PUDIS a.s., which will continue additional two months after the completion of the excavation. The working will be subsequently operated until the decision on its liquidation.

The excavation is carried out using the observational New Austrian Tunnelling Method. Rock is disintegrated by blasting, the primary lining is formed by lattice girders with KARI welded mesh and sprayed concrete. Twenty metres long cored holes bored ahead of the excavation face are an inseparable part of the work procedure. Their objective is to increase safety during the excavation of the gallery passing through an area with a high risk of the occurrence of karst phenomena.

The excavation of the exploratory gallery is accompanied by mining traditions. The safety of miners is overseen by a statuette of Saint Barbara and, at the beginning of November, the construction got its name – Šárka – in connection with the area of the natural monument Ctirad (the mythic partner of Šárka) it is located in.

Ing. JAN VINTERA, JVintera@subterra.cz, Subterra a.s.

HLÁVKA BRIDGE UTILITY TUNNEL

The construction of the “Hlávka Bridge” utility tunnel will result into another important expansion of the network of Prague utility tunnels. It is a category 2 utility tunnel, which will allow for providing a one-shot definitive diversion of all utility networks existing in the Hlávka Bridge structure



Obr. 2 Vstupní šachta J101 na Těšnově
Fig. 2 The entrance shaft J101 in the area of Těšnov

komora TK101, která umožňuje budoucí propojení s kolektorem Centrum I. a propojení do trasy vývodových kabelových tunelů PRE. Ze šachty J101 o průměru 6 m a hloubky 32,4 m trasa kolektoru pokračuje pod řekou dále na ostrov Štvanice do šachty J102 o průměru 8 m a hloubky 37,8 m situované před restaurací bývalého zimního stadionu Štvanice. Z této šachty ražba dále pokračuje na levý břeh Vltavy do šachty J104 elipsovitého tvaru 6,4x5,7 m a hloubky 32 m, která je situovaná za rubem opěrné zárubní zdi poblíž mimoúrovňové křižovatky na nábřeží Kpt. Jaroše. Z této jámy bude provedeno napojení na stávající kolektor „Severní předmostí Hlávkova mostu“. Na ostrově Štvanice je součástí kolektoru i jeho hloubená větev směřující kolmo na ražený úsek kolektoru směrem k tenisovému stadionu. Odbočení větve je provedeno z technické komory raženého úseku kolektoru označené TK103 přes šachtu J103 o průměru 6,7 m a hloubky 29,4 m. Ražený úsek mezi šachtami J101 a J102 má délku 167 m. Úsek mezi šachtou J102 a technickou komorou TK103, ze které odbočuje kolektor k tenisovému stadionu, má délku 79 m. Poslední ražený úsek z TK103 do šachty J104 má délku 139 m. Hloubená odbočná větev na ostrově Štvanice má délku 100 m. Klenbový profil ražených úseků má šířku 4 m, výšku 5,6 m a plochu výrubu cca 21 m². Ražba kolektoru pomocí NRTM se zajištěním výrubu stříkaným betonem se sítí a příhradovými rámy a systémovým kotvením probíhá v letenských, vinických a záhořanských břidlicích. Monolitické definitivní ostění z betonu C30/37 tloušťky 350 mm je navrženo jako odolné proti průsakům s těsněním pracovních a dilatačních spár vnitřními těsnicími pásy. Mezilehlá hydroizolační fólie není navržena.

V prostoru šachty J101 byly v předstihu provedeny přeložky sítí včetně nové kanalizační šachty. V rámci objektu šachty bylo provedeno zajištění jámy převrtávanými pilotami. Šachta je vyhloubena na úroveň dna kaloty kolektoru do hloubky 31,2 m a bude následně prohloubena na 32,24 m. V současné době probíhá ražba kaloty kolektoru ve směru k šachtě J102. Na šachtě J102 byly v předstihu provedeny přeložky sítí. Dále bylo provedeno zajištění jámy převrtávanými pilotami. Šachta je vyhloubena na úroveň dna kaloty kolektoru do hloubky 33 metrů a bude následně prohloubena na 36,96 m. V současné době probíhá ražba kolektoru směrem k šachtě J101. Na šachtě J103 bylo provedeno zajištění jámy převrtávanými pilotami. Šachta je vyhloubena na úroveň kaloty propojení do technické komory TK103 v hloubce 26,1 m z celkové hloubky šachty 29,3 m. Je vyraženo propojení do technické komory TK103 a komora je vyražena v profilu kaloty. Na objektu hloubené odbočné větve ze šachty J103 je provedeno zajištění štětovicemi a následné vyhloubení. Zároveň s hloubením byly instalovány ocelové rozpěry. V současné době probíhá betonáž dna a stěn výkopu (podkladní beton). Hloubení

without affecting it. The construction is located in the area of the Hlávkova Bridge, partially reaching into the Těšnov and Holešovice bridge heads. Two existing operating utility tunnels will be interconnected by constructing the new utility tunnel, namely the “Ludvík Svoboda Embankment” utility tunnel and the “Northern Bridge Head of the Hlávkova Bridge” utility tunnel, through which some networks heading toward the Hlávkova Bridge run already today. The utility tunnel will be driven from shafts marked as J101 through to J104, with the objective to minimally influence the surface of the area. The entrance shaft J101 is located in the area of the Ministry of Agriculture building in Těšnov (see Fig. 2). Shaft J101 is followed in the underground by the service chamber TH101, which allows for the future interconnection with the Centrum I utility tunnel and for the connection to the route of outlet cable tunnels of the Prague Energy Company (PRE). From the 6m-diameter and 32.4m deep shaft J101, the utility tunnel route proceeds under the river further to the 8m-diameter and 37.8m deep shaft J102. The shaft is located on Štvanice Island, in front of the former Štvanice winter stadium. From this shaft, the excavation proceeds further to the left bank of the Vltava River, to the elliptic (6.4x5.7m), 32m deep shaft J104, which is located behind the external surface of a revetment wall near the grade-separated interchange on the Kpt. Jaroš Embankment. From this shaft the tunnel will be connected to the existing “Northern Head of the Hlávkova Bridge” utility tunnel. On Štvanice Island, a cut-and-cover branch of the utility tunnel heading perpendicularly to the mined tunnel section toward the tennis stadium is part of the utility tunnel. The branching is carried out from the service chamber of the mined section marked as TK103 over the 6.7m-diameter and 29.4m deep shaft J103. The mined section between shafts J101 and J102 is 167m long. The section between shaft J102 and service chamber TK103, from which the utility tunnel diverges toward the tennis stadium, is 79m long. The last mined section from TK103 to shaft J101 is 139m long. The cut-and-cover branch on Štvanice Island is 100m long. The vaulted profile of the mined sections is 4m wide, 5.6m high and its cross-sectional area is ca 21m². The utility tunnel excavation is carried out using the NATM with the excavation support consisting of lattice girders, welded mesh, shotcrete and systematic anchoring. It passes through Letná, Vinice and Záhořany Shales. The 350mm thick cast-in-situ final lining is made of C30/37-grade concrete. It is designed as a structure resistant to seepage, with construction and expansion joints sealed by inner waterstops. No intermediate waterproofing membrane is proposed.

Diversions of utility networks, including a new sewerage shaft, were carried out in advance in the area of shaft J101. The pit was stabilised within the framework of the construction of the shaft by secant bored piles. The shaft was sunk up to the level of the utility tunnel top heading bottom, up to the depth of 31.2m and will be subsequently deepened to 32.24m. The excavation of the top heading is currently proceeding toward shaft J102. Utility networks installed on shaft J102 were relocated in advance. In addition, the pit was stabilised by secant bored piles. The shaft was sunk up to the level of the utility tunnel top heading bottom, up to the depth of 33.0m and will be deepened to 36.96m. At the moment, the utility tunnel excavation is proceeding toward shaft J101. The pit for shaft J103 was stabilised by secant bored piles. The shaft was sunk up to the level of the top heading of the connection to service chamber TK103 at the depth of 26.1m

šachty J104 bylo zahájeno v polovině února 2017. Stavbu provádí sdružení firem Subterra a.s. a HOCHTIEF CZ a. s.

Ing. LIBOR MAŘÍK, HOCHTIEF CZ a. s.

SLOVENSKÁ REPUBLIKA

TUNELY DIEL A MILOCHOV

V septembri 2016 sa začala realizovať dlho očakávaná stavba modernizácie železničnej trate Púchov – Žilina na úseku Púchov – Považská Bystrica. Ide o morfológicky a inžiniersko-geologicky najzložitejší úsek železničnej trate od Bratislavy po Žilinu. Smerovo vedie trať od novej železničnej stanice v Púchove cez Nosický kanál, Nosický ostrov, rieku Váh, tunel Diel, cez Nosickú vodnú nádrž, tunel Milochov do železničnej stanice Považská Bystrica.

Tunel Diel prechádza masívom vrchu Diel, ktorý tvorí centrálnu časť meandru Váhu v tomto úseku jeho toku. Tunel dlhý 1081,7 metrov bude razený v masíve popod kúpele Nimnica. Západný portál je situovaný na okraji obce Nimnica, východný portál bude realizovaný v zalesnenom území nad cestou druhej triedy II/507, ktorá vedie z Púchova do Považskej Bystrice po pravom brehu priehrady. Tunel Diel bude mať únikovú štôľňu, ktorá bude ústiť do priestoru východného portálu. Momentálne sa na stavbe realizujú odvodňovacie vrty na západnom portáli, ktoré budú slúžiť na stabilizovanie portáloveho svahu, a začalo sa s hĺbením portálovej oblasti z povrchu terénu nad tunelom po úroveň, z ktorej bude budovaná pilóťová stena (obr. 3).

Na preklopenie úpätia vrchu Stavná, južne od miestnej časti Horný Milochov – mestskej časti Milochov mesta Považská Bystrica, je navrhnutý nový tunel Milochov. Projektovaná dĺžka tunela je 1861 metrov. Tunel bude mať jednu únikovú štôľňu.



*Obr. 3 Odvodňovacie vrty na západnom portáli tunela Diel
Fig. 3 Drainage boreholes at the western portal of the Diel tunnel*



*Obr. 4 Oblasť východného portálu tunela Milochov
Fig. 4 Area of the eastern portal of the Milochov tunnel*

of the total shaft depth of 29.3m. The excavation of the connection to service chamber TK103 and the excavation in the top heading profile have been finished. Regarding the cut-and-cover branch from shaft J103, the excavation support was carried out by sheet piles and the excavation depth was subsequently increased. Steel braces were installed concurrently with the growing excavation depth. At the moment, the bottom concrete (blinding concrete) and the excavation walls concrete is being cast. The sinking of shaft J104 started in the middle of February 2017. The construction has been carried out by a consortium consisting of Subterra a.s. and HOCHTIEF CZ a. s.

Ing. LIBOR MAŘÍK, HOCHTIEF CZ a. s.

THE SLOVAK REPUBLIC

DIEL AND MILOCHOV TUNNELS

The work on the long-awaited project on the modernisation of the Púchov – Žilina railway line in the Púchov – Považská Bystrica section commenced in September 2016. This section of the railway track is the most complicated in terms of the morphology and engineering geology between Bratislava and Žilina. The horizontal alignment runs from the new railway station in Púchov, across the Nosice canal, Nosice island, the Váh River, through the Diel tunnel, across the Nosice water reservoir, through the Milochov tunnel to the Považská Bystrica railway station.

The Diel tunnel passes through the massif of Diel Hill, which forms the central part of the Váh River meander in this section of its flow. The 1081.7m long tunnel will be driven through the massif under Spa Nimnica. The western portal is located on the edge of the municipality of Nimnica, while the eastern portal will be realised in a wooded area above the II/507 secondary road leading from Púchov to Považská Bystrica, along the right bank of the water reservoir. The Diel tunnel will have an escape gallery, which will discharge in the area of the eastern portal. At the moment, drainage boreholes are being carried out at the western portal, serving to stabilise the portal slope. The excavation commenced in the portal area, from the surface of the terrain above the tunnel down to the level from which a pile wall will be constructed (see Fig. 3).

The purpose of the newly designed Milochov tunnel is to allow the route to pass under the foot of Stavná Hill, south of the local part of Horný Milochov (the town of Považská Bystrica, the municipal district of Milochov). The tunnel design length amounts to 1861 metres. The tunnel will have one escape gallery. The western portal of the tunnel will be realised in a wooded area above a tertiary road linking the municipality of Dolný Milochov with the municipality of Horný Milochov. The eastern portal is located in the municipality of Horný Milochov, where family houses were redeveloped and utility networks are being relocated so that the excavation of the portal pit can commence (see Fig. 4).

The entire project will be realised by the Nimnica Consortium consisting of Doprastav – TSS Grade – Subterra – EŽ Praha. The Diel tunnel will be driven by Tubau, a. s., whilst Subterra a.s. will drive the Milochov tunnel. Reming Consult a. s. is the general designer for the project owner, the Railways of the Slovak Republic.

*Ing. JÁN KUŠNÍR, kusnir@reming.sk,
REMING CONSULT a. s.*

Západný portál tunela bude realizovaný v zalesnenom území nad cestou tretej triedy spájajúcej Dolný Milochov s Horným Milochovom. Východný portál je situovaný do obce Horný Milochov, kde boli asanované rodinné domy a realizujú sa preložky inžinierskych sietí, aby bolo možné začať s hĺbením portálovej jamy (obr. 4).

Celú stavbu bude realizovať združenie Nimnica zložené zo spoločností Doprastav – TSS Grade – Subterra – EŽ Praha. Tunel Diel bude raziť spoločnosť Tubau, a. s. a tunel Milochov spoločnosť Subterra a.s. Generálnym projektantom pre investora Železnice Slovenskej republiky je spoločnosť Reming Consult a. s.

*Ing. JÁN KUŠNÍR, kusnir@reming.sk,
REMING CONSULT a. s.*

TUNELY POĽANA A SVRČINOVEC

Na stavbe úseku diaľnice D3 Svrčinovec – Skalité súčasťou stavby sú aj tunely Poľana (890 m) a Svrčinovec (445 m), ktoré sa realizujú ako jednorúrové s obojsmernou prevádzkou a samostatnou únikovou štôľňou.

Tunel Poľana je 898 m dlhý jednorúrový tunel na diaľničnom úseku D3 Svrčinovec – Skalité.

S razením sa začalo 31. 7. 2014 a razilo sa najskôr len zo západného portálu. V dôsledku nepriaznivých geologických podmienok došlo k spomaleniu razenia, a tak sa v rámci akceleračných opatrení začalo raziť aj z východného portálu. Tunel bol slávnostne prerazený 7. 9. 2015. Následne sa zrealizovalo sekundárne ostenie tunela a betonáž CB krytu vozovky, ktorá sa ukončila dňa 16. 7. 2016. Súbežne sa začalo aj s montážou technologického vybavenia tunela.

Tunel Svrčinovec je 420 m dlhý jednorúrový tunel, situovaný na začiatku diaľničného úseku D3 Svrčinovec – Skalité tesne za križovatkou Svrčinovec. S jeho razením sa začalo 30. 10. 2014 a razilo sa zo západného portálu. Tunel bol slávnostne prerazený 23. 6. 2015. V súčasnosti je už kompletne zrealizované aj sekundárne ostenie tunela a momentálne sa ukončuje montáž technologických zariadení.

Obidva tunely sú v súčasnosti v štádiu funkčných skúšok a prípravy na uvedenie do užívania.

Výstavbu úseku zabezpečuje združenie štyroch spoločností: Váhovstav – 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 s dĺžkou 13,2 km sa nachádzajú dva diaľničné dvojrúrové tunely: Ovčiarsko a Žilina.

Tunel Ovčiarsko s dĺžkou 2367 m sa začal raziť 12. 9. 2014.

Severná tunelová rúra má dĺžku 2360 m a slávnostne bola prerazená 29. 4. 2016. V súčasnom období sa buduje sekundárne ostenie tunela. Ku dňu 17. 1. 2017 je zrealizovaných 95 blokov hornej klenby v razenej časti tunela (z celkového počtu 184 blokov v razenej časti tunela), to znamená, že je zrealizovaných cca 52 % hornej klenby sekundárneho ostenia.

Južná tunelová rúra dĺžky 2367 m bola prerazená dňa 12. 7. 2016. Realizácia sekundárneho ostenia sa začala 29. 9. 2016. K 17. 1. 2017 je zabetónovaných 44 blokov hornej klenby (z celkového počtu 187 blokov razenej časti), to znamená, že je zrealizovaných cca 24 % hornej klenby sekundárneho ostenia.

Tunel Žilina je 687 m dlhý dvojrúrový tunel realizovaný na stavbe D1 Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka. S razením tunela sa začalo 5. 11. 2014. Priamym zhotoviteľom tunela je spoločnosť Doprastav, a. s. Bratislava a Metrostav a.s..

Južná tunelová rúra bola prerazená 3. 11. 2016 (v kalote) a komplet primárne ostenie bolo ukončené dňa 7. 11. 2016. Slávnostná prerážka JTR tunela Žilina bola 5. 12. 2016. Vzhľadom na nepri-

POĽANA AND SVRČINOVEC TUNNELS

Parts of the construction of the Svrčinovec – Skalité section of the D3 motorway are also the Poľana tunnel (890m) and the Svrčinovec tunnel (445m), being realised as single-tube structures with bidirectional traffic and a separate escape gallery.

The Poľana tunnel is an 898m long, single-tube tunnel located in the Svrčinovec – Skalité section of the D3 motorway.

The tunnel excavation began on 31st July 2014. In the beginning it proceeded only from the western portal. The excavation rate decreased as a consequence of adverse geological conditions. For that reason the excavation commenced even from the eastern portal, in the context of acceleration measures. The tunnel breakthrough ceremony took place on 7th September 2015. Subsequently, the secondary lining of the tunnel was realised and the concrete roadway cover was cast. It was finished on 16th July 2016. The installation of tunnel equipment commenced concurrently.

The Svrčinovec tunnel is a 420m long, single-tube tunnel located at the beginning of the Svrčinovec – Skalité section of the D3 motorway, just behind the Svrčinovec interchange. The tunnel excavation started from the western portal on 30th December 2014. The tunnel breakthrough ceremony was held on 23rd June 2015. The secondary lining of the tunnel has been finished and the installation of the tunnel equipment is currently being completed.

The two tunnels are at the moment at the stage of functional testing and preparation for bringing the tunnel into service.

The construction of the motorway section is carried out by a consortium consisting of four companies: Váhovstav – SK, a. s., Doprastav, a. s., Strabag, a. s., and Metrostav SK, a. s.

OVČIARSKO AND ŽILINA TUNNELS

There are two twin-tube motorway tunnels in the 13.2km long Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway: the Ovčiarsko and the Žilina.

The excavation of the 2367m long Ovčiarsko tunnel started on 12th September 2014.

The northern tunnel tube is 2360m long. The breakthrough celebration was held on 29th April 2016. In the present period, the secondary lining of the tunnel is under construction. As of 17th January 2017, 95 blocks of the upper vault in the mined part of the tunnel (184 blocks in total in the mined part of the tunnel) have been finished. It means that ca 52% of the secondary lining of the upper vault have been finished.

The 2367m long southern tunnel tube was broken through on 12th July 2016. The work on the secondary lining started on 29th September 2016. As of 17th January 2017, 44 blocks of the upper vault in the mined part of the tunnel (187 blocks in total in the mined part of the tunnel) have been finished. It means that ca 24% of the secondary lining of the upper vault have been finished.

The Žilina tunnel is a 687m long tunnel realised in the Hričovské Podhradie – Lietavská Lúčka section of the D1 motorway project. The excavation of the tunnel commenced on 5th November 2014. The direct contractor for the construction of the tunnel is a consortium formed by Doprastav, a.s. Bratislava and Metrostav a.s..

The southern tunnel tube breakthrough took place on 3rd November 2016 (in the top heading) and the complete final lining was finished on 7th November 2016. The Žilina tunnel STT breakthrough celebration took place on 5th December 2016. With respect to unfavourable geological conditions,

aznivé geologické pomery sa dĺžka záberu v celej razenej časti pohybovala od 0,8 do 1 m. V súčasnom období prebieha realizácia sekundárneho ostenia – spodná klenba.

K dátumu 17. 1. 2017 je na severnej tunelovej rúre vyrazených zo západného portálu 308,14 m a z východného portálu 307,31 m. Spolu je vyrazených 615,45 m, čo predstavuje 94,9 % z razenej časti STR, ktorá má celkovú dĺžku 648,5 m. Zostáva vyraziť ešte 33,05 m.

Výstavbu úseku zabezpečuje združenie štyroch spoločností: Doprastav, a. s., Strabag, a. s., Váhostav – SK, a. s. a Metrostav SK, a. s.

TUNEL POVAŽSKÝ CHLMEC

Dvojrúrový diaľničný tunel Považský Chlmec dĺžky 2186,5 m (južná tunelová rúra) a 2249 m (severná tunelová rúra) je súčasťou západného diaľničného obchvatu mesta Žiliny, v časti diaľnice D3 (Strážov) Žilina – Žilina (Brodno). Súčasná rozostavanosť všetkých stavebných objektov zodpovedá plánovanému uvedeniu do prevádzky v tomto roku. V celom úseku tunela sú dokončené betonáže definitívneho ostenia razených úsekov tunela, betonáž hlbených úsekov tunela v stredovej jame i oboch portálov. Stredová jama je úplne zasypaná a terén je uvedený do pôvodného stavu. Všetky práce v tuneli smerujú k dôležitému milníku stavby, ktorým je započatie betonáže vozovky. Od západného portálu smerom na východný portál postupujú práce na príprave a čistení podkladových betónov pod konštrukčné vrstvy vozovky, pokládka drenáží na odvodnenie pláne vozovky, pokládka obrubníkov a štrbinových žlabov. Bezprostredne za týmito prácami postupuje montáž a izolovanie potrubia požiarneho vodovodu, betonáž kábelovodov, kábelových šácht a šácht na čistenie drenáží situovaných v chodníku, aby bolo možné betonážou chodníkovej vrstvy pripraviť trasu na pojazd finišera vozovky v tuneli.

Situáciu v južnej tunelovej rúre ukazuje obr. 5, na ktorej prebieha čistenie spádového betónu vozovky, obsyp požiarneho vodovodu inertným materiálom a šachovnicová betonáž chodníkov. Pod stropom je zavesná látka na uloženie káblov.

V tunelových prepojkách sú vymurované steny technologických miestností a do nich napájané kábelovody z hlavných kábelových trás vedených v tuneli. Pod stropom tunela sú montované závesné látky na vedenie káblov technologického vybavenia tunela. Povrch ostenia tunela je pripravený na nanosenie zosvetľujúceho povlaku. Práce prebiehajú i v predportálových úsekoch tunela na východnom i západnom portáli. Ide ako o výstavbu obidvoch prevádzkových a technologických objektov, tak i trás inžinierskych sietí spájajúcich prevádzkové a technologické objekty s tunelovými rúrami tunela. Pre investora, ktorým je Národná diaľničná spoločnosť, diaľničný úsek, stavia združenie firiem EUROVIA SK, a.s. HOCHTIEF CZ a. s. a SMS a.s.

TUNEL VIŠŇOVÉ

Razenie najdlhšieho slovenského diaľničného tunela Višňové (7537 m), ktorý je súčasťou úseku diaľnice D1 Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala sa začalo v apríli v roku 2015. Zhotoviteľom diaľničného úseku je združenie firiem Salini Impregilo S.p.A a Dúha, a. s.

V súčasnosti pokračuje razenie od oboch portálov v oboch tunelových rúrach. Na konci januára 2017 je od západného portálu vyrazených 1618 m severnej tunelovej rúry a 1497 m južnej tunelovej rúry. Od východného portálu je vyrazených 2138 m severnej

the excavation round length in the whole mined section varied from 0.8m to 1m. In the present period the construction of the secondary lining of the invert is underway.

As of 17th January 2017, the excavation of 308.14m of the northern tunnel tube has been finished from the western portal and 307.31m from the eastern portal, respectively. The aggregate excavated length amounts to 615.45m, which represents 94.9% of the mined part of the NTT (the total length of 648.5m). The length of 33.5m still remains to be excavated.

The construction of the section is provided by a consortium consisting of four companies: Doprastav, a. s., Strabag, a. s., Váhostav – SK, a. s. a Metrostav SK, a. s.

POVAŽSKÝ CHLMEC TUNNEL

The 2186.5m long, twin-tube Považský Chlmec motorway tunnel (the southern tunnel tube) and the 2249m long northern tunnel tube is part of the western motorway by-pass around the city of Žilina in the Žilina (Strážov) – Žilina (Brodno) part of the D3 motorway. The current state of completion of all construction objects is adequate to the bringing of the motorway into service planned for 2017. Concrete casting operations regarding the final lining in the mined tunnel sections, the cut-and-cover sections of the tunnel in the mid-point excavation pit and both portals have been finished. The mid-point pit has been completely backfilled and the terrain has been reinstated. All work activities are directed toward an important construction deadline – commencing the casting of the concrete pavement. The work on the preparation and cleaning the blinding concrete under the structural layers of the roadway, placing of tubes draining the roadway sub-grade and laying of kerbs and slot drains is proceeding from the western portal toward the eastern portal. Immediately behind these work items the following activities proceed: the installation and insulation of the fire main, casting of concrete cableways, cable shafts and drainage manholes located in the walkway. They have to prepare the route for the movement of the concrete paver in the tunnel by casting the concrete walkway layer.

The situation in the southern tunnel tube is shown in Fig. 5, where the cleaning of the sloped concrete roadway, the padding of the fire main with an inert material and the staggered casting of concrete walkways are underway. A cable supporting structure is suspended from the roof.

The masonry walls of technical rooms with cableways from the main cable routes running through the tunnel have been completed in the tunnel cross passages. Supporting structures for cables for the tunnel equipment are being suspended from the tunnel roof. The tunnel lining surface is prepared for the application of a lightening coat. The work proceeds even in the pre-portal tunnel sections at the eastern and western portals, namely the construction of both the operational and service objects and the routes of utility networks connecting the operations and service objects with the tunnel tubes. The motorway section construction is carried out for the project owner, Národná diaľničná spoločnosť (the National Motorway Society of Slovakia) by a consortium consisting of EUROVIA SK, a. s. HOCHTIEF CZ a. s. and SMS a. s.



Obr. 5 Južná tunelová rúra tunelu Považský Chlmec
Fig. 5 Southern tunnel tube of Považský Chlmec tunnel

tunelovej rúry a 1865 m južnej tunelovej rúry. Celkovo je teda koncom januára 2017 vyrazených 7120 m, čo predstavuje približne 48 % z celkovej dĺžky razených tunelových rúr. Metóda razenia je plnoprofilové razenie podľa princípov ADECO – RS. Súčasne s razením tunelových rúr prebieha aj razenie priečných prepojení. Na konci januára 2017 bolo prerazených celkom 10 priečných prepojení z celkového počtu 29. Prebieha tiež realizácia sekundárneho ostenia od oboch portálov. V januári 2017 začalo aj hĺbenie vetracej šachty hĺbky cca 100 m.

Zhotoviteľom diaľničného úseku je združenie firiem Salini Impregilo S.p.A a Dúha, a. s.

Ing. MILAN MAJERČÍK, milan.majercik@ndsas.sk,
NDS, a. s.,
Ing. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s.

VIŠŇOVÉ TUNNEL

The excavation of the longest Slovakian motorway tunnel, the 7537m long Višňové tunnel, which is part of the Lietavská Lúčka – Višňové – Dubná Skala section of the D1 motorway, started in April 2015. The contractor for the motorway stretch is a consortium formed by Salini Impregilo S.p.A and Dúha, a. s.

The tunnel excavation currently continues from both portals, in both tunnel tubes. As of the end of January 2017, 1618m of the excavation of the northern tunnel tube and 1497m of the southern tunnel tube has been finished from the western portal. From the eastern portal, 2138m of the northern tunnel tube excavation and 1865m of the southern tunnel tube has been completed. In total, the excavation of 7120m has been finished, which represents approximately 48% of the total length of the mined tunnel tubes. The tunnel excavation method is the full-face driving according to the ADECO – RS principles. The cross passages are driven simultaneously with the excavation of the tunnel tubes. As of the end of January 2017, the excavation of 10 cross passages of the total number of 29 has been finished. In addition, the secondary lining is being constructed from both portals. The excavation of the ca 100m deep ventilation shaft also commenced in January 2017.

The contractor for the construction of the motorway section is a consortium formed by Salini Impregilo S.p.A and Dúha, a. s.

Ing. MILAN MAJERČÍK, milan.majercik@ndsas.sk,
NDS, a. s.,
Ing. LIBOR MAŘÍK, libor.marik@hochtief.cz,
HOCHTIEF CZ a. s.

VÝROČÍ / ANNIVERSARIES

DEVADESÁT LET ING. KARLA ZÁVORY ING. KAREL ZÁVORA NONAGENARIAN

V dubnu letošního roku se Ing. Karel Závora dožívá úctyhodného životního jubilea 90. let. Celý život pracoval a stále ještě pracuje jako projektant zpočátku mostních konstrukcí a poté jako projektant podzemních staveb. Publikoval v odborných časopisech, konzultoval a vychovával nové odborníky na podzemní stavby.

Narodil se v Praze 20. 4. 1927 a po studiích na ČVUT Fakulta inženýrského stavitelství, kterou úspěšně absolvoval v roce 1951, nastoupil na Stavební správu pro železniční trať Havlíčkův Brod – Plzeň. Zde začal pracovat jako projektant mostních objektů. Po návratu ze základní vojenské služby pracoval od roku 1955 ve skupině tunelových staveb v projektovém ústavu SUDOP. Začínal rekonstrukcemi železničních tunelů například Blanenského, Hanušovického, Vlašského a mnoha dalších. Při delimitaci ke stavební firmě Stavby silnic a železnic v roce 1958 byl



In April 2017, Ing. Karel Závora will live to see the respectable 90th anniversary of his birthday. He worked his whole life and still works as a designer, in the beginning a designer of bridge structures and then as a designer of underground structures. He published in technical journals and consulted and educated new underground construction professionals.

He was born in Prague on 24th April 1927. After studies at the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University, he successfully graduated in 1951 and entered the company of Civil Engineering Administration for the Havlíčkův Brod – Plzeň railway line. He started to work there as a designer of bridge structures. After returning from the compulsory military service, he worked from 1955 in the tunnel construction group of the SUDOP designing institute (the State Railways and Transport Design Institute). He started with the reconstruction of railway tunnels, for example the Blansko, Hanušovice, Valašsko and many other tunnels. In 1958, when he was delimited to the civil engineering company of Stavby silnic a železnic (a road and railway construction company) he became a member of the group carrying out designs for the Baraba construction plant. He continued to work on designs for reconstruction of many other railway tunnel structures. In 1963,

členem projekční skupiny, která zpracovávala projekty pro závod Baraba. Pokračoval na projektech rekonstrukcí mnoha dalších železničních tunelových staveb. V roce 1963 se Ing. Karel Závora vrátil do projektového ústavu SUDOP. V té době zde řešil prováděcí projekty novostavby dvoukolejného tunelu pod Bílou skálou v Praze.

V roce 1967 se začalo v Praze stavět metro, trasa C a Ing. Karel Závora jako uznávaný odborník na tunelové stavby se aktivně podílel na projektech. Dne 1. 5. 1971 byl z projektového ústavu SUDOP delimitován 5. odbor a v rámci Dopravního podniku hl. města Prahy vytvořen nový projektový ústav DP METROPROJEKT, který úspěšně zvládal náročné projekty metra v Praze. Ing. Karel Závora zde pracoval jako hlavní specialista na tunelové stavby. Podílel se na projektech většiny ražených tunelových úseků a ražených stanic metra. Současně vedl a vychovával řadu mladých kolegů, tunelářů a intenzivně se věnoval získávání nových zkušeností a poznatků z celého světa a prosazoval je do projektů metra. Pražské metro se díky jemu a mnoha jeho kolegům stalo po zásluze „stavbou 20. století“ České republiky.

Odchodem do důchodu v roce 1992 neskončila jeho odborná aktivní činnost. Využívá své bohaté zkušenosti, které stále uplatňuje při své konzultační činnosti na projektech železničních i dálničních tunelů v České a Slovenské republice. Rovněž se aktivně zapojil do projektů a realizace trasy V.A pražského metra, která je zatím poslední stavbou metra uvedenou do provozu. Během svého profesního života je svědkem a aktivním účastníkem výrazného rozvoje tunelářského stavitelství u nás.

Ing. Karel Závora se celý život udržoval v dobré fyzické kondici. Ve svém volném čase aktivně sportoval, hrál i trénoval košíkovou a i nyní se věnuje mimo jiné turistice a kynologii. Všichni mu přejeme, aby mu vydržel jeho životní elán a optimismus a hlavně, aby se ve zdraví dožil mnoha dalších let.

Ing. MIROSLAV NOVÁK, METROPROJEKT Praha a.s.

ŽIVOTNÉ JUBILEUM ING. JOZEFA FRANKOVSKÉHO ING. JOZEF FRANKOVSKÝ'S ANNIVERSARY

Je pre mňa veľkou ctou byť jedným z gratulantov k 80. narodeninám jedného z nestorov slovenského tunelového staviteľstva, čestného člena Slovenskej tunelárskej asociácie ITA/AITES a dlhoročného redaktora časopisu Tunel, a pre mňa najmä úžasného rozprávača s nekonečnou zásobou odborných, ale aj takých obyčajnejších tém – Ing. Jozefa Frankovského.



Narodil sa v marci 1937 v krásnej podtatranskej dedinke na Zamagurí – Veľkej Frankovej – v blízkosti hranice s Poľskom. Po absolvovaní baníckeho učilišťa v Sirku a baníckej priemyselovky v Rožňave nastúpil Ing. Frankovský v roku 1960 do podniku Banské stavby Prievidza, s ktorými až na krátku intermezzá sú zviazané jeho životné osudy aj profesionálna činnosť až do odchodu do dôchodku a je s nimi spojený (teraz už v spoločnosti Skanska) až do dnešných dní. V rokoch 1961 až 1967 vyštudoval popri zamestnaní Banícku fakultu VŠT v Košiciach, odbor hlbinné dobývanie ložísk a výstavba

Ing. Karel Závora returned to the SUDOP designing institute. At that time he solved final designs for a new double-track tunnel under Bílá Skála rock in Prague.

In 1967, the development of the metro line C commenced in Prague and Ing. Karel Závora, as a renowned expert in the field of tunnel construction, participated in the designing activities. On 1st May 1971, the so-called 5th Department was delimited from the SUDOP designing institute and the new designing institute, DP METROPROJEKT, was created within the framework of the Prague Public Transit Company. It successfully coped with the complex designs for the metro in Prague. Ing. Karel Závora worked there in the position of the main specialist in the field of tunnel construction. He participated in designing for the majority of mined tunnel sections and mined metro stations. At the same time, he guided and educated many young colleagues, tunnellers, and intensely dedicated himself to gathering new experience and knowledge from around the world to implement it into designs for the metro. Owing to him and many of his colleagues, the Prague metro deservedly became the “project of the 20th century” of the Czech Republic.

His active technical work did not end by his retirement in 1992. He uses the wealth of his experience and constantly applies it to his consulting activities focused on designing railway and motorway tunnels in the Czech and Slovak Republics. In addition, he actively engaged himself in designing for and realisation of the Prague metro Line V.A, which is, for the time being, the last metro project brought into service. During his professional life he has been a witness and active participant in the significant development of the tunnel construction engineering in the Czech Republic.

Ing. Karel Závora has kept himself all his life in good physical condition. In his leisure time he did active sports, played and trained basketball and even now dedicates himself, in addition to other hobbies, to tourism and cynology. We all wish him that he keeps his zest for life and optimism and, first of all, that he lives to many more years in good health.

Ing. MIROSLAV NOVÁK, METROPROJEKT Praha a.s.

It is a great honour for me to be one of the congratulants on the occasion of the 80th birthday of one of doyens of the Slovakian tunnel construction engineering, a honorary member of the ITA-AITES Slovak Tunnelling Association, a long-time editor of TUNEL journal and, for me, mainly a fantastic debater with a never ending store of professional, but also more ordinary, themes – Ing. Jozef Frankovský.

He was born in March 1937 in Veľká Franková, a beautiful hamlet in Zamagurie, under the Tatras – near the border with Poland. After completing his learning at the school of mining in Sirk and graduating from the technical college in Rožňava, he entered in 1960 Banské Stavby Prievidza (construction of mines), with which his fates and professional activities were associated, with brief interludes, until his retirement. He is associated with it (now already the company of Skanska) until today. In the 1961 – 1967 period of time, during the employment, he studied extramurally at the Faculty of Mining of the Technical University in Košice. He graduated with a degree from the Department of Deep Mining and Development of Mines. During the subsequent period until 1989 he worked in several positions in the field of technical development. He participated in the development of several technologies for the area of mining,

baní. Počas nasledujúceho obdobia až do roku 1989 pracoval vo viacerých funkciách na úseku technického rozvoja. Podieľal sa na vývoji viacerých technológií, či už pre oblasť razenia, banskej dopravy alebo vstrojovania (panelová výstuž, striekaný betón). Napriek nepriazni vtedajšej doby mu jeho technická kompetencia spolu s jazykovými znalosťami umožnili aktívnu účasť na viacerých pozoruhodných dielach nielen na Slovensku. Ako príklad stavieb, na ktorých sa podieľal, môžeme uviesť novú odvodňovaciu štôľňu Voznica, prečerpávaciu vodnú elektrárňu Čierny Váh ako aj výstavbu Bane Cigelf. Po politických zmenách v novembri 1989 pracoval v roku 1990 ako poverený riaditeľ podniku Banské stavby. V rokoch 1991 až 1993 pôsobil ako riaditeľ odboru ťažby nerastných surovín na Ministerstve hospodárstva SR v Bratislave a v období 1993 až 1994 ako generálny riaditeľ Prefabetón a. s. Koš. V roku 1995 sa vrátil na Banské stavby, kde pracoval ako vedúci odboru marketingu, neskôr ako vedúci kancelárie a poradca generálneho riaditeľa.

Počas svojej aktívnej kariéry publikoval v časopisoch Inžinierske stavby, Tunel, Rudy a uhlí a tiež v zborníkoch z rôznych odborných podujatí. Za vrchol publikačnej aktivity možno považovať jeho knihu *Popod hory a doly*, vydanú pri príležitosti polstoročnice podniku Banské stavby Prievidza v roku 2001.

Pre mňa osobne je Ing. Jozef Frankovský jedným zo zakladateľov Slovenskej tunelárskej asociácie a najmä kolegom z redakčnej rady časopisu Tunel, kde pôsobí už viac ako 20 rokov ako redaktor a odborný redaktor. Má svoj veľký podiel na kvalite nášho časopisu a jazykovej správnosti slovenských textov, ktoré máte možnosť čítať. Spoločné cesty na zasadnutie redakčnej rady do Prahy, ako aj na výjazdové zasadnutia s dlhými debatami bezchybnou slovenčinou na všetky aktuálne témy sú pre mňa neopakovateľným zážitkom a iným pohľadom na náš, dnes tak uponáhľaný svet. A tak ako predchádzajúce roky ani teraz nezostáva len pri aktivitách STA, ale stále sa zapája do akcií v Slovenskej baníckej spoločnosti a v senior klube bývalých pracovníkov Banských stavieb.

Pán inžinier, želim Vám v mene redakčnej rady časopisu TUNEL, čitateľov časopisu Tunela, Slovenskej tunelárskej asociácie ako aj v mene svojom zdravie, neutíchajúcu chuť diskutovať, nádherné dni a spokojnosť v kruhu svojich blízkych a pre nás „tunelárov“ ešte veľa stretnutí na odborných a spoločenských podujatiach.

Ing. VIKTÓRIA CHOMOVÁ

75 LET ING. PETRA VOZARIKA

75TH BIRTHDAY ANNIVERSARY OF ING. PETR VOZARIK

Byl jsem vyzván redakční radou časopisu Tunel, abych připomněl životní výročí Ing. Petra Vozarika, který se 16. dubna 2017 dožívá 75 let. Rád se pokusím tohoto milého úkolu zhostit i proto, že výzva redakční rady popírá české přísloví: Sejde z očí, sejde z mysli.

Petr byl v české tunelářské pospolitosti jistě výrazná osobnost vybavená velkou schopností komunikovat a navazovat přátelské vztahy s mnoha lidmi. My, příslušníci jeho generace, to můžeme potvrdit. Proto si na něj



mine transportation or underground excavation support (panel support, sprayed concrete). Despite the adversity of that time, his technical competence together with his language skills allowed him to actively participate in various remarkable workings not only in Slovakia. As examples of the projects he participated in, we can mention the Voznica new drainage gallery, the Čierny Váh pump storage scheme or the development of the Cigelf Mine. After political changes in November 1989, in 1990, he worked in the position of the acting director of the company of Banské Stavby Prievidza. From 1991 to 1993 he was in the position of the director of the Department of Exploitation of Mineral Resources of the Ministry of Economy of the Slovak Republic, Bratislava, and from 1993 to 1994 in the position of the general director of Prefabetón a. s. Košice. In 1995 he returned to Banské Stavby a.s., where he worked in the position of the manager of the marketing department, later in the position of the manager of general director's office and a consultant to general director.

During his active career he published in the journals of Inžinierske Stavby, Tunel and Rudy a Uhlí, as well as in proceedings of various professional events. His book *Popod hory a doly*, which was published on the occasion of half a century of the company of Banské stavby Prievidza in 2001, can be considered the top of his publishing activity.

For me personally Ing. Jozef Frankovský is one of the founders of the Slovak Tunnelling Association and, first of all, a colleague from the Editorial Board of TUNEL journal, where he has been working for over 20 years in the position of an editor and technical editor. He has a large share of the quality of our journal and linguistic correctness of the Slovakian texts you can read. Travelling together to the Editorial Board meetings in Prague as well as away meetings with long debates in flawless Slovak on all current themes are an unrepeatable experience for me and another view of our, today so hasty, world. As in the previous years, his activities are not limited to the STA. He still engages himself in events organised by the Slovak Mining Society and in the senior club of former employees of Banské stavby.

Dear Mr. Frankovský, I wish you on behalf of the Editorial Board of TUNEL journal, the journal readers, the Slovak Tunnelling Association and myself great health, an unflagging desire to discuss and beautiful days and contentment in the circle of your friends. To us "tunnellers", I wish many meetings with you at technical and societal events.

Ing. VIKTÓRIA CHOMOVÁ

I have been asked by the editorial board of TUNEL journal to bring back to mind the anniversary of Ing. Petr Vozarik, who will celebrate his 75th birthday on 16th April 2017. I am happy that I can try to fulfil this pleasant task even because of the fact that the editorial board's request negates the Czech saying: Out of sight, out of mind.

Petr has certainly been an outstanding personality in the Czech tunnel building community, always equipped with great ability to communicate and establish friendly relationships with many people. We, members of his generation, can confirm it. For that reason, many colleagues and friends will certainly remember him in the context of his anniversary and will recall the moments or the shorter or longer times we spent with him in the joint tunnel construction profession or, as the case may be, in the Czech

v souvislosti s jeho životním výročím jistě vzpomene mnoho kolegů a přátel a vybaví si chvíle, či kratší nebo delší dobu, kterou s ním strávili ve společné tunelářské profesi, případně v České tunelářské asociaci nebo i ve volném čase naplněném hlavně vším, co souvisí s láskou k horám.

Bylo by toho mnoho, co bych mohl vzpomenout. Nejprve, protože tento text čtete v čísle 1/2017 časopisu Tunel, musím s obdivem připomenout, že Petr byl nejdéle působícím předsedou jeho redakční rady. Bylo to plných sedmáct let od roku 1993 až do roku 2009. Pro časopis Tunel to bylo období růstu, zkvalitnil se a rozšířil se zásadním způsobem jeho obsah, časopis přešel na česko/slovensko anglickou mutaci a rostla jeho prestiž. Je jasné, že Ing. Petr Vozarik na tom měl výrazný podíl.

Petr byl aktivním členem České tunelářské asociace v podstatě od jejího založení v devadesátých letech minulého století (tehdy ovšem fungovala jako Československý tunelářský komitét). Podílel se prakticky na všech jejích aktivitách, ale zdůraznil bych jeho práci na přípravě seminářů a konferencí, které asociace pořádala. Pracoval dokonce i v organizačních výborech dvou světových tunelářských kongresů ITA-AITES, které se prozatím konaly v Praze, hlavním městě České republiky, resp. Československa. První kongres proběhl v roce 1985 (o něm mnoho mladších kolegů možná ani neví), byl úspěšný a ještě mnohem vyšší latky dosáhl pražský kongres ITA-AITES WTC 2007.

Profesní působení Ing. Petra Vozarika bylo nejprve spojeno s podnikem VKD Kladno, v rámci kterého začal naplňovat své životní poslání, kterým bylo budování pražského metra. Pracoval tehdy na tunelových úsecích C a II.A. Když v roce 1975 přestoupil k firmě Metrostav Praha, v různých funkcích zajišťoval přípravu tras I.A, I.B, II.B a IV.B. V letech před odchodem do důchodu v roce 2011 pak uplatnil své zkušenosti v přípravě a inženýringu stavby pražského tunelového komplexu Blanka.

Považuji za potřebné připomenout, že Petr pochází z rázovité oblasti Moravského Slovácka, z kraje vína, slivovice i meruňkovice, kde roste strom jeřáb oskeruše a kde vznikly strhující lidové písně. Že je Petr zná a rád je zpívá, mohou dosvědčit všichni, kdož se s ním sešli u cimbálové muziky, například při společenských setkáních v Břevnovském klášteře v rámci pražských tunelářských konferencí.

Petře jistě i jménem všech Tvých tunelářských kolegů a spolupracovníků i členů CzTA ITA-AITES Ti přeji (všichni Ti přejeme) do dalších let pevné zdraví a prosíme Tě, neztrácej svou vitalitu a životní optimismus, abychom si s Tebou ještě někdy mohli u cimbálu zazpívat.

*Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ,
bývalý generální sekretář CzTA ITA-AITES*

Tunnelling Association, or in the free time moments filled first of all with everything associated with love for mountains.

There is so much I could recall. In the first place, with respect to the fact that you are reading this text in issue No. 1/2017 of TUNEL journal, I must bring back to mind the fact that Petr was the longest-acting chairman of its editorial board. It lasted for full seventeen years from 1993 to 2009. For TUNEL journal it was the period of growth, the quality of its content increase and the content expansion, switching of the journal to a Czech/Slovakian English mutation and grows of its prestige. Of course, Ing. Petr Vozarik had a significant share in the success.

Petr was an active member of the Czech Tunnelling Association essentially from its foundation in the 1990s (at that time it was called the Czechoslovak Tunnelling Committee). He participated virtually in all of its activities, but I would like to put stress on his work on the preparation of seminars and conferences organised by the association. He even worked in organising committees of two ITA-AITES World Tunnel Congresses, which were held in Prague, the capital of the Czech republic, respectively Czechoslovakia. The first Congress was held in 1985 (many younger colleagues possibly do not know about it). It was successful, but the Prague ITA-AITES WTC 2007 congress reached even a higher level.

The professional activity of Ing. Petr Vozarik was in the beginning associated with VKD Kladno. Within this coal mining company he started to fulfil his life mission, lying in the development of the Prague metro. At that time he worked on tunnel lines C and II.A. In 1975, when he went over to Metrostav Praha, where he, in various positions, carried out the planning and preparation of the I.A, I.B, II.B and IV.B metro lines. During the years before his retirement in 2011 he applied his experience to the engineering and preparation of the Prague Blanka complex of tunnels.

I consider it necessary to note that Petr was born in the distinctive area of Moravian Slovakia, the region of wine, plum and apricot brandy, where rowanberry shrubs grow and where spell-binding folk songs originate. All those who met him at the cymbal music, for instance during the social gatherings at the Břevnov Monastery held within the framework of Prague tunnel conferences, can confirm that Petr knows and loves to sing the songs.

Dear Petr, it is certainly on behalf of your tunnel construction colleagues and collaborators, as well as the members of the ITA-AITES CzTA that I (we all) wish you all the best for good health in the coming years. Please, do not lose your vitality and life optimism so that we can sing with you again at the cymbal.

*Ing. MILOSLAV NOVOTNÝ,
Former general secretary of the CzTA of ITA-AITES*

Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

POHLEDNICE S ŽELEZNIČNÍMI TUNELY V SEVEROVÝCHODNÍCH ČECHÁCH PICTURE POSTCARDS WITH RAILWAY TUNNELS IN NORTH-EASTERN BOHEMIA

The north-eastern part of the Czech Republic has got (similarly to other regions of the Czech Republic) a relatively dense railway network. With respect to the morphological conditions in the area, it was necessary to build tunnels on railway tracks in this region. With respect to the significant tourist attractiveness of the region, there are numerous picture postcards in collections on which we encounter,

apart from other interesting things, even railway tunnels (the Moravian Switzerland, with picture postcards presenting tunnels which were introduced in TUNEL journal issue No. 2/2014 is a parallel). The pictures from north-western Bohemia presented in the following contribution have one significant common feature. They document for us mainly landscape sceneries, where railway tunnels



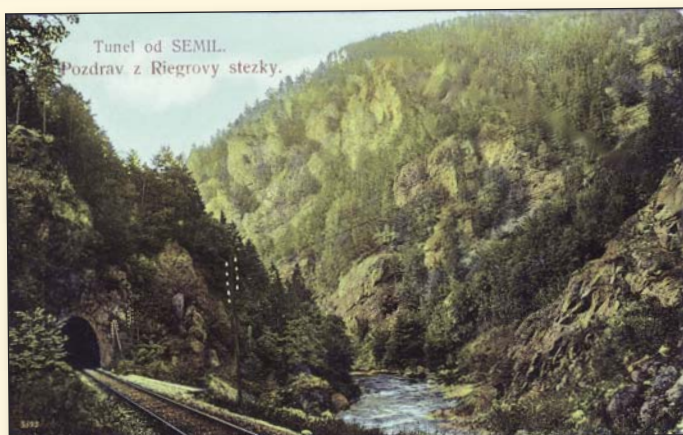
Obr. 1 Partie ze Řík u Semil. Nakladatel K. Chaloupecký knihkupectví a papírnickví v Semilech. 1908. Kolorovaná fotografie. [sbírka autorů]
Na pohlednici je zobrazen vjezdový, jihovýchodní portál tunelu Říkovského I.
Fig. 1 A scenery from Říky near the town of Semily. Publisher K. Chaloupecký, Bookshop and Stationery shop in Semily. 1908. Coloured photo. [authors' collection]
The picture postcard presents a view of the south-eastern entrance portal of the Říkov I tunnel.

are often depicted on the edge of the postcard or somewhere in the distance, as if they are a sort of an added value.

Severovýchodní část České republiky má (obdobně jako řada dalších regionů ČR) poměrně hustou železniční síť. S ohledem na morfologické poměry území zde musely být na tratích zřizovány četné tunely. Vzhledem k významné turistické atraktivitě tohoto kraje se ve sbírkách vyskytuje řada pohlednic, na kterých se setkáváme, kromě jiných zajímavostí, právě i s železničními tunely (paralelou je „Moravské Švýcarsko“, jehož tunely na pohlednicích byly představeny v časopisu Tunel č. 2/2014). Pohlednice ze severovýchodních Čech prezentované v následujícím příspěvku mají přitom jeden výrazný společný rys. Dokumentují nám převážně krajinou scenerii, přičemž železniční tunely jsou na nich zobrazovány často na okraji pohlednice nebo někde v dálce, a to jen jako jakási přidaná hodnota.

ŘÍKOVSKÉ TUNELY

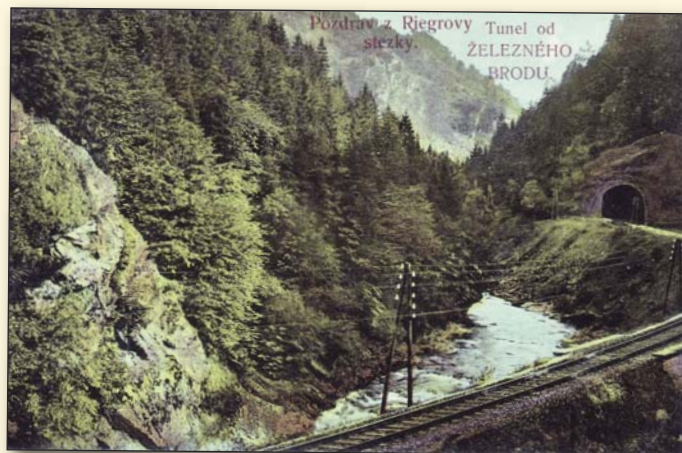
První záměry zřízení železničního spojení Pardubice – Liberec se vážou k roku 1840. Až v roce 1856 byla podnikatelům Liebigovi, Kleinovi a bratřím Lannovým vydána koncese na výstavbu a provoz



Obr. 3 Pozdrav z Riegrovy stezky. Tunel od Semil. Nákladem A. Baumgartnera v Žel. Brodě. Před 1914. Kolorovaná fotografie. [sbírka autorů]
Při levém okraji pohlednice se nachází, obdobně jako na předchozím obr. 2, jižní portál tunelu Říkovského II pod Krkavčí skálou.
Fig. 3 Greetings from the Rieger Trail. The tunnel near Semily. At the expense of A. Baumgartner in Železný Brod. Before 1914. Coloured photo. [authors' collection]
The southern portal of the Říkov II tunnel under Krkavčí Skála rock can be seen on the left-hand edge of the picture postcard, similarly to the previous Fig. 2.



Obr. 2 Partie z Riegrovy stezky a Krkavčí skála. Nakladatel Karel Chaloupecký, Knihkupec v Semilech. 1927. Kresba (uhlem?). [sbírka autorů]
Jedná se o tunel Říkovský II. Na pohlednici je nepřiliš patrný jeho vjezdový – jižní – portál pod výraznou místní dominantou zvanou Krkavčí skála.
Fig. 2 A scenery from the Rieger Trail and the Krkavčí Skála rock. Publisher Karel Chaloupecký, Bookseller in Semily. 1927. Drawing (charcoal?). [authors' collection]
This is the Říkov II tunnel. The southern entrance portal under Krkavčí Skála rock, the local distinctive dominant feature.



Obr. 4 Pozdrav z Riegrovy stezky. Tunel od Železného Brodu. Nákladem A. Baumgartnera v Žel. Brodě. Před 1914. Kolorovaná fotografie. [sbírka autorů]
Při pravém okraji pohlednice je opět vidět portál tunelu Říkovského II pod Krkavčí skálou, tentokrát však severní.
Fig. 4 Greetings from the Rieger Trail. The tunnel from Železný Brod. At the expense of A. Baumgartner in Železný Brod. Before 1914. Coloured photo. [authors' collection]
The portal of the Říkov II tunnel is again seen on the right-hand edge of the picture card, but this time it is the northern one.



Obr. 5 III. Tunel. Partie u Semil. Nakladatel K. Chaloupecký knihkupectví Semily. Před 1914. Kolorovaná fotografie. [sbírka autorů]

Jedná se o tunel Říkovský III. Na pohlednici je jeho výjezdový, severní portál.
 Fig. 5 Tunnel III. A scenery near Semily. Publisher Karel Chaloupecký, Bookshop in Semily. Before 1914. Coloured photo. [authors' collection]
 This is the Říkov III tunnel. Its northern exit portal is shown in the picture postcard.

parostrojní železnice z Pardubic do Liberce a odbočnou uhelnou dráhu z Josefova do Malých Svatoňovic. Hlavním záměrem zmíněných podnikatelů bylo napojení se na olomoucko-pražskou dráhu a spojení Vídně s německy hovořícími oblastmi na severu Čech a dále s Pruskem. Nová železniční společnost byla pojmenována „K. K. Priv. Süd-Norddeutsche Verbindungsbahn“ – ve zkratce SNDVB (česky „C. k. privilegovaná Jiho-severoněmecká spojovací dráha“). Trasa nové železnice byla podmíněna vedením v blízkosti pevností Hradec Králové a Josefov.

Stavba, řízená stavbyvedoucím Ing. Janem Šebkem, byla zahájena v Pardubicích v září 1856. Tunely, jak bývalo v té době běžné, stavěli italská barabové, přišli z právě dokončené tratě Rakouské jižní dráhy Vídeň – Terst. Mnozí z nich se měli posléze vyjadřovat, že tak těžké podmínky, s jakými se střetli v až 70 m hlubokém kaňonu Jizery mezi Semily a Železným Brodem, nepoznali ani v Alpách. Při trhacích pracích byl stále ještě používán černý střelný prach. Stavba celé tratě pak byla hotova za dnes neuvěřitelných 27 měsíců. Dne 4. 11. 1857 byl otevřen úsek z Pardubic do Josefova, 1. 6. 1858 pokračování z Josefova na Horka u Staré Paky, 1. 12. 1858 vyjely vlaky z Horek do Turnova a 1. 5. 1859 byla dána do provozu celá trať z Pardubic až do Liberce.

Říkovské tunely – obr. 1 až 6 – se nacházejí na traťovém úseku Stará Paka – Liberec hl. n., mezi stanicemi Semily a Železný Brod. První z tunelů byl dokončen již v listopadu 1857 a poslední, čtvrtý, v dubnu 1859. Souborně pak byly uvedeny do provozu v roce 1859. Všechny tunely byly stavěny pro dvě koleje, když v současnosti je



Obr. 6 Tunel v Řekách na Riegerově stezce. Nakl. Karel Chaloupecký, knihkupec v Semilech. 1925. [sbírka autorů]

S vysokou pravděpodobností se jedná o výhled ze severního portálu tunelu Říkovského III na následující jižní portál tunelu Říkovského IV. Velmi dobře jsou patrná zděná žebra zajišťující přilehlou strmou skalní stěnu.

Fig. 6 The tunnel in Řeky on the Rieger Trail. Publisher Karel Chaloupecký, Bookseller in Semily. 1925 [authors' collection]

With high probability, this is a view of the southern portal of the Říkov IV tunnel taken from the northern portal of the preceding Říkov III tunnel. Masonry ribs supporting the adjacent steep rock wall are very well visible.

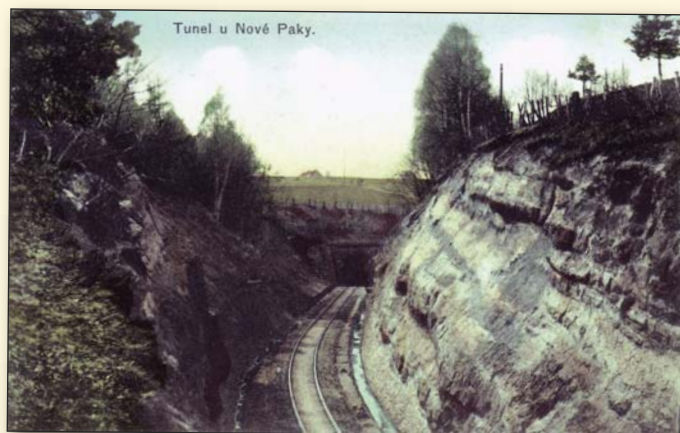
v nich provozována kolej jedna. Jejich délky jsou následující: Říkovský I – 297 m, Říkovský II – 307 m, Říkovský III – 264,85 m, Říkovský IV – 199,85 m.

V šedesátých letech XX. stol. byly, s ohledem na bezpečnost, u druhého, třetího a čtvrtého tunelu zřízeny betonové galerie. [1, 2]

TUNEL NOVOPACKÝ

Tunel Novopacký se nachází na traťovém úseku Chlumec n/Cidlinou – Trutnov Poříčí, a to mezi stanicemi Horní Nová Ves a Nová Paka. Předmětná trať byla zřízena společností „Rakouské severozápadní dráhy“ (ÖNWB = Österreichische Nordwest Bahn). Tunel stavěli rovněž italská dělníci, a to jako jednokolejný. Zprovozněn byl roku 1871, v délce 347,95 m.

Novopacký tunel je zajímavý několika svými parametry. Jeho jižní výjezd (obr. 7) je v oblouku, takže tunelem, ač poměrně krátkým, není vidět skrz. Dále se přímo v tunelu mění sklon trati. A vůbec nejzajímavější je to, že každý z tunelových portálů náleží do povodí jiné řeky – severní k Jizeře a jižní (na obr. 7) k Cidlině. [1, 3]



Obr. 7 Tunel u Nové Paky. Josef Pech, knihkupec Nová Paka. Před 1914. Kolorovaná fotografie. [sbírka autorů]

Na pohlednici je vidět hluboce zaříznutý jižní portálový úsek, nad portálem jsou v pozadí první domky obce Heřmanice.

Fig. 7 A tunnel Near Nová Paka. Josef Pech, bookseller in Nová Paka. Before 1914. Coloured photo [authors' collection]

The deeply cut southern portal section can be seen in the picture postcard, the first houses of the municipality of Hartmanice are visible in the background above the portal.



Obr. 8 Nádražní údolí s tunelem u Police n. Met. 1899. [Sbírka autorů]
Na pohlednici je velmi jednoduché původní nádraží Police n/M. V dálce je vidět jižní portál tunelu i s náznakem obce Petrovice.

Fig. 8 Railway station valley with a tunnel near Police nad Metují. 1899. [authors' collection]

The picture postcard presents the original very simple railway station in Police nad Metují. The southern portal of the tunnel with a trace of the municipality of Petrovice is visible in the distance.

TUNEL PETROVICKÝ

Tunel Petrovický se nachází na traťovém úseku Týniště n/Orlicí – Mioszów (PKP), mezi stanicemi Police n/Metují a Žďár. Pojmenován je podle obce Petrovice, která se nalézá přímo nad ním (obr. 8). Stavbu tunelu prováděli opět italské dělníky pod vedením inženýrů Itala Bartollettiho a Slovince Kovačoviče. Proražen byl, v délce 289,80 m, 7. 5. 1874. Tunel byl zřízen jako dvoukolejný, provozována je však kolej jedna. [1, 4]

doc. Ing. VLADISLAV HORÁK, CSc.,
Ing. RICHARD SVOBODA, Ph.D.,
Ing. MARTIN ZÁVACKÝ

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] ZIMEK, P. Z historie železničních tunelů. 1. Vyd. Praha: ČD, 32 s.
- [2] Tunely Říkovský I až IV. Vrchlabsko. Podkrkonošská parní nostalgje [online]. 2016 [cit. 2016-12-14]. Dostupné na internetu <<http://www.vrchlabsko.info/nostalgieat.html>>
- [3] Železniční tunel Novopacký [online]. 2016 [cit. 2016-12-14]. Dostupné na internetu <<https://sites.google.com/a/gymnp.cz/zeleznicni-tunel>>
- [4] Petrovický tunel [online]. 2016 [cit. 2016-12-14]. Dostupné na internetu <<http://houmrovyvlaky.bluehost.cz/Galerie/Tunel/img00001.htm>>

Z ČINNOSTI PRACOVNÍCH SKUPIN CZTA / CZTA WORKING GROUPS

INFORMACE PRACOVNÍ SKUPINY MECHANIZOVANÉHO TUNELOVÁNÍ

O TBM RAŽBĚ TUNELU MTKVARI V GRUZII S ČESKOU ÚČASTÍ

INFORMATION OF CZTA WORKING GROUP MECHANIZED TUNNELING

ON THE MTKVARI TUNNEL TBM EXCAVATION IN GEORGIA WITH CZECH PARTICIPATION

An extensive investment unit, a hydropower plant on the Mtkvari River, is under construction with the participation of Czech companies SAMSON PRAHA, spol. s r. o. and Škoda Praha. At the full output, the power plant will generate approximately 55MW. The earthfill dam location is designed to be in a river meander in a valley. The power plant is on the river, downstream from a flown-along mountain massif. Water is carried to the power plant from the reservoir over a mountain ridge through a tunnel.

Úvod

V jižní Gruzii se buduje rozsáhlý investiční celek hydroelektrárny na řece Mtkvari s příspěvkem českých firem SAMSON PRAHA, spol. s r. o. a Škoda Praha. Elektrárna bude při plném výkonu dodávat přibližně 55 MW. Sypaná hráz je navržena v záhybu řeky v údolí. Elektrárna je na řece po proudu za obtékaným horským masivem. K elektrárně je přivedena voda z přehrady tunelem přes horský hřeben.

Historie a vývoj stavby tunelu

Původní projekt z roku 2009 předpokládal realizaci tunelu konvenčně. Po vyražení úseku v délce cca 300 m byly postupy nedostatečné vzhledem k požadovanému termínu dokončení tunelu za dva roky.

Skupina investorů se prostřednictvím svých expertů rozhodla návrh přepracovat a využít nabídky společnosti Herrenknecht na dodávku repasovaného tunelovacího stroje. Jednalo se o TBM stroj double shield hard rock. Společnost pro výstavbu elektrárny ovšem za stroj nezaplatila a celý projekt opustila, neboť i přes



Obr. 1 Řezná hlava stroje TBM double shield hard rock před portálem
Fig. 1 Cutterhead of the double shield hard rock TBM in front of portal

Tab. 1 Přehled hornin podle geologického průzkumu
Table 1 Summary of ground types according to geological survey

skupina horniny dle vzniku	podskupina	litologický typ horniny
magmatické	intrusivní (ztuhlé pod povrchem)	středně-krystalický Tešenit
		hrubě-krystalický Tešenit
		tmavě šedý Diabas
	efusivní (vylité)	tmavě šedý, Tmavě hnědý nebo Tmavě zelný Andesit zelený, hnědozelený nebo šedý hrubo- a jemnozrnný tuf
metamorfované	kontaktně metamorfované	šedý kontaktní rohovec
sedimentární soudržné	hrubozrnné	zelené, šedé, tmavo-šedé brekcie s polohami Andesitu
	jemnozrnné	šedé, zeleno-šedé nebo hnědé střednězrnné Pískovce
		šedé, zeleno-šedé nebo hnědé jemnozrnné Pískovce
	prachovité a jílovité	prokřemenělý Argilit šedý, zelenošedý, hnědošedý, fialový nebo tmavočervený Argilit

investice 30 mil. dolarů nedosáhla pokroku. Významným argumentem rovněž bylo obrovské zpoždění oproti harmonogramu. Stroj zůstal uskladněn po dva roky u společnosti Herrenknecht. Projekt byl následně převzat investičním fondem s podporou gruzínských bank a soukromých investorů, který najal konzultační společnost Škoda Praha a. s. Teprve poté v roce 2015 se podařilo znovu rozběhnout hlavní stavební práce a ražbu tunelu.

Technický dozor investora a geotechnický dohled na stavbě zajišťuje společnost SAMSON PRAHA, spol. s r.o. svými 3 až 4 pracovníky.

Geologie

Tunel je veden v horninovém prostředí střídajících se sedimentárních, metamorfovaných a magmatických hornin. Litologické typy jsou pískovce, brekcie, andesit, tuf. Hlavní plochy vrstevnatosti jsou ukloněny převážně téměř svisle, vzdálenost ploch cca 1 m. Hornina je suchá bez přítoků podzemní vody. Přehled hornin podle geologického průzkumu je v příložené tabulce.

Základní technické údaje o tunelu

Průměr výrubu tunelu je 6 m, délka tunelu cca 9,7 km. Směrově je tunel téměř přímý, výškově má spád 0,5 %. Ražba tunelu probíhá dovrchně od budoucí elektrárny.

Dolní úsek tunelu v délce cca 300 m byl vyražen konvenčně pomocí trhačích prací a skalní frézy. Výrub je dočasně zajištěn pouze slabou vrstvou stříkaného betonu, ve vybraných místech navíc s výtuznými sítěmi a rámy z ocelových I-profilů. Do



Obr. 2 Dobře patrné struktury horninového masivu v odřezu poblíž portálu tunelu

Fig. 2 Well apparent structures of rock mass in a side-hill cut near the tunnel portal



Obr. 3 Hotový tunel a poslední vozy závěsu stroje TBM

Fig. 3 Completed tunnel and last trailers of the TBM trailing gear

definitivní monolitické tunelové obezdvíčky bude v tomto úseku instalováno ještě ocelové svařované opláštění – potrubí.

Ve vzdálenosti cca 200 m od portálu je nad tunelem navržena šachta délky 45 m a nad ní podpovrchová vyrovnávací nádrž hluboká také cca 45 m.

Technické řešení tunelu a postup ražby TBM

Úsek tunelu od km 0,300 až k hornímu portálu u vtokového objektu v km 9,800 je nyní ražen tunelovacím strojem TBM double shield hard rock. Kruhové ostění je montováno z železobetonových segmentů (5+1). Styčná spára jednotlivých prstenců ostění není navržena kónická. Stroj je veden pouze nerovnoměrným svíráním gumového těsnění mezi segmenty. Doprava rubaniny z tunelu je zajištěna dopravníkovým pásem, segmenty ostění se dopravují kolejovou drázkou, přičemž se na vlaku vezou vždy dílce pro dva prstence. Po kolejích se dopravují také kačírky a cement pro primární i systematickou sekundární injecktáž. Injecktážní směs se míchá až na stroji s přidáváním vody. Tloušťka ostění je 250 mm, délka jednoho prstence je 1,5 m.

Ražba TBM byla zahájena po obvyklých úvodních komplikacích v srpnu 2016. Postupy ražby jsou nyní až 900 m/měsíc. Rychlost ražby jde však často na úkor kvality injecktáží. Dosud je vyraženo cca 4000 m.

Problémy výstavby tunelu

Hornina je úplně suchá a to je příčinou velmi prašného prostředí ve stroji. V dílcích ostění se objevují trhliny způsobené zejména nevhodným skladováním a manipulací. Dílce s trhlínami je nutno vyřazovat a likvidovat.

Přesnost smontovaného ostění je často nedostatečná a dílce mívají odštípnuté rohy. Je to z důvodu nerovnoměrného zatížení strojem, většinou však kvůli neopatrné manipulaci a nedodržení technologické kázně. Primární injektáž je nedostatečná z důvodu rychlého postupu.

Závěr

Přes počáteční problémy s rozběhnutím výstavby celé hydroelektrárny se nyní realizují stavební práce i ražba tunelu poměrně rychlým tempem. Kvapnou práci často provází nestálá pracovní

morálka a nedbalý přístup obvyklý v tomto regionu. O to důležitější je zde úloha technického dozoru investora, která významným způsobem přispívá k provedení kvalitního díla.

*Ing. OTAKAR HASÍK, hasik@samsonpraha.cz,
Ing. MARCEL RÜCKL, ruckl@samsonpraha.cz,
Ing. PETR JAKEŠ, jakes@samsonpraha.cz,
SAMSON PRAHA, spol. s r. o.*

ZPRAVODAJSTVÍ ČESKÉ A SLOVENSKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES CZECH AND SLOVAK TUNNELLING ASSOCIATION ITA-AITES REPORT

www.ita-aites.cz

www.sta-ita-aites.sk

OZNÁMENÍ O KONÁNÍ VALNÉHO SHROMÁŽDĚNÍ ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE ITA-AITES Z. S.

Všem členům České tunelářské asociace ITA-AITES z. s. si dovoluujeme oznámit, že její valné shromáždění se bude konat ve středu 31. května 2017. Bude to volební valné shromáždění, protože jeho součástí budou volby předsedy a členů předsednictva asociace na funkční období 2018 až 2020.

Výzva k podání návrhů na předsedu a členy předsednictva i pozvánka na valné shromáždění včetně jeho programu bude všem členům asociace v souladu se stanovami zaslána.

*Ing. MARKÉTA PRUŠKOVÁ, Ph.D, pruskova@ita-aites.cz,
generální sekretář CzTA ITA-AITES*

SPRAVODAJSTVO STA/ITA-AITES ITA-AITES STA NEWS

The regular General Assembly of the Slovak Tunnelling Association was held on 19th January 2017. The General Assembly discussions were opened by Ing. Miloslav Frankovský, the Chairman of the STA, by the presentation of the programme, with its usual parts expanded by the addition of a technical lecture on "Overbreaks at the Višňové tunnel during the excavation of the tunnel tubes from the eastern portal" delivered by Ing. Sobota, the deputy site manager at the Višňové tunnel construction, and an excursion to both tunnel tubes driven from the western portal. The STA Activity Report 2016 was presented by the STA chairman Ing. Miloslav Frankovský in the structure corresponding to the main circles of the STA activities. Regarding the STA membership, the chairman informed that the association has 52 members. In the context of the contents of TUNEL journal issue No. 4/2016, he noted that this issue was filled exclusively with technical papers from the excavation of tunnels in Slovakia. Of the conference related activities, he brought back to minds the TUNNELS AND UNDERGROUND CONSTRUCTION conference held in Žilina in 2015 and the UNDERGROUND CONSTRUCTION PRAGUE 2016 conference, which was attended by more than 50 professionals from the STA member organisations. Further on, the STA financial report was delivered.

In 2017, the activities will be oriented on several main circles: organising technical seminars focused on the construction of the Považský Chlmec, Ovčiarisko and Žilina motorway tunnels and the construction of railway tunnels under preparation in the Slovak Republic, providing financial support for the excursion of university students to tunnels under construction and their attendance at conferences and seminars, preparing the TUNNELS AND UNDERGROUND CONSTRUCTION 2018 conference and continuing the participation in publishing TUNEL journal.

Riadne valné zhromaždenie Slovenskej tunelárskej asociácie sa konalo dňa 19. januára 2017 v zasadačej miestnosti Národnej diaľničnej spoločnosti na západnom portáli tunela Višňové. Zúčastnilo sa ho 30 zástupcov členských organizácií.

Rokovanie Valného zhromaždenia otvoril predseda STA Ing. Miloslav Frankovský, ktorý v úvode privítal účastníkov a poďakoval investorovi stavby, Národnej diaľničnej spoločnosti, za poskytnutie priestorov a zhotoviteľovi Združeniu Salini Impregilo-Dúha, za organizáciu exkurzie.

Následne prezentoval program a organizačné pokyny súvisiace s priebehom VZ. Účastníci rokovania prijali návrh programu bez pripomienok a doplnenia. Do programu VZ okrem obligátnych častí bola zahrnutá odborná prednáška na tému „Nadvýlomy na tuneli Višňové pri razení tunelových rúr od východného portálu“, ktorú predniesol Ing. Sobota, zástupca stavbyvedúceho na stavbe tunela Višňové a exkurzia do obidvoch tunelových rúr, razených od západného portálu.

Správu o činnosti STA za rok 2016 predniesol jej predseda Ing. Miloslav Frankovský v štruktúre podľa hlavných okruhov činnosti STA, ktorými v roku 2016 boli:

- spoluúčasť pri vydávaní časopisu Tunel a príprave jeho obsahovej náplne;
- konferenčné aktivity v spolupráci s CzTA;
- spolupráca s vysokými školami vo forme financovania a organizovania účasti študentov Technickej univerzity Žilina a Technickej univerzity Košice, fakulta BERG na konferenciách a exkurziách na stavbách diaľničných tunelov v SR;
- príprava novelizácie technických predpisov pre stavbu tunelov (Technicko-kvalitatívne podmienky, Vzorové listy).

K členskej základni predseda STA informoval, že 2 členovia vystúpili a 4 nové členské organizácie boli prijaté, čo znamená počet členov 52 (z toho 5 individuálnych).

V súvislosti s obsahovou náplňou časopisu Tunel č. 4/2016 zaznela pochvalná poznámka o tom, že po dlhšom období absencie článkov o razení tunelov v SR je toto číslo naplnené exkluzívne odbornými článkami z razenia tunelov na Slovensku.

Konferenčné aktivity boli pripomenuté pozitívnymi dozvukmi konferencie TUNELY A PODZEMNÉ STAVBY v Žiline v dňoch 11.–13. 11. 2015 a pozitívnymi ohlasmi slovenských účastníkov na konferencii PODZEMNÍ STAVBY PRAHA 2016

v dňoch 23.–25. 5. 2016 ktorej sa zo Slovenska zúčastnilo viac ako 50 odborníkov z členských organizácií STA a 10 študentov (po 5 z Technickej univerzity Žilina a Fakulty BERG Technickej univerzity Košice).

Správu o hospodárení STA predniesol člen revíznej komisie STA Ing. Michale. Pozitívnym faktom finančnej situácie STA je okrem zvýšenia disponibilného objemu prostriedkov aj to, že platobná disciplína v platení členských príspevkov presahuje 95 %. Podrobný rozpočet na nasledujúce obdobie bude predložený a prerokovaný výborom STA. Predpokladá sa vyrovnané hospodárenie v roku 2017.

Správu o plánovaných aktivitách STA v roku 2017 predniesol podpredseda STA Ing. František Očkaják. Aktivity budú orientované na tieto hlavné okruhy:

- organizovanie odborných seminárov zameraných na výstavbu diaľničných tunelov Považský Chlmec, Ovčiaro a tunel Žilina ako aj pripravovanú výstavbu železničných tunelov v SR;
- naďalej finančne podporovať exkurzie vysokoškolských študentov na rozostavané tunely ako aj ich účasť na tunelárskych konferenciách a seminároch;
- príprava konferencie TUNELY A PODZEMNÉ STAVBY 2018;
- popri týchto aktivitách naďalej pokračovať v spoluúčasti pri vydávaní časopisu Tunel (aktívnou účasťou v činnosti redakčnej rady časopisu Tunel, publikovaním odborných príspevkov a poskytovaním správ do jeho pravidelných rubriek).

Podrobnejšiu informáciu o plánovanej príprave konferencie TUNELY A PODZEMNÉ STAVBY 2018 predniesla predsedníčka prípravného výboru Ing. Viktória Chomová, ktorá vyzvala členskú organizáciu STA aby čím skôr prejavili záujem o sponzorstvo konferencie.

Diskusia sa odvíjala takmer výlučne na tému odbornej problematiky priamo súvisiacej s razením tunela Višňové, jeho parametrami, unikátnou technológiou razenia a geologickými a hydrogeologickými podmienkami, v ktorých razenie tunela prebieha.

ČINNOST SEKCE TUNELY ČSS V ROCE 2016

Činnosť Sekce tunely ČSS pokračovala v roce 2016 v dlhohletých aktivitách čtvrtletného informovania členů Sekce a cestou článků a zpráv v časopisu Silniční obzor v informování odborné silničářské veřejnosti o současné problematice týkající se tunelových úseků pozemních komunikací.

Kromě tří obvyklých jednání připravila Sekce v roce 2016 pro členy návštěvu tunelů stavby dálnice D 805 před jejich uvedením do provozu.

Břežnové jednání Sekce bylo pro jeho 16 účastníků organizováno v zasedací místnosti velína Strahovského tunelu. Jednání o činnostech společností ČSS, společnosti CzTA a přípravě této společnosti na pořádání mezinárodní tunelářské konference Podzemní stavby Praha 2016 bylo dále doplněné zprávou o jednání bezpečnostních techniků tunelů organizovaném společností ITA-COSUF a o zahájení činnosti společnosti PIARC v novém období 2016–2019. Na závěr jednání byla jeho účastníkům umožněna prohlídka dispečerského pracoviště a strojovny velína TSK Praha Strahov.

Červnové jednání Sekce bylo uspořádáno ve společnosti PRAGOPROJEKT, a.s. Kromě informací o činnostech ČSS a o dokončení metody analýzy rizik CAPITA vytvořené pro tunely pozemních komunikací Fakultou dopravní ČVUT bylo 13 účastníků jednání, znovu po roce, podrobně informováno o stavu přípravy výstavby tunelů na trase dálnice D 3 na území Středočeského kraje. Účastníci jednání byli rovněž seznámeni s úspěšným průběhem mezinárodní tunelářské konference Podzemní stavby Praha 2016.

Prvý prívlastok tunela Višňové vyplývá z jeho délky – bude to najdlhší tunel v SR a jeho délka určite nebude prekonaná zrejme v dost dlhom čase. Trasa tunela je situovaná v geologicky a hydrogeologicky veľmi komplikovaných pomeroch. Prieskumnou štôlnou vyrazenou v rokoch 1998–2002 v celej dĺžke trasy tunela sa pomerne presne zistila nielen skladba a vlastností horninového masívu, ale aj jeho výrazné odvodnenie a tým aj zlepšenie podmienok pri razení tunelových rúr. (Tým sa potvrdila často diskutovaná oprávnenosť rozhodnutia o potrebe prieskumnej štôlne).

Ďalšou výraznou odlišnosťou oproti ostatným tunelom razeným doteraz tak v SR ako aj ČR je metóda razenia. Keby zhotoviteľom bola niektorá slovenská alebo česká firma, tunel by sarazil s vysokou pravdepodobnosťou podľa princípov NRTM. Keďže zhotoviteľom stavby je taliansko-slovenské združenie Salini Impregilo–Dúha, výber technológie razenia určil taliansky partner. Razičská metóda použitá prvýkrát v SR nesie označenie ADECO. Diskutujúci potvrdili výhody i nevýhody tejto metódy a jeden zo zaujímavých záverov bol ten, že metóda ADECO s razením na plný profil bez členenia čelby a dlhými zábermi na jeden odstrel je nesporne výhodnejšia oproti NRTM vtedy, keď razenie prebieha v geologicky homogénnom prostredí a bez častého striedania vlastností horninového masívu.

Predseda STA na záver poďakoval prítomným za účasť a aktívny prístup v priebehu valného zhromaždenia, odbornej prednášky i exkurzie do tunelových rúr tunela Višňové razených zo západného portálu. Konštatoval tiež, že v období oživenia výstavby tunelov v SR sa prejavilo aj oživenie činnosti STA. Terajšia početnosť tunelových stavieb diaľničných tunelov a pripravované stavby železničných tunelov nájdu pozitívny ohlas v činnosti a aktivitách výboru STA ako aj v zapojení celej členskej základne do pripravovaných okruhov činnosti v ďalších rokoch.

Ing. JOZEF FRANKOVSKÝ

Podzimní jednání Sekce bylo uspořádáno v polovině října 2016 pro 12 účastníků formou návštěvy dokončovaných tunelů stavby dálnice D 805 včetně nově upraveného řídicího střediska tunelů Řehlovice.

Tradiční prosincové jednání Sekce bylo uspořádáno pro jeho 16 účastníků u společnosti METROPROJEKT Praha a.s. Program jednání zahrnoval informaci o průběhu a závěrech Silniční konference 2016, informaci MD ČR o činnosti jeho komise pro udělování oprávnění ke hlavním prohlídkám silničních tunelů a informaci o zahájení spolupráce členů Sekce se společností PIARC pro období 2016–2019. Ing. Kadlec z TSK Praha prezentoval roční dopravní hodnocení provozu tunelového komplexu Blanka MO Praha, prof. Barták a Ing. Volek přednesli informace týkající se stability trasy dálnice D 805 a Ing. Štefan prezentoval průběh a odstraňování následků mimořádných událostí v tunelu Lochkov.

Sekce tunely pokračovala také v roce 2016 ve spolupráci s odborným časopisem ČSS Silniční obzor organizováním článků pro číslo 3/2016 časopisu věnované problematice tunelů pozemních komunikací, uveřejňováním informací o činnostech CzTA a informací o celosvětově významných stavbách tunelů pozemních komunikací.

První jednání Sekce tunely ČSS v březnu roku 2017 bude připravováno ve spolupráci se společností SATRA, spol. s r.o. S touto společností bude Sekce tunely rovněž spolupracovat při organizování dvoudenního jednání pracovní skupiny WG 5 výboru D 5 společnosti PIARC v červnu 2017 v Praze.

Ing. JIŘÍ SMOLÍK

**BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
UVEŘEJNĚNÝCH V TUNELU, ČASOPISU ČESKÉ TUNELÁŘSKÉ ASOCIACE
A SLOVENSKEJ TUNELÁRSKEJ ASOCIÁCIE ITA-AITES V ROCE 2016
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED IN THE JOURNAL TUNEL
OF THE CZECH TUNNELLING ASSOCIATION AND THE SLOVAK TUNNELLING
ASSOCIATION ITA-AITES WITHIN THE YEAR 2016**

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED	Číslo Issue	Strana Page	BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED	Číslo Issue	Strana Page
1. ÚVODNÍK EDITORIAL					
prof. Ing. Jiří Barták, DrSc., <i>předseda redakční rady časopisu Tunel</i>	1/2016	1	■ C310 Tunely pod Temží <i>Crossrail C310 Thames Tunnel</i> Riku Tauriainen, Rainer Rengshausen, Andreas Raedle, Ing. Pavel Růžička, Ph.D.	2/2016	33
Mgr. Lucie Bohátková, <i>ředitelka divize Geotechnika,</i> ARCADIS CZ a.s.	1/2016	2	■ Návrh a realizace rekonstrukce tunelu Sedlejšovic <i>Design and Realisation of Reconstruction of Sedlejšovice Tunnel</i> Ing. Miroslav Lipka	2/2016	66
Ing. Martin Höfler, <i>ředitel a předseda představenstva PUDIS a.s.</i>	1/2016	3	■ Udržitelnost tunelových staveb – hodnocení kvality dopravy v souvislosti s otevřením další části městského okruhu <i>Sustainability of Tunnel Structures – Assessment of Traffic Quality in the Context of the Inauguration of another Part of the City Circle Road</i> prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.	2/2016	74
doc. Ing. Matouš Hilar, M.Sc., Ph.D., CEng., MICE, <i>člen redakční rady</i>	2/2016	1	■ Požární ochrana tunelového ostění <i>Fire Protection of Tunnel Linings</i> Ing. Libor Fleischer	3/2016	4
Ing. Ivan Hrdina, <i>výrobně-technický ředitel Metrostav a.s.</i> <i>a předseda CzTA ITA-AITES</i>	2/2016	2	■ Tunelový komplex Blanka a vybraná požární bezpečnostní zařízení <i>Blanka Complex of Tunnels – Selected Fire Safety Equipment</i> Ing. Petr Kejklíček	3/2016	14
Ing. Tomáš Bílek, <i>předseda představenstva společnosti HOCHTIEF CZ a.s.</i>	2/2016	3	■ Přehled požárních zkoušek v tunelu Runehamar v Norsku prováděných v roce 2003 <i>Summary of Fire Tests Conducted in Runehamar Tunnel, Norway 2003</i> Ing. Libor Fleischer	3/2016	19
Ing. Pavel Šourek, <i>člen redakční rady</i>	3/2016	1	■ První zkušenosti ze zkušebního provozu Brusnického, Dejvického a Bubenečského tunelu městského okruhu v Praze <i>Initial Experience from Trial Operation of the Brusnice, Dejvice and Bubeneč Tunnels on the City Circle Road in Prague</i> Ing. Alexandr Butovič, Ph.D.	3/2016	40
Ing. Ladislav Zajíc, <i>jednatel Promat s.r.o.</i>	3/2016	2	■ Ražby v poruchových zónách – problémy a jejich řešení <i>Tunnelling in Fault Zones – Problems and Solutions</i> prof. Wulf Schubert	3/2016	49
Ing. Ludvík Šajtar, <i>jednatel a generální ředitel SATRA, spol. s r.o.</i>	3/2016	3	■ Tunely pro německé železnice – tradice a inovace <i>Tunnels for German Railways – Tradition and Innovation</i> M. Sc. Heinz Ehrbar	3/2016	57
Ing. Viktorie Chomová, <i>členka redakční rady</i>	4/2016	1	■ Razenie tunela Žilina – predpoklad verzus realita <i>Žilina Tunnel Excavation – Assumptions Versus Reality</i> Ing. Martin Valko, Michal Fučík, Ing. Iveta Šnauková, Ph.D.	4/2016	4
Ing. Juraj Androvič, <i>předseda představenstva a generální ředitel DOPRASTAV, a.s.</i>	4/2016	2	■ Realizácia sekundárneho ostenia tunela Poľana <i>Realisation of Poľana Tunnel Secondary Lining</i> Ing. Vladimír Ďurša	4/2016	15
Ing. Miloslav Frankovský, <i>předseda představenstva a ředitel Terraprojekt a.s.</i>	4/2016	3	■ Najdlhší slovenský tunel Višňové vo výstavbe <i>Realisation of Poľana Tunnel Secondary Lining</i> Ing. Miloslav Frankovský, Ing. Petr Mitrenga	4/2016	23
2. PODZEMNÍ URBANISMUS, VÝHLEDOVÉ STAVBY, NORMY UNDEGROUND CITY PLANNING, PROSPECTIVE PROJECTS, STANDARDS					
■ Geotechnické riziko: jak to vidí soudci? <i>Geotechnical Risk: What Judges Think about it?</i> Mgr. David Hruška, JUDr. Lukáš Klee, Ph.D.	2/2016	20	■ Tunel Prešov, jeden z chýbajících tunelov na diaľnici D1 <i>Prešov Tunnel, One of the Tunnels Missing on D1 Motorway</i> Ing. Roman Šály, Ing. Miloslav Frankovský, Ing. Filip Jiříčný	4/2016	33
■ Udržitelnost tunelových staveb – hodnocení kvality dopravy v souvislosti s otevřením další části městského okruhu <i>Sustainability of Tunnel Structures – Assessment of Traffic Quality in the Context of the Inauguration of another Part of the City Circle Road</i> prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.	2/2016	74			
■ Požární větrání TKB – od projektu ke zprovoznění <i>Fire Ventilation – from Design to Bringing into Service</i> Ing. Jiří Zápařka	3/2016	31			
■ Tunely pro německé železnice – tradice a inovace <i>Tunnels for German Railways – Tradition and Innovation</i> M. Sc. Heinz Ehrbar	3/2016	57			
3. DOPRAVNÍ STAVBY TRANSPORT-RELATED PROJECTS					
■ Tunel Prešov – interpretácia výsledkov inžinierskogeologického prieskumu <i>Prešov Tunnel – Interpretation of Results of Engineering Geological Exploration</i> Mgr. Michal Kubiš, Ph.D., Ing. Jozef Majerčák, Mgr. Jana Copláková, RNDr. Anna Grenčíková	1/2016	4			
■ Úloha geotechnického monitoringu a inženýrskogeologické dokumentace v rámci výstavby tunelu Považský Chlmec <i>Geotechnical Monitoring and Engineering Geological Documentation in the Považský Chlmec Tunnel Construction Process</i> Mgr. Jiří Tlamsa, Mgr. Anna Vojtěchovská, Ph.D.	1/2016	13			
■ Tunel Turecký vrch – sanácia krasových javov <i>Turecký Vrch Railway Tunnel – Treatment of Karst Area</i> RNDr. Tomáš Molčan, Mgr. František Teták, Ph.D.	1/2016	24			
■ Poznatky z inženýrskogeologického průzkumu pro tunel Radlice <i>Knowledge from Engineering Geological Survey for Radlice Tunnel</i> RNDr. Radovan Chmelář, Ph.D., Mgr. Libor Síla, Mgr. Pavel Tůma, Ing. Boleslav Březina	1/2016	40			
■ Aktuální projekty Metrostavu a.s. v severkých zemích <i>Current Metrostav a.s. Projects in the Nordic Countries</i> Ing. Aleš Gothard, Ing. Pavel Bürgel, Ing. Ivan Piřšć	2/2016	4			
			4. METRO SUBWAY		
			■ Zjištění napjatosti horninového masivu metodou odlehčení štolou pro první podtunelování řeky Vltavy metrem v roce 1973 <i>Determination of Rock Massif State of Stress Using the Stress-Relief Gallery Method for the First Passage of Metro Tunnels Under the Vltava River in 1973</i> Ing. Jiří Hudek, CSc.	1/2016	51

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHEDČíslo Strana
Issue Page5. KANALIZACE, KOLEKTORY, MALÉ PROFILY
SEWERAGE, UTILITY TUNNELS, SMALL PROFILE TUNNELS

- Geotechnický monitoring pro část stoky CO₃ raženou mikrotunelováním pod Královskou zahradou Pražského hradu
Geotechnical Monitoring for the Part of Sewer CO₃ Driven under Královská Zahrada Garden of Prague Castle Using Microtunnelling
Mgr. Libor Síla, Mgr. Pavel Tůma, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. 1/2016 29
- Poznatky z inženýrskogeologického průzkumu pro tunel Radlice
Knowledge from Engineering Geological Survey for Radlice Tunnel
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Mgr. Libor Síla, Mgr. Pavel Tůma, Ing. Boleslav Březina 1/2016 40
- Návrh mikrotunelování plynovodu přetínajícího environmentálně citlivou oblast pobřeží v Austrálii
Design of a Utility-Micro-Tunnel for Crossing under a Sensitive Shore Area
Taner Aydogmus, Carsten Schulte 2/2016 42

6. SANACE, REKONSTRUKCE, ÚDRŽBA, OPRAVY
RECONSTRUCTION, REINSTATING, MAINTENACE, REPARATION

- Tunel Turecký vrch – sanácia krasových javov
Turecký Vrch Railway Tunnel – Treatment of Karst Area
RNDr. Tomáš Molčan, Mgr. František Teták, Ph.D. 1/2016 24
- Návrh a realizace rekonstrukce tunelu Sedlejšovic
Design and Realisation of Reconstruction of Sedlejšovice Tunnel
Ing. Miroslav Lipka 2/2016 66
- Požární ochrana tunelového ostění
Fire Protection of Tunnel Linings
Ing. Libor Fleischer 3/2016 4
- Přehled požárních zkoušek v tunelu Runehamar v Norsku prováděných v roce 2003
Summary of Fire Tests Conducted in Runehamar Tunnel, Norway 2003
Ing. Libor Fleischer 3/2016 19
- Ražby v poruchových zónách – problémy a jejich řešení
Tunnelling in Fault Zones – Problems and Solutions
prof. Wulf Schubert 3/2016 49
- Razenie tunela Žilina – predpoklad verzus realita
Žilina Tunnel Excavation – Assumptions versus Reality
Ing. Martin Valko, Michal Fučík, Ing. Iveta Šnauková, Ph.D. 4/2016 4

7. TEORIE, VÝZKUM, SLEDOVÁNÍ
THEORY, RESEARCH, MONITORING

- Tunel Prešov – interpretácia výsledkov inžinierskogeologického prieskumu
Prešov Tunnel – Interpretation of Results of Engineering Geological Exploration
Mgr. Michal Kubiš, Ph.D., Ing. Jozef Majerčák, Mgr. Jana Copláková, RNDr. Anna Grenčíková 1/2016 4
- Úloha geotechnického monitoringu a inženýrskogeologické dokumentace v rámci výstavby tunelu Považský Chlmec
Geotechnical Monitoring and Engineering Geological Documentation in the Považský Chlmec Tunnel Construction Process
Mgr. Jiří Tlamsa, Mgr. Anna Vojtěchovská, Ph.D. 1/2016 13
- Geotechnický monitoring pro část stoky CO₃ raženou mikrotunelováním pod Královskou zahradou Pražského hradu
Geotechnical Monitoring for the Part of Sewer CO₃ Driven under Královská Zahrada Garden of Prague Castle Using Microtunnelling
Mgr. Libor Síla, Mgr. Pavel Tůma, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. 1/2016 29
- Poznatky z inženýrskogeologického průzkumu pro tunel Radlice
Knowledge from Engineering Geological Survey for Radlice Tunnel
RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D., Mgr. Libor Síla, Mgr. Pavel Tůma, Ing. Boleslav Březina 1/2016 40
- Zjištění napjatosti horninového masivu metodou odlehčení štolou pro první podtunelování řeky Vltavy metrem v roce 1973
Determination of Rock Massif State of Stress Using the Stress-Relief Gallery Method for the First Passage of Metro Tunnels Under the Vltava River in 1973
Ing. Jiří Hudek, CSc. 1/2016 51
- Příklad plasticitního posouzení důlní ocelové výztuže obdelníkové stavební šachty podle ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3 s využitím stabilního výpočtu
Example of Plasticity Assessment of Steel Colliery Support of a Rectangular Construction Shaft According to CSN EN 1993-1-1 Eurocode 3 Using a Stability Calculation
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, Ing. Michal Sedláček, Ph.D. 1/2016 61

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHEDČíslo Strana
Issue Page

- C310 Tunely pod Temží
Crossrail C310 Thames Tunnel
Riku Tauriainen, Rainer Rengshausen, Andreas Raedle, Ing. Pavel Růžička, Ph.D. 2/2016 33
- Udržitelnost tunelových staveb – hodnocení kvality dopravy v souvislosti s otevřením další části městského okruhu
Sustainability of Tunnel Structures – Assessment of Traffic Quality in the Context of the Inauguration of another Part of the City Circle Road
prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc. 2/2016 74
- Požární ochrana tunelového ostění
Fire Protection of Tunnel Linings
Ing. Libor Fleischer 3/2016 4
- Přehled požárních zkoušek v tunelu Runehamar v Norsku prováděných v roce 2003
Summary of Fire Tests Conducted in Runehamar Tunnel, Norway 2003
Ing. Libor Fleischer 3/2016 19
- Požární větrání TKB – od projektu ke zprovoznění
Fire Ventilation – from Design to Bringing into Service
Ing. Jiří Zápařka 3/2016 31
- První zkušenosti ze zkušebního provozu Brusnického, Dejvického a Bubenečského tunelu městského okruhu v Praze
Initial Experience from Trial Operation of the Brusnice, Dejvice and Bubeneč Tunnels on the City Circle Road in Prague
Ing. Alexandr Butovič, Ph.D. 3/2016 40
- Ražby v poruchových zónách – problémy a jejich řešení
Tunnelling in Fault Zones – Problems and Solutions
prof. Wulf Schubert 3/2016 49
- Razenie tunela Žilina – predpoklad verzus realita
Žilina Tunnel Excavation – Assumptions versus Reality
Ing. Martin Valko, Michal Fučík, Ing. Iveta Šnauková, Ph.D. 4/2016 4
- Najdlhší slovenský tunel Višňové vo výstavbe
The Longest Slovak Tunnel, Višňové, under Construction
Ing. Miloslav Frankovský, Ing. Petr Mitrenga 4/2016 23
- Poznatky z adaptácie razenia na in situ podmienky v tuneli Ovčiarisko
Lessons Learned from the Adaptation of Excavation to the In-Situ Conditions in Ovčiarisko Tunnel
Ing. Igor Jurík, Ing. Martin Udič, Ph.D., Ing. Ladislav Grega, Ph.D., Ing. Jozef Valko, Ing. Peter Janega 4/2016 41

8. HISTORIE
HISTORY

- Zjištění napjatosti horninového masivu metodou odlehčení štolou pro první podtunelování řeky Vltavy metrem v roce 1973
Determination of Rock Massif State of Stress Using the Stress-Relief Gallery Method for the First Passage of Metro Tunnels Under the Vltava River in 1973
Ing. Jiří Hudek, CSc. 1/2016 51

- Návrh a realizace rekonstrukce tunelu Sedlejšovic
Design and Realisation of Reconstruction of Sedlejšovice Tunnel
Ing. Miroslav Lipka 2/2016 66

9. RŮZNÉ
MISCELLANEOUS

- Geotechnické riziko: jak to vidí soudci?
Geotechnical Risk: What Judges Think about it?
Mgr. David Hruška, JUDr. Lukáš Klee, Ph.D. 2/2016 20
- Návrh mikrotunelování plynovodu přetínajícího environmentálně citlivou oblast pobřeží v Austrálii
Design of a Utility-Micro-Tunnel for Crossing Under a Sensitive Shore Area
Taner Aydogmus, Carsten Schulte 2/2016 42
- Tunelový komplex Blanka a vybraná požárně bezpečnostní zařízení
Blanka Complex of Tunnels – Selected Fire Safety Equipment
Ing. Petr Kejkliček 3/2016 14
- Přehled požárních zkoušek v tunelu Runehamar v Norsku prováděných v roce 2003
Summary of Fire Tests Conducted in Runehamar Tunnel, Norway 2003
Ing. Libor Fleischer 3/2016 19
- Požární větrání TKB – od projektu ke zprovoznění
Fire Ventilation – from Design to Bringing into Service
Ing. Jiří Zápařka 3/2016 31
- Ražby v poruchových zónách – problémy a jejich řešení
Tunnelling in Fault Zones – Problems and Solutions
prof. Wulf Schubert 3/2016 49

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED

- | | Číslo
Issue | Strana
Page |
|--|----------------|----------------|
| ■ Tunely pro německé železnice – tradice a inovace
<i>Tunnels for German Railways – Tradition and Innovation</i>
M. Sc. Heinz Ehrbar | 3/2016 | 57 |
| ■ Realizácia sekundárneho ostenia tunela Poľana
<i>Realisation of Polana Tunnel Secondary Lining</i>
Ing. Vladimír Ďurša | 4/2016 | 15 |

10. STAVEBNÍ MATERIÁLY
BUILDING MATERIAL

- | | | |
|---|--------|----|
| ■ Příklad plasticitního posouzení důlní ocelové výztuže obdelníkové stavební šachty podle ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3 s využitím stabilního výpočtu
<i>Example of Plasticity Assessment of Steel Colliery Support of a Rectangular Construction Shaft According to CSN EN 1993-1-1 Eurocode 3 Using a Stability Calculation</i>
doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš, Ing. Michal Sedláček, Ph.D. | 1/2016 | 61 |
| ■ Návrh, realizace a podmínky provádění nevyztuženého definitivního ostění konvenčně ražených tunelů
<i>Design, Realisation and Conditions of the Application of Unreinforced Concrete Final Lining of Conventionally Driven Tunnels</i>
Ing. Jiří Hořejší, Ing. Libor Mařík, Ing. Pavel Růžička, Ph.D., Dipl.-Ing. Andreas Schaab | 2/2016 | 53 |
| ■ Návrh a realizace rekonstrukce tunelu Sedlejšovic
<i>Design and Realisation of Reconstruction of Sedlejšovice Tunnel</i>
Ing. Miroslav Lipka | 2/2016 | 66 |
| ■ Požární ochrana tunelového ostění
<i>Fire Protection of Tunnel Linings</i>
Ing. Libor Fleischer | 3/2016 | 4 |
| ■ Přehled požárních zkoušek v tunelu Runehamar v Norsku prováděných v roce 2003
<i>Summary of Fire Tests Conducted in Runehamar Tunnel, Norway 2003</i>
Ing. Libor Fleischer | 3/2016 | 19 |

11. TECHNOLOGIE
EQUIPMENT

- | | | |
|---|--------|----|
| ■ Geotechnický monitoring pro část stoky CO ₃ raženou mikrotunelováním pod Královskou zahradou Pražského hradu
<i>Geotechnical Monitoring for the Part of Sewer CO₃ Driven under Královská Zahrada Garden of Prague Castle Using Microtunnelling</i>
Mgr. Libor Síla, Mgr. Pavel Tůma, RNDr. Radovan Chmelař, Ph.D. | 1/2016 | 29 |
| ■ Aktuální projekty Metrostavu a.s. v severských zemích
<i>Current Metrostav a.s. Projects in the Nordic Countries</i>
Ing. Aleš Gothard, Ing. Pavel Bürgel, Ing. Ivan Piršič | 2/2016 | 4 |
| ■ C310 Tunely pod Temží
<i>Crossrail C310 Thames Tunnel</i>
Riku Tauriainen, Rainer Rengshausen, Andreas Raedle, Ing. Pavel Růžička, Ph.D. | 2/2016 | 33 |
| ■ Návrh mikrotunelování plynovodu přetínajícího environmentálně citlivou oblast pobřeží v Austrálii
<i>Design of a Utility-Micro-Tunnel for Crossing under a Sensitive Shore Area</i>
Taner Aydogmus, Carsten Schulte | 2/2016 | 42 |
| ■ Návrh, realizace a podmínky provádění nevyztuženého definitivního ostění konvenčně ražených tunelů
<i>Design, Realisation and Conditions of the Application of Unreinforced Concrete Final Lining of Conventionally Driven Tunnels</i>
Ing. Jiří Hořejší, Ing. Libor Mařík, Ing. Pavel Růžička, Ph.D., Dipl.-Ing. Andreas Schaab | 2/2016 | 53 |
| ■ Tunelový komplex Blanka a vybraná požární bezpečnostní zařízení
<i>Blanka Complex of Tunnels – Selected Fire Safety Equipment</i>
Ing. Petr Kejklíček | 3/2016 | 14 |
| ■ Požární větrání TKB – od projektu ke zprovoznění
<i>Fire Ventilation – from Design to Bringing into Service</i>
Ing. Jiří Zápařka | 3/2016 | 31 |
| ■ První zkušenosti ze zkušební provozu Brusnického, Dejvického a Bubenečského tunelu městského okruhu v Praze
<i>Initial Experience from Trial Operation of the Brusnice, Dejvice and Bubeneč Tunnels on the City Circle Road in Prague</i>
Ing. Alexandr Butovič, Ph.D. | 3/2016 | 40 |

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ
BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED

- | | Číslo
Issue | Strana
Page |
|---|----------------|----------------|
| ■ Realizácia sekundárneho ostenia tunela Poľana
<i>Realisation of Polana Tunnel Secondary Lining</i>
Ing. Vladimír Ďurša | 4/2016 | 15 |
| ■ Najdlhší slovenský tunel Višňové vo výstavbe
<i>The Longest Slovak Tunnel, Višňové, under Construction</i>
Ing. Miloslav Frankovský, Ing. Petr Mitrenga | 4/2016 | 23 |

12. ZE SVĚTA PODZEMNÍCH STAVEB
THE WORLD OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS

- | | | |
|---|--------|----|
| ■ Mozaika ze světa
Ing. Miloslav Novotný | 1/2016 | 80 |
| | 2/2016 | 95 |
| | 3/2016 | 71 |
| | 4/2016 | 50 |
| ■ Modernizace technického vybavení tunelu Těšnov v roce 2015
<i>Upgrading Technological Equipment of Těšnov Tunnel in 2015</i>
Ing. Jiří Štefan | 1/2016 | 81 |
| ■ Přístupové tunely Sätra a Skärholmen, Stockholm, Švédsko
<i>Sätra and Skärholmen Access Tunnels, Stockholm, Sweden</i>
Ing. Jan Vintera | 2/2016 | 96 |
| ■ Rekonstrukce tunelu Alter Kaiser Wilhelm, Cochem, Německo
<i>Reconstruction of the Alter Kaiser Wilhelm Tunnel, Cochem, Germany</i>
Ing. Jan Vintera | 2/2016 | 97 |
| ■ Projekt století
<i>Project of the Century</i>
Alex Sala, Ing. Vlastimil Horák | 3/2016 | 73 |
| ■ Projekt Stuttgart 21 a tunel Bad Cannstatt
<i>Stuttgart 21 Project and Bad Cannstatt Tunnel</i>
Ing. Pavel Růžička | 3/2016 | 74 |
| ■ Rekonstrukce tunelu Alter Kaiser Wilhelm (AKWT) v Německu se chýlí ke konci
<i>Reconstruction of the Alter Kaiser Wilhelm Tunnel (AKWT) in Germany Coming to its End</i>
Ing. Jan Vintera | 4/2016 | 52 |

13. AKTUALITY Z PODZEMNÍCH STAVEB V ČESKÉ A SLOVENSKÉ REPUBLICE
CURRENT NEWS FROM THE CZECH AND SLOVAK UNDERGROUND CONSTRUCTION

- | | | |
|---|--------|----|
| ■ Modernizace trati Rokycany – Plzeň
<i>Modernisation of Rokycany – Plzeň Railway Track Section</i>
Dálnice D8 – 0805 Lovosice – Řehlovice
D8 Motorway – Construction Lot 805: Lovosice – Řehlovice
Ing. Boris Šebesta | 1/2016 | 83 |
| ■ Průzkumná štola pro Radlickou radiálu Jihozápadní Město – Smíchov
<i>Exploratory Gallery for the Radlice Radial Road Linking the South-Western Satellite Town and Smíchov</i>
Rekonstrukce tunelu Teplice nad Metují
<i>Teplice nad Metují Tunnel Reconstruction</i>
Ing. Jan Vintera | 1/2016 | 84 |
| ■ Tunel Šibeník
<i>Šibenik Tunnel</i>
Tunely Poľana a Svrčinovec
<i>Polana and Svrčinovec Tunnels</i>
Tunely Ovčiarско a Žilina
<i>Ovčiarско and Žilina Tunnels</i>
Tunel Čerbat'
<i>Čerbat' Tunnel</i>
Tunel Višňové
<i>Višňové Tunnel</i>
Ing. Milan Majerčík
Tunel Považský Chlmec
<i>Považský Chlmec Tunnel</i>
Ing. Libor Mařík | 1/2016 | 85 |
| | 1/2016 | 87 |
| ■ Modernizace trati Rokycany – Plzeň
<i>Modernisation of Rokycany – Plzeň Railway Track Section</i>
Dálnice D8 – 0805 Lovosice – Řehlovice
D8 Motorway – Construction Lot 805: Lovosice – Řehlovice
Ing. Boris Šebesta | 2/2016 | 02 |
| ■ Tunely Poľana a Svrčinovec
<i>Polana and Svrčinovec Tunnels</i>
Tunely Ovčiarско a Žilina
<i>Ovčiarско and Žilina Tunnels</i>
Tunel Čerbat' | | |

BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED	Číslo Issue	Strana Page	BIBLIOGRAFIE ČLÁNKŮ A STATÍ BIBLIOGRAPHY OF ARTICLES PUBLISHED	Číslo Issue	Strana Page
Čerbat' Tunnel Tunel Považský Chlmec Považský Chlmec Tunnel Tunel Višňové Višňové Tunnel Ing. Milan Majerčík, Ing. Libor Mařík	2/2016	103	■ Konference 10. rakouský tunelový den a 65. Geomechanické kolokvium v Salzburgu <i>10th Austrian Tunnel Day Conference and 65th Geomechanical Colloquium in Salzburg</i> Ing. Libor Mařík	4/2016	55
■ Modernizace trati Rokycany – Plzeň <i>Modernisation of Rokycany – Plzeň Railway Track Section</i> Dálnice D8 – 0805 Lovosice – Řehlovice <i>D8 Motorway – Construction Lot 805: Lovosice – Řehlovice</i> Ing. Boris Šebesta	3/2016	83	■ Tunelářské odpoledne 1/2016 <i>Tunnel Afternoon 1/2016</i> Ing. Alexandr Butovič, Ing. Markéta Prušková, Ph.D.	4/2016	56
■ Tunely Pořana a Svrčinovec <i>Polana and Svrčinovec Tunnels</i> Tunely Ovčiarско a Žilina <i>Ovčiarско and Žilina Tunnels</i> Tunel Čebrať <i>Čebrať Tunnel</i> Tunel Považský Chlmec <i>Považský Chlmec Tunnel</i> Tunel Višňové <i>Višňové Tunnel</i> Ing. Milan Majerčík, Ing. Libor Mařík	3/2016	84	■ Konference bezpečnost provozu v silničních tunelech 2016 <i>Operational Safety in Road Tunnels Conference 2016</i> Ing. Miroslav Novák	4/2016	57
■ Modernizace trati Rokycany – Plzeň <i>Modernisation of Rokycany – Plzeň Railway Track Section</i> Dálnice D8 – 0805 Lovosice – Řehlovice <i>D8 Motorway – Construction Lot 805: Lovosice – Řehlovice</i> Ing. Boris Šebesta	4/2016	57	15. VÝROČÍ ANNIVERSARIES		
■ Tunely Pořana a Svrčinovec <i>Polana and Svrčinovec Tunnels</i> Tunely Ovčiarско a Žilina <i>Ovčiarско and Žilina Tunnels</i> Tunel Čebrať <i>Čebrať Tunnel</i> Tunel Považský Chlmec <i>Považský Chlmec Tunnel</i> Tunel Višňové <i>Višňové Tunnel</i> Ing. Milan Majerčík, Ing. Libor Mařík	4/2016	58	■ Životní jubileum Ing. Jiřího Růžičky <i>Ing. Jiří Růžička Anniversary</i> Ing. Miroslav Novák	1/2016	88
14. ZPRÁVY Z TUNELÁŘSKÝCH KONFERENCÍ NEWS FROM TUNNELLING CONFERENCE			■ Čtvrt století časopisu Tunel <i>A Quarter Century of Tunnel Journal</i> Ing. Karel Matzner, Ing. Miloslav Novotný, Ing. Markéta Prušková	1/2016	89
■ Konference Tunely a podzemní tavby 2015 v Žiline <i>Conference Tunnels and Underground Construction Žilina 2015</i> Ing. Viktória Chomová	1/2016	82	■ Vzpomínka na Jiřího Junka <i>Memory of Jirka Junek</i> Ing. Pavel Šrámek	1/2016	92
■ Tunelářské odpoledne 3/2015 <i>Tunnel Afternoon 3/2015</i> Ing. Markéta Prušková, Ph.D.	1/2016	83	■ Šedesátník Ing. Václav Soukup <i>Ing. Václav Soukup Sexagenarian</i> Ing. Ivan Hrdina	2/2016	109
■ 21. ročník mezinárodního semináře Zpevnování, těsnění a kotvení horninového masivu a stavebních konstrukcí 2016 v Ostravě <i>21st Annual International Seminar on Strengthening, Impermealisation and Anchoring of Ground Mass and Civil Engineering Structures 2016 Ostrava</i> doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.	2/2016	98	■ 80 let Ing. Miroslava Kolečkáře <i>80 Years of Age of Ing. Miroslav Kolečkář</i> Ing. Jaroslav Němeček	3/2016	87
■ 21. ročník konference železniční mosty a tunely <i>21st Railway Bridges and Tunnels Annual Conference</i> Ing. Jan Korejčík	2/2016	100	■ 70 let Ing. Jaromíra Zlámala <i>70 Years of Age of Ing. Jaromír Zlámala</i> doc. Dr. Ing. Jan Pruška	3/2016	89
■ Činnost mezinárodního výboru „Road Tunnel Operation“ (2012–2015) <i>Activities of International Committee on Road Tunnels Operation (2012–2015)</i> prof. Ing. Pavel Přibyl, CSc.	2/2016	100	■ Životní jubileum – 70 let Ing. Jaroslava Němečka <i>Seventieth Birthday Anniversary of Ing. Jaroslav Němeček</i> Ing. Miroslav Kolečkář	3/2016	90
■ Světový tunelářský kongres WTC 2016 a 42. valné shromáždění ITA-AITES <i>World Tunnel Congress WTC 2016 and 42nd General Meeting of ITA-AITES</i> Ing. Karel Rössler, Ph.D.	3/2016	77	■ Rozloučení s Petrem Matějčkem <i>Farewell to Petr Matějček</i> Ing. Jiří Mosler	4/2016	61
■ Konference Podzemní stavby Praha 2016 a Východoevropská tunelářská konference EETC 2016 <i>Underground Construction Prague Conference 2016 and Eastern European Tunnelling Conference EETC 2016</i> doc. Ing. Matouš Hilar, Ph.D.	3/2016	78	16. Z HISTORIE PODZEMNÍCH STAVEB FROM THE HISTORY OF UNDERGROUND CONSTRUCTIONS		
■ Swiss Tunnel Congress 2016 <i>Swiss Tunnel Congress 2016</i> doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ing. Vlastimil Horák, Ing. Martin Pagač	3/2016	82	■ Evropa – pohlednice s alpskými tunely II <i>Europe – Picture Postcards with Alpine Tunnels II</i> doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ing. Tomáš Vrána	1/2016	93
■ 15. ročník konference Geotechnika <i>15th Geotechnical Conference</i> doc. RNDr. Eva Hrubešová, Ph.D.	4/2016	53	■ Pohlednice s rakouskými tunely <i>Picture Postcards with Austrian Tunnels</i> doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ing. Tomáš Vrána	2/2016	106
			■ Pohlednice s tunely v USA <i>Picture Postcards with Tunnels in the USA</i> doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ing. Tomáš Vrána	3/2016	92
			■ Stavba tunela Lötschberg <i>Lötschberg Tunnel Construction</i> Ing. Alojz Vodanský	3/2016	95
			■ Pohlednice s tunely v SRN <i>Picture Postcards of Tunnels in the FGR</i> doc. Ing. Vladislav Horák, CSc., Ing. Richard Svoboda, Ph.D.	4/2016	62
			17. Z ČINNOSTI PRACOVNÍCH SKUPIN CZTA CZTA WORKING GROUPS		
			■ Železniční tunel pod Střešovicemi <i>Railway Tunnel under Střešovice</i> Ing. Dana Šmejkalová	3/2016	96
			■ Zpráva o činnosti pracovní skupiny pro konvenční tunelování <i>Report on the Activity of the Working Group for Conventional Tunnelling</i> Ing. Jiří Mosler	4/2016	65

JMENNÝ REJSTŘÍK AUTORŮ STATÍ ČASOPISU TUNEL ZA ROK 2016

NAME INDEX OF AUTORS OF ARTICLES PUBLISHED IN THE TUNEL JOURNAL IN THE YEAR 2016

Jméno: name:	číslo: number:	strana: page:	Jméno: name:	číslo: number:	strana: page:	Jméno: name:	číslo: number:	strana: page:
A			J			Růžička, Pavel	2/2016	53
Androvič, Juraj	4/2016	2	Janega, Peter	4/2016	41		3/2016	74
Aydogmus, Taner	2/2016	42	Jiříčný, Filip	4/2016	33			
			Jurík, Igor	4/2016	41	S		
B						Sala, Alex	3/2016	73
Barták, Jiří	1/2016	1	K			Sedláček, Michal	1/2016	61
Bílek, Tomáš	2/2016	3	Kejklíček, Petr	3/2016	14	Schaab, Andreas	2/2016	53
Bohátková, Lucie	1/2016	2	Klee, Lukáš	2/2016	20	Síla, Libor	1/2016	29, 40
Březina, Boleslav	1/2016	40	Kolečkář, Miroslav	3/2016	90	Smolík, Jiří	1/2016	97
Butovič, Alexandr	3/2016	40	Korejčák, Jan	2/2016	100	Svoboda, Richard	4/2016	62
	4/2016	56	Kubiš, Michal	1/2016	4			
Bürgel, Pavel	2/2016	4				Š		
			L			Šajtar, Ludvík	3/2016	3
C			Lipka, Miroslav	2/2016	66	Šály, Roman	4/2016	33
Copláková, Jana	1/2016	4				Šebesta, Boris	1/2016	83
			M				2/2016	102
D			Majerčák, Jozef	1/2016	4		3/2016	83
Dolejš, Jakub	1/2016	61	Majerčík, Milan	1/2016	85		4/2016	57, 65
Đurša, Vladimír	4/2016	15		2/2016	103	Schubert, Wulf	3/2016	49
				3/2016	84	Schulte, Carsten	2/2016	42
E			Mařík, Libor	1/2016	87	Šmejkalová, Dana	3/2016	96
Ebermann, Tomáš	4/2016	65		2/2016	53, 103	Šnauková, Iveta	4/2016	4
Ehrbar, Heinz	3/2016	57		3/2016	84	Šourek, Pavel	3/2016	1
				4/2016	55, 58	Šrámek, Pavel	1/2016	92
F			Matzner, Karel	1/2016	89	Štefan, Jiří	1/2016	81
Fleischer, Libor	3/2016	4, 19	Mitrenga, Petr	4/2016	23			
Frankovský, Miloslav	4/2016	3, 23, 33	Molčan, Tomáš	1/2016	24			
Fučík, Michal	4/2016	4	Mosler, Jiří	4/2016	57, 61, 65	T		
						Tauriainen, Riku	2/2016	33
G			N			Teták, František	1/2016	24
Gothard, Aleš	2/2016	4	Novák, Miroslav	1/2016	88	Tlamsa, Jiří	1/2016	13
Grenčíková, Anna	1/2016	4		4/2016	57	Tůma, Pavel	1/2016	29, 40
			Novotný, Miloslav	1/2016	80, 89			
H				2/2016	95	V		
Hilar, Matouš	1/2016	96		3/2016	71	Valko, Martin	4/2016	4
	2/2016	1	Němeček, Jaroslav	3/2016	87	Vojtěchovská, Anna	1/2016	13
	3/2016	78				Vintera, Jan	1/2016	84
Horák, Vladislav	1/2016	93		4/2016	50		2/2016	96, 97
	2/2016	106		3/2016	97	Vrána, Tomáš	1/2016	93
	3/2016	82, 92		4/2016	56		2/2016	106
	4/2016	62					3/2016	92
Horák, Vlastimil	3/2016	73, 82	P			Vodanský, Alojz	3/2016	95
Höfler, Martin	1/2016	3	Piršič, Ivan	2/2016	4			
Hořejší, Jiří	2/2016	53	Pruška, Jan	3/2016	89			
Hrdina, Ivan	2/2016	2, 109	Prušková, Markéta	1/2016	83, 89			
Hrubešová, Eva	2/2016	98		3/2016	97			
	4/2016	53		4/2016	56			
Hruška, David	2/2016	20	Příbyl, Pavel	2/2016	74, 100			
Hudek, Jiří	1/2016	51				Z		
			R			Zajíc, Ladislav	3/2016	2
CH			Raedle, Andreas	2/2016	33	Zápařka, Jiří	3/2016	31
Chmelař, Radovan	1/2016	29, 40,	Rengshausen, Rainer	2/2016	33			
Chomová, Viktória	1/2016	82	Rössler, Karel	3/2016	77			
	4/2016	1						



PRO KAŽDÝ TUNEL MÁME 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 řešit stabilizaci a zpevnění horninového podloží, efektivitu ražby razícím 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

Spolehlivý partner v podzemním stavitelství

Reliable partner in the underground engineering

Železniční tunel Ejovice
The Ejovice Railroad Tunnel



D3 tunel Povážský Chlmec
The Povážský Chlmec Tunnel



VMO Brno Královopolský tunel
The Brno Královopole Tunnel



D47 tunel Klimkovičky
The Klimkovičky Tunnel

GEOtest, a.s.
Šmahova 1244/112
627 00 Brno-Slatina
Czech Republic

Phone: +420 548 125 111
E-mail: info@geotest.cz
www.geotest.cz

GEOtest